



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA CIVIL**

Optimización del diseño de una columna de concreto armado  
mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

**AUTORES:**

Neyra Julcamoro, Noemi Lidia ([orcid.org/ 0000-0003-3333-7120](https://orcid.org/0000-0003-3333-7120))

Cabanillas Jave, Juan Aldahir ([orcid.org/ 0000-0002-8775-968X](https://orcid.org/0000-0002-8775-968X))

**ASESOR:**

Mg. Noriega Vidal, Eduardo Manuel ([orcid.org/ 0000-0001-7674-7125](https://orcid.org/0000-0001-7674-7125))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño Sísmico y Estructural

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Innovación tecnológica y desarrollo sostenible

**TRUJILLO — PERÚ**

**2023**

## **Dedicatoria**

Primeramente, a Dios, por concederme la vida, la salud y la oportunidad de seguir esta carrera profesional. A mis padres, Noemí Julcamoro Fernández y Celestino Feliberto Neyra Nayra por la confianza puesta en mí, y por apoyarme siempre en mis metas a pesar de todo. También a mis hermanos: Anita, por el apoyo condicional e incondicional que me ha brindado, e Isaac, por su paciencia conmigo. A mi coneja Pompisita, por ayudarme en mi estabilidad mental. Al Mg. Eduardo Noriega, por inculcarme y guiarme en el desarrollo de esta investigación

**NOEMI LIDIA NEYRA JULCAMORO**

Hoy cuando Concluyó mis estudios, dedico este logro a mis amados padres, Juan Cabanillas Centurión, Graciela Jave Pichén como una meta más conquistada y agradecerles por estar a mi lado en esta meta tan importante para mí. A mis hermanos Auria Saavedra Jave, Nolberto Cabanillas Jave por siempre darme esos ánimos de seguir adelante y que con perseverancia y actitud, todo se puede lograr. A mí pequeña Hija Aylén Cabanillas Cabanillas por darme esos motivos de seguir adelante y nunca rendirme. Al Mg. Eduardo Noriega por su tiempo y dedicación para el desarrollo de esta investigación.

**JUAN ALDAHIR CABANILLAS JAVE**

## **Agradecimiento**

Expresar mi mayor agradecimiento a mi asesor Mg. Eduardo Noriega Vidal, por impulsarme y alentarme a realizar esta investigación “Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ”, a mi hermana Anita Neyra Julcamoro por su apoyo incondicional durante toda la investigación, y a los profesionales que me acompañaron, ayudaron y aconsejaron en esta investigación:

- Mg. Marisol Contreras Quiñonez
- Ing. Rober Grandez Chappa
- Ing. Luis Manuel Arévalo del Castillo
- Ing. Julio Victor Cabanillas Sánchez
- Ing. José Carlos Herrera Álvarez

**NOEMI LIDIA NEYRA JULCAMORO**

Agradezco a Dios por darme salud y poder cumplir mi sueño más anhelado de culminar la carrera de ingeniería civil, seguidamente a mis padres que estuvieron conmigo los días difícil en las horas de mis estudios y siempre fueron mis mejores guías de vida. Doy gracias a mi asesor, Mg Eduardo Noriega Vidal por su paciencia y constancia para guiarnos en esta etapa tan importante para mí, y así poder lograr este proyecto. A todos los docentes por todas sus enseñanzas.

**JUAN ALDAHIR CABANILLAS JAVE**

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	3
III. METODOLOGÍA .....	16
3.1 Tipo y diseño de investigación .....	16
3.2 Variables y operacionalización: .....	17
3.3 Población, muestra y muestreo .....	20
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	21
3.5 Procedimientos .....	21
3.6 Desarrollo de las columnas .....	22
3.7 Código .....	40
3.8 Método de análisis de datos .....	48
3.9 Aspectos éticos .....	48
IV. RESULTADOS .....	49
4.1. Costo .....	49
4.2. Características Geométricas .....	51
4.3. Relación Cuantía, Resistencia a la compresión y el costo .....	51
4.4. Cuantía Óptima .....	52
4.5. Resistencia a la compresión .....	53
V. DISCUSIÓN .....	54
VI. CONCLUSIONES .....	57
VII. RECOMENDACIONES .....	59
Referencias .....	60
ANEXOS .....	65

## Índice de tablas

<b>TABLA 1.</b> ÁREAS Y DIÁMETROS DE DE BARRAS DE ACERO COMERCIALES.....	25
<b>TABLA 2.</b> CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS OPTIMIZADAS MEDIANTE SIMULATED ANNEALING .....	51

## Índice de figuras

<b>ILUSTRACIÓN 1.</b> MUROS ESTRUCTURALES .....	5
<b>ILUSTRACIÓN 2.</b> ORDEN CRONOLÓGICO DE LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN .....	12
<b>ILUSTRACIÓN 3.</b> DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	16
<b>ILUSTRACIÓN 4.</b> VISTA EN PLANTA DE UBICACIÓN DE TIPOS DE COLUMNAS Y SUS ÁREAS TRIBUTARIAS.....	22
<b>ILUSTRACIÓN 5.</b> VISTA GEOMÉTRICA DE LA COLUMNA 0.25M * 0.25M .....	26
<b>ILUSTRACIÓN 6.</b> VISTA GEOMÉTRICA DE LA COLUMNA 0.25M * 0.25M .....	31
<b>ILUSTRACIÓN 7.</b> DIAGRAMA DE INTERACCIÓN 2 CON DIFERENTES PROFUNDIDADES DEL EJE NEUTRO. ....	31
<b>ILUSTRACIÓN 8.</b> PUNTOS NOTABLES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN DIAGRAMA DE INTERACCIÓN.....	32
<b>ILUSTRACIÓN 9.</b> VISTA REFUERZO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL EN COLUMNA DE 0.25M * 0.25M .....	34
<b>ILUSTRACIÓN 10.</b> ALGORITMO DONDE SE INGRESÓ EL CÓDIGO PHYTON.....	35
<b>ILUSTRACIÓN 11.</b> OPTIMIZACIÓN DEL COSTO DE LA COLUMNA DE CONCRETO MEDIANTE EL SIMULATED ANNEALING.....	49
<b>ILUSTRACIÓN 12.</b> FLUJOGRAMA DEL ALGORITMO SIMULATED ANNEALING USADO. ....	50
<b>ILUSTRACIÓN 13.</b> RELACIÓN CUANTÍA, COMPRESIÓN Y COSTE.....	51
<b>ILUSTRACIÓN 14.</b> CUANTÍA ÓPTIMA DE ACERO EN PORCENTAJE CONSEGUIDO. ....	52
<b>ILUSTRACIÓN 15.</b> RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN ÓPTIMA. ....	53

## Resumen

El presente proyecto de tesis aborda el problema de optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing, haciendo uso de tecnología de última generación para encontrar los mejores valores, de modo que las columnas evaluadas puedan tener la más óptima resistencia, el mínimo costo total, y un menor tiempo de cálculo comparado al diseño tradicional.

Las columnas evaluadas en esta investigación fueron columnas centrales. Gracias al algoritmo desarrollado se pudo encontrar los mejores valores para el área base, altura, resistencia al concreto y la cuantía, asumiendo únicamente el área tributaria como dato. Además, el algoritmo desarrollado nos brinda el costo total que tendrá la columna en un corto tiempo.

Como ejemplo práctico se analizó una columna con área tributaria de 42tn, donde el algoritmo nos mostró a una columna de 0.25m\*0.25m como la opción más óptima, con una resistencia al concreto de 210kg/cm<sup>2</sup> y con 4 barras longitudinales de 5/8". Todos estos parámetros están dentro de lo estipulado por la norma, como su cuantía a 1.2% y su precio de S/. 197.00. Así obtuvimos un diseño óptimo y económico.

Esta investigación es de tipo teórica, sin embargo, con el uso de la tecnología desarrollada puede ser en un futuro fácilmente llevada a la práctica.

**Palabras clave:** Optimización, Simulated Annealing, columna, diseño.

## **Abstract**

The present thesis project addresses the optimization problem, making use of state-of-the-art technology to find the best values, so that the evaluated columns can have the most optimal strength, the minimum total cost, and a shorter design time compared to the traditional design.

The columns evaluated in this research were central columns. Thanks to the algorithm developed, it was possible to find the best values for base area, height, concrete strength and amount, assuming only the tributary area as data. In addition, the algorithm developed gives us the total cost that the column will have in a short time.

As a practical example, a column with a tributary area of 42tn was analyzed, where the algorithm showed a 0.25m\*0.25m column as the most optimal option, with a concrete strength of 210kg/cm<sup>2</sup> and with 4 longitudinal bars of 5/8". All these parameters are within the stipulations of the standard, as well as its amount at 1.2% and its price of S/. 197.00. Thus, we obtained an optimal and economical design.

This research is theoretical, however, with the use of the developed technology it can be easily put into practice in the future.

**Keywords:** Optimization, Simulated Annealing, column, design.

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las técnicas de optimización estructural han tenido un aumento constante en el número de investigaciones realizadas; a su vez el uso de técnicas de mayor complejidad, el intercambio de conocimiento entre campos científicos anteriormente considerados incompatibles, el acopio de gran número de información de importancia científica; y la continua transferencia de conocimiento entre investigadores, ha hecho de las técnicas de optimización estructural cada vez mejores. En la actualidad el desarrollo de aquellas técnicas se ha convertido en casi constante, a diferencia de hace varios años donde el desarrollo no era común de ver. La optimización, de forma general, persigue la premisa de señalar cuantitativamente y cualitativamente cuál es la mejor respuesta a un problema, siempre bajo criterios objetivos y científicos.

Además, este proceso permite examinar muchas opciones en un tiempo más corto, gracias a que todo el cálculo hecho a partir de una variable lo hace un algoritmo matemático; contrario al diseño tradicional donde quien diseña solo podrá comparar 2 o 3 alternativas y no tendrá la seguridad de haber escogido la mejor. (Lapadula, 2014)

Evidentemente, el análisis de esos factores constituye un arduo trabajo para los especialistas, estos han trabajado para encontrar formas de optimizar este análisis para equilibrar todos los valores de la mejor manera posible porque diseñar una columna involucra factores complicados. Dicho de otro modo, alude al predimensionado de una columna, lo que implica conocer las dimensiones aproximadas que pueden soportar la carga aplicada. Antes de pasar al diseño detallado, el predimensionado tiene como objetivo dar una idea general de las dimensiones de la columna. (Qian Wang & Linfeng Mei, 2021)

En la actualidad, para realizar un proyecto es muy recomendado seguir un proceso de optimización donde se encontrará los mejores valores para el diseño de las estructuras con el menor costo total. La sostenibilidad del proyecto es el término utilizado para describir esta idea. La eficiencia de la construcción y la reducción de costos son dos objetivos de la optimización de la construcción. La técnica de optimización conocida como "pre dimensionamiento de columnas" se utiliza para establecer las dimensiones aproximadas de una columna antes de pasar al diseño

detallado. El pre dimensionamiento tiene como objetivo optimizar el análisis de los factores que influyen en el diseño de la columna y obtener una idea aproximada de las dimensiones que tendrá la columna. (R. Rackwitz , A. Lentz, & M. Faber , 2005)

Por tanto, bajo estas premisas se plantea el siguiente problema general: ¿Cómo es la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing? Con la ejecución de este proyecto se busca optimizar el diseño de una columna de concreto armado por medio de algoritmos heurísticos, este permite a los ingenieros actuales verificar si el diseño es el más adecuado usando inteligencia artificial, con lo ya mencionado como justificación general. Por otro lado, la justificación teórica se menciona a continuación: la optimización del diseño de una columna de concreto armado, procura concientizar a los constructores acerca de la inseguridad estructural de una columna no diseñada para resistir fuerzas sísmicas, y la importancia de la optimización en el diseño.

Con lo planteado anteriormente, y justificando nuestro estudio se podría inferir que, de no llevarse a cabo esta investigación no se daría más información sobre la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el uso de algoritmos heurísticos. Además, se debe destacar con la justificación metodológica que el algoritmo Simulated Annealing usado para la investigación sigue la premisa de encontrar el óptimo global, por lo que se procura que la información generada sea de importancia para futuras investigaciones sobre optimización mediante algoritmos heurísticos.

Tomando en cuenta que nuestro objetivo general será realizar la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing; por consiguiente, nuestros objetivos específicos serán determinar el costo de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing, determinar la cuantía óptima de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing, y, determinar la resistencia a la compresión de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

En tal caso nuestra hipótesis sería: El algoritmo de Simulated Annealing podría optimizar el diseño de una columna.

## II. MARCO TEÓRICO

El concreto es un material resultado de una mezcla adecuada de cemento, arena, aire, piedra y agua. Sus componentes lo dotan de una dureza y resistencia semejantes a la piedra, pero a diferencia de ella, el concreto es un material moldeable de acuerdo a las dimensiones requeridas, es por eso que se usan formas o encofrados para cumplirlas. En el mortero, el agua y el cemento reaccionan químicamente con la piedra y la arena haciendo de toda la mezcla una masa sólida. Las proporciones entre partículas de diferentes materiales influyen en la resistencia del hormigón, por lo que de acuerdo al diseño de mezclas usado se obtendrá un resultado diferente. Sin embargo, este factor no es el único determinante en la resistencia, factores como el método y la eficiencia del curado juegan también un rol muy importante. Es sabido que el concreto es un material de gran resistencia a las fuerzas de compresión, por otro lado, su resistencia es muy baja al enfrentarse a fuerzas de tracción y flexión. Es por este motivo que el acero se une al concreto para complementarse entre sí y entre ambos resistir todos los esfuerzos requeridos. menciona que en ocasiones se utilizan elementos cuyas secciones tienen unas dimensiones superiores a las necesarias para resistir las cargas que se les imponen, ya sea por motivos arquitectónicos o funcionales. A medida que disminuye la cantidad de refuerzo, el momento crítico se eleva por encima de la resistencia nominal de la sección. Estos fallos son repentinos y frágiles, y se producen cuando se supera el momento crítico. Para evitarlo, es práctico especificar una cantidad mínima de acero que asegure que el momento crítico de la sección sea mayor que su momento resistente. (Ortega, 2014)

(Yurisleidy, 2017) objetó que en el trayecto de optimización el paso fundamental es la formulación del problema matemáticamente. Solo si este proceso se realiza con la exactitud debida, se obtendrá una respuesta correcta; es aquí donde el papel del ingeniero sobresale. Aunque el conocer muchos métodos de optimización es importante, no lo es tanto, como el conocer a profundidad el problema a resolver, y dominar el conocimiento de todo el componente, ya que esto permitirá evaluar apropiadamente las invariables del problema.

El problema de diseño implica muchas variables dependientes e independientes; por tanto, el proceso de diseño es iterativo y requiere mucho tiempo. Por estas razones, los investigadores han estado explorando diferentes técnicas de optimización para reducir el tiempo de cálculo, y minimizar el coste total de la construcción. (Stochino & Lopez Gayarre, 2019)

En la actualidad el uso de algoritmos complejos es comúnmente visto en los métodos de optimización estructural existentes, a pesar de ello estos métodos no son aplicados en un gran porcentaje de proyectos estructurales, pues la complejidad de los algoritmos, la especialización y capacitación requerida para operarlos no es muy popular entre quienes diseñan estructuras. En el Perú, diferentes publicaciones que hablan en torno a optimización estructural, se han dedicado a su análisis con el fin de reducir el peso y el costo de la estructura; sin embargo, sus resultados se han restringido a simples casos teóricos y en su metodología se hizo siempre uso de algoritmos complejos. (La Torre, 2018)

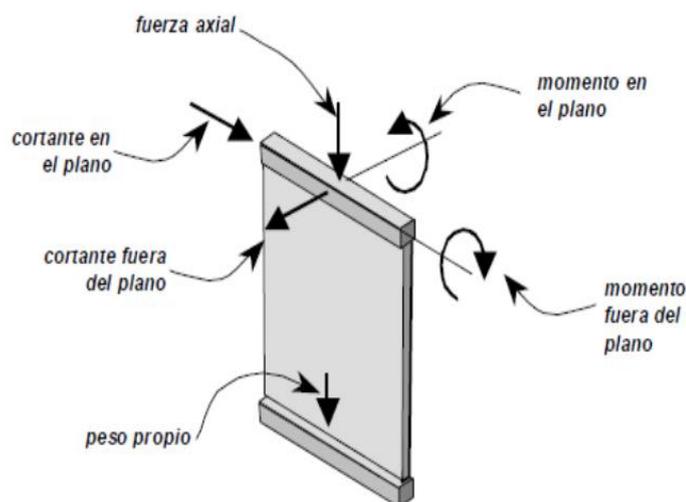
El ingeniero peruano (Noriega, 2021) sostuvo mediante su tesis, que el uso del algoritmo Simulated Annealing para el análisis de 15602 vigas pudo definir la geometría de los distintos modelos para su análisis y posterior implementación. Por medio del algoritmo usado (Simulated Annealing) que evaluó la optimización en el diseño de la viga, y haciendo las verificaciones con el uso de la norma ACI 318-19, logró reducir el costo, perfeccionar las características geométricas y obtener la más óptima relación entre la resistencia a la compresión y el costo. Asimismo, argumentó que la constante evolución en la tecnología hace posible la también constante generación de nuevas oportunidades, en ese sentido podemos asegurar que futuros estudios serán visiblemente ayudados por la inteligencia artificial y las facilidades que ésta te brinda, sobre todo en lo que respecta a la optimización del diseño en vigas de concreto.

Todos los componentes del concreto armado que integran el sistema estructural antisísmico, obedecen con lo establecido en la Norma Técnica E.060 Concreto Armado del RNE. (Congreso de la República del Perú, 2019)

**Muros estructurales:** Es el sistema en donde los muros estructurales proporcionan la resistencia a los sismos de la estructura, y sobre ellos actúa cuando menos el 70% de la fuerza cortante del apoyo. (E.060)

Los muros estructurales o muros cortantes, son elementos hechos a base de concreto armado con una altura de grandes dimensiones, en comparación a su ancho intermedio y su pequeño grosor. Este diseño está hecho especialmente para repeler el conjunto de momentos de flexión, fuerzas cortantes y fuerzas axiales de la manera que lo muestra la Ilustración 1. Muros estructurales . Los muros estructurales son dotados de una rigidez perceptible en la dirección de su plano gracias a la concepción geométrica, por lo tanto, si se ubica en una distribución coherente en una estructura, puede proveerse de una cuantiosa resistencia además de una elevada rigidez y ductilidad. Asimismo, desde la perspectiva arquitectónica contribuye a un mejor empleo de los espacios, (Simón, Jorge, & José, 2017)

**Ilustración 1.** Muros estructurales



**Nota.** Figura extraída del ACI 318-14

**Dual o Mixta:** En este sistema estructural, es la combinación de pórticos y muros lo que resiste ante las acciones sísmicas. En este caso la fuerza cortante tomada por los muros es mayor al 20% pero menor del 70% de la fuerza cortante de la base. (E.060)

**Edificaciones de muros de Ductilidad Limitada (EMDL):** En este modelo estructural son los muros de hormigón los cuales resisten la carga sísmica. Estos muros son de un limitado grosor en donde no se construye bajo el sistema de extremos confinados, sino bajo estructuras de muros portantes en los que el refuerzo vertical se dispone en una sola hilera. Este sistema tiene la limitación de no poder construir más de 8 pisos, siendo este el máximo alcanzable. (E.030)

**Sistema de pórticos:** En este sistema son las columnas de los pórticos los que resisten la carga sísmica, siendo al menos el 80% de la fuerza de la base la que actúa sobre ellas. Si en caso se construyen muros estructurales, estos no son más que para resistir una pequeña fracción de la fuerza total. (E.030) (Congreso de la República del Perú, 2019)

Luego de lo detallado anteriormente, se puede deducir la importancia de las columnas en el sistema, por lo que es importante considerar sus características:

#### **Columnas:**

Estos elementos estructurales pueden clasificarse por diversos factores: como su forma, función, material, o su ubicación en la estructura.

