

Aplicación del análisis de funciones multivariantes en la optimización de la eficiencia mecánica en robots de batalla de bajo peso

Application of Multivariable Function Analysis in the Optimization of Mechanical Efficiency in Lightweight Battle Robots

RESUMEN

El presente estudio propone una estrategia cuantitativa basada en el análisis de funciones multivariantes para optimizar la eficiencia mecánica en robots de batalla de bajo peso, considerando las restricciones propias de competencias robóticas. El objetivo principal fue identificar configuraciones estructurales que maximicen el rendimiento dinámico del sistema, minimizando el consumo energético y respetando límites físicos y estructurales. La metodología integró revisión bibliográfica sistemática, modelación matemática con derivadas parciales, análisis de gradiente y matriz Hessiana, optimización con restricciones mediante multiplicadores de Lagrange, y simulaciones computacionales en Python. Se definieron tres configuraciones robóticas, evaluadas en escenarios simulados con variaciones de masa, torque, aceleración y velocidad angular. Los resultados revelan que el torque es la variable de mayor impacto sobre la eficiencia, seguido por la masa. La configuración C alcanzó un 81.7 % de eficiencia con un consumo de 18.2 Wh, cumpliendo los estándares competitivos. Se generó una superficie 3D que permitió visualizar zonas de diseño óptimo sin necesidad de prototipos físicos. Se concluye que el enfoque multivariable permite tomar decisiones informadas en etapas tempranas de diseño, favoreciendo soluciones eficientes, sostenibles y replicables en contextos educativos, industriales y competitivos

PALABRAS CLAVE: Análisis multivariable, Eficiencia mecánica, Robot de batalla, Simulación computacional, Torque.

ABSTRACT

This study proposes a quantitative strategy based on multivariable function analysis to optimize the mechanical efficiency of lightweight battle robots, considering the constraints inherent to competitive robotics. The main objective was to identify structural configurations that maximize the system's dynamic performance while minimizing energy consumption and respecting physical and structural limits. The methodology integrated a systematic literature review, mathematical modeling using partial derivatives, gradient analysis and Hessian matrix evaluation, constrained optimization through Lagrange multipliers, and computational simulations in Python. Three robotic configurations were defined and evaluated in simulated scenarios with variations in mass, torque, acceleration, and angular velocity. The results reveal that torque is the most impactful variable on efficiency, followed by mass. Configuration C achieved an efficiency of 81.7% with an energy consumption of 18.2 Wh, meeting competitive standards. A 3D surface was generated to visualize optimal design zones without the need for physical prototypes. It is concluded that the multivariable approach enables informed decision-making in early design stages, promoting efficient, sustainable, and replicable solutions in educational, industrial, and competitive contexts.

KEYWORDS: Multivariable Analysis, Mechanical Efficiency, Battle Robot, Computational Simulation, Torque

TECNOCIENCIA ACTUAL

Recepción: 01/08/2025

Aceptación: 07/08/2025

Publicación: 31/12/2025

AUTOR/ES

-  **Jordan Buenaño Nancy**
-  **Velasco Romero Anthony**
-  **Cunalata Tonato Leandro**
-  **Rivera Vasco Luis**
-  **Vilema Hidalgo Andrés**
-  **López Freire Sebastian**

 nancyjordan@indoameri.edu.ec

 avelasco8@indoamerica.edu.ec

 lcunalata4@indoamerica.edu.ec

 lrivera12@indoamerica.edu.ec

 avilena@indoamerica.edu.ec

 alopez57@indoamerica.edu.ec

 Universidad Tecnológica Indoamérica

 Universidad Tecnológica Indoamerica

 Universidad Tecnológica Indoamerica

 Universidad Tecnológica Indoamerica

 Universidad Tecnológica Indoamerica

 Universidad Tecnológica Indoamerica

 Ambato - Ecuador

 Ambato - Ecuador

 Ambato - Ecuador

 Ambato - Ecuador

 Ambato - Ecuador

 Ambato - Ecuador

CITACIÓN:

Jordan, N., Velasco, A., Cunalata, L., Rivera, L., Vilema, A. & López, S.. (2025). Aplicación del análisis de funciones multivariantes en la optimización de la eficiencia mecánica en robots de batalla de bajo peso. Revista InnovaSciT. 3 (2,). 178 – 202.

INTRODUCCIÓN

El diseño de robots de batalla representa un campo multidisciplinario en constante evolución, donde confluyen la ingeniería mecánica, la electrónica, el control automático y la optimización matemática. Esta convergencia tecnológica no solo responde a los avances en sistemas mecatrónicos, sino también a la creciente demanda de soluciones de ingeniería de alto desempeño en contextos competitivos, educativos e incluso estratégicos. Dentro de este universo, los robots de bajo peso constituyen un nicho particularmente exigente, ya que deben maximizar su rendimiento dinámico con recursos estructurales y energéticos limitados. Este tipo de sistemas está sujeto a restricciones físicas muy específicas en masa, potencia y dimensiones, lo que exige soluciones de diseño altamente eficientes y precisas.

Optimizar la eficiencia mecánica en estos robots se convierte, entonces, en un objetivo estratégico. No solo se busca mejorar su comportamiento en combate —donde la agilidad, la resistencia y la capacidad de respuesta marcan la diferencia—, sino también garantizar su durabilidad, modularidad y fiabilidad estructural. En este sentido, la eficiencia no puede entenderse únicamente como una medida energética, sino como un equilibrio integral entre potencia, estabilidad, masa, consumo y funcionalidad.

Tradicionalmente, el diseño de este tipo de sistemas se ha basado en métodos de prueba y error o en modelos empíricos, los cuales, aunque útiles en etapas exploratorias, resultan costosos, ineficientes y con limitada capacidad de generalización. Estas limitaciones han impulsado el desarrollo de metodologías analíticas capaces de anticipar el comportamiento del sistema antes de la fabricación de prototipos físicos. Una de las herramientas más poderosas en este contexto es el análisis de funciones multivariantes, que permite modelar con precisión la eficiencia mecánica como función de múltiples variables críticas —como masa, torque, aceleración, velocidad angular y energía consumida— y anticipar su interacción en diferentes escenarios de uso.

