



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UNA VIGA DE
CONCRETO ARMADO MEDIANTE SIMULATED
ANNEALING, PERÚ

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Eduardo Manuel Noriega Vidal

Asesor:

Mg. Josualdo Carlos Villar Quiroz

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

A Dios, por darme fortaleza de seguir persiguiendo cada sueño que me propongo en mi vida profesional.

A mi amada madre Roxana, por su incondicional apoyo, porque sé que desde su silencio ella siempre estará ahí para darme ánimo ante la adversidad, y de quién es mi motivo de inspiración para el desarrollo de la presente investigación. ¡Te amo madre!

A mis hijos Eduardo Valentino y Alejandro Ramiro, por su enorme tolerancia y comprensión para ser mi impulso de mejorar cada día como padre.

Eduardo Noriega

AGRADECIMIENTO

Expreso mi especial agradecimiento a mi asesor Ing. Mg. Josualdo Carlos Villar Quiroz, profesor principal de nuestra casa de estudios, que con su apoyo incondicional hizo posible realizar el presente estudio “Optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú”

Al mismo tiempo sin dejar de lado a todos los profesionales que con sus críticas y aportes fueron de incitación para la presente investigación

- Ing. Juan Agreda
- Ing. Julio Valeriano
- Ing. Eduar Rodríguez
- Ing. Sheyla Cornejo
- Ing. Alejandro Vera
- Ing. Ricardo Avalos
- Ing. Roman Aguilar
- Ing. Grant Llaque

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad problemática	13
1.2. Antecedentes de la investigación.....	18
1.3. Bases teóricas	22
1.3.1. Viga	22
1.3.2. Definición de concreto	22
1.3.3. Características y funciones de los componentes	23
1.3.4. Fraguado del concreto	24
1.3.5. Curado del concreto	24
1.3.6. Propiedades del concreto.....	24
1.3.7. Concreto estructural	26
1.3.8. Ensayos de laboratorio	26
1.3.9. Columna	27
1.3.10. Losa aligerada	27
1.3.11. Inercia.....	27

1.3.12.	Momento	28
1.3.13.	Cortante	28
1.3.14.	Torsión	28
1.3.15.	Flexión.....	28
1.3.16.	Investigación de operaciones	28
1.3.17.	Heurística	29
1.3.18.	Metaheurística	29
1.3.19.	Algoritmo	30
1.3.20.	Algoritmo Simulated Annealing	30
1.3.21.	Algoritmo de Euclides.....	30
1.3.22.	Algoritmos meméticos	31
1.3.23.	Algoritmo de búsqueda tabú	31
1.3.24.	Machine Learning	31
1.3.25.	Deep Learning	32
1.3.26.	Lógica borrosa.....	32
1.3.27.	Redes neuronales.....	32
1.3.28.	Algoritmos genéticos.....	33
1.3.29.	Colonias de hormigas	33
1.3.30.	GRASP	34
1.3.31.	Cadenas de Markov	34
1.4.	Justificación	34

1.4.1.	Justificación general.....	34
1.4.2.	Justificación teórica.....	34
1.4.3.	Justificación práctica.....	35
1.4.4.	Justificación metodológica.....	35
1.5.	Formulación del problema.....	35
1.6.	Objetivos.....	35
1.6.1.	Objetivo general.....	35
1.6.2.	Objetivos específicos.....	35
1.7.	Hipótesis.....	36
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....		37
2.1.	Enfoque de la investigación.....	37
2.2.	Tipo de investigación.....	37
2.2.1.	Por el propósito.....	37
2.2.2.	Según el diseño.....	37
2.3.	Diseño de investigación.....	37
2.4.	Variables.....	39
2.4.1.	Clasificación de variables.....	40
2.4.2.	Operacionalización de variables.....	41
2.5.	Población y muestra.....	42
2.5.1.	Población.....	42
2.5.2.	Muestra.....	42