De acuerdo a este último se pueden clasificar como:

1. Esquinas: Como su mismo nombre lo indica, son las que se encuentran en las esquinas o vértices de la estructura.
2. Medianeras: Usualmente estas columnas se ubican en los puntos medio de las aristas de la estructura y entre dos columnas esquinas.
3. Centrales: Este tipo de columnas es especial y particular, pues se encuentra en el centro de la estructura; es por ello que columnas de este tipo son las que soportan más las cargas axiales en comparación al resto de columnas existentes. Por ello, en su construcción es de vital importancia un buen cálculo de su diseño. (M. Adams, Buitrago, Bertolesi, Sagasetta, & J. Moragues, 2020)

La fuerza que soporte la columna, es directamente proporcional al área que le corresponde. Este concepto es explicado bajo el siguiente término:

#### **Área tributaria:**

El área tributaria es un área que rodea a elementos estructurales como las columnas, y soporta cargas que puede ser predichas. Comúnmente con el fin de calcular las cargas se usa el método TAM (Tributary Area Method). (Rabbi, 2022)

Aunque existen otros métodos de predicción de cargas como el método de elementos finitos, sin embargo, el método del área tributaria es el más rápido en cumplir su fin. (M. Fares, 2019)

Este ya conocido sistema ha evolucionado, y en la ingeniería actual existen dos métodos principales: Diseño elástico o por cargas de servicio, y diseño a la rotura o por resistencia última.

Ambos métodos han sido usados a lo largo de la historia, el diseño elástico fue muy usado hasta mediados del siglo XX, y el diseño a la rotura ha sido usado mayormente en los últimos 40 años.

**Diseño Elástico:** El método por diseño elástico o por cargas de servicio, se basó en el supuesto de que es posible determinar los esfuerzos en las secciones críticas (Concreto y refuerzo) de una estructura si se las somete a cargas de trabajo. Para que este diseño sea viable, se buscaba conseguir que los esfuerzos no sean mayores a los esfuerzos que se podía permitir la estructura, pero solo se consideraba una pequeña parte de la resistencia total del concreto, y por el contrario se consideraba la máxima resistencia del acero.

Hoy en día este método ha dejado de ser usado, debido a que diversas investigaciones probadas en un laboratorio revelaron que, con el transcurso del tiempo, el complejo comportamiento que tiene el concreto provoca que el acero y el concreto estén en una continua transferencia de esfuerzos. Estas condiciones no previstas en el análisis inicial admiten fallas a futuro. Además, en el diseño estructural es relevante examinar que tipo de falla podría hallarse en un elemento, en caso de encontrarse éste bajo alguna solicitud definida y en lo posible trata de prevenirla. (E. Harmsen, 2005)

**Diseño a la rotura:** Estos errores provistos por el diseño elástico, necesitaron de un cambio para permitir mejoras en la ingeniería civil. Debido a esa necesidad la estrategia cambió, y el punto de enfoque se redireccionó hacia el determinar la tensión de rotura que puede soportar un material. Este valor, que sí

es claramente conocible, puede ser hallado aplicando fuerzas en el material hasta observar un rompimiento en este. El conocer el estado de rotura de un material permitirá que, estableciendo parámetros de seguridad, se prevengan accidentes futuros cuando la estructura entre en uso. Toda esta nueva estrategia se convirtió en una nueva forma de diseño, la cual se llamaría diseño a la rotura.

Es así como la forma tradicional de diseño fue reemplazada por otra, donde el enfoque de seguridad se da evaluando los estados límites. Este nuevo enfoque hace posible la diferenciación entre los tipos de carga que se ejerzan, algo que no era posible con la aplicación del método tradicional. (Arnal & Epelboim, 1985)

En Estados Unidos, existe un código que dicta normas para un correcto diseño de estructuras de concreto reforzado, el conocimiento de este código es fundamental en el campo de la ingeniería, pues permite el correcto diseño de inmuebles. Además, este código sirve como referencia para los reglamentos nacionales de construcción en Estados Unidos y demás países del mundo. Este código es conocido popularmente como "Requisitos del Código de Construcción para Concreto Estructural", o en inglés "Building Code Requirements for Structural Concrete", y es un conjunto de normas dado por el Instituto Americano del Concreto (ACI). Este código es a menudo usado como referencia, y al citarlo se hace siempre señalando el número de la sección que se consideró. En este código podemos encontrar los requisitos para el diseño en distintos tipos de concreto reforzado, y al lado de ellos, un comentario donde se da mayor información y explicación acerca de ellos. Esto es de gran importancia para los consultores del código, ya que tendrán a su alcance una ampliación mayor de cada requisito haciendo posible una mejor comprensión de este. (C. McCormac & H. Brown, 2017)

En el Perú, por medio del Decreto Supremo N.º 015-2004-VIVIENDA, en 2006 quedó aprobado el "Reglamento Nacional de Edificaciones" (RNE). (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006)

Este reglamento es un sistema de normas técnicas, que debe cumplir obligatoriamente toda entidad pública y persona natural o jurídica que desee construir habilitaciones urbanas y construcciones en el país. De igual manera el reglamento define los estándares y condiciones de calidad mínimas que se debe tener en cuenta para el diseño, construcción y mantenimiento de edificios; estas

normas se actualizan cada cierto período de tiempo ya sea total o parcialmente, de acuerdo a las demandas sociales y a los avances en la tecnología. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2021)

Este tipo de proceso de cálculo fue muy común de ver en el diseño de estructuras, esto significaba una gran pérdida de tiempo para los proyectistas encargados del diseño. Es por este motivo que muchos investigadores han dedicado tiempo para buscar distintas formas de reducir el tiempo que se usa para hacer el cálculo.

Por lo que, para agilizar el proceso de diseño de columnas recurrimos a la ayuda de algoritmos, los cuales son aplicados con lenguajes de programación en una computadora utilizando la tecnología para nuestro beneficio.

Conforme al avance habido en las estrategias de búsqueda, los algoritmos de búsqueda local se han hecho cada vez más frecuente de ver en ellas. Estos algoritmos de búsquedas se basan en la premisa de búsqueda de la mejor opción mediante la constante comparación; este proceso generalmente empieza con una solución al azar desde la cual se puedan generar nuevas soluciones cada vez mejores hasta llegar a un punto donde no se pueda encontrar otra mejor. (Torres, Torres, De La Torre, Ponce, & Luna, 2008). Existen diversas clases de algoritmos de búsqueda local, entre los que resaltan:

**Búsqueda TABÚ (BT):** Búsqueda tabú es un método de optimización bajo el cual la inteligencia artificial toma la idea de “memoria”, adaptándola y llevándola a cabo mediante estructuras de memoria. Estas estructuras cumplen funciones que le permiten encontrar soluciones en un mayor plano sin dejar de lado los criterios de vecindad. (Manso, Alejandro, & Antonio, 2005)

Gracias al gran porcentaje de éxito en la resolución de problemas con este método, este es denominado como un método de “alto nivel”, pues evita que las soluciones presentadas caigan en los óptimos locales. Esto se evita marcando una posible solución como “tabú” (prohibida), de modo que el algoritmo no vuelva a examinar nuevamente esa solución. Este movimiento de clasificación evita que las soluciones lleguen a volverse repetitivas en algún momento de la búsqueda. (Torres, Torres, De La Torre, Ponce, & Luna, 2008)

**Ascenso de colinas:** En el método ascenso de colinas, el algoritmo inicia señalando una solución aleatoria, en base a esta solución se buscan y evalúan soluciones parecidas. Si se halla una mejor solución, la búsqueda se redirecciona y se coloca como nueva base a esa nueva mejor solución hallada. Luego, el proceso se vuelve a repetir examinando de igual manera a la nueva solución, y así continuamente hasta llegar a una solución inmejorable. A esta solución inmejorable se la clasifica como “óptima localmente” pero puede llegar a no ser “óptima globalmente”. Si ese es el caso, la búsqueda comienza de nuevo hasta obtener incluso mejores soluciones. Este proceso se puede reiniciar tantas veces como el algoritmo lo permita. (Lionel & Febe, 2018)

El método Ascenso de Colinas fue mejorado alrededor de los años 1980. Esta versión mejorada fue presentada bajo el nombre de “Búsqueda Local Iterativa”, donde el algoritmo determina los óptimos locales y luego los recorre de extremo a extremo. (John, Rodrigo, & Wilson, 2015)

**Recocido Simulado:** Simulated Annealing es un modelo de algoritmo de búsqueda local, pero en contraste con otros modelos de algoritmos que solo buscan la solución óptima localmente, el Simulated Annealing permite llegar al óptimo global si se hace mayor investigación. (Aguilar, 2020)

Existen 2 razones principales por las que este algoritmo ejerce un papel importantísimo para la optimización: La primera, la aplicación de sus resultados en la vida práctica ha tenido efectos muy positivos, la segunda, poseen una componente estadística que facilita su convergencia. (Carlos, O., & Euriel, 2014)

En el diseño de estructuras se estuvo usando, por mucho tiempo, un método denominado “prueba y error” (Borda F.J.), este consistía en escoger un elemento para cumplir una función dentro del diseño y con los datos del elemento elegido se llevaba a cabo todo el proceso de cálculo, incluso si eso acarreaba la variación de algunas variables del diseño. Una vez concluido el proceso se hacía una comparación entre el diseño obtenido y el anterior a este, con el fin de verificar bajo unas condiciones predeterminadas si se había llegado al diseño deseado inicialmente. Si esto no sucedía y el diseño no alcanzaba los requisitos, se repetía todo el proceso nuevamente hasta llegar a un diseño donde el proyectista quede satisfecho (Borda Flores & Rodríguez, 2010). Debido a esto, se han hecho muchas

investigaciones con el fin de disminuir el tiempo usado en calcular el diseño más apropiado.

En el campo de la metalurgia se usa el término de "recocido" o "annealing" para hablar del proceso de enfriamiento de un metal con el propósito de volverlo más fuerte, teniendo este proceso como una referencia analógica, es que se desarrolla el algoritmo Simulated Annealing y se eligen los requisitos que debe seguir una nueva solución. (Metropolis, Rosenbluth, Rosenbluth, & Teller, 1953)

El proceso de "recocido" es un proceso de enfriamiento termal de 2 pasos que se repiten constantemente: En el primero, se somete determinado metal a elevadas temperaturas hasta que este se funde. Logrado esto, el segundo paso es enfriar al metal disminuyendo la temperatura con cuidado hasta lograr que las partículas del metal se reagrupen nuevamente con mayor rigidez. (Corana, Marchesi, Martini, & Ridella, 1987)

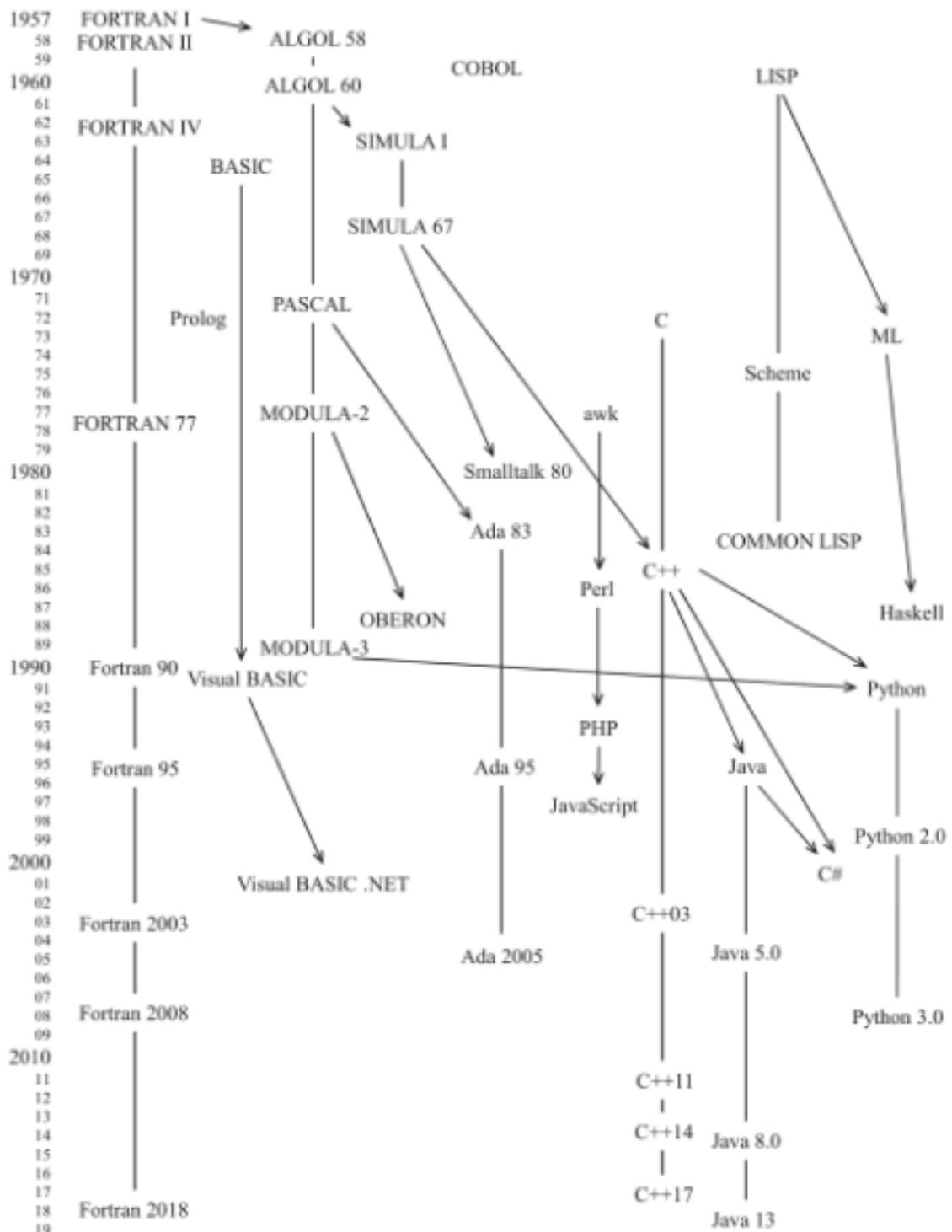
Este constante cambio de temperatura es similar al método de programación del Simulated Annealing; ya que después de que el algoritmo, con el propósito de hallar la mejor solución a nivel global, se acerque a una solución, este mismo procederá a alejarse de ella para explorar nuevas posibilidades y después volverá a acercarse a la solución. Este es el proceso que sigue el algoritmo Simulated Annealing. (Aguilar, 2020)

Los problemas de optimización que impliquen varias dimensiones, actualmente están presentes en casi todos los campos científicos, podemos encontrarlos en campos como la economía, geofísica y por supuesto en la ingeniería donde el algoritmo Simulated Annealing modificado (ASAM) es muy usado para su resolución. (Carlos, O., & Euriel, 2014)

Se entiende como programa al conjunto de indicaciones u órdenes dadas a una computadora con el fin de realizar determinada acción o de solucionar algún tipo de problema. La programación inicialmente se ejecutaba en un lenguaje conocido como lenguaje o código máquina, este era un sistema basado en códigos binarios y fácilmente entendible para el microprocesador. Este lenguaje resultaba útil; pero tomaba mucho tiempo, era tedioso de usar pues todas las instrucciones y datos debían ingresarse en sistema binario, y también obligaba al programador a

saber de antemano las direcciones de memoria de los datos (Aranda, 2004). Un resumen de los lenguajes de programación en la línea del tiempo lo verán en la

**Ilustración 2.** Orden cronológico de lenguajes de programación



Además de aquellas dificultades, el lenguaje tenía un gran margen de error. Por ello, durante la década de 1950 se desarrolló el lenguaje ensamblador, otro lenguaje de programación que traería consigo un gran avance para la informática. Este nuevo lenguaje dio nombres para cada orden del lenguaje máquina y además permitía dar etiquetas para las direcciones de memoria. (Martín Villalba, Urquía Moraleda, & Rubio González, 2021)

Últimamente ha habido un crecimiento exponencial en la popularidad del campo de la Inteligencia Artificial, especialmente en la rama de Machine Learning (ML) encargada del desarrollo y ejecución de programas innovadores para resolver problemas. Este avance ha beneficiado a distintos sectores industriales.

Por ello, el Machine Learning se ha convertido en una de las áreas de conocimiento con mayor demanda de estudio entre los profesionales y los no profesionales en áreas tecnológicas. Aquellos profesionales muestran un gran interés en aprender sobre lenguajes de programación ya que, al iniciar el proceso de desarrollo de un programa siempre aparece la interrogante de cuál es el mejor o el más apropiado lenguaje para el programa a desarrollar.

Actualmente existe una gran cantidad de lenguajes de programación y el número no hace más que aumentar con cada año que pasa. (Manrique Rojas, 2020)

Entre los lenguajes de programación sobresalen:

**JAVA:** Java es un reconocido lenguaje de programación que fue presentado por la empresa informática Sun Microsystems en el año 1995. Este lenguaje contiene una extensa colección de códigos API (Interfaces de programación) y proporciona especificaciones para su propia máquina virtual. Además, ayuda al usuario a gestionar correctamente las hebras de programación moderna. (Silberschatz, Galvin, & Gagne, 2006)

**VISUAL BASIC:** En la actualidad Visual Basic es uno de los lenguajes que más impresiona a los programadores, sean profesionales o no en la rama. A ambos les impresiona la facilidad del programa, aunque en diferentes sentidos; desde la perspectiva de un experto en programación, Visual Basic es una herramienta ahorradora de tiempo mientras que para los principiantes representa un lenguaje

fácil de aprender y de aplicar. Pero ante tantas ventajas, existen algunas desventajas en sus sistemas operativos resultantes, como la menor velocidad y eficacia. (García de Jalón, Rodríguez, & Brazález, 1999)

Visual Basic ha jugado un papel fundamental en Windows DNA, pues por su lenguaje simple y sencillo manejo, se volvió el lenguaje favorito para la escritura de sistemas operativos en páginas ASP. Aunque Microsoft intentó modificar su distintiva sencillez añadiendo mayores características, no tuvo éxito, por lo que Visual Basic sigue siendo el lenguaje fundamental que es. (Rubio Torá, 2009)

Actualmente Visual Basic es el lenguaje de programación con mayor popularidad en el mundo. Desde su lanzamiento en 1991, Microsoft no ha dejado de utilizarlo para la creación de sus programas, aplicaciones y plataformas. (Ceballos Sierra, 2010)

**C:** Este lenguaje de programación nació en 1972, año dónde fue lanzado al público mediante la compañía de telecomunicaciones AT&T. Este lenguaje fue inicialmente desarrollado para poder diseñar al sistema operativo de UNIX, pero con el paso de tiempo su potencia y flexibilidad trascendió el propósito inicial y empezó a ser utilizada por programadores en el desarrollo de diversos sistemas operativos. (Peña Basurto & Cela Espín, 2000)

Como otros lenguajes de programación, el lenguaje C es también estructurado, aunque no en bloques, como otros lenguajes de programación (Ada, Pascal o Modula-2). Si bien con el uso de este lenguaje no es posible generar subprogramas, este brinda al usuario una estructura de programación sencilla, diversidad de operadores, control de datos y una economía sintáctica. (Cacabelos Romero, 2015)

**SWIFT:** Este complejo lenguaje de programación fue lanzado en el año 2014 durante la Conferencia Anual de Desarrolladores de Apple. Es un lenguaje que combina diferentes paradigmas con un objetivo general, esto hace del lenguaje Swift un complejo sistema de lenguaje.

Inicialmente fue desarrollado como sustituto para el antiguo lenguaje de Apple (Objective-C). Sin embargo, con el paso de los años su popularidad creció, llegando a ser uno de los 10 lenguajes de programación más populares a nivel

mundial. A pesar de todo, nunca se descuidó el objetivo principal de crear un lenguaje que permitiera la creación de nuevos programas en beneficio del usuario. (Tarazona Bernal, 2021)

**PYTHON:** Python es un lenguaje complejo, versátil e interpretado. Es actualmente uno de los más usados y esa cifra de uso está aumentando continuamente. Podemos ver aplicado este lenguaje de programación en sistemas operativos como los de Windows, Linux, MacOS y en sistemas operativo de teléfonos celulares como el de Nokia, Symbian.ivar. (Fernández Montoro, 2013)

Desde la década de los 90 se ha podido observar un gran avance en desarrollo de software gracias al lenguaje Python, como el 1991 donde se lanzó la primera versión del sistema operativo Linux.