Para construir un modelo matemático robusto y replicable que identifique configuraciones óptimas desde una perspectiva mecánica y energética, se emplean herramientas del cálculo diferencial avanzado, tales como derivadas parciales, condiciones de optimización (máximos y mínimos locales), matrices Hessianas, gradientes y métodos de optimización con restricciones, como los multiplicadores de Lagrange. Estas herramientas permiten establecer escenarios de diseño que integran criterios de eficiencia, estabilidad estructural y distribución del peso, los cuales son esenciales para el diseño racional de sistemas móviles en entornos de alta exigencia.

La finalidad de este estudio es desarrollar una metodología cuantitativa basada en análisis multivariable que optimice el diseño estructural y funcional de robots de batalla de bajo peso, logrando una reducción significativa en la masa del sistema sin comprometer su capacidad ofensiva, defensiva ni energética. Este tipo de soluciones se traduce en sistemas más

ágiles, resistentes y sostenibles, con potencial aplicación no solo en competiciones, sino también en el ámbito de la robótica educativa, militar e industrial.

La relevancia científica del presente trabajo radica en su propuesta de articular teoría matemática con diseño práctico de dispositivos mecatrónicos, ofreciendo un marco analítico riguroso para la toma de decisiones en ingeniería industrial. Esta propuesta se fundamenta en investigaciones recientes como las de Fabris et al. (2024), Zhou et al. (2024) y Liu et al. (2022), que han demostrado cómo el análisis multivariable, combinado con planificación energética optimizada, incrementa significativamente el rendimiento de sistemas robóticos avanzados.

En este contexto, el presente artículo plantea la siguiente interrogante: ¿Es posible alcanzar configuraciones óptimas que maximicen la eficacia operativa de un robot sin comprometer su rigidez estructural ni su eficiencia energética? Esta pregunta guía la investigación y será abordada a lo largo del artículo a través de simulaciones computacionales y análisis comparativo de escenarios de diseño. Así, se propone al análisis multivariable como una herramienta clave en la innovación tecnológica en robótica, permitiendo tomar decisiones estratégicas desde las primeras fases del diseño.

Eficiencia mecánica en sistemas robóticos

La eficiencia mecánica se define como la relación entre el trabajo útil realizado por un sistema y la energía total suministrada $n = \frac{w \text{ útil}}{E \text{ entrada}}$. Este indicador constituye un parámetro clave en el diseño de sistemas robóticos, ya que determina cuánta de la energía suministrada se convierte efectivamente en movimiento útil. En el contexto específico de la robótica de batalla de bajo peso, mantener una alta eficiencia mecánica no es solo deseable, sino vital. Una mayor eficiencia se traduce en un mayor aprovechamiento energético durante maniobras de alta exigencia, lo cual permite prolongar el tiempo operativo del robot sin comprometer su capacidad ofensiva o defensiva. Esto es particularmente relevante en entornos competitivos, donde cada unidad de energía disponible debe ser utilizada con precisión quirúrgica para evitar fallos prematuros o pérdida de rendimiento (Muru et al., 2023; José-Trujillo et al., 2024).

Desde el punto de vista ingenieril, optimizar la eficiencia implica entender primero qué variables estructurales y dinámicas influyen directamente en su comportamiento. Estas variables no actúan de manera aislada, sino que están interrelacionadas, generando efectos compuestos sobre el desempeño del sistema. Factores como la masa del robot afectan su aceleración, el torque determina la capacidad de superar resistencias, la velocidad angular influye en la agilidad del movimiento, y el consumo energético refleja el costo total del sistema en funcionamiento.

Comprender cómo estas variables interactúan entre sí permite no solo cuantificar la eficiencia, sino modelarla con precisión y anticipar su evolución bajo distintos escenarios. Por tanto, resulta fundamental definir las y caracterizarlas dentro del marco del análisis multivariable, lo cual sienta las bases para los procedimientos de optimización posteriores. A

continuación, se presentan las principales variables que inciden directamente en la eficiencia mecánica de un robot de batalla de bajo peso

Tabla 1.

Variables que influyen en la eficiencia mecánica

Variable	Símbolo	Unidad	Función dentro del sistema
Masa del robot	m	kg	Afecta aceleración y consumo energético
Torque aplicado	τ	N·m	Indica esfuerzo rotacional
Velocidad angular	ω	rad/s	Determina rapidez de movimiento
Energía consumida	E	J	Representa el gasto energético

Fuente: Adaptado de Kim et al. (2022).

Una vez identificadas las variables que influyen en la eficiencia mecánica, es necesario contar con herramientas matemáticas que permitan analizarlas en conjunto. En este sentido, el análisis de funciones multivariantes proporciona un enfoque robusto para modelar sistemas complejos donde múltiples factores interactúan simultáneamente. Esta técnica permite expresar la eficiencia como una función de varias variables independientes, por ejemplo: $f(m, \tau, \omega, \alpha) = \eta$, Donde la eficiencia η depende de parámetros como la masa (m), el torque (τ), la velocidad angular (ω) y la aceleración (α). Para encontrar configuraciones óptimas de diseño, se aplican derivadas parciales que permiten identificar los puntos críticos (máximos, mínimos o de silla) del sistema. Adicionalmente, el uso del gradiente y la matriz Hessiana facilita la clasificación de dichos puntos, mientras que los métodos de optimización con restricciones, como los multiplicadores de Lagrange, permiten incorporar límites físicos o estructurales del sistema en el análisis.

Estas herramientas no solo permiten describir el comportamiento del sistema, sino también guiar el proceso de toma de decisiones en la etapa de diseño. En la siguiente tabla se resumen las principales herramientas del análisis multivariable y su aplicación específica en el contexto de la robótica de batalla:

Tabla 2. Aplicaciones del análisis multivariable en robótica

Herramienta matemática	Aplicación en robótica
Derivadas parciales	Cálculo de sensibilidad de la eficiencia

Gradiente (∇f)	Dirección de mejora más rápida
Matriz Hessiana	Clasificación de extremos (máx/mín/silla)
Representaciones gráficas 3D	Visualización de eficiencia en diseño

Fuente: Adaptado de Zhou et al. (2024).