2.5.3. Materiales	42
2.6. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	43
2.6.1. Técnicas de recolección de datos	43
2.6.2. Instrumento de recolección de datos	43
2.6.3. Validación de instrumento de recolección de datos	43
2.6.4. Análisis de datos.....	44
2.7. Procedimiento	44
2.8. Desarrollo	47
2.8.1. Características geométricas y mecánicas	48
2.8.2. Diseño por flexión.....	48
2.8.3. Diseño por corte	54
2.8.4. Diseño por torsión	57
2.8.5. Cálculo del coste	61
CAPÍTULO III. RESULTADOS	63
3.1. Costo.....	63
3.2. Características geométricas	64
3.3. Cantidad de acero	65
3.4. Relación resistencia a la compresión-costo	66
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
4.1. Discusión	67
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	70

5.1. Conclusiones.....	70
5.2. Recomendaciones	72
Referencias.....	73
ANEXO-1	79
ANEXO-2	80
ANEXO-3	81
ANEXO-4	82
ANEXO-5	89
ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS	92
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS	93

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Diseño de la investigación</i>	38
Tabla 2. <i>Identificación de las variables</i>	40
Tabla 3. <i>Operacionalización de variables</i>	41
Tabla 4. <i>Materiales</i>	43
Tabla 5. <i>Tabla de aceros</i>	53
Tabla 6. <i>Valores de λ para concreto liviano con base en la densidad de equilibrio</i> ...	54
Tabla 7. <i>Precios de hormigón</i>	61
Tabla 8. <i>Tabla resumen para el coste de una viga de concreto armado</i>	62
Tabla 9. <i>Características geométricas optimizadas mediante Simulated Annealing</i>	64

Índice de figuras

Figura 1. <i>Diagrama de diseño de investigación</i>	38
Figura 2. <i>Procedimiento para la recolección de datos</i>	45
Figura 3. <i>Algoritmo Simulated Annealing</i>	46
Figura 4. <i>Diseño de viga</i>	48
Figura 5. <i>Deformación unitaria de compresión y tracción</i>	50
Figura 6. <i>Propiedades de la sección</i>	58
Figura 7. <i>Sección de viga</i>	58
Figura 8. <i>Optimización del coste de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing</i>	63
Figura 9. <i>Cantidad de barras</i>	65
Figura 10. <i>Relación resistencia a la compresión - coste</i>	66

RESUMEN

La industria de la construcción asume constantemente desafíos a nivel nacional y mundial; por tanto, la presente de investigación estudia la optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú.

El objetivo de esta investigación es determinar la optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú. El tipo de investigación en función del propósito es aplicada y de acuerdo al diseño es de tipo no experimental descriptiva, por lo que no se manipula ni controla la variable. Según el diseño de investigación obedece a una investigación no experimental transversal descriptivo. Los resultados obtenidos del procesamiento de optimización de 15602 vigas de concreto armado en cuanto a coste es de s/. 1909.63, con una sección de 30 cm x 140 cm, factor de resistencia a la compresión $f'c = 280$ kg/cm² y un área de acero 8.04 cm².

Finalmente, se concluye que la optimización de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, genera un sin número de oportunidades; en ese sentido, permitirán enriquecer en posteriores investigaciones en lo que respecta a inteligencia artificial y sus bondades en cuanto a la optimización del diseño de una viga de concreto mediante Simulated Annealing.

Palabras claves: Viga, optimización, Cristalización Simulada, Cadena de Markov

ABSTRACT

The construction industry is constantly taking on national and global challenges; Therefore, this research study studies the optimization of the design of a reinforced concrete beam using Simulated Annealing, Peru.

The objective of this research is to determine the optimization of the design of a reinforced concrete beam using Simulated Annealing, Peru. The type of research based on the purpose is applied and according to the design it is of a descriptive non-experimental type, so the variable is not manipulated or controlled. According to the research design, it obeys a descriptive cross-sectional non-experimental investigation. The results obtained from the optimization processing of 15602 reinforced concrete beams in terms of cost is s /. 1909.63, with a section of 30 cm x 140 cm, a compression resistance factor $f'c = 280 \text{ kg / cm}^2$ and a steel area of 8.04 cm².

Finally, it is concluded that the optimization of the reinforced concrete beam through Simulated Annealing, generates a number of opportunities; In this sense, they will allow enrichment in subsequent investigations with regard to artificial intelligence and its benefits in terms of optimizing the design of a concrete beam using Simulated Annealing.