Con el paso del tiempo, Python ha generado mayor interés por parte de grupos aficionados a temas de software y programación, pues su simplicidad y oportunidad de abordar temas de actualidad se resaltan de entre los demás lenguajes de programación

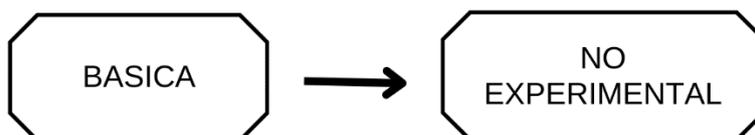
Python es considerado como un lenguaje multiparadigma pues en él coexisten diversos paradigmas, como el orientado a objetos, el funcional e imperativo. Según el propio desarrollador, este lenguaje se vio influenciado por lenguajes como el ABC, Algol 60, Icon, Modula-3 y C. La base para el desarrollo de Python fue el lenguaje ABC. (Challenger Pérez, Díaz Ricardo, & Becerra García, 2014)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 Tipo y diseño de investigación

En el proceso de análisis, mediante la revisión de manuales de investigación y metodología, se podrá determinar los distintos tipos de investigación existentes para publicaciones científicas. (Rojas, 2015). Estará resumida en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

#### *Ilustración 3. Diseño de investigación*



**Nota.** Elaboración Propia

La ciencia universal incluye en su bagaje conocimientos teóricos y conocimientos prácticos, estos dos son llamados ciencias básicas o puras y ciencias aplicadas respectivamente.

La ciencia por su parte solo presenta conocimiento, mientras que la tecnología se encarga de usar ese conocimiento aplicándolo a situaciones reales. En ese sentido, la tecnología, mediante la aplicación del conocimiento de las ciencias aplicadas, cumple su principal objetivo que es satisfacer las necesidades humanas con la producción de los bienes y servicios que se requieran. (Arias, 2012)

Teniendo estos conceptos como base, podemos determinar que la presente investigación es básica, pues busca un avance en el conocimiento teórico sin un interés directo en sus aplicaciones prácticas. (Tevni, 2000)

Dependiendo del rol que ejerza el investigador con respecto a las variables presentes en su estudio, las investigaciones se pueden dividir en experimentales y no experimentales.

En cambio, cuando el investigador no modifica las variables, sino que solo se restringe a observar, la presente investigación es no experimental. (Tevni, 2000)

Por otro lado, al no haber modificaciones en las variables independientes en las investigaciones no experimentales, estas solo buscan la obtención de datos a partir del resultado que se obtenga. (Soto Vásquez, 2011)

Por lo que, nuestra investigación será no experimental ya que no se manipula la variable independiente.

### **3.2 Variables y operacionalización:**

Independientemente del campo de estudio, todos los científicos se encargan de investigar acontecimientos presentes en la sociedad, naturaleza y conocimiento. De acuerdo a la investigación que se realice, el científico reconocerá cualidades modificables que llamará variable. Una variable puede ser una cualidad o cantidad sobre la cual se pueden ejercer cambios, y es a su vez asunto de análisis por parte del investigador. (Arias, 2012)

La variable a estudiar en esta investigación es: El diseño de una columna según el código técnico de edificación E.060. Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral mayor que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión. Las columnas, como ya fue mencionado, son usadas principalmente para resistir cargas de compresión axial, sin embargo, en la práctica esta carga se combina con las cargas de corte, torsión y flexión. Pues los elementos presentes en las estructuras de concreto armado reciben fuerzas que no le corresponden gracias a la continuidad del sistema. Las columnas pueden ser clasificadas de acuerdo al tipo de refuerzo transversal, como columnas con estribos o columnas con refuerzo en espiral. En general, las columnas con estribos adoptan una forma cuadrada, rectangular, en T o en L; pero también pueden tomar una forma triangular, octogonal, circular, etc. (E. Harmsen, 2005).

**Tipos de variables según su naturaleza:** A aquellas variables expresadas y desarrolladas a base de números o valores numéricos se les denomina variables cuantitativas, estas a su vez se clasifican en discretas y continuas. En esta investigación se analizarán variables cuantitativas discretas. (Arias, 2012)

**Tipos de variables según su grado de complejidad:** De acuerdo al grado de complejidad, puede ser clasificada en simple o compleja. Una variable compleja es aquella que puede ser descrita haciendo uso de al menos 2 dimensiones y de las cuales se extraen sus indicadores posteriormente.

**Tipos de variables según su relación causal:** Las variables independientes son las que ocasionan cambios en la variable dependiente. En las investigaciones experimentales la variable independiente es aquel estímulo o tratamiento al que se somete al grupo experimental.

### **Operacionalización de las variables**

El proceso de operacionalización de las variables representa un proceso racional de selección de los conceptos más concretos entre los conceptos teóricos. Estos conceptos concretos constituyen hechos reales y observables, los cuales son reunidos con el fin de poder ser analizados para determinar sus indicadores y dimensiones. Este proceso llega a ser definido como el reemplazo de conceptos teóricos a otros particulares y concretos, los cuales sean característicos del concepto original. (Latorre, del Rincón, & Arnal, 1996)

En diversas publicaciones, el proceso de operacionalización de las variables y sus elementos son llamados de distintas maneras. Es por eso que en la siguiente tabla mostraremos los elementos de la presente investigación y a su vez las distintas denominaciones que estos pueden tomar. (Reguant Alvarez & Martínez Olmo, 2014).

### **Definición conceptual**

Según el REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES NORMA E.060 CONCRETO ARMADO, una columna es un elemento del sistema estructural pensado principalmente para soportar la carga axial de compresión. Aunque las columnas son principalmente elementos que se utilizan para soportar cargas de compresión; en la mayoría de los casos, estas cargas se mezclan con otras cargas tales como cargas de corte, torsión o flexión, produciendo momentos flectores en las columnas y demás elementos. Esta mezcla de cargas surge debido a la continuidad que existe en los sistemas estructurales de concreto armado. (E. Harmsen, 2005)

### **Definición operacional**

Las columnas, a diferencia de los pedestales, tienen una relación larga/menor dimensión de la sección transversal, mayor que tres. (E. Harmsen, 2005)

### **Indicadores**

En el transcurso de una investigación, es importante que una vez las variables hayan sido identificadas, se debe escoger algunos indicadores que permitan al investigador evaluar y medir a las variables. A su vez se deben escoger los instrumentos que harán posible una correcta selección de los datos necesarios para el cálculo. (Ballester Brage, 2004)

En esta investigación se seleccionó los indicadores:

- El costo de una columna Optimizada
- Características geométricas
- La resistencia a la compresión del hormigón y sus características
- La cuantía óptima para una columna

### **Escala de medición**

La medición de variable hace referencia a la manera que una variable puede medirse correctamente, ya sea cualitativa o cuantitativamente. La medición estadística se puede clasificar en 4 niveles; de acuerdo a los atributos que posean y el tipo de cálculo matemático que se pueda realizar con los valores de una variable, en este caso tenemos una variable que será mediada a nivel de razón o proporción. En este nivel de medición se puede establecer orden, jerarquía e intervalos; además, en este nivel sí existe el cero absoluto, eso indica que, si la variable toma valor cero, automáticamente se concluye que el objeto no tiene la propiedad que se mide. Este nivel es el más complejo de los niveles de medición, lo que le permite realizar sus cálculos matemáticos usando las técnicas de los niveles anteriores, y añadiéndoles técnicas como el cálculo del coeficiente de variación, media geométrica y todas las técnicas que soliciten conocer al punto cero de una escala. (Betancur López, 2000)

### **3.3 Población, muestra y muestreo**

#### **Población**

Es el grupo de personas u objetos sobre los que se desea investigar y conocer algo. Dependiendo del campo de estudio, la población puede representarse por animales, personas, accidentes automovilísticos, novelas, etc. (López, 2004) En este caso, la población que consideraremos para el desarrollo de la investigación son todos los diseños de columnas centrales de concreto armado mediante Simulated Annealing.

#### **Criterios de inclusión**

Columnas cuadradas y centrales.

#### **Criterios de exclusión**

No se considerará columnas circulares en este estudio, ni aquellas que no cumplan con las restricciones resistentes que se darán en la programación de la optimización de una columna de concreto armado.

#### **Muestra**

El muestreo es un método representado por un conjunto de normas, criterios y técnicas, mediante el cual se obtiene una cantidad de elementos que representen a toda la población y que nos sirva de muestra. (López, 2004)

Por lo que nuestro número de columnas centrales de concreto armado de muestra será 20120 iteraciones, para posteriormente ser optimizadas con la ayuda de Recocido Simulado, esta cifra la tomamos usando como referencia la investigación de (Noriega, 2021).

#### **Muestreo**

El muestreo es un método representado por un conjunto de normas, criterios y técnicas. mediante el cual se obtiene una cantidad de elementos que representen a toda la población y que nos sirva de muestra. (Mata & Macassi, 1997)

El muestreo se puede clasificar como probabilístico y no probabilístico. En esta investigación se usó el método no probabilístico. En este método, la selección

no es aleatoria, esto implica que la probabilidad de haber sido seleccionado sea diferente y desconocida para cada elemento de la población total. (Pineda, De Alvarado, & De Canales, 1994)

Este tipo de muestreo a su vez, se puede clasificar en intencional, accidental o por cuotas. En la presente investigación se utilizará el muestreo intencional, donde el investigador selecciona la muestra de acuerdo a los objetivos del estudio, la parte de la población que se desee conocer y por supuesto, el criterio y la lógica del investigador. (López, 2004)

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para responder a las preguntas formuladas, es importante conocer los datos de las variables, por ello se deben seleccionar las técnicas e instrumentos a utilizar para esta recolección. Esta selección debe ser de acuerdo al problema, los objetivos y la estructura de la investigación, ya que la manera que se use para obtener los datos influirá cuantiosamente en la resolución del problema. (Arias, 2012)

En esta investigación se usó la técnica de observación o de inspección visual para la obtención de datos de las variables. En esta técnica el investigador se conecta con la realidad del problema para poder tener una idea concisa del problema que este estudia. (Useche, Artigas, Queipo, & Perozo, 2019)

Con los datos obtenidos con el proceso de observación, se puede procesar el diseño mediante el algoritmo Simulated Annealing. Para comprobar que el proceso sea correcto, se usó la norma técnica de edificación E.060 y E.030. Por lo que para desarrollar esta investigación se usará una ficha de validación la cual esta detalla en los Anexos 0

### **3.5 Procedimientos**

La presente investigación se desarrollará como se detalla a continuación: El primer paso será la búsqueda de datos de una columna de concreto armado para poder optimizar su diseño mediante el algoritmo Simulated Annealing.

A continuación, como segundo paso, colocaremos estos datos en una hoja de Excel detallando sus características geométricas, recubrimiento, número de

capas de acero, número y cantidad de barras de acero, la resistencia a la compresión del hormigón  $f'_c=140, 175, 210, 280, 350$  y  $420 \text{ kg/cm}^2$ ; por otra parte la resistencia a la fluencia del acero se ha evaluado en un  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ . La ejecución del algoritmo Simulated Annealing se hace mediante el programador Python que está integrado al Microsoft Excel, para esta ejecución se consideran las medidas de la columna de concreto armado, la resistencia a las fuerzas de compresión y la resistencia a la fluencia del acero. (Noriega, 2021)

### 3.6 Desarrollo de las columnas

Las columnas se deben diseñar para resistir las fuerzas axiales que provienen de las cargas amplificadas de todos los pisos, y el momento máximo debido a cargas amplificadas, considerando la carga viva actuando en solo uno de los tramos adyacentes del piso o techo bajo consideración. También debe considerarse la condición de carga que produzca la máxima relación(excentricidad) entre momento y carga axial.

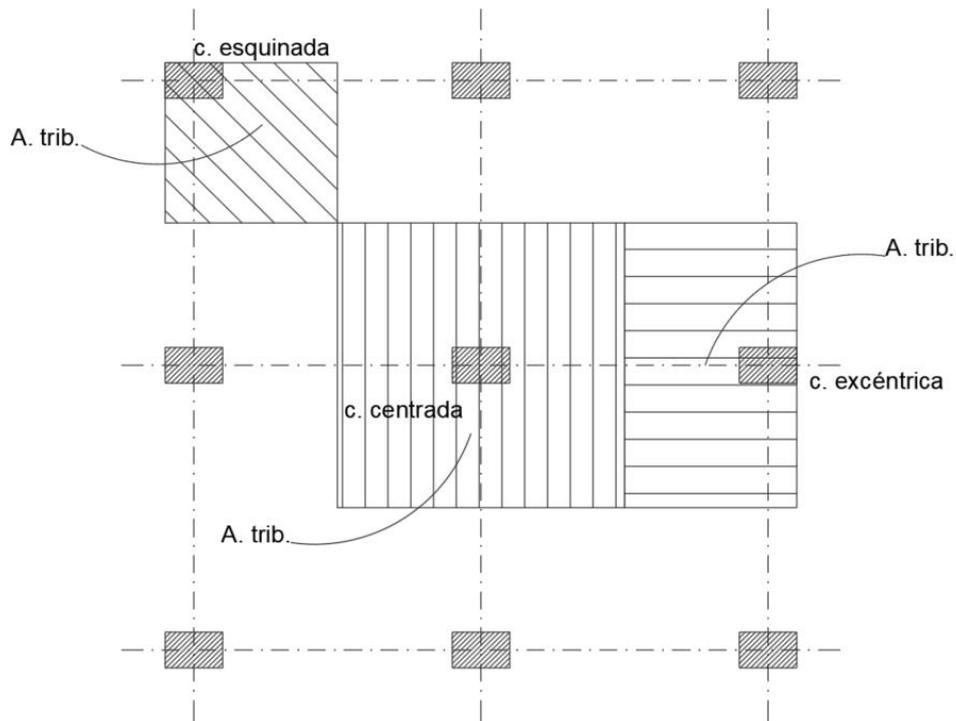
#### 3.6.1. Predimensionamiento de columnas

Según el ACI

<b>ACI 318-19</b>	
Col. Centrada	$A_{col.} = \frac{P_{servicio}}{0.45 * f'_c}$
Col. Excéntrica Col. Esquinada	$A_{col.} = \frac{P_{servicio}}{0.35 * f'_c}$

**Nota.**  $P_{servicio}$ = Factorar por los valores correspondientes y es por área tributaria

**Ilustración 4.** Vista en planta de ubicación de tipos de columnas y sus áreas tributarias



Para Zonas de alta sismicidad debemos de tener en cuenta esta consideración:

$$A_{min} \geq 1000cm^2$$

$P_{servicio}$  Según las Of. de Proyectos:

$$P_{servicio} = P * A_{trib} * N_{pisos}$$

Categoría A	P=1500kgf/m <sup>2</sup>
Categoría B	P=1250kgf/m <sup>2</sup>
Categoría C	P=1000kgf/m <sup>2</sup>

Datos considerados en el predimensionamiento de la columna:

- Tipo columna: centrada
- A trib. Considerada= 4m \* 4m
- N° de pisos edificación= 3 pisos
- Categoría edificación: C

Consideraciones de las cargas para llegar a 1000kgf/m<sup>2</sup>

Cv= 300kg/m<sup>2</sup>

$$C_m = 300 \text{ kg/m}^2$$

$$P_p = 400 \text{ kg/m}^2$$

$$C_v + C_m + P_p = 1000 \text{ kg/m}^2 = 1 \text{ ton/m}^2$$

### Hallando $P_{servicio}$

$$P_{servicio} = 4 * 4 * 1 * 3 = 48 \text{ ton}$$

### Hallando $A_{col}$

$$A_{col} = \frac{48 \text{ ton}}{0.45 * 2100 \text{ ton/m}^2}$$

$$A_{col} = 0.05 \text{ m}^2$$

$$\text{Aplicando } \sqrt{A_{col}} = 0.22 \text{ m} \approx 0.25 \text{ m}$$

Como resultado se obtuvo que el lado de la columna más adecuado sería 0.25m de lado, por ello tenemos una columna cuadrada con dimensiones de 0.25m \* 0.25m

### 3.6.2. Cuantía de refuerzo longitudinal

Para elementos en Flexocompresión la **NTP E-060 art. 21.4.5** dice que la cuantía de refuerzo longitudinal no será menor que 1% ni mayor que 6%. Cuando la cuantía exceda de 4% los planos deberán incluir detalles constructivos de la armadura en la unión viga-columna.

$$p = \frac{A_{st}}{A_g}$$

Dónde:

$A_{st}$  = área total del acero

$A_g$  = área bruta de la sección transversal

**Tabla 1. Áreas y diámetros de de barras de acero comerciales.**

<b>Barra</b>	<b>db (cm)</b>	<b>Ab (cm<sup>2</sup>)</b>
1/4"	0.80	0.50
3/8"	0.95	0.71
1/2"	1.27	1.29
5/8"	1.59	2.00
3/4"	1.91	2.84
7/8"	2.22	3.87
1"	2.54	5.10
1 3/8"	3.58	10.06

**1° tanteo: cuantía de la sección 0.25m \* 0.25m**

- Utilizando 4 barras de acero de Ø 1/2"
- Area de barra Ø 1/2" = 1.29

$$p = \frac{4\phi 1/2''}{A_g} = \frac{4 \cdot 1.29}{25 \times 25} = 0.0082 = 0.82\%$$

- La cuantía obtenido en el primer tanteo No cumple con lo dispuesto en la norma 0.82% < 1%

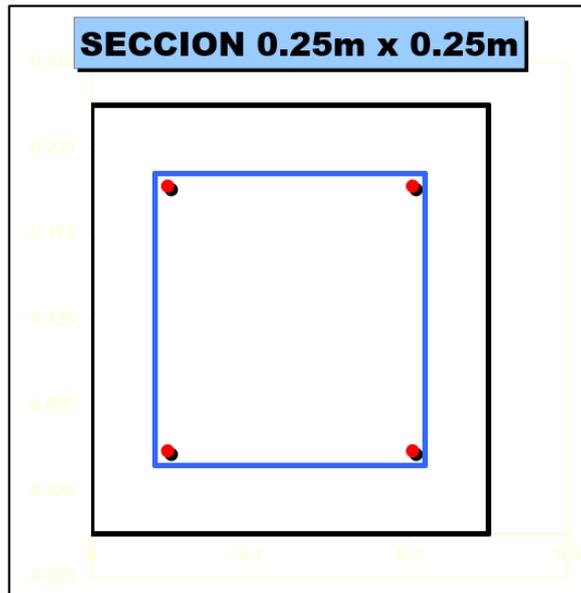
**2° tanteo: cuantía de la sección 0.25m \* 0.25m**

- Utilizando 4 barras de acero de Ø 5/8"
- Area de barra Ø 5/8" = 2.00

$$p = \frac{4\phi 5/8''}{A_g} = \frac{4 \cdot 2.00}{25 \times 25} = 0.012 = 1.2\%$$

- La cuantía obtenido en el segundo tanteo cumple con lo dispuesto en la norma:  $p=1\% \leq p=1.2\% \leq p=6\%$
- Para nuestra columna con dimensiones de 0.25m \* 0.25m utilizaremos 4Ø5/8", estos refuerzos longitudinales se distribuyen en dos caras de la columna.