Optimización con restricciones

El método de los multiplicadores de Lagrange se aplica cuando el diseño está sujeto a restricciones. Se formula como:

$$L(x, y, \lambda) = f(x, y) + \lambda(g(x, y) - c)$$

donde f es la eficiencia y g una función de restricción, por ejemplo: rigidez mínima o límite de masa.

Tabla 3

Ejemplos de restricciones comunes en diseño robótico:

Restricción	Ejemplo práctico
Rigidez mínima	El chasis debe resistir una carga de impacto
Límite de masa	El robot no debe exceder 1.36 kg (3 lbs)
Energía máxima por combate	20 Wh por ronda, según reglas del torneo
Torque máximo del motor	No superar 1.5 N·m para proteger engranajes

Adaptado de: (Avendaño Mancera, 2022).

Simulación computacional

Los modelos obtenidos pueden simularse en MATLAB o Python para obtener superficies de eficiencia, comparaciones de configuraciones y trayectorias energéticamente óptimas.

Tabla 4

Herramientas utilizadas en simulación robótica:

Software / Lenguaje	Aplicación específica
MATLAB	Optimización con restricciones, superficies 3D
Python (SciPy / NumPy)	Minimización numérica, graficación
ROS (Robot Operating System)	Simulación dinámica en entornos de prueba

System)

SolidWorks + SimMechanics

Evaluación estructural y cinemática

Adaptado de: (Valderrama, 2021); (Zhou, 2024).

Integración en diseño de robots de batalla

El análisis multivariable permite tomar decisiones desde la fase de diseño, como la ubicación del centro de masa, la distribución del torque, y la selección de componentes ligeros sin perder rigidez.

Tabla 5

Ventajas del enfoque multivariable en robótica de combate:

Ventaja	Impacto en el diseño robótico
Predicción del comportamiento mecánico	Mejora la confiabilidad sin prototipos costosos
Evaluación de múltiples variables	Permite balancear masa, fuerza y energía
Reducción de pruebas físicas	Ahorro de tiempo y materiales
Mayor rendimiento en combate	Robots más ágiles, resistentes y eficientes

Fuente : elaboración propia (2025)

METODOS Y MATERIALES

La presente investigación se desarrolló en la Universidad Tecnológica Indoamérica, ubicada en la ciudad de Ambato, Ecuador, durante el periodo comprendido entre marzo y junio del año 2025. El estudio respondió a un enfoque cuantitativo con diseño experimental-simulativo, orientado a optimizar la eficiencia mecánica en sistemas robóticos de bajo peso.

No se aplicaron criterios de muestreo ni se trabajó con poblaciones humanas, ya que el análisis fue completamente computacional. Las variables empleadas fueron seleccionadas a partir de estudios previos sobre robótica de combate y eficiencia energética, y comprenden: masa total del robot (m), torque aplicado (τ), velocidad angular (ω) y aceleración (α).

En primera instancia, se realizó una revisión bibliográfica sistemática en bases científicas como Scopus, Web of Science, arXiv y Google Scholar, seleccionando artículos publicados entre 2019 y 2024 relacionados con análisis multivariable, optimización con restricciones, eficiencia mecánica y diseño robótico.

Posteriormente, se definió una función multivariable que modela la eficiencia mecánica del sistema (η) en función de las variables señaladas. Se calcularon el gradiente ($\nabla\eta$) y la matriz

Hessiana, para localizar y clasificar extremos relativos. A continuación, se aplicó el método de los multiplicadores de Lagrange, lo cual permitió optimizar la eficiencia mecánica bajo restricciones prácticas: límite de masa (1.36 kg), límite de torque (1.5 N·m) y consumo energético máximo (20 Wh). La simulación de los modelos se llevó a cabo mediante programación en Python, utilizando las librerías SciPy y NumPy para realizar la optimización numérica, graficar curvas de nivel y generar superficies 3D de eficiencia. Para esta fase se empleó un computador de escritorio con sistema operativo Windows y arquitectura x64.

Por último, se definieron y simularon tres configuraciones estructurales distintas, con variaciones en las variables críticas, y se analizaron sus rendimientos en escenarios controlados que simulan trayectorias de combate. Los resultados se compararon con hallazgos de investigaciones similares, lo que permitió validar el modelo propuesto y verificar su coherencia teórica.

El artículo busca resaltar la importancia de los ensayos de compresión en la ingeniería civil ecuatoriana como una herramienta clave para garantizar la calidad y seguridad de las edificaciones, al mismo tiempo que aporta evidencia sobre el potencial uso de materiales alternativos para promover la sostenibilidad y economía en la construcción para lo cual los ensayos a compresión del hormigón son una prueba fundamental en la ingeniería civil, ya que permite verificar si este material posee la resistencia necesaria para soportar las cargas estructurales a las que será sometido. Según el American Concrete Institute (ACI 318-19), garantizar una adecuada resistencia del hormigón es vital para la estabilidad y seguridad de las construcciones, pues una baja resistencia puede comprometer su desempeño y durabilidad.

En Ecuador, estos ensayos están regulados por normas técnicas obligatorias que aseguran la calidad y confiabilidad de los resultados. La NEC-SE-HM (Norma Ecuatoriana de la Construcción – Hormigón Armado) establece los requisitos para el diseño y evaluación de estructuras de concreto, mientras que las normas NTE INEN 1573 y NTE INEN 1855 regulan la elaboración, curado y ensayo de los cilindros de prueba, garantizando que los resultados reflejen fielmente el comportamiento del material en obra (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2010; 2022). Para este estudio, se prepararon cilindros de hormigón siguiendo dichas normativas, realizando además mezclas con sustituciones parciales de materiales tradicionales por alternativas no convencionales permitiendo evaluar cómo dichas modificaciones afectan la resistencia del hormigón, explorando así opciones sostenibles que podrían ser útiles en futuras construcciones. La finalidad es comparar los resultados para saber si estos ensayos de cilindros a compresión son aptos para su trabajabilidad en el campo laboral o si serán descartados dependiendo de la obtención de datos obtenidos al final de dichos ensayos.