Keywords: Beam, optimization, Simulated Annealing, Markov Chain

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Hoy en día, alrededor del 55 % de la población mundial, 4200 millones de habitantes, vive en ciudades. Se cree que esta tendencia continuará. En 2050, la población urbana se duplicará, y casi 7 de cada 10 personas vivirán en ciudades. Dado que más del 80 % del producto interno bruto (PIB) mundial se genera en las ciudades, si la urbanización se gestiona adecuadamente puede contribuir al crecimiento sostenible, aumentando la productividad y facilitando la innovación y el surgimiento de nuevas ideas (Banco Mundial, 2020). En el sector construcción existen exigencias y estándares que los materiales deben poseer para la utilización de los mismos en diversos proyectos de ingeniería, en ese sentido es importante conocer las características básicas y resilientes de los materiales, para la satisfacción de múltiples necesidades sin perder la calidad.

En Brasil, Carvalho, Gines y González (2021) argumentan que, utilizando técnicas de diseño estructural, especialmente en el diseño óptimo de vigas y columnas en edificios modernos, permite la reducción considerable del costo de fabricación de la viga; en ese sentido, se busca configuraciones con características mecánicas y eficientes del acero y el hormigón que se encuentren cerca al límite de los dominios 3 y 4, donde el hormigón está en ruptura inminente y el acero en fluencia. Además, el problema de optimización utilizó el método de programación cuadrática secuencial, a partir de un momento flector con lo cual mediante códigos computacionales permite el dimensionamiento óptimo de la sección.

En México, Toxqui, Zepeda y Sánchez (2018) investigaron sobre el comportamiento y diseño de vigas de concreto reforzado mediante barras de polímeros reforzados con fibras de vidrio (PRFV) en concretos de resistencia normal, los mismos que fueron sometidos a flexión simple con el fin de verificar las consideraciones expuestas en el código de diseño

ACI 440.1R para diseño subreforzado, obteniendo como resultado que la resistencia nominal hasta la falla, resultó superior a la esperada según la metodología de análisis estudiada.

En Ecuador, Toapanta (2016) encontró que el reforzamiento con fibras de vidrio en vigas hormigón armado, permiten incrementar en 37% el módulo de ruptura, mientras que el reforzamiento con fibras de carbono incrementa en 56% dicho módulo, en ese sentido, estos diseños de vigas con dichos materiales, permiten a los profesionales brindarles nuevas líneas de investigación y al mismo tiempo la utilización de dichos materiales en la construcción de proyectos de gran envergadura, debido al bajo coste. Además, con los resultados obtenidos se observó que la máxima deformación del hormigón es la misma para los tres tipos de vigas, ya que el refuerzo se hizo por flexión, obteniendo la máxima deformación del hormigón en magnitud de 0.0045.

En Perú, Linaja (2020) estudió las vigas de gran peralte que debido a sus dimensiones son capaces de soportar grandes cargas o condiciones arquitectónicas de la actualidad. La investigación consistió en diseñar una viga discontinua tanto en carga como en geometría, para lo cual se utilizó la técnica puntal-tirante, la misma que es recomendada por la norma peruana E-060 de Concreto armado. De la misma manera, el modelamiento se realizó en el programa de elementos finitos Abaqus CAE para la determinación de los esfuerzos de refuerzo de acero, parámetros de daño, esfuerzos Von Mises y Tresca, porcentaje de fisuras y aplastamiento; en donde se obtuvieron resultados aceptables debido al buen comportamiento del elemento estructural.

En Lima, Campos (2019) analizó el diseño y comportamiento de vigas y columnas con la técnica del encamisado ante los malos procesos constructivos que se realizan en las ampliaciones, que debido al transcurrir del tiempo los elementos estructurales empiezan a fallar durante la puesta en servicio en las viviendas del distrito de Puente Piedra. Por tanto, se evaluó dicha propuesta con resultados positivamente viables para el reforzamiento

estructural, disminuyendo los desplazamientos de las derivas de (0.0097 a 0.0034), con lo cual se verifica con la normativa E.030 de Diseño Sismorresistente; asimismo, el periodo obtenido se redujo de 1.061 a 0.421 segundos.

En el departamento de La Libertad, específicamente en la ciudad de Trujillo, Ramírez (2018) estableció parámetros de resistencia de corte y rigidez lateral para disminuir la vulnerabilidad de viviendas y edificaciones en zonas de riesgo sísmico. Este ensayo se realizó en nueve probetas, logrando determinar que el diseño de la viga de hormigón armado incorporada al medio del muro, influye sobre la resistencia y rigidez del muro de albañilería confinada, encontrando características de arriostre al muro, aumentado así la resistencia a la rotura y rigidez del muro.