**Ilustración 5.** Vista geométrica de la columna 0.25m \* 0.25m



### 3.6.3. Resistencia de la columna 0.25m \* 0.25m

#### Geometría de la sección

- Longitud en dirección X(m): 0.25
- Longitud en dirección Y(m): 0.25

#### Refuerzo de la sección

- # Varillas en dirección X: 2
- # Varillas en dirección Y: 2
- Recubrimiento (m): 0.04
- Diámetro del Refuerzo (pulg): 5/8"
- Area del refuerzo (cm<sup>2</sup>): 8.00
- P (%): 1.27
- Espaciamiento horizontal (cm): 13.82
- Espaciamiento vertical (cm): 13.82

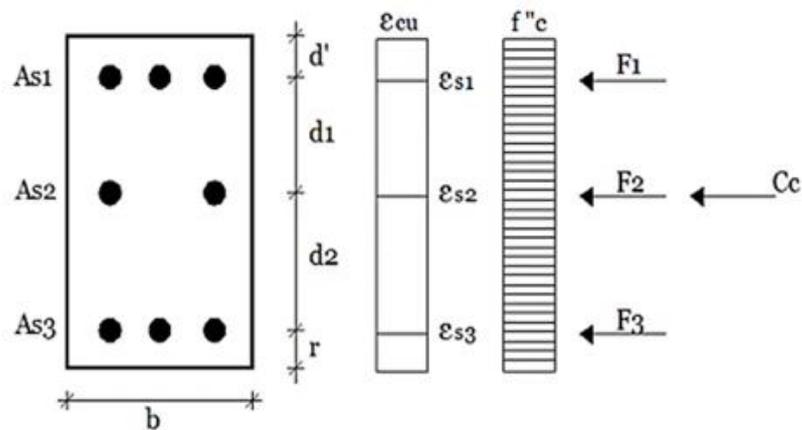
#### Materiales

- f'c (kg/cm<sup>2</sup>): 210
- β: 0.85
- fy (kg/cm<sup>2</sup>): 4200

- $E_s$  (kg/cm<sup>2</sup>):  $2 \times 10^6$
- $E_y$ : 0.0021
- $E_{cu}$ : 0.003

Cálculo de resistencia de la columna a compresión pura (sin momento flexionante), punto  $P_{oc}$ :

#### Obtención de punto 1 ( $P_{oc}$ )



$$P_{oc} = F_R * (C_C + F_1 + F_2 + F_3)$$

$$C_C = f''c * (A_g - A_s)$$

$$C_C = 0.85 * 210 * (625 - 8)$$

$$C_C = 110134.5 \text{ kg}$$

#### Cálculo de Fuerzas

$$F_1 = f_y * A_{s1} = 16800 \text{ kg}$$

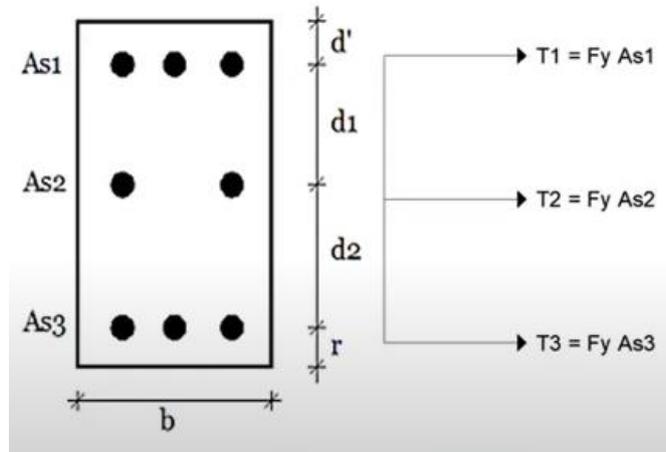
$$F_2 = f_y * A_{s3} = 16800 \text{ kg}$$

$$P_{oc} = 0.7 * (110134.5 + 16800 * 2)$$

$$P_{oc} = 100614.15 \text{ kg}$$

$$P_{oc} = 100.614 \text{ ton}$$

Cálculo de la máxima resistencia de la columna a Tensión Pura (sin momento flexionante), punto Pot



$$P_{ot} = F_R * (F_1 + F_2 + F_3)$$

**Cálculo de Fuerzas**

$$F_1 = f_y * A_{s1} = 16800 \text{ kg}$$

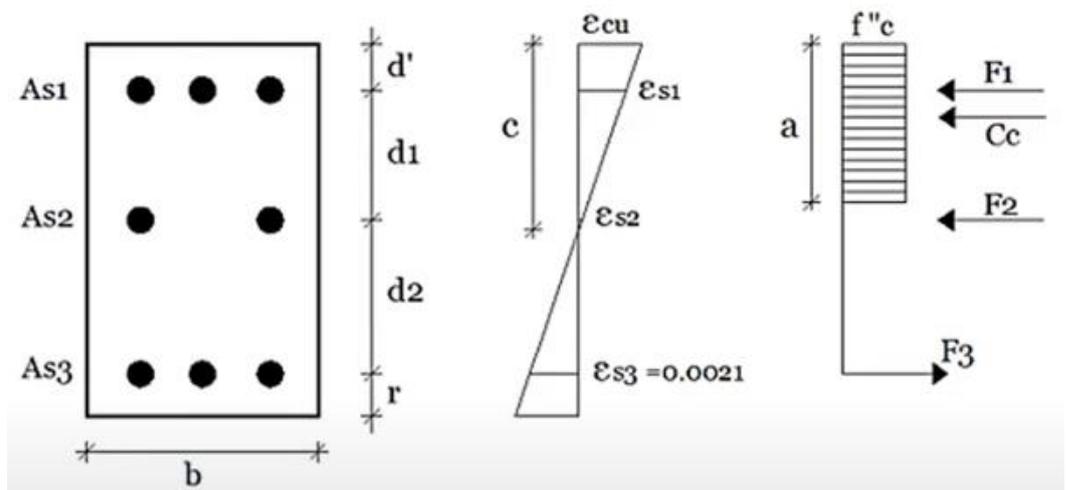
$$F_2 = f_y * A_{s3} = 16800 \text{ kg}$$

$$P_{ot} = 0.7 * (16800 + 16800)$$

$$P_{ot} = 23520 \text{ kg}$$

$$P_{ot} = 23.52 \text{ ton}$$

Diagrama de interacción (combinaciones de resistencia), es el punto de falla balanceada



### Cálculo de posición del eje neutro

$$\frac{d}{\epsilon_{cu} + \epsilon_s} = \frac{c}{\epsilon_{cu}}$$

$$c = \frac{0.003}{0.003 + 0.0021} * 22$$

$$c = 12.94cm$$

### Cálculo de deformaciones unitarias

$$\epsilon_{s1} = \frac{\epsilon_{cu} * (c - r')}{c}$$

$$\epsilon_{s1} = 0.00230$$

$$\epsilon_{s1} = 0.00230 > 0.0021$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{\epsilon_{cu} * (c - d1 - r')}{c}$$

$$\epsilon_{s2} = 0.000144$$

$$\epsilon_{s2} = 0.000144 < 0.0021$$

En este caso la deformación unitaria es pequeña y el acero no está fluyendo, para ello utilizamos la ley de Hooke

$$f_{s2} = E_s * \epsilon_{s2}$$

$$f_{s2} = 2 * 10^6 * 0.000144$$

$$f_{s2} = 288 \text{ kg/cm}^2$$

### Cálculo de fuerzas internas

$$F1 = f_y * A_{s1} = 16800 \text{ kg}$$

$$F2 = f_y * A_{s3} = -16800 \text{ kg}$$

$$C_c = 0.85 * 210 * (0.85 * 12.94) * (25)$$

$$C_C = 49083 \text{ kg}$$

**Cálculo de coordenada P:**

$$P = \sum F_1 + F_2 + F_3 + C_C$$

$$P = 16800 - 16800 + 49083$$

$$P = 49083 \text{ kg}$$

$$P = 49083 * (F_R)$$

$$P = 49083 * (0.7)$$

$$P = 49083 * (F_R)$$

$$P = 49083 * (0.7)$$

$$P = 34358.1 \text{ kg}$$

$$P = 34.35 \text{ ton}$$

**Cálculo de momento respecto a eje centroidal**

$$M = F_1 d_1 + F_3 d_2 + C_C * \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right)$$

$$M = (16800 * 11) + (16800 * 11) + 49083 * \left( \frac{22}{2} - \frac{12.94}{2} \right)$$

$$M = 665597.62 \text{ kg} - \text{cm}$$

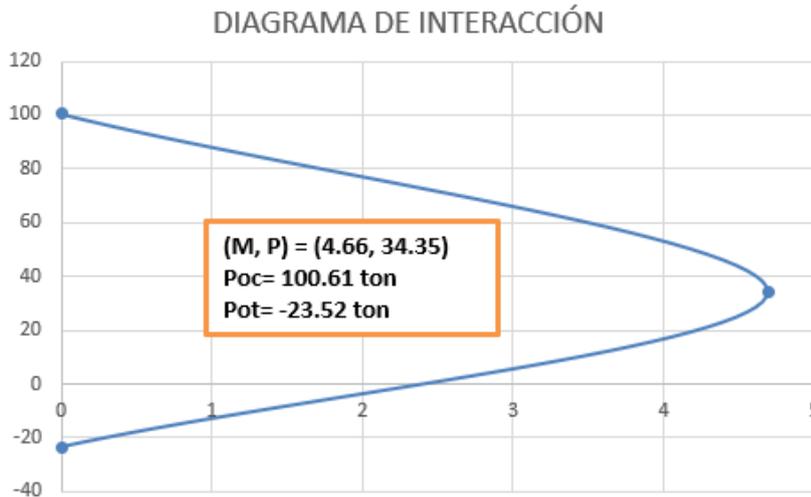
$$M = 6.66 \text{ ton-m}$$

$$F_R = 0.7$$

$$M_R = 4.66 \text{ ton} - \text{m}$$

**Punto de falla balanceada  $(M, P) = (4.66, 34.35)$**

**Ilustración 6.** Vista geométrica de la columna 0.25m \* 0.25m



**Cálculo de diferentes profundidades del eje neutro**

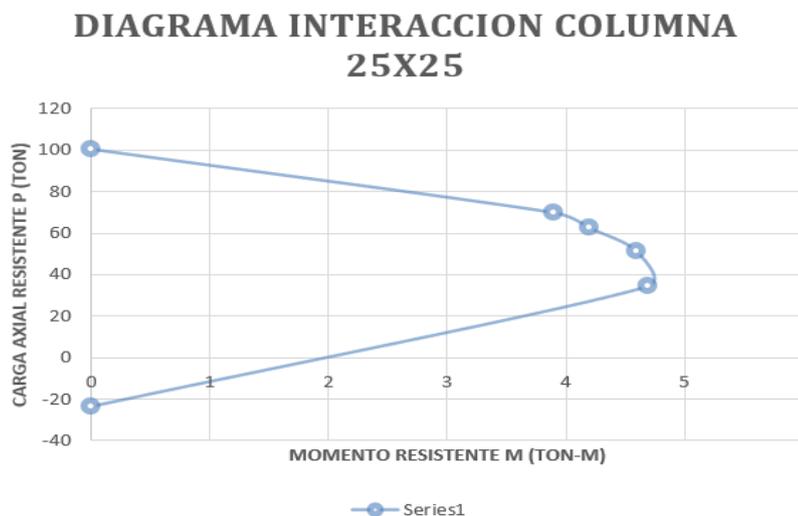
Si C= 12.94cm      ∴ (M, P) = (4.69, 34.36)

Si C= 10.59cm      ∴ (M, P) = (4.61, 51.63)

Si C= 14.71cm      ∴ (M, P) = (4.2, 62.57)

Si C= 8.03cm        ∴ (M, P) = (3.75, 71.31)

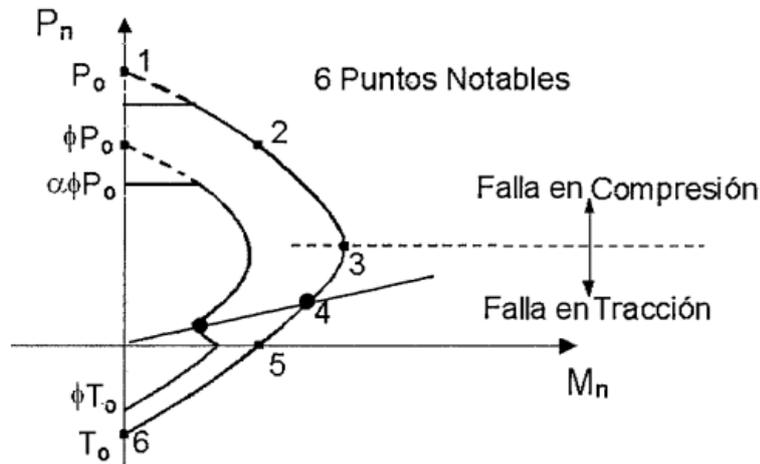
**Ilustración 7.** Diagrama de interacción 2 con diferentes profundidades del eje neutro.



Un diagrama de interacción de resistencia define la carga y el momento de falla para determinada columna en el intervalo completo de excentricidades desde cero hasta el infinito. Para cualquier excentricidad, existe un solo par

de valores  $P_n$  y  $M_n$  que producirán un estado inminente de falla. (Nilson & Darwin, 1999).

**Ilustración 8.** Puntos notables para la construcción de un diagrama de interacción



### 3.6.4. Cálculo del refuerzo transversal (Estribos)

Según la NTP E060, art. 21.4.5.3 en ambos extremos del elemento debe proporcionarse estribos cerrados de confinamiento con un espaciamiento  $S_o$  por una longitud  $L_o$  medida desde la cara del nudo. Los estribos serán como mínimo de 8mm de diámetro para barras longitudinales de hasta 5/8" de diámetro, de 3/8" para barras longitudinales de hasta 1" de diámetro y de 1/2" para barras longitudinales de mayor diámetro.

**Cálculo del espaciamiento  $S_o$  no debe exceder al menor entre (a), (b), y (c):**

(a). Ocho veces el diámetro de la barra longitudinal confinada de menor diámetro;

$$\text{Diámetro } \emptyset: 5/8" = 1.59\text{cm}$$

$$\therefore (a) = 1.59 \cdot 8 = 12.72\text{cm} \approx 0.127\text{m}$$

(b). La mitad de la menor dimensión de la sección transversal del elemento;

$$\text{Columna de sección } 0.25\text{m} * 0.25\text{m}$$

$$\therefore (b) = 0.25/2 = 12.5\text{ cm} \approx 0.12\text{m}$$

(c). 100mm

$$\therefore (c) = 10 \text{ cm} \approx 0.10\text{m}$$

$\therefore$  El resultado del espaciamiento  $S_o$  en la zona de confinamiento, sería la alternativa (c) = 10cm  $\approx$  0.10m

**Cálculo de confinamiento, la longitud  $L_o$  no debe ser menor que el mayor entre (d), (e) y (f):**

(d). Una sexta parte de la luz libre del elemento;

$$L_n = 2.60\text{m}$$

$$\therefore (d) = 2.60/6 = 0.43\text{m} \approx 43\text{cm}$$

(e). La mayor dimensión de la sección transversal del elemento;

- Columna de sección  $0.25\text{m} * 0.25\text{m}$

$$\therefore (e) = 0.25\text{m} \approx 25\text{cm}$$

(f). 500mm

$$\therefore (f) = 50 \text{ cm} \approx 0.50\text{m}$$

$\therefore$  El resultado de la longitud  $L_o$  en la zona de confinamiento, sería la alternativa (f) = 50cm  $\approx$  0.50m

**Cálculo de zona central, el espaciamiento  $S_o$  no debe ser mayor que 300mm**

(g).  $S_o \leq 16db$  (db = diámetro de la barra longitudinales)

- Diámetro  $\emptyset$  longitudinal:  $5/8" = 1.59\text{cm}$

$$\therefore (g) = 1.59 * 16 = 25.44\text{cm} \approx 0.25\text{m}$$

(h).  $S_o \leq 48db$  (db = diámetro de la barra estribos)

- Diámetro  $\emptyset$  estribos:  $3/8" = 0.95\text{cm}$

$$\therefore (h) = 0.95 \cdot 48 = 45.6\text{cm} \approx 0.45\text{m}$$

(i).  $S_o \leq$  menor sección de la columna

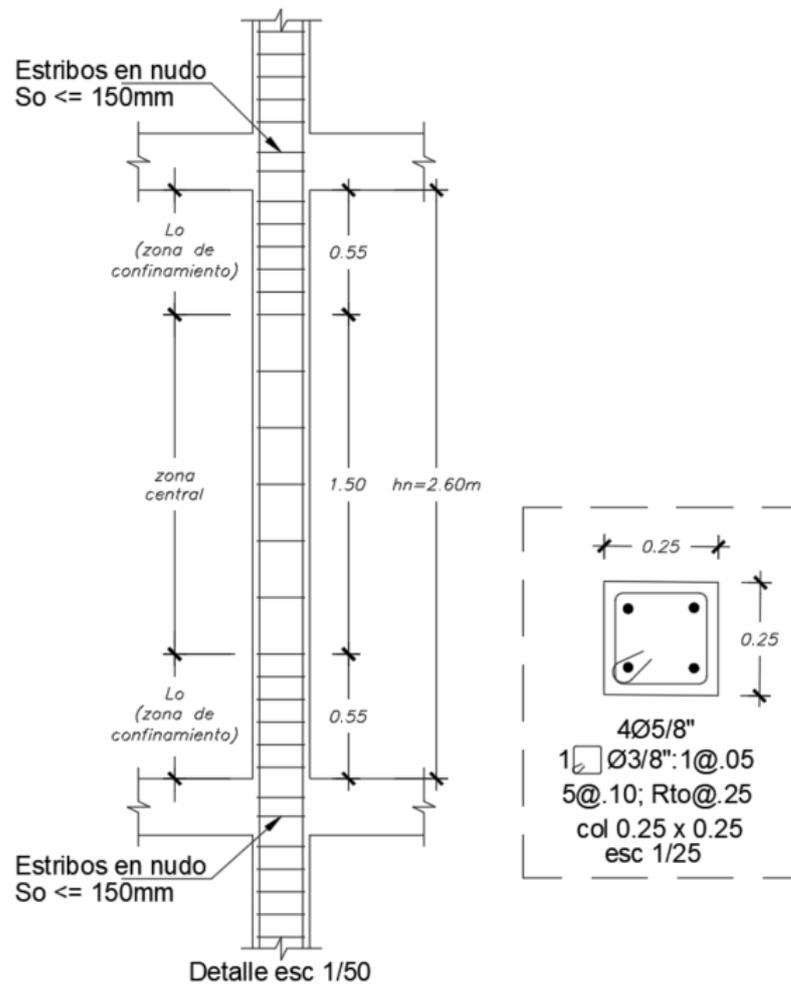
- Columna de sección  $0.25\text{m} \times 0.25\text{m}$

$$\therefore (i) = 25\text{ cm} \approx 0.25\text{m}$$

(j).  $S_o \leq 300\text{mm}$   $\therefore (j) = 30\text{ cm} \approx 0.30\text{m}$

$\therefore$  El resultado del espaciamiento  $S_o$  en la zona central (fuera de confinamiento), sería la alternativa **(i) = 25cm  $\approx$  0.25m**