En este contexto, el artículo plantea el objetivo; Evaluar la resistencia del hormigón con materiales que sustituyan parte de los elementos que forman el hormigón y mediante el

ensayo de compresión verificar si cumple con la resistencia necesaria para la construcción de futuras edificaciones. Y para cumplir con esta aplicación de los siguientes específicos; Analizar las muestras de hormigón siguiendo la dosificación de cada material a utilizar; Determinar el nivel de resistencia del material de los resultados obtenidos en las pruebas y por último, Comparar los valores de un hormigón con sus materiales correspondientes y otro con un material sustituido. Para iniciar el desarrollo del artículo, es fundamental comprender algunos conceptos claves sobre el hormigón y los materiales que pueden ser utilizados como sustitutos en su composición. Esta investigación se centra en la elaboración y análisis de diferentes cilindros de hormigón, con el propósito de comparar su resistencia. Para sustentar teóricamente el estudio, se abordarán los componentes involucrados en la experimentación.

Hormigón

Es un material de construcción que es muy utilizado en la ingeniería civil ya que su alta maleabilidad, resistencia a la compresión, precios económicos hacen que sea un material ideal para la construcción de puentes, edificaciones. El hormigón está elaborado por cemento, arena, ripio, agua y aditivos a esto se lo conoce también como “CARAA” esta es una abreviación que se utiliza para simplificar y recordar los materiales de una manera más didáctica y eficiente para personas que no saben sobre el tema (Ferrovia, 2022). A continuación, se presenta una tabla con los componentes del hormigón, la cual permite conocer en detalle los elementos que lo conforman, así como las propiedades específicas de cada uno.

Tabla 1

Elementos que constituyen el hormigón

Elemento	Definición	Propiedades	Observaciones
Cemento	Proviene de la trituración de la piedra caliza hasta convertirlo en polvo	Resistencia a la compresión, durabilidad	Utilizar cemento de buena calidad
Arena	Es conocido como agregado fino	Estabilidad, relleno y compactación	Utilizar arena fina que no contenga escorias, limo, etc
Ripio	Es conocido como agregado grueso	Versatilidad, mejora la resistencia, drenaje eficiente	No utilizar ripio que venga de los ríos
Agua	Agua natural utilizada para mezclar y crear el hormigón	Pureza	Utilizar agua limpia
Aditivo	Químico para mejorar	Acelerante, retardante,	Utilizar aditivos según lo que

propiedades del impermeables se necesite
 hormigón

Nota: Esta tabla describe los elementos del hormigón para conocer más sobre su composición.

Luego de conocer sobre los elementos del hormigón y sus propiedades nos centraremos en temas netamente de la investigación los cuales son: dosificación de materiales, ensayo de compactación del hormigón, materiales nuevos.

Dosificación del Hormigón

“La dosificación del hormigón es el proceso de determinar las cantidades precisas de los materiales necesarios, para producir una mezcla de hormigón adecuada para una aplicación en particular” (Grupo Grasa, 2025).

Figura 1

Tabla de dosificación

Dosificación Hormigón por metro cúbico					
	Resist. Mpa	Cemento kg	Gravilla kg	Arena kg	Agua lt
		127,5	1010	980	195
5	H5	170	1025	910	195
10	H10	230	1055	835	195
15	H15	275	1070	800	195
20	H20	340	1095	715	200
25	H25	380	1120	645	200
30	H30	440	1145	585	200

Dosificación Hormigón por saco cemento					
	Resist. Mpa	Cemento kg	Gravilla kg	Arena kg	Agua lt
		1 saco	336	323	66
5	H5	1 saco	256	230	49
10	H10	1 saco	192	153	36
15	H15	1 saco	168	128	30
20	H20	1 saco	136	94	25
25	H25	1 saco	128	77	22
30	H30	1 saco	118	73	21

Fuente: [chilecubicahttps://www.chilecubica.com/estudio-costos/dosificaciones-de-hormigones-y-morteros/](https://www.chilecubica.com/estudio-costos/dosificaciones-de-hormigones-y-morteros/)

Factores en la dosificación del hormigón

Cuando se tiene la dosificación que se va a realizar debemos tener en cuenta diversos factores antes de su elaboración como la resistencia que se requiere para el tipo de estructura que se va a construir, los agregados finos y gruesos que son fundamentales para una buena dosificación ya que influye en la cantidad de agua, además tener en cuenta la relación agua/cemento debido a que debe estar equilibrada sino provocara que el hormigón este muy aguado o seco (Euroinova International Online Education, 2025).

“La dosificación adecuada permite que el hormigón alcance su máxima resistencia y durabilidad, así como asegura que se pueda trabajar y colocar de manera eficiente en la obra” (Euroinova International Online Education, 2025).

“En caso de que los resultados estén por debajo de los estándares, pueden adoptarse medidas correctivas antes de avanzar en la construcción, lo que contribuye a una mayor seguridad y eficiencia en los proyectos” (Caminos, 1969).

Impacto del hormigón

El uso de hormigón es simplificar el diseño de elementos estructurales con el propósito de crear infraestructuras sostenibles. Díaz-Merino et al. (2022) con lo que concuerda (Telrandhe, 2025). El creciente nivel de contaminación indica la necesidad de considerar el medio ambiente y tomar medidas para protegerlo a través del desarrollo sostenible. Hasta ahora no tiene sentido construir edificios que dañen nuestro ecosistema. Es decir; es importante considerar el medio ambiente tras el desarrollo sostenible en que no produzca un impacto negativo el hormigón.

Resistencia a la compresión

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción su elaboración debe tener una buena resistencia. Su esfuerzo de compresión es el parámetro en el que se basan los ingenieros civiles para la ejecución de proyectos de infraestructuras físicas. El ACI recomienda que el hormigón no se elabore en obra, sino fabricarse en empresas especializadas en el hormigón (Santamaría, Jorge L, Adame, Byron, & Bermeo, César, 2021).

Ensayo de compresión

La durabilidad de una estructura de hormigón es la capacidad de soportar para la cual es construida, las condiciones físico-mecánicas y químicas a las que va a estar expuesta sin producir rasgos de degradación, no solo en la masa de concreto, sino también en las armaduras de acero de refuerzo que se encuentran embebidas dentro de la misma (Toirac Corral, 2009).