De acuerdo a los estudios realizados a nivel internacional y nacional, se verifica la importancia de realizar un diseño adecuado de las vigas de hormigón armado, esto permite a los profesionales de la ingeniería tomar decisiones en los diseños de edificaciones, que desde el punto de vista estructural se busca el menor daño en los edificios ante una fuerza dinámica como son los sismos en la escala que se pueda presentar. Del mismo modo, realizar un diseño de elementos estructurales en general, permite el cumplimiento de la norma técnica peruana E.060 Diseño de concreto y E.030 de Diseño Sismorresistente, buscando siempre la seguridad de las personas ante un evento catastrófico.

Según Mesta y León (2019) concluyen que, para el diseño de vigas de gran peralte con el método puntal-tirante, el acero de refuerzo es aproximadamente 23% mayor al propuesto por la norma peruana E.060 Diseño de concreto ante las cargas aplicadas, del mismo modo las dimensiones de puntales, tirantes, zonas nodales y zonas de apoyo, así como las armaduras propuestas deben estar en equilibrio, considerando que los puntales se pueden cruzar solo en los nodos, y el ángulo en ese sentido debe ser menor a 25 grados para mitigar la fisuración.

Según Perez (2020) concluye que, el uso de membranas inferiores en los extremos de las vigas en los modelos propuestos A y B para la eficacia de espacios arquitectónicos, posee diferencias significativas en el comportamiento estructural, en donde el modelo de diseño “B” tuvo mejor rendimiento estructural en comparación con el modelo base “A” que solo contó con vigas de sección constante, esto como consecuencia de tener acartelamientos en la viga el cual le entrega una mayor eficiencia de espacios arquitectónicos de manera segura, reduciendo así los elementos verticales (columnas) en los diferentes ambientes.

Según Guillermo y Silva (2019) evaluaron técnica y económicamente dos tipos de reforzamiento estructural tales como el polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) y el encamisado de concreto reforzado en los elementos estructurales de viga y columnas, rigiéndose bajo las exigencias del reglamento nacional de edificaciones del Perú E.060 Diseño de concreto y E.030 de Diseño Sismorresistente, así como el uso de normativas internacionales como la ACI (ACI 440.2R- Fibra de carbono, ACI 369- Rehabilitación sísmica de edificios con estructuras de concreto existente, ACI 318-14 Requisitos de reglamento para concreto estructural), concluyendo que la alternativa de reforzamiento óptima para la edificación es la fibra de carbono (CFRP).

UNICON, empresa líder en el mercado peruano con presencia de más de 50 años en la producción de concreto premezclado, ofrece dentro de sus variedades de productos que cumplan con una serie de requisitos, así podemos mencionar que gestionada por el ISO 9001:2015 (Gestión de la Calidad), ISO 14001:2015 (Gestión Ambiental), OHSAS 18001 (Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional) y ISO14064-1 (Verificación de huella de carbono) brindan concretos con resistencias a la compresión buscando la excelencia como empresa especializada en la preparación de concreto premezclado, con lo que se busca una mayor durabilidad de las estructuras, incrementar los rendimientos y la reducción del vibrado.

Distribuidora Norte Pacasmayo SRL. (DINO), subsidiaria comercial de Cementos Pacasmayo S.A.A. DINO, elabora productos competitivos en el mercado que, gracias a la innovación tecnológica de sus plantas instaladas en la zona norte del Perú, garantiza el suministro acertado en cantidad y calidad, respetando los parámetros de preparación de concretos premezclado que garanticen la resistencia a la compresión oportuna a los elementos estructurales de las edificaciones.