**Ilustración 9.** Vista refuerzo longitudinal y transversal en columna de  $0.25\text{m} \times 0.25\text{m}$



*Ilustración 10. Algoritmo donde se ingresó el Código Phyton*

```
1 import random
1 import math
2 import csv
3 from tabulate import tabulate
4
5
6 def guardar_datos_en_csv(columnas, area_tributaria, nombre_archivo):
7     with open(nombre_archivo, 'w', newline='') as archivo_csv:
8         writer = csv.writer(archivo_csv, delimiter=',')
9         writer.writerow(
10             ['Altura', 'Cuantía', 'Compresión de Concreto', 'Costo'])
11         for columna in columnas:
12             altura = columna['altura']
13             cuantia = columna['cuantia']
14             compresion = columna['resistencia_concreto']
15             costo = calcular_costo(columna, area_tributaria)
16             writer.writerow([altura, cuantia, compresion, costo])
17
18 # Esta función convierte un número en formato de porcentaje para su visualización.
19 def convertir_a_porcentaje(numero):
20     porcentaje = round(numero * 100, 1)
21     return f"{porcentaje}"
22
23 # La función determina el número de barras y el tamaño de las barras de acero
24 # según el área de acero requerida en la columna.
25 def calcular_barras(area_acero):
26     barras = {
27         "3/8''": 0.71,
28         "1/2''": 1.29,
29         "5/8''": 2.00,
30         "3/4''": 2.84,
31         "1''": 5.10,
32     }
33     # La función devuelve el número de barras y el tamaño de barras adecuados para el área de acero.
34     if area_acero <= 3.99:
35         return 4, "1/2''"
36     if 3.99 < area_acero <= 8:
37         return 4, "5/8''"
38     if 8 < area_acero <= 12:
39         return 6, "5/8''"
40     if 12 < area_acero < 16:
41         return 8, "5/8''"
```

```

41 total_columnas.append(current_solution)
42 best_solution = current_solution
43 current_temperature = initial_temperature
44
45 while current_temperature > final_temperature:
46     for _ in range(iterations_per_temperature):
47         neighbor_solution = generate_neighbor_solution()
48         total_columnas.append(neighbor_solution)
49         delta = calcular_costo(neighbor_solution, area_tributaria) - \
50             calcular_costo(current_solution, area_tributaria)
51
52         if delta < 0 or math.exp(-delta / current_temperature) > random.random():
53             current_solution = neighbor_solution
54
55         if calcular_costo(current_solution, area_tributaria) < calcular_costo(best_solution, area_tributaria):
56             best_solution = current_solution
57
58     current_temperature *= cooling_rate
59 return best_solution, calcular_costo(best_solution, area_tributaria), total_columnas
60
61 area_tributaria = int(input("Ingrese el área tributaria: "))
62 # Ejecutar el algoritmo y mostrar el resultado, flexocompresión
63 best_solution, best_cost, total_columnas = simulated_annealing(area_tributaria)
64 guardar_datos_en_csv(total_columnas, area_tributaria, 'datos_columnas.csv')
65 other_characteristics = calcular_características(
66     best_solution, area_tributaria, show=True)
67
68 results = [
69     ["MEJOR COSTO ENCONTRADO", str(best_cost), "soles"],
70     ["Altura", str(best_solution["altura"]), "m"],
71     ["Resistencia concreto", best_solution["resistencia_concreto"], "kg/cm2"],
72     ["Cuantía", convertir_a_porcentaje(best_solution["cuantia"]), "%"],
73     ["Longitud lado", str(other_characteristics[0]), "cm"],
74     ["Área columna", str(other_characteristics[1]), "cm2"],
75     ["Área acero", str(other_characteristics[2]), "cm2"],
76     ["Número de barras", other_characteristics[3], "barras"],
77     ["Barra escogida", other_characteristics[4].replace(
78         "''", ''), "''"],
79     ["Costo estribo de 3/8''", "22", "soles"],
80     ["Costo barras", str(other_characteristics[5]), "soles"],
81     ["Costo cemento", str(other_characteristics[6]), "soles"],
82 ]

```

```

12 # area de acero requerida, numero y tamaño de barras de acero, y el costo de las barras y el concreto
13 def calcular_características(columna, area_tributaria, show=False):
14     longitud_lado = calcular_longitud_de_lado(
15         area_tributaria, columna["resistencia_concreto"], show)
16     area_columna = longitud_lado * longitud_lado
17     area_acero = round(area_columna * columna["cuantia"], 1)
18     num_barras, mejor_barra = calcular_barras(area_acero)
19     costo_barras = calcular_costo_barras(
20         num_barras, mejor_barra, columna["altura"])
21     costo_cemento = calcular_costo_de_columna(columna, longitud_lado)
22     return longitud_lado, area_columna, area_acero, num_barras, mejor_barra, costo_barras, costo_cem
23
24 # Esta función genera una solución vecina para el algoritmo Simulated Annealing.
25 # En este caso, simplemente se genera una nueva solución inicial aleatoria.
26 def generate_neighbor_solution():
27     return generate_initial_solution()
28
29 # Esta función implementa el algoritmo Simulated Annealing para encontrar la mejor solución (columna)
30 # Utiliza la generación de soluciones iniciales aleatorias y soluciones vecinas aleatorias.
31 # La función actualiza la solución actual si se cumple la condición de aceptación de Simulated Annealing.
32 # Al final, devuelve la mejor solución encontrada y su costo.
33 def simulated_annealing(area_tributaria):
34     total_columnas = []
35     initial_temperature = 1000
36     final_temperature = 0.1
37     cooling_rate = 0.95
38     iterations_per_temperature = 112
39
40     current_solution = generate_initial_solution()
41     total_columnas.append(current_solution)
42     best_solution = current_solution
43     current_temperature = initial_temperature
44
45     while current_temperature > final_temperature:
46         for _ in range(iterations_per_temperature):
47             neighbor_solution = generate_neighbor_solution()
48             total_columnas.append(neighbor_solution)
49             delta = calcular_costo(neighbor_solution, area_tributaria) - \
50                 calcular_costo(current_solution, area_tributaria)
51
52             if delta < 0 or math.exp(-delta / current_temperature) > random.random():
53                 current_solution = neighbor_solution

```

```

30     area_columna_rounded_multiple_of_5 = math.ceil(
29         area_columna_rounded / 0.05) * 0.05
28     lado_columna = int(area_columna_rounded_multiple_of_5 * 100)
27     if lado_columna > 30:
26         lado_columna = 30
25     if lado_columna < 20:
24         lado_columna = 20
23     return lado_columna
22
21 # Esta función calcula el costo de las barras de acero, multiplicando la cantidad de barras por el c
20 def calcular_costo_barras(num_barras, mejor_barra, altura):
19     costo_barras_por_metro = {
18         "3/8'": 22,
17         "1/2'": 39,
16         "5/8'": 59.5,
15         "3/4'": 75,
14         "1'": 90,
13     }
12     # barras de 9 metros
11     metros_de_barras = math.ceil((altura * num_barras)/9)
10     costo_barras = metros_de_barras * costo_barras_por_metro[mejor_barra]
9     return costo_barras
8
7 # Esta función calcula el costo del concreto utilizado en la columna, multiplicando el volumen de co
6 def calcular_costo_de_columna(columna, lado):
5     costo_cemento = {
4         210: 350,
3         280: 600,
2         350: 640,
1         420: 740
116     }
1     area_cubica = round((lado/100) * (lado/100) * columna["altura"], 2)
2     costo_cemento_por_metro_cubico = costo_cemento[columna["resistencia_concreto"]]
3     return area_cubica * costo_cemento_por_metro_cubico
4
5 # Esta función calcula el costo total de la columna, sumando el costo de las barras de acero y el co
6 def calcular_costo(columna, area_tributaria):
7     _, _, _, _, _, costo_barras, costo_cemento = calcular_características(
8         columna, area_tributaria)
9     return round(costo_barras + costo_cemento + 22, 2)
10
11 # Esta función calcula las características de la columna, incluyendo la longitud del lado, área de l

```

```

42     17.10 < area_acero <= 17.04:
43         return 6, "3/4'"
44     if 17.04 < area_acero <= 22.72:
45         return 8, "3/4'"
46     if 17.04 < area_acero <= 22.72:
47         return 8, "3/4'"
48
49     return 12, "3/4'"
50
51 # La función genera una solución inicial aleatoria para la columna,
52 # incluyendo la altura, resistencia del concreto y la cuantía del acero.
53 def generate_initial_solution():
54     altura = random.choice([2.6, 2.7, 2.8])
55     resistencia_concreto = random.choice([210, 280, 350, 420])
56     cuantia = round(random.uniform(0.01, 0.04), 3)
57
58     # La función genera una solución inicial aleatoria para el algoritmo Simulated Annealing.
59     columna_aleatoria = {
60         "altura": altura,
61         "resistencia_concreto": resistencia_concreto,
62         "cuantia": cuantia
63     }
64
65     return columna_aleatoria
66
67 # La función redondea un número al múltiplo de cinco más cercano.
68 def redondear_multiplo_cinco(numero):
69     numero_multiplicado = numero * 100
70     numero_redondeado = round(numero_multiplicado / 5, 2) * 5
71     decimal = numero_redondeado % 10
72     if decimal >= 5:
73         numero_redondeado = numero_redondeado + (10 - decimal)
74     else:
75         numero_redondeado = numero_redondeado - decimal + 5
76     return round(numero_redondeado)
77
78 # Esta función calcula la longitud del lado de la columna, utilizando el área tributaria y la resist
79 def calcular_longitud_de_lado(area_tributaria, resistencia_concreto, show=False):
80     n = 0.45 # columna centrada
81     number_of_floors = 3
82     area_columna = math.sqrt(
83         (area_tributaria * number_of_floors) / (n * resistencia_concreto * 10))
84     return columna_redondeado = round(numero_redondeado)

```

Ingrese el área tributaria: 16

===== RESULTADOS =====

Descripción	Valor	Medida
MEJOR COSTO ENCONTRADO	197.0	soles
Altura	2.6	m
Resistencia concreto	210	kg/cm2
Cuantía	1.2	%
Longitud lado	25	cm
Área columna	625	cm2
Área acero	7.5	cm2
Número de barras	4	barras
Barra escogida	5/8	''
Costo estribo de 3/8''	22	soles
Costo barras	119.0	soles
Costo cemento	56.0	soles

### 3.7 Código

```
import random
import math
import csv
from tabulate import tabulate
```

```

def guardar_datos_en_csv(columnas, area_tributaria, nombre_archivo):
    with open(nombre_archivo, 'w', newline='') as archivo_csv:
        writer = csv.writer(archivo_csv, delimiter=',')
        writer.writerow(
            ['Altura', 'Cuantía', 'Compresión de Concreto', 'Costo'])
        for columna in columnas:
            altura = columna['altura']
            cuantia = columna['cuantia']
            compresion = columna['resistencia_concreto']
            costo = calcular_costo(columna, area_tributaria)
            writer.writerow([altura, cuantia, compresion, costo])

```

#Esta función convierte un número en formato de porcentaje para su visualización.

```

def convertir_a_porcentaje(numero):
    porcentaje = round(numero * 100, 1)
    return f"{porcentaje}"

```

La función determina el número de barras y el tamaño de las barras de acero # según el área de acero requerida en la columna.

```

def calcular_barras(area_acero):
    barras = {
        "3/8""": 0.71,
        "1/2""": 1.29,
        "5/8""": 2.00,
        "3/4""": 2.84,
        "1""": 5.10,
    }

```

# La función devuelve el número de barras y el tamaño de barras adecuados para el área de acero.

```

if area_acero <= 3.99:
    return 4, "1/2"
if 3.99 < area_acero <= 8:
    return 4, "5/8"
if 8 < area_acero <= 12:
    return 6, "5/8"
if 12 < area_acero < 16:
    return 8, "5/8"
if 16 <= area_acero <= 17.04:
    return 6, "3/4"
if 17.04 < area_acero <= 22.72:
    return 8, "3/4"
if 17.04 < area_acero <= 22.72:
    return 8, "3/4"

return 12, "3/4"

```

# La función genera una solución inicial aleatoria para la columna,  
# incluyendo la altura, resistencia del concreto y la cuantía del acero.

```

def generate_initial_solution():
    altura = random.choice([2.6, 2.7, 2.8])
    resistencia_concreto = random.choice([210, 280, 350, 420])
    cuantia = round(random.uniform(0.01, 0.04), 3)

```

# La función redondea un número al múltiplo de cinco más cercano.

```

def redondear_multiplo_cinco(numero):
    numero_multiplicado = numero * 100
    numero_redondeado = round(numero_multiplicado / 5, 2) * 5

```

```

decimal = numero_redondeado % 10
if decimal >= 5:
    numero_redondeado = numero_redondeado + (10 - decimal)
else:
    numero_redondeado = numero_redondeado - decimal + 5

return round(numero_redondeado)

# def calcular_longitud_de_lado(columna, ):
#     return 25

# Esta función calcula la longitud del lado de la columna, utilizando el área
tributaria y la resistencia del concreto.
def calcular_longitud_de_lado(area_tributaria, resistencia_concreto,
show=False):
    n = 0.45 # columna centrada
    number_of_floors = 3
    # if show:
    # print(area_tributaria * number_of_floors)
    # print(resistenciaconcreto)
    # print(n * resistencia_concreto * 10)
    area_columna = math.sqrt(
        (area_tributaria * number_of_floors) / n * resistencia_concreto * 10))
    area_columna_rounded = round(area_columna, 2)
    area_columna_rounded_multiple_of_5 = math.ceil(
        area_columna_rounded / 0.05) * 0.05
    lado_columna = int(area_columna_rounded_multiple_of_5 * 100)
    if lado_columna > 30:
        lado_columna = 30
    if lado_columna < 20:

```

```

lado_columna = 20
# if show:
    # print(area_colmna, area_columna_rounded,
    #       area_columna_rounded_multiple_of_5, lado_columna)
return lado_columna

```

# Esta función calcula el costo de las barras de acero, multiplicando la cantidad de barras por el costo unitario según su tamaño.

```

def calcular_costo_barras(num_barras, mejor_barra, altura):
    costo_barras_por_metro = {
        "3/8": 22,
        "1/2": 39,
        "5/8": 59.5,
        "3/4": 75,
        "1": 90,
    }
    # barras de 9 metros
    metros_de_barras = math.ceil((altura * num_barras)/9)
    costo_barras = metros_de_barras * costo_barras_por_metro[mejor_barra]
    return costo_barras

```

# Esta función calcula el costo del concreto utilizado en la columna, multiplicando el volumen de concreto por el costo por metro cúbico.

```

def calcular_costo_de_columna(columna, lado):
    costo_cemento = {
        210: 350,
        280: 600,
        350: 640,
    }

```

420: 740

```
}  
area_cubica = round((lado/100) * (lado/100) * columna["altura"], 2)  
costo_cemento_por_metro_cubico =  
costo_cemento[columna["resistencia_concreto"]]  
return area_cubica * costo_cemento_por_metro_cubico
```

# Esta función calcula el costo total de la columna, sumando el costo de las barras de acero y el costo del concreto.

```
def calcular_costo(columna, area_tributaria):  
_, _, _, _, _, costo_barras, costo_cemento = calcular_características(  
    columna, area_tributaria)  
return round(costo_barras + costo_cemento + 22, 2)
```

# Esta función calcula las características de la columna, incluyendo la longitud del lado, área de la columna,

# área de acero requerida, número y tamaño de barras de acero, y el costo de las barras y el concreto.

```
def calcular_características(columna, area_tributaria, show=False):  
    longitud_lado = calcular_longitud_de_lado(  
        area_tributaria, columna["resistencia_concreto"], show)  
    area_columna = longitud_lado * longitud_lado  
    area_acero = round(area_columna * columna["cuantia"], 1)  
    num_barras, mejor_barra = calcular_barras(area_acero)  
    costo_barras = calcular_costo_barras(  
        num_barras, mejor_barra, columna["altura"])  
    costo_cemento = calcular_costo_de_columna(columna, longitud_lado)  
    return longitud_lado, area_columna, area_acero, num_barras,  
    mejor_barra, costo_barras, costo_cemento
```

# Esta función genera una solución vecina para el algoritmo Simulated Annealing.

# En este caso, simplemente se genera una nueva solución inicial aleatoria.

```
def generate_neighbor_solution():  
    return generate_initial_solution()
```

# Esta función implementa el algoritmo Simulated Annealing para encontrar la mejor solución (columna) que minimiza el costo.

# Utiliza la generación de soluciones iniciales aleatorias y soluciones vecinas aleatorias.

# La función actualiza la solución actual si se cumple la condición de aceptación de Simulated Annealing.

# Al final, devuelve la mejor solución encontrada y su costo.

```
def simulated_annealing(area_tributaria):  
    total_columnas = []  
    initial_temperature = 1000  
    final_temperature = 0.1  
    cooling_rate = 0.95  
    iterations_per_temperature = 112  
  
    current_solution = generate_initial_solution()  
    total_columnas.append(current_solution)  
    best_solution = current_solution  
    current_temperature = initial_temperature  
  
    while current_temperature > final_temperature:  
        for _ in range(iterations_per_temperature):  
            neighbor_solution = generate_neighbor_solution()
```

```

total_columnas.append(neighbor_solution)
delta = calcular_costo(neighbor_solution, area_tributaria) - \
        calcular_costo(current_solution, area_tributaria)

        if delta < 0 or mathexp(-delta / current_temperature) >
random.random():
            current_lution = neighborolution

        if calcular_costo(current_solution, area_tributaria) <
calcular_costo(best_solution, are_tributaria):
            best_solution = current_solution

        current_temperature *= cooling_rate

return best_ution, calcular_costo(best_solution,ara_tributaria),
total_columnas

area_tributaria = int(input("Igrese el área tributaria: "))
# Ejecutar el algoritmo y mostrar el resultado, flexocompresión
best_sotion, best_cost, total_columnas =
simulated_annealing(area_tributaria)

guardar_datos_en_cs(total_columnas, area_tributaria,
'datos_columnas.csv')

other_characteristics = calcular_características(
    best_solution, area_tributaria, show=True)

results = [
    ["MEJOR COSTOENCONTRADO", str(best_cost), "soles"],
    ["Altura", str(best_solution["altura"]), "m"],
    ["Resistencia cocreo", best_soltion["resistencia_concreto"], "kg/cm2"],
    ["Cuantía", convertir_a_porcentaje(best_solution["cuantia"]), "%"],
    ["Longitud lado", str(other_chracteristics[0]), "cm"],

```

```
["Área columna, str(other_characteristics[1]), "cm2"],  
["Área acero", str(other_characteristics[2]), "cm2"],  
["Número de barras", other_characteristics[3], "barras"],  
["Barra escogida", other_characteristics[4].replace(  
    "", " "), ""],
```

### **3.8 Método de análisis de datos**

Se utilizará como instrumento de recolección de datos al programa informático Excel, el cual tiene ya integrado al programador Python. Mediante el uso de este y su lenguaje de programación se podrá realizar correctamente toda la recolección necesaria.

Para el análisis de los datos hallados se aplicará los métodos de investigación presentes en los algoritmos genéticos; además por medio de referencias geométricas, el uso de las normas técnicas para edificaciones y el código ACI 318-19 se realizará la verificación de ellos. Este proceso permitirá la creación de una base de datos para el posterior análisis del costo, cantidad de acero y la relación entre la resistencia a la compresión y el costo de la columna.