Materiales del contexto

Una vez conocido sobre estos temas procederemos a explicar sobre lo que se realizara en el artículo. En este investigaremos materiales que reemplazaran elementos que constituyen el hormigón y analizaremos cuáles son sus resultados.

Materiales que sustituyen elementos del hormigón

Cemento

Un material que puede reemplazar al cemento portland son las “cenizas volantes” o “cenizas volcánicas” que son similares además reducen el CO₂ siendo un material que tiene impactos positivos como negativos para el medio ambiente. Según Blocks, (2024) “las cenizas volantes, mezcladas con cal y agua, crean un material duradero y resistente adecuado para la construcción de carreteras y elementos estructurales como columnas y vigas”.

Agregado fino (Arena)

Un material que reemplaza al agregado fino es las escorias de acero las cuales se utilizaron en para mejorar las propiedades mecánicas esto se investigó en la ciudad de lima, Perú ya que el material es abundante por ese sector ya que en sus alrededores existen fábricas de acero (Camarena Flores, Armando, & Díaz Garamendi, David, 2022).

Agregado grueso (Ripio)

Estudios han demostrado que la baldosa es un material que puede reemplazar al ripio en la elaboración de hormigones ya que tienes características similares. “Los agregados de

baldosas cerámicas son relativamente duros y tienen un valor sustancial de gravedad específica, absorción de agua ligeramente menor, densidad aparente y mayores huecos, valor de trituración, valor de impacto y valor de abrasión que la piedra triturada natural” (Paul et al., 2023).

Agua

El agua se puede reemplazar con cualquier líquido que una persona esté dispuesta a beber. La relación agua/cemento es necesaria para obtener hormigones resistentes para que sean utilizadas en infraestructuras para lo cual se debe conocer que provoca cambiar el agua por otro tipo de bebida (Fiallos-Lezcano et al., 2024).

Aditivos

Los aditivos son incorporados en el hormigón para darle una característica diferente dependiendo del aditivo que se use. En este apartado existen una gran variedad por lo cual no se puede proponer un aditivo convencional (Concreto, 2025).

La experimentación se enfocó en la sustitución del agregado grueso por baldosa y el agua por bebida alcohólica (switch) en el cual vamos a hacer comparaciones entre un hormigón normal y un hormigón echo con baldosa y bebida alcohólica

MÉTODOS MATERIALES

Este estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo y de tipo experimental, con el objetivo de analizar las propiedades mecánicas del hormigón convencional al realizar sustituciones parciales en su composición, específicamente en el agua de mezcla y el agregado grueso. La investigación fue realizada en el laboratorio del campus Santa Rosa de la Facultad de Ingenierías de la Universidad Indoamérica.

Para iniciar, se realizó una dosificación de 240 kg/cm², conforme a lo establecido en la Figura 1. La experimentación consistió en la elaboración de 6 cilindros de hormigón, de los cuales 2 fueron elaborados con mezcla convencional, mientras que en los otros 4 se introdujeron sustituciones de materiales.

- En 2 cilindros experimentales, se reemplazó el 40% del agua por bebida alcohólica (Switch).
- En los otros 2, se sustituyó el 60% del agregado grueso por baldosa reciclada.

Según lo recomendado por LoxamH (2025), durante la mezcla se buscó que "se mezclen perfectamente todos los elementos y vayan adquiriendo el mismo color".

La mezcla obtenida fue colocada en cilindros normalizados del campus, previamente recubiertos con aceite para facilitar el desencofrado. Luego del llenado, se utilizó un vibrador de hormigón para compactar la mezcla. Este procedimiento se repitió en cada muestra.

Tras el fraguado inicial, los cilindros fueron desencofrados a las 48 horas y posteriormente sumergidos en una piscina de curado, donde permanecieron durante 5 días.

Finalmente, fueron trasladados al laboratorio para ser sometidos al ensayo de compresión en la máquina universal.

A continuación, se detallan en tablas los equipos, herramientas y materiales empleados en la elaboración de los cilindros, así como las fases metodológicas que se aplicaron durante la experimentación.

Tabla 2

Equipos que se utilizaron para la experimentación

Equipos	Fotografía	Observación
6 cilindros		Cilindros utilizados para la experimentación divididos en: 2 cilindros para bebida alcohólica, 2 cilindros para baldosa, 2 cilindros para hormigón normal
Balanza Digital		Utilizada para pesar las cantidades de los materiales según la dosificación correspondiente
Vibrador de Hormigón		Utilizado para tener una mezcla homogénea del hormigón
Máquina de Compresión		Equipo que nos permitirá saber la carga que resistirán los cilindros después de 7 días

Nota: La siguiente tabla ilustra los equipos que se usaron en la experimentación con los cilindros

Las herramientas que se usaron en la experimentación fueron de gran ayuda al momento de hacer la mezcla de los hormigones ya que sin estas herramientas hubiera sido difícil hacer. Estas herramientas se encuentran detalladas en la tabla 3:

Tabla 3

Herramientas utilizadas en la experimentación

Herramientas	Fotografías	Para que se utilizo
Pala		Se utilizo para mezclar los materiales que constituyen el hormigón
Carretilla		Aquí se colocó los materiales para luego mezclar
Espátula		Utilizado para colocar el hormigón en los cilindros
Balde		Sirvió para pesar los distintos materiales

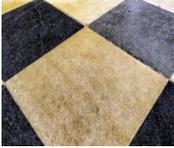
Nota: En la tabla se explica para que se utilizaron las herramientas en la elaboración de los cilindros

Los materiales que se utilizaron fue lo más esencial para esta experimentación ya que sin ellas no podríamos hacer el hormigón cabe detallar que si falta un material no se podría realizar la experimentación. Los materiales que se utilizaron están detallados en la tabla 4

Tabla 4

Materiales usados en la elaboración de los cilindros

Materiales	Fotografías
Cemento	
Arena	
Ripio	

Agua	
Bebida alcohólica (Switch)	
Baldosa	

Nota: En la tabla observamos los materiales que se usaron en la elaboración de los cilindros

Experimentación

Cilindros con bebida alcohólica

Fase 1: Calculo de áreas de los cilindros

Iniciamos midiendo las dimensiones del molde cilíndrico, en la cual obtuvimos un radio de 15 cm y una altura de 30 cm, valores que permitieron calcular el volumen del cilindro para posteriormente calcular la dosificación necesaria.