### **3.9 Aspectos éticos**

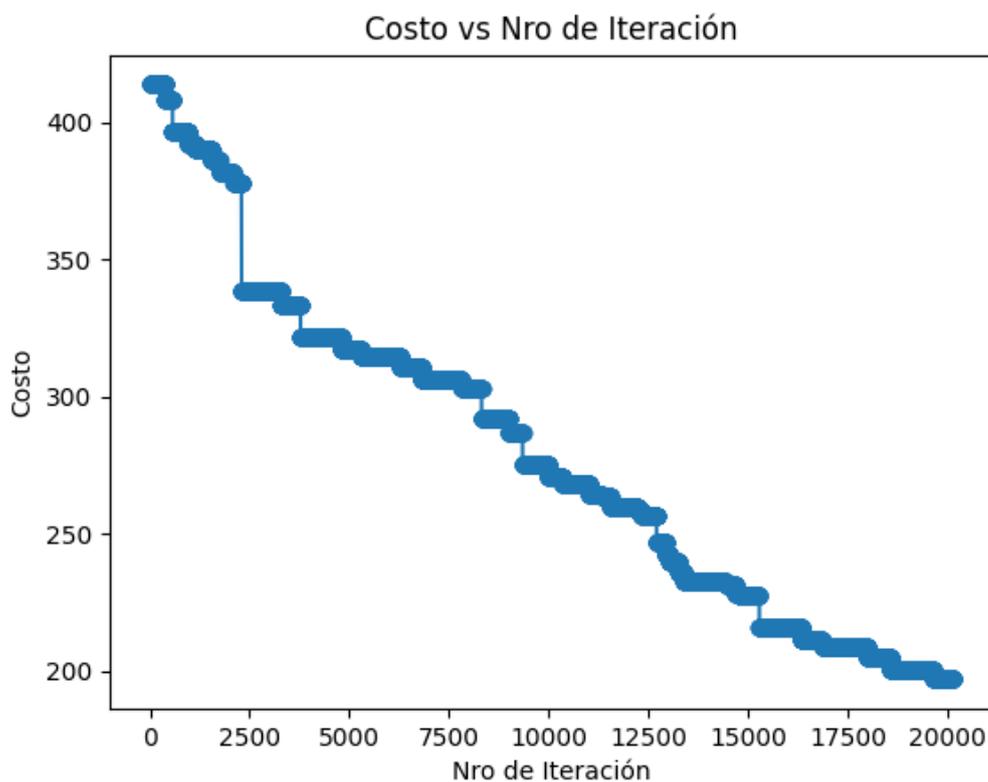
Al referirse de aspectos éticos debemos hacerlo también del aspecto legal, en este se encuentran los códigos y pautas internacionales de igual forma que la jurisprudencia nacional (Alvarez Viera, 2020), en el Perú se rigen las siguientes normas:

- ACI 318-19: Requisitos de reglamento para concreto estructural Capítulo 10
- NORMA E.0.60: CONCRETO ARMADO (2009) 8.8 Columnas; 10.9 Límites de refuerzo de elementos a compresión; 10.15 Trasmisión de cargas de las columnas a través de las losas de piso.
- NORMA E.0.20: CARGAS (2006) ANEXO I
- NORMA E.0.30: DISEÑO SISMORRESISTENTE (2018) Artículo 10; Artículo

## IV. RESULTADOS

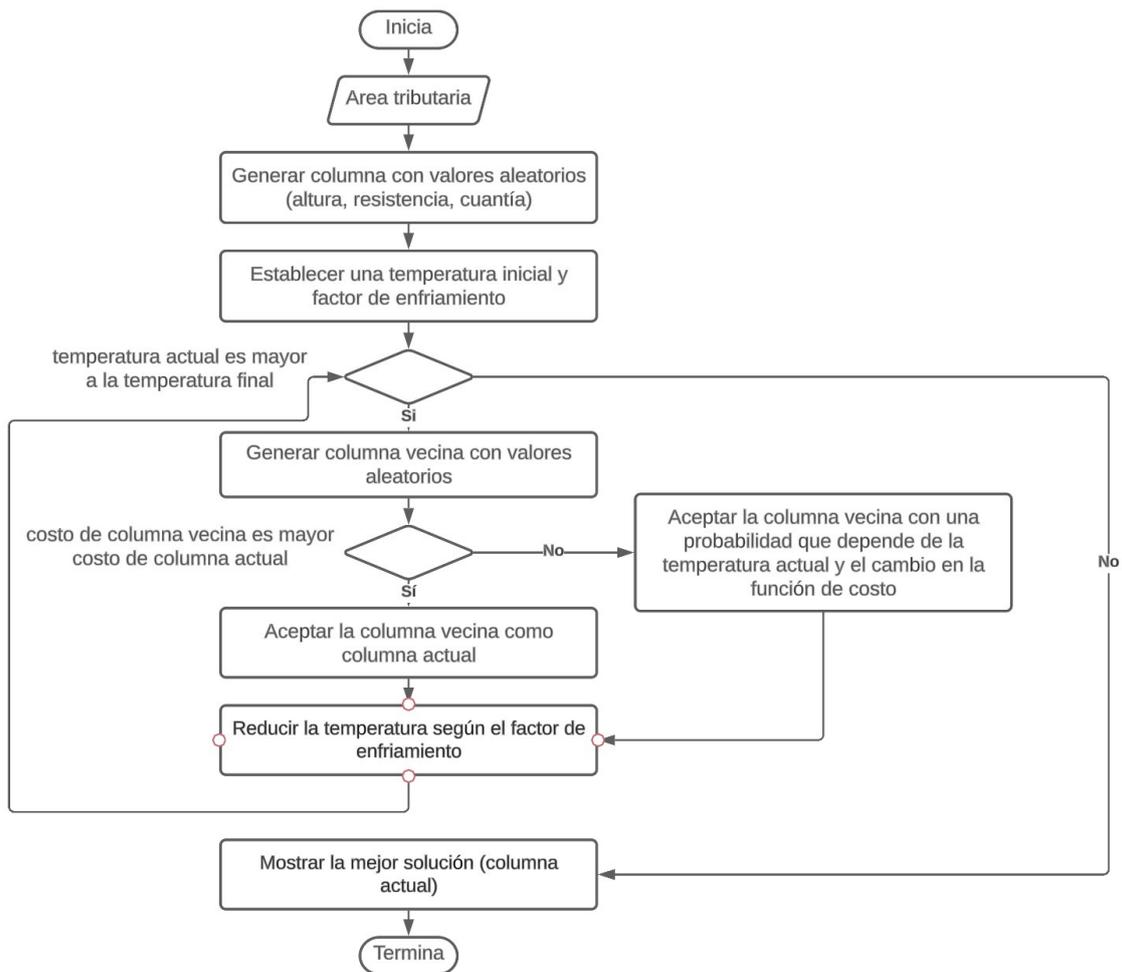
### 4.1. Costo

**Ilustración 11.** Optimización del costo de la columna de concreto mediante el Simulated Annealing



**Nota.** El precio de una columna centrada puede variar según una serie de elementos, incluido el tamaño de la columna, la cantidad de acero necesaria, el tipo de hormigón utilizado, la ubicación y otros elementos. El costo de la columna centrada con una longitud de lado de 25cm se optimizó a S/. 197.00 para la cuantía 1.2% sin considerar la mano de obra.

**Ilustración 12.**Flujograma del algoritmo Simulated Annealing usado.



**Nota.** El algoritmo utilizado es el Simulated Annealing tenía este flujo para poder encontrar a las mejores características de una columna cuadrada centrada de dimensiones 25 cm\*25cm.

## 4.2. Características Geométricas

**Tabla 2.** Características geométricas optimizadas mediante Simulated Annealing

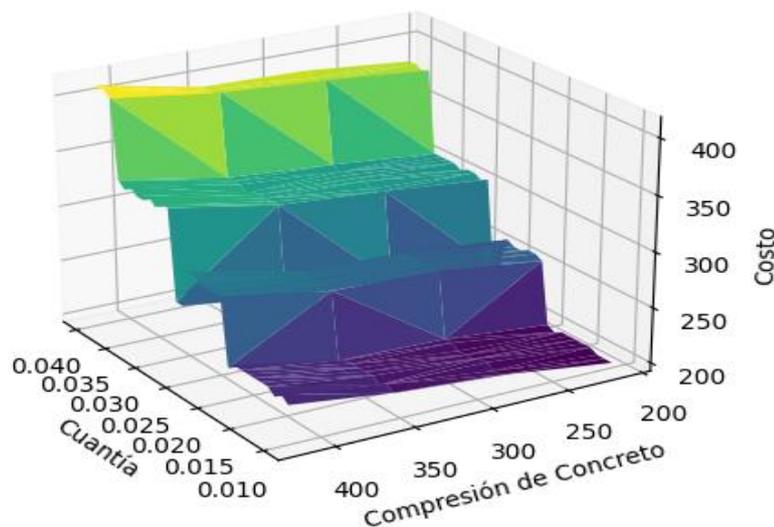
Largo x Ancho	0.25m * 0.25m
Área base	0.0625m <sup>2</sup>
Altura	2.60m
Recubrimiento	4cm
Cuantía de acero requerida	1.2%
Resistencia a la Fluencia del acero	4200 kg/cm <sup>2</sup>
Número de barras	4
Área de acero	7.5cm <sup>2</sup>
Barra de acero	5/8"
Resistencia a la compresión del concreto	210 kg/cm <sup>2</sup>

**Nota.** El proceso iterativo 20120 arroja las siguientes características geométricas para la optimización de la columna mediante el algoritmo Simulated Annealing.

## 4.3. Relación Cuantía, Resistencia a la compresión y el costo

**Ilustración 13.** Relación cuantía, compresión y coste.

Costo en función de Cuantía y Compresión de Concreto

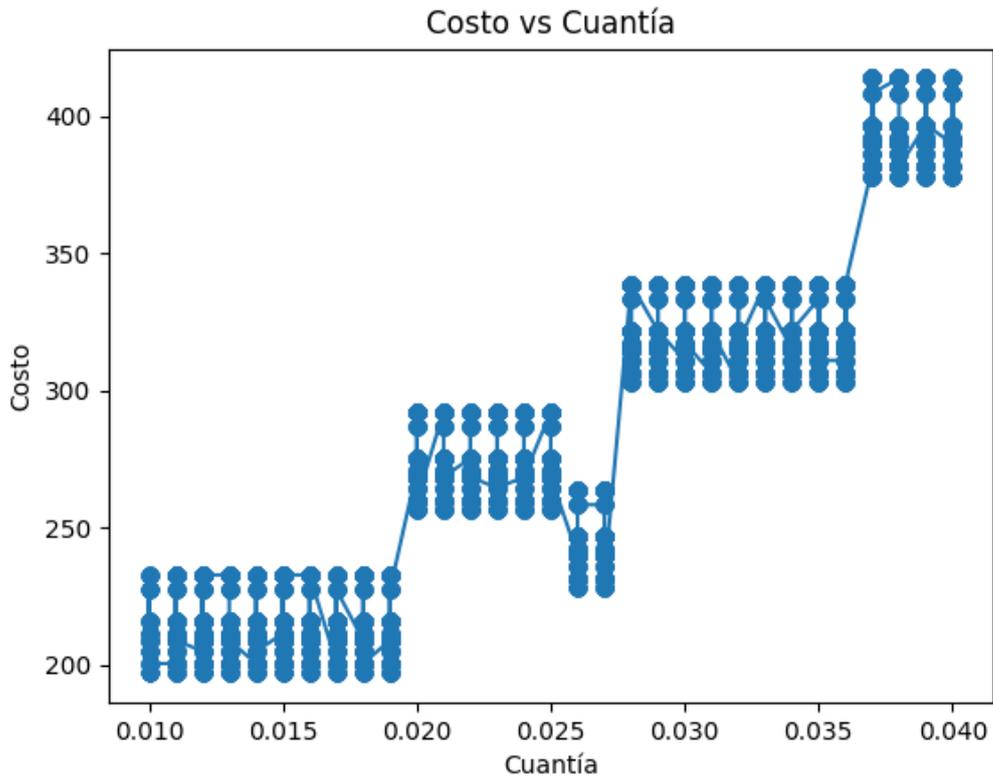


**Nota.** En esta gráfica se puede verificar que existe una relación entre las variables de la resistencia a la compresión, la cuantía y el coste, lo cual indica que

la optimización de la columna mediante el algoritmo Simulated Annealing encuentra el menor pico o precio en este caso.

#### 4.4. Cuantía Óptima

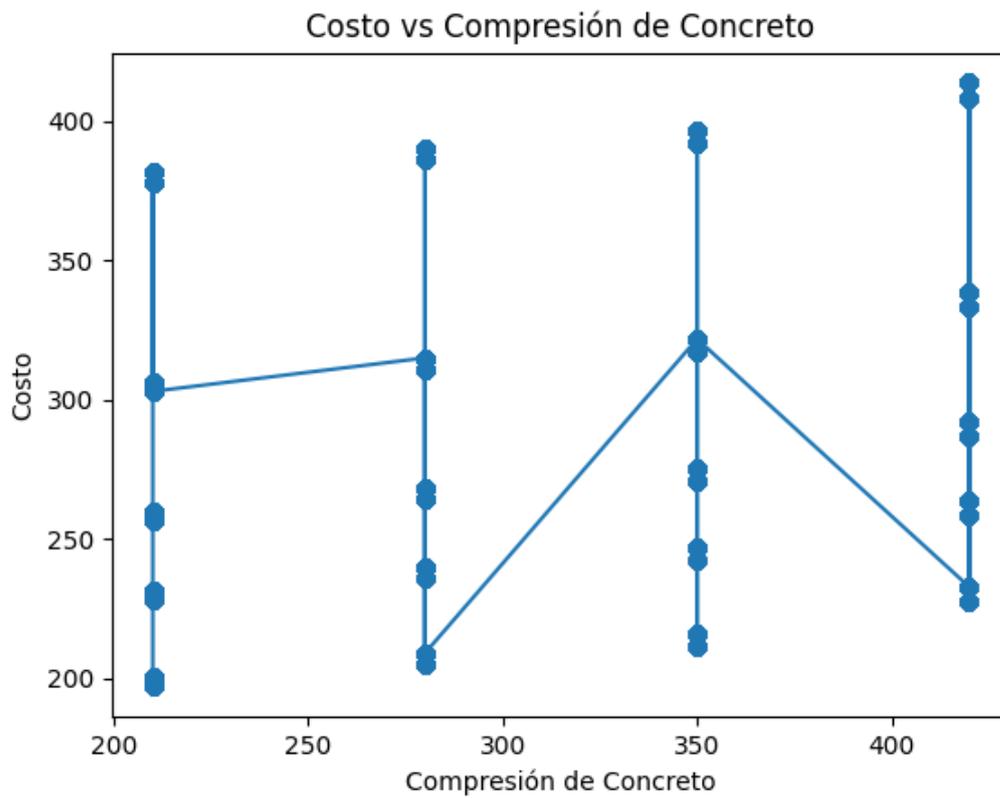
**Ilustración 14.** *Cuantía óptima de acero en porcentaje conseguido.*



**Nota.** La optimización estructural puede reducir los costos y aumentar la eficiencia de la construcción y es lo que buscamos con el algoritmo Simulated Annealing que nos permite determinar que el 1.2% es donde se encuentra la cuantía óptima.

#### 4.5. Resistencia a la compresión

**Ilustración 15.** Resistencia a la compresión óptima.



**Nota.** Se ha determinado mediante el algoritmo de Simulated Annealing que 210kg/cm<sup>2</sup> es la compresión de concreto óptima para soportar una columna con longitud de lado 25cm\*25cm.

## V. DISCUSIÓN

La optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing, valida la hipótesis establecida en esta investigación; en este sentido, permitió disminuir el costo de una columna en un 47.72%, usando una cuantía óptima manteniendo la resistencia del concreto adecuada (ver Ilustración 11. Optimización del costo de la columna de concreto mediante el Simulated Annealing), teniendo un impacto en la reducción de los costos de s/. 413.18 a s/197.00.

En la Ilustración 12. Flujograma *del algoritmo Simulated Annealing usado*. se muestra el proceso del costo de la columna centrada iterada 20120 veces que se optimizó de S/. 413.18 a S/. 197.00 para la cuantía 1.2% sin considerar la mano de obra, detallando las características geométricas de esta en la Tabla 2. *Características geométricas optimizadas mediante Simulated Annealing* donde observamos que tiene 0.25m de lado con una altura de 2.6m para un hormigón que tiene resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup>, por otro lado en la Ilustración 13. *Relación cuantía, compresión y coste*. gráfica se puede verificar que existe una relación entre las variables de la resistencia a la compresión, la cuantía y el coste, lo cual indica que la optimización de la columna mediante el algoritmo Simulated Annealing encuentra el menor pico o precio en este caso. Seguidamente en Ilustración 14. *Cuantía óptima de acero en porcentaje conseguido*. podemos observar como la optimización estructural puede reducir los costos y aumentar la eficiencia de la construcción y es lo que buscamos con el algoritmo Simulated Annealing que nos permite determinar que el 1.2% es donde se encuentra la cuantía óptima y además en la Ilustración 15. *Resistencia a la compresión óptima*. se observa como se ha determinado mediante el algoritmo de Simulated Annealing que 210kg/cm<sup>2</sup> es la compresión de concreto óptima.

Por otro lado, Yurisleidy (2017) objetó que en el trayecto de optimización el paso fundamental es la formulación del problema matemáticamente, solo si este proceso se realiza con la exactitud debida se obtendrá una respuesta correcta, ya que el conocer muchos métodos de optimización es importante, pero no lo es tanto, como el conocer a profundidad el problema a resolver, y dominar el conocimiento

de todo el componente, ya que esto permitirá evaluar apropiadamente las invariables del problema; por tanto, es acorde al análisis realizado en esta investigación ya que se obtuvo un código con características estocásticas que su uso sin la supervisión de un ingeniero experimentado pondría en riesgo las estructuras diseñadas.

Así mismo, Stochino y López (2019), obtuvieron que el proceso de diseño es iterativo y requiere mucho tiempo. Por estas razones, los investigadores han estado explorando diferentes técnicas de optimización para reducir el tiempo de cálculo y minimizar el coste total de la construcción, con lo que concuerda con nuestra investigación ya que en este estudio se explora un método de optimización mediante el algoritmo Simulated Annealing con el cual se logra optimizar el costo de una columna y además el tiempo que toma hacer el pre dimensionamiento de esta estructura.

Por otro lado, Ortega (2014), menciona que en ocasiones se utilizan elementos cuyas secciones tienen unas dimensiones superiores a las necesarias para resistir las cargas que se les imponen, ya sea por motivos arquitectónicos o funcionales. A medida que disminuye la cantidad de refuerzo, el momento crítico se eleva por encima de la resistencia nominal de la sección. Estos fallos son repentinos y frágiles, y se producen cuando se supera el momento crítico. Para evitarlo, es práctico especificar una cantidad mínima de acero que asegure que el momento crítico de la sección sea mayor que su momento resistente; que relacionado con nuestra investigación se determinó que la cuantía más óptima para una columna cuadrada central de 0.25m de lado fue de 1.2%.

Esta investigación tiene limitaciones ya que al ser un algoritmo que usa un código Python tiene características estocásticas y además de solo evaluar 20120 columnas, también debemos de considerar que la programación en cualquier lenguaje de programación dentro de la comunidad de ingenieros civiles es poco conocida lo que limita el uso de diferentes fórmulas o métodos de optimización ; por tanto, se debe seguir en la investigación de nuevas maneras y formulas en la optimización estructural y además hacerlas más asequibles al público en general.

Los resultados que se obtuvieron la optimización de columnas con el algoritmo Simulated Annealing permiten la continuidad de futuras investigaciones

en esta rama además de dejar fundamentos en esta área e impulsar el estudio en esta rama de la ingeniería, el código propuesto será un recurso para futuros programadores que logren mejorar su funcionamiento con inteligencias artificiales.

El resultado de la unidad de estudio facilita a los ingenieros el pre dimensionamiento de las columnas, ya que el código propuesto hace las verificaciones de cuantía, costo, resistencia del concreto y altura ayudado de inteligencia artificial para su optimización, proporcionándole a este código los datos necesarios este dará una solución óptima para el pre dimensionamiento de una columna cuadrada centrada.

Por lo que decimos en esta investigación de optimización de una columna con el algoritmo Simulated Annealing concluimos que el costo para una columna cuadrada de 0.25x0.25m y de 2.6m de alto se logró reducir el costo en un 47.72%, usando una cuantía óptima manteniendo la resistencia del concreto adecuada teniendo un impacto en la reducción de los costó de s/. 413.18 a s/197.00.

## VI. CONCLUSIONES

- Se determino la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el Algoritmo Simulated Annealing realizando las comprobaciones mediante el ACI 319-19 y la NTP E-060; con lo que se optimizo el costo, características geométricas, propiedades, materiales y refuerzos longitudinales y transversales de la columna.
- La optimización de la columna de concreto armado mediante Simulated Annealing permite determinar una columna de concreto armado con dimensiones 25cm x 25cm x 260cm de altura, a un costo de S/. 197.00.
- Se determino la cuantía del refuerzo longitudinal de la columna mediante el Simulated Annealing para la columna optimizada en 4 barras de diámetro  $\emptyset$  5/8" y con una cuantía del  $p= 1.2\%$  obteniendo una columna económica y resistente.
- El algoritmo Simulated Annealing permite establecer diferentes propuestas de resistencia a la compresión del concreto según las consideraciones y factores sísmicos del proyecto, haciendo todas las verificaciones y comprobaciones de la NTP E-060 y el ACI 318-19, con lo cual permite construir una columna de concreto con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  para las características geométricas optimizadas.
- La función ``generate_initial_solution()`` genera una solución inicial aleatoria para la columna, incluyendo la altura, resistencia del concreto y la cuantía del acero. Estos valores son seleccionados de forma aleatoria dentro de rangos predefinidos.
- El costo de la columna se calcula en la función ``calcular_costo(columna)``. Este costo se compone del costo de las barras de acero y el costo del concreto utilizado en la columna. Se multiplican la cantidad de barras de acero por el costo unitario según su tamaño, y se calcula el costo del concreto multiplicando el volumen de concreto por el costo por metro cúbico.
- En cada iteración del algoritmo, se evalúa la solución actual y una solución vecina. Se calcula la diferencia de costo entre ambas soluciones (``delta``). Si la solución vecina tiene un costo menor o si se cumple una condición probabilística basada en la temperatura actual del algoritmo, se actualiza la solución actual con la solución vecina.