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$V = A * h$$

$$A = \frac{\pi * (0.15)^2}{4}$$

$$V = 0.0176 * 0.30$$

$$A = 0.0176 \text{ m}^2$$

$$V = 0.0053 \text{ m}^3$$

Desperdicio del 3%

$$V = 0.0053 \text{ m}^3 * 0.03$$

$$V = 0.00016 \text{ m}^3$$

Sumamos el volumen y el desperdicio y multiplicamos por 2

$$V = (0.0053 \text{ m}^3 + 0.00016 \text{ m}^3) * 2 \text{ cilindros}$$

$$V = 0.011 \text{ m}^3$$

Fase 2: Calculo de dosificación

Mediante una tabla de dosificación la que se encuentra en la Fig.1, calculamos una dosificación de 240 kg/cm². Además, realizamos un reemplazo del 60% de agua y 40% switch.

Tabla 5

Cálculos de dosificaciones

Cemento	Ripio	Arena
C=0.011 m ³ * 380	R=0.011 m ³ * 1120	A=0.011 m ³ * 645
C= 4.18 kg	R= 12.32 kg	A= 7.095 kg

Agua	Switch
Agua=0.011 m ³ *	
200	Switch (40%) = 2.2
Agua= 2.2 L	l*0.4
Agua (60%) = 2.2	Switch= 0.88 l
l*0.6	
Agua= 1.32 l	

Nota: En la tabla se observa los valores dosificados que se utilizaron para la elaboración de los cilindros de hormigón.

Fase 3: Pesaje de los materiales

Los materiales fueron pesados con una balanza y colocados en recipientes.

Tabla 6

Pesaje de los materiales para la experimentación

Material	Peso	Fotografía
Cemento	4.18 kg	
Arena	7.094 kg	
Ripio	12.36 kg	
Agua	1.356L	
Switch	0.884L	

Nota: Tabla demostrativa en la cual detalla los pesos de los materiales y sus respectivas fotos.

Fase 4: Experimento fase inicial

A los moldes le agregamos aceite en el interior para facilitar el desencofrado.

Tabla 7

Preparación de moldes

Fotografías



Nota: Aplicación de aceite en los moldes para desencofrar fácil.

En la carretilla colocamos los materiales anteriormente pesados. Se empezó a hacer la mezcla manualmente con una pala y espátula para tener una mezcla homogénea sin desperdiciar el material.

Tabla 8

Mezcla de los materiales

Fotografías



Nota: Mezclado de los materiales para la elaboración del hormigón.

Colocamos la mezcla en la probeta, con la varilla lisa compactamos la mezcla para que no se generen burbujas en el interior de la mezcla.

Tabla 9

Colocación del hormigón en los cilindros

Fotografías



Nota: Colocación del hormigón en los cilindros.

Fase 5: Experimentación fase final

Las probetas fueron dejadas en reposo por 3 días como fraguado inicial.

Tabla 10

Cilindros de hormigón

Fotografías



Nota: Proceso de encofrado del hormigón.

Luego de los 3 días, se procedió a desencofrar las probetas, para después colocarlas en la piscina de curado, donde permanecieron por 5 días bajo condiciones normales.

Tabla 11

Desencofrado

Fotografías



Nota: Desencofrado del hormigón y colocación en la piscina de curado.

Fase 6: Resultados en los ensayos de compresión

Finalmente, las probetas fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad Técnica de Ambato para realizar los ensayos de compresión. Aquí analizamos la resistencia que tendrá la probeta con su mezcla de switch.

Tabla 12

Pruebas en los cilindros

Fotografías



Nota: Ensayo de compresión en los cilindros con bebida alcohólica.

Cilindros con baldosa

Fase 1: Calculo de áreas de los cilindros con baldosa

Cálculo del área del cilindro para conocer cuanto material se va a utilizar.

$$Volumen = A * h$$

$$V = 0.0177m^2 * 0.30m$$

$$V = 0.00531m^3$$

Volumen de los 2 cilindros

$$V = 0.00531m^3 * 2$$

$$V = 0.01062m^3$$

Desperdicio

$$V = 0.01062m^3 * 0.03\%$$

$$V = 0.011m^3$$

Fase 2: Calculo de dosificación con baldosa

La dosificación se realizó utilizando la fig.1 con la cual se calculó los pesos que se necesitaran para hacer nuestros cilindros de hormigón.

Tabla 13

Tabla de dosificación con baldosa

Cemento	Arena	Ripio (40%)
$C=0.011 m^3 * 380$	$A=0.011 m^3 * 645$	$R=0.011 m^3 * 1120$
C= 4.18 kg	A= 7.095 kg	R= 12.32 kg
		$R (40\%) = 12.32*0.4$
		R= 4.928
Baldosa (60%)	Agua	
$B= 12.32 kg * 0.6$	$Agua=0.011 m^3 * 200$	
B= 7.392	Agua= 2.2 L	

Nota: Tabla de dosificación con el 60% de baldosa

Fase 3: dosificación de los materiales y preparación del hormigón

La dosificación que se realizó con los cilindros de baldosa fue de 4,18kg de cemento, 7,095kg de arena, 4,929kg de ripio con un porcentaje de 40% y 7,392kg del 60% y el agua con 2,2 L. Luego se procedió con la mezcla de los materiales para llenar en los cilindros preparados con antelación. El desencofrado se hizo a los 3 días y el curado fue de 7 días. Esto para los dos cilindros de baldosa su color al momento de llevar al ensayo de compresión era de gris oscuro.

Fase 4: Proceso de curado y endurecimiento

Procederemos a colocar los cilindros en la piscina de curado para luego sacarlos y llevar a los laboratorios para su respectivo ensayo de compresión.