- Una vez que el algoritmo ha finalizado, se muestra el resultado final, incluyendo el mejor costo encontrado, la altura, resistencia del concreto y cuantía del acero de la mejor solución, así como las demás características calculadas de la columna. También se muestra el detalle del proceso, como el número de barras, el tamaño de las barras escogidas y los costos asociados.
- En resumen, el algoritmo Simulated Annealing utiliza la generación de soluciones iniciales y soluciones vecinas aleatorias, así como cálculos de características y costos para evaluar y actualizar la solución actual. A través del enfriamiento controlado, explora el espacio de búsqueda en busca de la mejor solución que minimice el costo.

## VII. RECOMENDACIONES

- Es importante la selección de las dimensiones de la sección transversal de tal modo que la cuantía total de acero longitudinal no exceda del 4%. Si se excede de esa cuantía podemos tener serios problemas de congestión de armaduras, tanto en la zona de nudos, como en los empalmes de las barras longitudinales. Adicionalmente, dependiendo del costo relativo del concreto, acero y encofrado, se puede obtener columnas más económicas si se limita la armadura entre 1% y el 3%.
- Respetar los recubrimientos mínimos especificados por la NTP E-060 y el espaciamiento mínimo entre barras así como la distribución de estribos para no dejar más de una barra longitudinal suelta.
- Para soportar la tensión de compresión predominante, la cantidad de acero es crucial para asegurar la resistencia y seguridad de la estructura, por lo que se debe de respetar la cuantía mínima en acero 1%. Esta cuantía ayuda a controlar el flujo plástico del concreto comprimido.
- Cuando existan limitaciones con respecto al tamaño de la sección transversal, debe utilizar concreto con mayor resistencia en los primeros pisos de los edificios altos (280, 350 o 420kg/cm<sup>2</sup>) luego se puede cambiar a concretos de menor resistencia en los pisos superiores.
- Es conveniente en una sección con doble eje de simetría utilizar una disposición simétrica de las armaduras. En columnas rectangulares se suele usar número pares de barras, de este modo que la armadura de la columna sea simétrica con respecto del eje de flexión.
- Es importante colocar un número de barras que guarde relación con el ancho de la columna. Para anchos de 0.25m o menos no deben utilizar más de 2 barras. El número de varillas que se pueden colocar en cada cara de la columna debe estar de acuerdo con las armaduras de la viga que pasa por la columna y con su espaciamiento mínimo entre las barras.
- Al momento de realizar la investigación se encontró varios artículos científicos donde se menciona que el análisis y optimización estructural en 3D es mucho mas preciso y detallado, pero esta tecnología aun esta muy poco desarrollada y conocida en latinoamérica, por lo que se necesita mas investigadores en esta rama de la optimización estructural.

## Referencias

- Aguilar, S. (2020). Algoritmo de recocido simulado o Simulated Annealing.
- Alvarez Viera, P. (2020). *Ética e investigación*. Universidad De Santiago de Cali, Cali.
- Aranda, V. (2004). Historia y evolución de los lenguajes de programación. *Entorno Virtual de*.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología Científica*. Caracas: Episteme.
- Arnal, H., & Epelboim, S. (1985). *Manual para el Proyecto de Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones*. Caracas.
- Ballester Brage, L. (2004). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Islas Baleares, España.
- Betancur López, S. (2000). Operacionalización de variables. *Hacia la promoción de la salud*, 5.
- Borda Flores, J., & Rodríguez, G. (2010). Optimización de Secciones Transversales de Pórticos de Hormigón Armado mediante Uso de la Técnica de Programación Cuadrática Secuencial SQL. *Mecánica Computacional*, 29.
- C. McCormac, J., & H. Brown, R. (2017). *Diseño de concreto reforzado*. Alpha Editorial.
- Cacabelos Romero, M. (2015). *El lenguaje de programación C*.
- Carlos, M., O., B., & Euriel, M. (2014). Propuesta y validación de un algoritmo Simulated annealing modificado para la solución de problemas de optimización. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 30(4), 264-270.
- Ceballos Sierra, J. (2010). *Visual Basic .NET Lenguaje y aplicaciones*. Alcalá, España: Ra-Ma, Librería y Editorial Microinformática.
- Challenger Pérez, I., Díaz Ricardo, Y., & Becerra García, R. (2014). El lenguaje de programación Python. *Ciencias Holguín*, 20(2), 1-13.

- Congreso de la República del Perú. (2019). 51 E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE RM-043-2019-VIVIENDA.
- Corana, A., Marchesi, M., Martini, C., & Ridella, S. (1987). Minimizing Multimodal Functions of Continuous Variables with the ‘Simulated Annealing’ Algorithm . *ACM Transactions on Mathematical Software (TOMS)*, 13(3), 262-280.
- E. Harmsen, T. (2005). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Lima.
- Fernández Montoro, A. (2013). *Python 3 al descubierto*. Madrid, España: Alfaomega Grupo Editor.
- García de Jalón, J., Rodríguez, J. I., & Brazález, A. (1999). *Aprenda Visual Basic 6.0*. San Sebastián.
- John, E., Rodrigo, L., & Wilson, A.-J. (2015). Un algoritmo metaheurístico híbrido para el problema de localización y ruteo con restricciones de capacidad. *Dyna*, 82(189), 243-251.
- La Torre, J. (2018). *Optimización del diseño estructural, enfocado en el costo de edificaciones educativas de concreto armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lapadula, V. (2014). *Estudio comparativo sobre la aplicación de los algoritmos PSO y SQP en la optimización de pórticos planos de concreto armado*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- Latorre, A., del Rincón, D., & Arnal, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa*. Barcelona: Ediciones Experiencia.
- Lerma González, H. (2009). *Metodología de la investigación: propuesta, anteproyecto y proyecto*. Bogotá: Ocoe Ediciones.
- Lionel, B., & Febe, C. (2018). Análisis de Tendencias y Aplicaciones de la Ingeniería de Software basada en la búsqueda.
- López, P. (2004). Población muestra y muestreo. *Punto cero*, 9(8).
- Louffat, E. (2015). *Administración: fundamentos del proceso*. Buenos aires, Argentina.

- M. Adams, J., Buitrago, M., Bertolesi, E., Sagasetta, J., & J. Moragues, J. (2020). Dynamic performance of a real-scale reinforced concrete building test under a corner-column failure scenario. *Engineering Structures*, 210.
- M. Fares, A. (2019). Effect of Columns Stiffness's and Number of Floors on the Accuracy of the Tributary Area Method. *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 13.
- Manrique Rojas, E. (2020). Machine Learning: análisis de lenguajes de programación y herramientas para desarrollo. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*(E28), 586-599.
- Manso, J. C., Alejandro, G., & Antonio, E. (2005). Aplicación del algoritmo de búsqueda tabú al problema de despacho hidrotérmico. *Scientia et Technica*.
- Martín Villalba, C., Urquía Moraleda, A., & Rubio González, M. (2021). *Lenguajes de programación*. Editorial UNED.
- Mata, M., & Macassi, S. (1997). Cómo elaborar muestras para los sondeos de audiencias. *Cuadernos de investigación*(5).
- Metropolis, N., Rosenbluth, A., Rosenbluth, M., & Teller, A. (1953). Equation of State Calculations by Fast Computing Machines. *The journal of chemical physics*, 21(6), 1087-1092.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE*. Obtenido de <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Noriega, E. (2021). *Optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú*. Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Ortega, J. (2014). *Diseño de estructuras de concreto armado, Volumen 1*. Lima, Perú: Empresa Editora Macro EIRL.

- Peña Basurto, M., & Cela Espín, J. (2000). *Introducción a la programación en C* (Vol. 42). Cataluña, España: Edicions UPC.
- Pineda, E., De Alvarado, E., & De Canales, F. (1994). *Manual para el desarrollo de personal de salud*. Washington DC.
- Qian Wang, & Linfeng Mei. (2021). Structural optimization in civil engineering: a literature review. *11*(2), 66.
- R. Rackwitz , A. Lentz, & M. Faber . (2005). Socio-economically sustainable civil engineering infrastructures by optimization. *27*(3), 187-229.
- Rabbi, G. (2022). Comparison of Axial Load on Column by Tributary Area Method and 3D Modelling by ETABS. *Journal of Structural Engineering, its Applications and Analysis*, *5*(3).
- Reguant Alvarez, M., & Martínez Olmo, F. (2014). *Operacionalización de conceptos/variables*. Universidad de Barcelona,, Barcelona.
- Rojas, M. (2015). Tipos de Investigación científica: Una simplificación de la complicada incoherente. *Revista Electrónica de Veterinaria*, *16*(1), 1 - 14.
- Rubio Torá, J. A. (2009). *Gestión de Proyectos Según Metodología Lean. Simulador Conductual SimuLean*.
- Silberschatz, A., Galvin, P., & Gagne, G. (2006). *Fundamentos de Sistemas Operativos, 7ma Edición*.
- Simón, A., Jorge, M., & José, O. (2017). Comparación del diseño de muros estructurales de concreto armado según. *Revista INGENIERÍA UC*, *24*(1), 125-137.
- Soto Vásquez, L. (29 de Marzo de 2011). *Investigación y tipos de investigación*. Obtenido de slideshare.net.
- Stochino, F., & Lopez Gayarre, F. (2019). Reinforced concrete slab optimization with simulated annealing. *applied sciences*. doi:10.3390/app9153161
- Tarazona Bernal, Y. S. (2021). *ANTLR 4 grammar of the Swift 5*. Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Tevni, G. (2000). TIPOS DE INVESTIGACION.

Torres, M., Torres, A., De La Torre, J., Ponce, E., & Luna, F. (2008). Estudio Comparativo de Algoritmos de Búsqueda Local.

Useche, M., Artigas, W., Queipo, B., & Perozo, É. (2019). *Técnicas e instrumentos recolección de datos cuali-cuantitativos*. Guajira: Gente Nueva.

Yurisleidy, R. (2017). *Optimización de conjuntos estructurales planos utilizando la OAPI SAP2000-MATLAB*. Universidad Central de "Marta Abreu" de las Villas, Santa Clara.

## ANEXOS

### Anexo 1

#### Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cómo es la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing?	<p><b>Objetivo general:</b> Realizar la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing</p> <p><b>Objetivos específicos:</b> -Determinar el costo de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.</p>	<p>Es sabido que el concreto es un material de gran resistencia a las fuerzas de compresión, por otro lado, su resistencia es muy baja al enfrentarse a fuerzas de tracción y flexión. (Ortega, 2014)</p> <p>(Yurisleidy, 2017) objetó que en el trayecto de optimización el paso fundamental es la formulación del problema matemáticamente, solo si este proceso se realiza con la exactitud debida se obtendrá una respuesta correcta, es aquí donde el papel del ingeniero sobresale.</p>	El algoritmo de Simulated Annealing podría optimizar el diseño de una columna de concreto armado.	Optimización del diseño de una columna de concreto armado	<p><b>Tipo de investigación:</b> Básica pues busca un avance en el conocimiento teórico</p> <p><b>Diseño de investigación:</b> no experimental ya que se observará el comportamiento de las variables.</p> <p><b>Unidad de estudio:</b> Columnas de concreto armado</p> <p><b>Población:</b> Todos los diseños de columnas de concreto armado mediante Simulated Annealing.</p>

-Determinar la cuantía óptima de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.  
-Determinar la resistencia a la compresión de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

El problema de diseño implica muchas variables dependientes e independientes; por tanto, el proceso de diseño es iterativo y requiere mucho tiempo. Por estas razones, los investigadores han estado explorando diferentes técnicas de optimización para reducir el tiempo de cálculo y minimizar el coste total de la construcción. (Stochino & Lopez Gayarre, 2019)

En la actualidad el uso de algoritmos complejos es comúnmente visto en los métodos de optimización estructural existentes, a pesar de ello estos métodos no son aplicados en un gran porcentaje de proyectos estructurales pues la complejidad de los algoritmos, la especialización y capacitación requerida para operarlos no es muy popular entre quienes diseñan estructuras. (La Torre, 2018)

Algoritmo de  
SIMULATED  
ANNEALING

- *Criterios de inclusión:* Columnas cuadradas y rectangulares  
- *Criterios de exclusión:* No se considerará columnas circulares en este estudio, ni aquellas que no cumplan con las restricciones resistentes  
20  
que se darán en la programación de la optimización de una columna de concreto armado.

**Muestra:**

Será un muestreo no probabilístico intencional y se tomará 20120 columnas de muestra

**Recolección de datos:**

En la recolección de datos se usará la guía detallada en el

## Anexo 2

### Operacionalización de variables

VARIABLE	CONCEPTO	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Diseño de una columna	<b>Columna</b> — Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral mayor que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión. Según la norma E.060	Costo de una columna Cantidad de acero en las columnas La relación entre la resistencia a la compresión	-La optimización del costo de una columna -Características geométricas -La resistencia del hormigón y sus características	Razón o Proporción

**Nota:** Elaboración Propia

**DOCUMENTOS PARA VALIDAR LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN  
A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTOS**

## CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor(a):

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestros saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería civil de la UCV, en la sede Trujillo, promoción 2023-1, requerimos validar los instrumentos con los cuales recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestra investigación y con la cual optaremos el grado de Ingeniero.

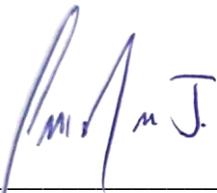
El título nombre de nuestro proyecto de investigación es: "Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ" y siendo imprescindible contar con la aprobación de ingenieros civiles colegiados, para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia profesional.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

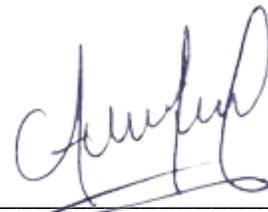
Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.



**Neyra Julcamoro, Noemí Lidia**

**DNI: 72126229**



**Cabanillas Jave, Juan Aldahir**

**DNI: 70314897**

## **DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES**

### **Variables y operacionalización**

El proceso de operacionalización de las variables representa un proceso racional de selección de los conceptos más concretos entre los conceptos teóricos. Estos conceptos concretos constituyen hechos reales y observables los cuales son reunidos con el fin de poder ser analizados para determinar sus indicadores y dimensiones. Este proceso llega a ser definido como el reemplazo de conceptos teóricos a otros particulares y concretos los cuales sean característicos del concepto original. (Latorre, del Rincón, & Arnal, 1996).

**Variable Independiente:** Columna cuadrada.

### **Definición conceptual:**

Según el REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES NORMA E.060 CONCRETO ARMADO una columna es un elemento del sistema estructural pensado principalmente para soportar la carga axial de compresión. (E. Harmsen, 2005)

### **Definición operacional:**

Las columnas, a diferencia de los pedestales, tienen una relación larga/menor dimensión de la sección transversal, mayor que tres. (E. Harmsen, 2005)

**MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<b>Diseño de una columna</b>	Columna — Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral mayor que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión. Según la norma E.060.	Las columnas, a diferencia de los pedestales, tienen una relación larga/menor dimensión de la sección transversal, mayor que tres	Costo	<i>Costo : (n de varillas * m3 concreto)</i>	Razón
			Área del acero	$A_{s_{min}} = \frac{0,80\sqrt{F_c'}}{F_y} b \cdot d \geq \frac{14b \cdot d}{F_y}$	
			Cuantía	$p = A_{st}/A_g$	

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

Nº	VARIABLES-DIMENSIONES-INDICADORES	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	<b>COLUMNA CUADRADA</b>							
	DIMENSIÓN 1: CORTANTE	Si	No	Si	No	Si	No	
1	<i>Costo : (n de varillas * m3 concreto)</i>	x		x			x	Mejorar la formula, pero funciona
	DIMENSIÓN 2: MOMENTO	Si	No	Si	No	Si	No	
3	$A_{S_{min}} = \frac{0,80\sqrt{F_c}}{F_y} b \cdot d \geq \frac{14b \cdot d}{F_y}$	x		x		x		
	DIMENSIÓN 3: DEFORMACIÓN	Si	No	Si	No	Si	No	
4	$p = A_{st}/A_g$	x		x		x		

Opinión de aplicabilidad:      **Aplicable** [  ]      **Aplicable después de corregir** [  ]      **No aplicable** [  ]

**Apellidos y nombres del juez validador. Ing.: Grandez Chappa Rober**

**DNI: 74431085**

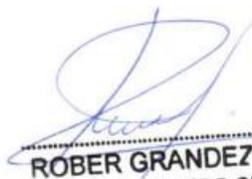
**Especialidad del validador: INGENIERO COLEGIADO**

**04 de junio del 2023**

<sup>1</sup>**Pertinencia:** El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>**Relevancia:** El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

<sup>3</sup>**Claridad:** Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo



**ROBER GRANDEZ CHAPPA**  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 297744

-----  
**Firma del Experto Informante.**

Matriz de Consistencia

Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
¿Cómo es la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing?	<b>Objetivo general:</b> Realizar la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing	Es sabido que el concreto es un material de gran resistencia a las fuerzas de compresión, por otro lado, su resistencia es muy baja al enfrentarse a fuerzas de tracción y flexión. (Ortega, 2014)	El algoritmo de Simulated Annealing podría optimizar el diseño de una columna de concreto armado. (Yurisleidy, 2017) objetó que en el trayecto de optimización el paso fundamental es la formulación del problema matemáticamente, solo si este proceso se realiza con la exactitud debida se obtendrá una respuesta correcta, es aquí donde el papel del ingeniero sobresale.	Optimización del diseño de una columna de concreto armado	<b>Diseño de investigación:</b> no experimental ya que se observará el comportamiento de las variables.
	<b>Objetivos específicos:</b> -Determinar el costo de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.			Algoritmo de SIMULATED ANNEALING	<b>Unidad de estudio:</b> Columnas de concreto armado
			El problema de diseño implica muchas variables dependientes e		<b>Población:</b> Todos los diseños de columnas de concreto armado mediante



ROBER GRANDEZ CHAPPA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 297744

-Determinar la cuantía óptima de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

-Determinar la resistencia a la compresión de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

En la actualidad el uso de algoritmos complejos es comúnmente visto en los métodos de optimización estructural existentes, a pesar de ello estos métodos no son aplicados en un gran porcentaje de proyectos estructurales pues la complejidad de los algoritmos, la especialización y capacitación requerida para operarlos no es muy popular entre quienes diseñan estructuras. (La Torre, 2018)

Simulated Annealing.

- *Criterios de inclusión:* Columnas cuadradas y rectangulares

-*Criterios de exclusión:* No se considerará columnas circulares en este

estudio, ni aquellas que no cumplan con las restricciones resistentes

20

que se darán en la programación de la optimización de una columna de concreto armado.

**Muestra:**

Será un muestreo no probabilístico intencional y se tomará 2000 columnas de muestra

**Recolección de datos:**

En la recolección de datos se usará la guía detallada en el

ROBER GRANDEZ CHAPPA  
INGENIERO CIVIL  
C.R. N° 20774

Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	CONCEPTO	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
	Columna — Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral	Costo de una columna	-La optimización del costo de una columna	
Diseño de una columna	mayor que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión.	Cantidad de acero en las columnas	-Características geométricas -La resistencia del hormigón y sus características	Razón o Proporción
	Según la norma E.060	La relación entre la resistencia a la compresión		

  
**ROBER GRANDEZ CHAPPA**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 297744

**MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS**

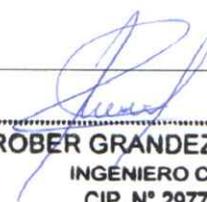
<b>Título de la investigación:</b>		Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ						
<b>Línea de investigación:</b>		Diseño Sísmico y Estructural						
<b>Eje temático</b>		Optimización Estructural						
<b>Tipo de instrumento (Marcar con X)</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Cuestionario	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Guía de entrevista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Guía de Observación	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Ficha de análisis Documental	<input type="checkbox"/> Otro instrumento:

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.

Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
7	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas? (Sólo cuestionario)	X		
8	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores? (Sólo cuestionario)	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición? (Sólo cuestionario)	X		
10	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

**Sugerencias:**

Nombre completo: ROBER GRANDEZ CHAPPA  
 DNI: 74431085  
 Especialidad y Grado: INGENIERO CIVIL

  
**ROBER GRANDEZ CHAPPA**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP. N° 297744

Firma del Experto

### Anexo 3

#### Ficha de validación de instrumentos

#### Titulo de la investigacion:

“Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ”

#### Investigadores:

- Neyra Julcamoro, Lidia
- Cabanillas Jave, Juan Aldair

#### DISEÑO DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO

Datos de entrada (eje X)		Datos de entrada (eje Y)	
hx(m)		hx(m)	
bx(m)		bx(m)	
d'x(m)		d'x(m)	
dx(m)		dx(m)	
F'c(Mpa)		F'c(Mpa)	
Fy(Mpa)		Fy(Mpa)	
E(Mpa)		E(Mpa)	
$\epsilon_y$		$\epsilon_y$	
$\epsilon_{cu}$		$\epsilon_{cu}$	
¿Estribos?		¿Estribos?	
k		k	

  
ROBER GRANDEZ CHAPPA  
INGENIERO CIVIL  
CIP. N° 297744

Factores reduccion	
$\Phi_{compresion}$	
$\Phi_{traccion}$	

Refuerzo eje X				
Capas	Cantidad	Barra #	As (mm2)	d (m)
Capa 1				
Capa 2				
Capa 3				
Capa 4				
Capa 5				
Capa 6				
Capa 7				
Capa 8				
Capa 9				
<b>Total</b>	0			

**DOCUMENTOS PARA VALIDAR LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN  
A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTOS**

## CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor(a):

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestros saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería civil de la UCV, en la sede Trujillo, promoción 2023-1, requerimos validar los instrumentos con los cuales recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestra investigación y con la cual optaremos el grado de Ingeniero.

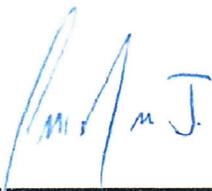
El título nombre de nuestro proyecto de investigación es: "Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ" y siendo imprescindible contar con la aprobación de ingenieros civiles colegiados, para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia profesional.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

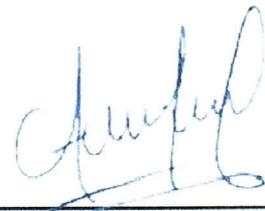
Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.



**Neyra Julcamoro, Noemí Lidia**

**DNI: 72126229**



**Cabanillas Jave, Juan Aldahir**

**DNI: 70314897**

## DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

### Variables y operacionalización

El proceso de operacionalización de las variables representa un proceso racional de selección de los conceptos más concretos entre los conceptos teóricos. Estos conceptos concretos constituyen hechos reales y observables los cuales son reunidos con el fin de poder ser analizados para determinar sus indicadores y dimensiones. Este proceso llega a ser definido como el reemplazo de conceptos teóricos a otros particulares y concretos los cuales sean característicos del concepto original. (Latorre, del Rincón, & Arnal, 1996).

**Variable Independiente:** Columna cuadrada.

### Definición conceptual:

Según el REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES NORMA E.060 CONCRETO ARMADO una columna es un elemento del sistema estructural pensado principalmente para soportar la carga axial de compresión. (E. Harmsen, 2005)

### Definición operacional:

Las columnas, a diferencia de los pedestales, tienen una relación larga/menor dimensión de la sección transversal, mayor que tres. (E. Harmsen, 2005)



FRANZ J. GUTIERREZ FLORINDEZ  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 297745

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Diseño de una columna	Columna — Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral mayor que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión. Según la norma E.060.	Las columnas, a diferencia de los pedestales, tienen una relación larga/menor dimensión de la sección transversal, mayor que tres	Costo	Costo : (n de varillas * m3 concreto)	Razón
			Área del acero	$A_{s\text{mín}} = \frac{0.80 \sqrt{F_c}}{F_y} b \cdot d \geq \frac{1.4 b \cdot d}{F_y}$	
			Cuantía	$p = A_{st}/Ag$	



FRANZ GUTIERREZ FLORINDEZ  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 297745

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

N°	VARIABLES-DIMENSIONES-INDICADORES	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	<b>COLUMNA CUADRADA</b>							
	DIMENSIÓN 1: CORTANTE							
1	Costo : (n de varillas * m3 concreto)	X		X		X		
	DIMENSIÓN 2: MOMENTO							
3	$A_{s,max} = \frac{0,80 \cdot F_c}{F_y} b \cdot d \leq \frac{1+9 \cdot d}{F_y}$	X		X		X		Verificar la fórmula
	DIMENSIÓN 3: DEFORMACIÓN							
4	$p = A_{st}/Ag$	X		X		X		

Opinión de aplicabilidad:      Aplicable [ X ]      No aplicable [ ]      Aplicable después de corregir [ ]

Apellidos y nombres del juez validador. Ing.: FRANZ J. GUTIERREZ FLORINDEZ      DNI: 73696948

Especialidad del validador: INGENIERO COLEGIADO      21 de junio del 2023

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo



FRANZ J. GUTIERREZ FLORINDEZ  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 287745

Firma del Experto Informante.

### Anexo 3

#### Ficha de validación de instrumentos

#### Título de la investigación:

“Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ”

#### Investigadores:

- Neyra Julcamoro, Lidia
- Cabanillas Jave, Juan Aldair

#### DISEÑO DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO

Datos de entrada (eje X)		Datos de entrada (eje Y)	
hx(m)		hx(m)	
bx(m)		bx(m)	
d'x(m)		d'x(m)	
dx(m)		dx(m)	
F'c(Mpa)		F'c(Mpa)	
Fy(Mpa)		Fy(Mpa)	
E(Mpa)		E(Mpa)	
$\epsilon_y$		$\epsilon_y$	
$\epsilon_{cu}$		$\epsilon_{cu}$	
¿Estribos?		¿Estribos?	
k		k	

Factores reduccion	
$\Phi_{compresion}$	
$\Phi_{traccion}$	

Refuerzo eje X				
Capas	Cantidad	Barra #	As (mm <sup>2</sup> )	d (m)
Capa 1				
Capa 2				
Capa 3				
Capa 4				
Capa 5				
Capa 6				
Capa 7				
Capa 8				
Capa 9				
<b>Total</b>	0			

  
FRANZ J. GUTIERREZ FLORINDEZ  
INGENIERO CIVIL  
CIF N° 297745

Matriz de Consistencia

Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cómo es la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing?	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Realizar la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>-Determinar el costo de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.</p>	<p>Es sabido que el concreto es un material de gran resistencia a las fuerzas de compresión, por otro lado, su resistencia es muy baja al enfrentarse a fuerzas de tracción y flexión. (Ortega, 2014)</p> <p>(Yurisleydy, 2017) objetó que en el trayecto de optimización el paso fundamental es la formulación del problema matemáticamente, solo si este proceso se realiza con la exactitud debida se obtendrá una respuesta correcta, es aquí donde el papel del ingeniero sobresale.</p> <p>El problema de diseño implica muchas variables dependientes e</p>	<p>El algoritmo de Simulated Annealing podría optimizar el diseño de una columna de concreto armado.</p>	<p>Optimización del diseño de una columna de concreto armado</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>Básica pues busca un avance en el conocimiento teórico</p> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <p>no experimental ya que se observará el comportamiento de las variables.</p> <p><b>Unidad de estudio:</b></p> <p>Columnas de concreto armado</p> <p><b>Población:</b></p> <p>Todos los diseños de columnas de concreto armado mediante</p>

  
 FRANZ J. GUTIERREZ FIORINDEZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 297745

-Determinar la cuantía óptima de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

-Determinar la resistencia a la compresión de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

En la actualidad el uso de algoritmos complejos es comúnmente visto en los métodos de optimización estructural existentes, a pesar de ello estos métodos no son aplicados en un gran porcentaje de proyectos estructurales pues la complejidad de los algoritmos, la especialización y capacitación requerida para operarlos no es muy popular entre quienes diseñan estructuras. (La Torre, 2018)

Simulated Annealing.

- *Criterios de inclusión:* Columnas cuadradas y rectangulares

- *Criterios de exclusión:* No se considerará columnas circulares en este

estudio, ni aquellas que no cumplan con las restricciones resistentes

20

que se darán en la programación de la optimización de una columna de concreto armado.

**Muestra:**

Será un muestreo no probabilístico intencional y se tomará 2000 columnas de muestra

**Recolección de datos:**

En la recolección de datos se usará la guía detallada en el

  
FRANZA GUTIERREZ FLORINDEZ  
INGENIERO CIVIL  
CIP N° 297745

Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	CONCEPTO	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Diseño de una columna	Columna — Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión.	Costo de una columna  Cantidad de acero en las columnas	-La optimización del costo de una columna  -Características geométricas -La resistencia del hormigón y sus características	Razón o Proporción
	Según la norma E.060	La relación entre la resistencia a la compresión		

  
 FRANZ J. GUTIERREZ FLORINDEZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP N° 297745

**MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS**

<b>Título de la investigación:</b>		Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ						
<b>Línea de investigación:</b>		Diseño Sísmico y Estructural						
<b>Eje temático</b>		Optimización Estructural						
<b>Tipo de instrumento (Marcar con X)</b>	<b>Cuestionario</b>		<b>Guía de entrevista</b>		<b>Guía de Observación</b>		<b>Ficha de análisis Documental</b>	<b>Otro instrumento:</b> _____

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.

Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
7	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas? (Sólo cuestionario)	X		
8	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores? (Sólo cuestionario)	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición? (Sólo cuestionario)	X		
10	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

**Sugerencias:**

Nombre completo: **FRAN J. GUTIERREZ FLORINDEZ**

DNI: **73 6969 48**

Especialidad y Grado: **INGENIERO CIVIL COLEGIADO**

  
 FRANZ J. GUTIERREZ FLORINDEZ  
 INGENIERO CIVIL  
 CP N° 29745

Firma del Experto

**DOCUMENTOS PARA VALIDAR LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN  
A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTOS**

2

## CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor(a):

Presente

Asunto: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS A TRAVÉS DE JUICIO DE EXPERTO.

Nos es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestros saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo estudiante de la Escuela Profesional de Ingeniería civil de la UCV, en la sede Trujillo, promoción 2023-1, requerimos validar los instrumentos con los cuales recogeremos la información necesaria para poder desarrollar nuestra investigación y con la cual optaremos el grado de Ingeniero.

El título nombre de nuestro proyecto de investigación es: "Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ" y siendo imprescindible contar con la aprobación de ingenieros civiles colegiados, para poder aplicar los instrumentos en mención, hemos considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia profesional.

El expediente de validación, que le hacemos llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

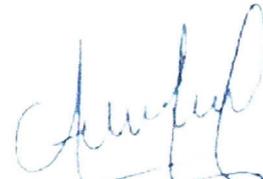
Expresándole nuestros sentimientos de respeto y consideración nos despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.



**Neyra Julcamoro, Noemí Lidia**

**DNI: 72126229**



**Cabanillas Jave, Juan Aldahir**

**DNI: 70314897**

## DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

### Variables y operacionalización

El proceso de operacionalización de las variables representa un proceso racional de selección de los conceptos más concretos entre los conceptos teóricos. Estos conceptos concretos constituyen hechos reales y observables los cuales son reunidos con el fin de poder ser analizados para determinar sus indicadores y dimensiones. Este proceso llega a ser definido como el reemplazo de conceptos teóricos a otros particulares y concretos los cuales sean característicos del concepto original. (Latorre, del Rincón, & Arnal, 1996).

**Variable Independiente:** Columna cuadrada.

### Definición conceptual:

Según el REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES NORMA E.060 CONCRETO ARMADO una columna es un elemento del sistema estructural pensado principalmente para soportar la carga axial de compresión. (E. Harmsen, 2005)

### Definición operacional:

Las columnas, a diferencia de los pedestales, tienen una relación larga/menor dimensión de la sección transversal, mayor que tres. (E. Harmsen, 2005)



OLGIER GOÑÁS LABAJOS  
INGENIERO CIVIL  
CIP 237873

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Diseño de una columna	Columna — Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral mayor que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión. Según la norma E.060.	Las columnas, a diferencia de los pedestales, tienen una relación larga/menor dimensión de la sección transversal, mayor que tres	Costo	Costo : (n de varillas * m3 concreto)	Razón
			Área del acero	$A_{s\text{ requer}} = \frac{0.80 \cdot F_c}{F_y} \cdot b \cdot d \leq \frac{1+b \cdot d}{F_y}$	
			Cuantía	$p = A_{st}/Ag$	



OJFER GOMAS LABAJOS  
INGENIERO CIVIL  
CIP 237273

**CERTIFICADO DE VALIDEZ DE CONTENIDO DEL INSTRUMENTO**

N°	VARIABLES-DIMENSIONES-INDICADORES	Pertinencia <sup>1</sup>		Relevancia <sup>2</sup>		Claridad <sup>3</sup>		Sugerencias
		Si	No	Si	No	Si	No	
	<b>COLUMNA CUADRADA</b>							
	DIMENSIÓN 1: CORTANTE							
1	Costo : (n de varillas * m3 concreto)	X			X		X	
	DIMENSIÓN 2: MOMENTO							
3	$A_{s\text{mín}} = \frac{0,80 \sqrt{F_c}}{F_y} b \cdot d \leq \frac{14b \cdot d}{F_y}$	X			X		X	SE SUGIERE CAMBIAR DE FÓRMULA.
	DIMENSIÓN 3: DEFORMACIÓN							
4	$p = A_{st}/A_g$	X			X		X	

Opinión de aplicabilidad:      **Aplicable [X]**      **Aplicable después de corregir [ ]**      **No aplicable [ ]**

Apellidos y nombres del juez validador. Ing.: **GOÑAS LABAJOS OLGEE**      **DNI: 74294885**

**Especialidad del validador: INGENIERO COLEGIADO**      **21 de junio del 2023**

<sup>1</sup>Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

<sup>2</sup>Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

<sup>3</sup>Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo



OLGEE CONAS LABAJOS  
INGENIERO CIVIL  
CIP 237873

Firma del Experto Informante.

### Anexo 3

#### Ficha de validación de instrumentos

#### Titulo de la investigacion:

“Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ”

#### Investigadores:

- Neyra Julcamoro, Lidia
- Cabanillas Jave, Juan Aldair

#### DISEÑO DE COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO

Datos de entrada (eje X)		Datos de entrada (eje Y)	
hx(m)		hx(m)	
bx(m)		bx(m)	
d'x(m)		d'x(m)	
dx(m)		dx(m)	
F'c(Mpa)		F'c(Mpa)	
Fy(Mpa)		Fy(Mpa)	
E(Mpa)		E(Mpa)	
$\epsilon_y$		$\epsilon_y$	
$\epsilon_{cu}$		$\epsilon_{cu}$	
¿Estribos?		¿Estribos?	
k		k	

Factores reduccion	
$\Phi_{compresion}$	
$\Phi_{traccion}$	

Refuerzo eje X				
Capas	Cantidad	Barra #	As (mm2)	d (m)
Capa 1				
Capa 2				
Capa 3				
Capa 4				
Capa 5				
Capa 6				
Capa 7				
Capa 8				
Capa 9				
<b>Total</b>	0			

  
OLGER GONAS LABAJOS  
INGENIERO CIVIL  
CIP 237873

*Matriz de Consistencia*

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cómo es la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing?	<p><b>Objetivo general:</b></p> <p>Realizar la optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing</p> <p><b>Objetivos específicos:</b></p> <p>-Determinar el costo de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.</p>	<p>Es sabido que el concreto es un material de gran resistencia a las fuerzas de compresión, por otro lado, su resistencia es muy baja al enfrentarse a fuerzas de tracción y flexión. (Ortega, 2014)</p> <p>(Yurisleidy, 2017) objetó que en el trayecto de optimización el paso fundamental es la formulación del problema matemáticamente, solo si este proceso se realiza con la exactitud debida se obtendrá una respuesta correcta, es aquí donde el papel del ingeniero sobresale.</p> <p>El problema de diseño implica muchas variables dependientes e</p>	<p>El algoritmo de Simulated Annealing podría optimizar el diseño de una columna de concreto armado.</p>	<p>Optimización del diseño de una columna de concreto armado</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>Básica pues busca un avance en el conocimiento teórico</p> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <p>no experimental ya que se observará el comportamiento de las variables.</p> <p><b>Unidad de estudio:</b></p> <p>Columnas de concreto armado</p> <p><b>Población:</b></p> <p>Todos los diseños de columnas de concreto armado mediante</p>

-Determinar la cuantía óptima de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

-Determinar la resistencia a la compresión de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

independientes; por tanto, el proceso de diseño es iterativo y requiere mucho tiempo. Por estas razones, los investigadores han estado explorando diferentes técnicas de optimización para reducir el tiempo de cálculo y minimizar el coste total de la construcción. (Stochino & Lopez Gayarre, 2019)

En la actualidad el uso de algoritmos complejos es comúnmente visto en los métodos de optimización estructural existentes, a pesar de ello estos métodos no son aplicados en un gran porcentaje de proyectos estructurales pues la complejidad de los algoritmos, la especialización y capacitación requerida para operarlos no es muy popular entre quienes diseñan estructuras. (La Torre, 2018)

Simulated Annealing.

- *Criterios de inclusión:* Columnas cuadradas y rectangulares

- *Criterios de exclusión:* No se considerará columnas circulares en este estudio, ni aquellas que no cumplan con las restricciones resistentes

20

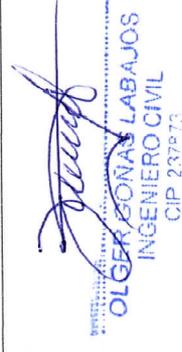
que se darán en la programación de la optimización de una columna de concreto armado.

**Muestra:**

Será un muestreo no probabilístico intencional y se tomará 2000 columnas de muestra

**Recolección de datos:**

En la recolección de datos se usará la guía detallada en el



Matriz de Operacionalización de variables

VARIABLE	CONCEPTO	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Diseño de una columna	Columna — Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral que tres, usado principalmente para resistir carga axial de compresión.	Costo de una columna  Cantidad de acero en las columnas	-La optimización del costo de una columna  -Características geométricas -La resistencia del hormigón y sus características	Razón o Proporción
	Según la norma E.060	La relación entre la resistencia a la compresión		

  
 OLGER GONZÁLES LABAJOS  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 237873

### MATRIZ DE EVALUACIÓN DE EXPERTOS

<b>Título de la investigación:</b>		Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ							
<b>Línea de investigación:</b>		Diseño Sísmico y Estructural							
<b>Eje temático</b>		Optimización Estructural							
<b>Tipo de instrumento (Marcar con X)</b>	<b>Cuestionario</b>		<b>Guía de entrevista</b>		<b>Guía de Observación</b>		<b>Ficha de análisis Documental</b>		<b>Otro instrumento:</b> _____

Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la coherencia de las preguntas sobre la variable en estudio.

Items	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
7	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas? (Sólo cuestionario)	X		
8	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores? (Sólo cuestionario)	X		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición? (Sólo cuestionario)	X		
10	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	X		

**Sugerencias:**

Nombre completo: OLGER GONAS LABAJOS

DNI: 74294885

Especialidad y Grado: INGENIERO CIVIL COLEGIADO

  
**OLGER GONAS LABAJOS**  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP 237873

Firma del Experto



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, NORIEGA VIDAL EDUARDO MANUEL, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Optimización del diseño de una columna de concreto armado mediante el algoritmo de SIMULATED ANNEALING, PERÚ", cuyos autores son NEYRA JULCAMORO NOEMI LIDIA, CABANILLAS JAVE JUAN ALDAHIR, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 24 de Julio del 2023

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
NORIEGA VIDAL EDUARDO MANUEL <b>DNI:</b> 43236142 <b>ORCID:</b> 0000-0001-7674-7125	Firmado electrónicamente por: ENORIEGAVI el 24- 07-2023 10:29:32

Código documento Trilce: TRI - 0613747