Tabla 14

Curado de los cilindros de baldosa

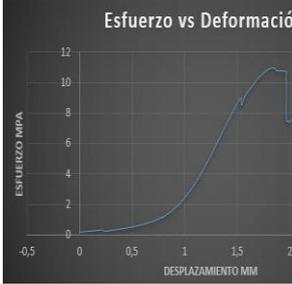
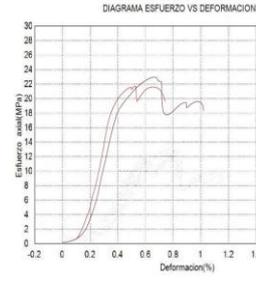
<p>Proceso de endurecimiento y curado</p>	 <p>Curado en la piscina</p>	 <p>Desaloje del agua de la piscina</p>	 <p>Color despues de los cilindros</p>
---	--	--	--

Nota: Curado de los cilindros antes de su prueba de compresión.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 15

Valores de los tres tipos de cilindros

Cilindros alcohólica	bebida	Cilindros Baldosa	Cilindros hormigón
Cilindro 1		Cilindro 1	Cilindro 1
			
Fuerza Máxima (KN)		Fuerza Máxima (KN)	Fuerza Máxima (KN)
5.45		194	386.8
Esfuerzo máximo (MPa)		Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)
0.308		11	21.88
Tiempo hasta la falla		Tiempo hasta la falla	Tiempo hasta la falla
5.84		47.07	52.02
Diagrama		Diagrama	Diagrama
			
Cilindro 2		Cilindro 2	Cilindro 2



Fuerza Máxima (KN)	Fuerza Máxima (KN)	Fuerza Máxima (KN)
5.16	199	393.3
Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)	Esfuerzo máximo (MPa)
0.292	11.3	22.26
Tiempo hasta la falla	Tiempo hasta la falla	Tiempo hasta la falla
8.08	48.27	54.78
Diagrama	Diagrama	Diagrama

Nota: Representación de los desplazamientos de los distintos valores de los cilindros.

Durante los ensayos a compresión de los cilindros de hormigón con las mezclas tantos normados como de diferentes componentes se analizaron los resultados arrojados por la máquina de compresión, como era de suponerse los resultados para los cilindros de mezcla con alcohol fueron por debajo de lo estimado: 0.308 MPa y 0.292 MPa debido a que se utilizó el 40% alcohol quitando su resistencia normada, mientras que para los cilindros de mezcla con baldosa fueron considerados como una mezcla buena ya que obtuvimos resultados de: 11 MPa y 11.3 MPa por su componente de buena resistencia, gracias a estos análisis nosotros podemos entender el por qué siempre se realizan ensayos de los materiales a usar para considerar si son lo suficientemente buenos antes de ser utilizados en construcción y saber que materiales debemos usar con su cantidad adecuada para cumplir el objetivo de alcanzar máximas resistencias con una buena durabilidad.

De acuerdo con el ensayo de comprensión de los cilindros de hormigón sustituyendo un 40% de agua por 60% de alcohol obteniendo 0.308 MPa y 0.292 MPa hemos analizado las bebidas alcohólicas en el hormigón no son recomendable ya que afectan el proceso de hidratación provocando disminución en su resistencia. Es importancia conocer cada etapa al momento de realizar hormigón en el proceso de hidratación, ocurren reacciones químicas en el cemento. La resistencia del hormigón y su durabilidad dependerán de las reacciones que se produzcan (Villegas, E. X. S., Niacato, A. M. V., Lagos, S. M. E., & Romero, D. R. F., 2023). Acorde a Lezcano, J. a. F., Veliz, M. M. R., & Mera, J. C. G, (2024) “La relación agua/cemento (a/c) es un factor importante para la resistencia del hormigón ya que influye varios factores importantes al momento que el agua actúe en el curado del hormigón tradicional”.

Los resultados experimentales arrojados del cilindro realizado con cerámica implementándolo en una mezcla con el 60% de baldosa arrojando una resistencia de 11 MPa y 11.3 MPa a compresión, tomando en cuenta que este resultado de igual forma es bajo en comparación a la resistencia mínima que se debe cumplir con un cilindro convencional ensayado a los 7 días, se puede observar que lanza valores más altos que el cilindro en donde se utilizó bebida alcohólica, adicionalmente se han tomado en cuenta 2 puntos de vista de diferentes autores en donde experimentan con varios porcentajes de cerámica empleada en la mezcla para ver su comportamiento a compresión: Los autores Medina Barca y Montenegro Gonzales resaltan que el porcentaje óptimo sería de un 15% el cual alcanza valores de resistencia superiores a 21Mpa, sin embargo hasta con un porcentaje del 20% la resistencia del hormigón no se ve afectada (Medina Barca y Montenegro Gonzales, 2024), si esta discusión se compara con la de la Universidad de Cuenca aquí su análisis está más centrado a implementar el 100% de baldosa lo cual resulta negativo en su resistencia arrojando datos menores al 15% de la resistencia mínima del hormigón (Mora, 2014), finalmente la referencia de Moreno Anselmi resalta que al implementar porcentajes entre el 25% y el 50% esta vez cambiando el agregado por un bloque de arcilla triturado los resultados fueron aceptables dando valores mayores a 18 Mpa, aunque experimentaron con porcentajes del 75% y el 100% los resultados fueron bajos y poco aceptables (Luis Moreno, Miguel Ospina y Kelly Rodríguez, 2019), en conclusión se considera que el ensayo realizado por el grupo de estudiantes faltó realizarlo con más porcentajes de baldosa ya que tomando en cuenta las discusiones de estos 3 autores se puede llegar a conocer qué porcentaje de agregado reciclado sería mejor implementar en la mezcla comparando entre varios cilindros que contienen varias cantidades de agregado para llegar a la resistencia deseada del hormigón sin dejar de lado la normativa correspondiente, además los porcentajes más acertados que no afectan tanto el comportamiento mecánico estaría entre el 15%-20%, aunque se mencione también que el 50% es aceptable se considera que este porcentaje abarca un mayor grado de error como se puede comprobar con el ensayo realizado en grupo utilizando el 60% y resultando en valores bajos en la resistencia.

CONCLUSIÓN

Mediante el ensayo de compresión se determinó que la dosificación con un porcentaje de 40% de bebida alcohólica (switch) y un 60% de agua da una resistencia de 0.308 MPa y 0.292 MPa a comparación de la dosificación de hormigón tradicional que arroja una resistencia de 21.88 MPa y 22.26 MPa esto demuestra que el alcohol impide una hidratación adecuada en el cemento.

Mediante el ensayo de compresión se determinó que la dosificación con un porcentaje de 60% de baldosa y un 40% de agregado grueso da una resistencia de 11 MPa y 11.3 MPa a comparación de la dosificación de hormigón tradicional que arroja una resistencia de 21.88 MPa y 22.26 MPa esto demuestra que la baldosa triturada tiene un efecto mixto ya que puede mejorar la adherencia por su rugosidad, pero también disminuye la resistencia.

Se determino mediante el análisis comparativo que la mezcla de cilindros con alcohol y cilindros tradicionales demuestra la importancia del estudio de materiales antes de ser utilizados en ensayos a compresión ya que con esto aseguramos la seguridad cuando se desea construir.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Blocks, A. P. C. & F. (2024, 2 octubre). 10 Eco-Friendly Alternatives to Traditional Concrete. Fox Blocks. <https://www.foxblocks.com/blog/eco-friendly-concrete>
- Caminos, D. (1969). Informes de la Construcción Vol. 22, no 212. El Control Efe Calidad de Los Hormigones a Través de Los Ensayos de Probetas a Compresión Simple, 22.
- Camarena Flores, Armando, & Díaz Garamendi, David. (2022). Análisis comparativo de la resistencia a la compresión, flexión y trabajabilidad del concreto tradicional versus un concreto utilizando escoria de acero como agregado fino. Gaceta Técnica, 23(1), 20-34. Epub 20 de julio de 2022. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.3>
- Concreto, P. (2025, 22 mayo). Aditivos para concreto: claves para aumentar el desempeño de tu elemento. PSI CONCRETO. <https://psiconcreto.com/aditivos-para-concreto/>
- Delicia, H. L. F. (2024). Aplicación de residuos cerámicos como agregados para la producción de concreto. <https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13098>
- Díaz-Merino, Liseth, Altamirano Tocto, Luis Fernando, & Muñoz Pérez, Sócrates Pedro. (2022). Uso De Materiales Ligeros Para La Producción De Hormigón De Baja Densidad: Una Revisión Literaria. Revista hábitat sustentable, 12(1), 90-101. <https://dx.doi.org/10.22320/07190700.2022.12.01.06>
- Euroinnova International Online Education. (2025, 7 julio). Dosificación del hormigón. <https://www.euroinnova.com/profesiones-y-oficios/articulos/dosificacion-hormigon>
- Fiallos-Lezcano, J., Rodríguez-Veliz, M., & Guerra-Mera, J. (2024). Incidencia de la relación agua cemento en la resistividad del hormigón. Polo del Conocimiento, 9(2), 710-724. https://www.researchgate.net/publication/378304202_Incidencia_de_la_relacion_agua_cemento_en_la_resistividad_del_hormigon
- Grasa, G. (2025, 20 marzo). El hormigón: tipos y dosificación. GrupoGrasa. <https://grupograsa.es/que-es-el-hormigon-tipos-y-dosificacion/#:~:text=La%20dosificaci%C3%B3n%20del%20hormig%C3%B3n%20es,incluso%20en%20una%20falla%20estructural>.
- Hormigón: qué es, cómo se hace, tipos y beneficios - Ferrovial. (2022, 22 septiembre). Ferrovial. <https://www.ferrovial.com/es/recursos/hormigon/>
- Ingeniería Civil Ambiental, E. (s/f). Universidad católica santo toribio de mogrovejo. Edu.pe. Recuperado el 4 de agosto de 2025, de https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/6793/1/TL_SanchezMedinaEdwin.pdf
- Lezcano, J. a. F., Veliz, M. M. R., & Mera, J. C. G. (2024). Incidencia de la relación agua cemento en la resistividad del hormigón. Fiallos Lezcano | Polo Del Conocimiento. <https://doi.org/10.23857/pc.v9i2.6551>
- LoxamH. (2025, 2 enero). Todo lo que necesitas saber para hacer hormigón (correctamente).

- LoxamHune. <https://www.loxamhune.com/hacer-hormigon-correctamente>
- Paul, S. C., Faruky, S. A. U., Babafemi, A. J., & Miah, M. J. (2023). Eco-friendly concrete with waste ceramic tile as coarse aggregate: mechanical strength, durability, and microstructural properties. *Asian Journal Of Civil Engineering*, 24(8), 3363-3373. <https://doi.org/10.1007/s42107-023-00718-x>
- Santamaría, Jorge L, Adame, Byron, & Bermeo, César. (2021). Influencia de la calidad de los agregados y tipo de cemento en la resistencia a la compresión del hormigón dosificado al volumen. *Revista Digital Novasinerгия*, 4(1), 91-101. Epub 01 de junio de 2021. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.05>
- Telrandhe, S. (2025, 2 mayo). Why is Concrete Harmful to the Environment? - Top 5 Solutions. Sakshi Chem Sciences Pvt Ltd. <https://www.sakshichemsciences.com/why-is-concrete-harmful-to-the-environment/>
- Toirac Corral, J. (2009). La resistencia a compresión del hormigón, condición necesaria pero no suficiente para el logro de la durabilidad de las obras. *Ciencia y Sociedad*, XXXIV(4), 463-504. <https://www.redalyc.org/pdf/870/87014516001.pdf>
- Villegas, E. X. S., Niacato, A. M. V., Lagos, S. M. E., & Romero, D. R. F. (2023). Incidencia del tipo de agua y curado en las propiedades del hormigón. *LATAM Revista Latinoamericana De Ciencias Sociales Y Humanidades*, 4(2). <https://doi.org/10.56712/latam.v4i2.1028>
- (S/f-b). Scielo.cl. Recuperado el 4 de agosto de 2025, de <https://www.scielo.cl/pdf/ingeniare/v27n4/0718-3305-ingeniare-27-04-635.pdf>

CONFLICTO DE INTERÉS:

Los autores declaran que no existen conflicto de interés posibles.

FINANCIAMIENTO

No existió asistencia de financiamiento de parte de pares externos al presente artículo.

NOTA:

El articulo no es producto de una publicación anterior