El problema por el cual nos enfrentamos constantemente los profesionales de la construcción conlleva a hacernos la pregunta ¿Por qué el diseño de las vigas de hormigón armado falla por rotura frágil? no obstante, existen múltiples factores que influyen en este y en uno de los tantos fallos que se puedan presentar en las edificaciones

En la actualidad, las herramientas informáticas para cálculo de estructuras permiten a los profesionales ingenieros tomar decisiones en cuanto al dimensionamiento, el mismo que debe cumplir con los lineamientos de los códigos peruanos para edificaciones. Por otro lado, los agentes que se utilizan e intervienen en la preparación y diseño de vigas de hormigón estructural son el cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y el acero, cada uno de ellos asociado a diferentes factores inherentes que pueden ocasionar considerables variaciones en las mediciones de la resistencia a la compresión, como en el caso del cemento que en composición y edad o con la alternancia de otras marcas, puede generar considerables variaciones de la resistencia a la compresión. Otro agente que interviene es el agua, que en presencia de sales la afectación a la resistencia a la compresión es despreciable, pero por otro lado si no se respeta la relación agua-cemento que ordena el patrón de mezcla establecida, la afectación es considerable. El agregado fino y grueso que posee escorias y no es debidamente graduado de acuerdo a la granulometría requerida, afectará la resistencia a la compresión.

De lo mencionado anteriormente, el diseño de las vigas de hormigón armado es un parámetro que a menudo debe ser controlado por los ingenieros, que si desde el punto de

vista de un análisis por desempeño sísmico, este busca que no se generen rótulas plásticas con posibles daños físicos sobre los componentes estructurales y no estructurales.

Con la realización del presente proyecto de investigación, se pretende optimizar el diseño de una viga de hormigón armado mediante la utilización de algoritmos heurísticos que, gracias a la inteligencia artificial a disposición de los profesionales de la ingeniería, permitirá a sano juicio verificar el diseño adecuado para una viga de hormigón armado.

Por otro lado, la optimización del diseño de una viga de hormigón armado, busca sensibilizar a los profesionales de la construcción, resaltando la importancia que, desde el punto de vista de la seguridad de la estructura, esta ofrezca una adecuada respuesta ante fuerzas dinámicas como los sismos, o del mismo en situaciones donde la edificación se exponga al fuego.

Por lo expuesto anteriormente, de no realizar dicha investigación, no se proporcionaría información y conocimiento sobre la optimización del diseño de vigas de hormigón armado mediante algoritmos heurísticos, cabe resaltar que el algoritmo Simulated Annealing empleado en esta investigación escapa del entrapamiento de un óptimo local, que debido a la utilización probabilística acepta o rechaza el movimiento inferior; en ese sentido visto se pretende generar información necesaria y oportuna para las futuras líneas de investigación con respecto a la optimización heurística.

1.2. Antecedentes de la investigación

- **A nivel internacional**

“Un algoritmo híbrido de programación de tareas metaheurísticas basado en algoritmos de recocido simulados genéticos y termodinámicos en entornos de computación en la nube”

- Tanha, Shirvani y Rahmani (2021) analizaron mediante un algoritmo híbrido metaheurístico a proveedores de la nube que ofrecen máquinas virtuales heterogéneas,

teniendo como objetivo de búsquedas locales y globales que cubran las deficiencias de cada uno, en la que se logra el equilibrio eficiente entre exploración y explotación en el espacio de búsqueda; con resultados de simulación que el algoritmo propone en dominios del 10.17%, 9.31%, 7.76% y 8.21% en términos de rendimiento, relación de duración del programa, aceleración y eficiencia.

Este artículo aporta información sobre el operador de cruce para la exploración del espacio de búsqueda, mejorando la eficiencia en conceptos de entropía y diferencia de energía en el proceso de programación de enfriamiento.

“Control de ahorro de agua del robot de riego de césped utilizando un algoritmo de recocido simulado genético”

- Han (2021), demostró a través de un sistema robótico una solución en la búsqueda de un sistema autónomo con alta eficiencia de corte para cortar césped, en la que se describe el diseño y la construcción de un robot de riego y corte de césped automatizado de alto rendimiento; para esto se empleó un algoritmo de recocido simulado genético para la optimización de parámetros del motor obteniendo como resultados el ahorro de agua mientras riega el césped, reduciendo los costos de mano de obra y al mismo tiempo mejora la eficiencia de corte.

Este artículo aporta información sobre el uso de algoritmos de recocido en robots cortacésped, ahorrando drásticamente en recurso humano y energía para las actividades de cortado de césped; por otro lado, el algoritmo busca la solución óptima a medida que disminuye la temperatura.

“Predicción de los parámetros del macizo rocoso en el túnel TBM basado en el algoritmo de recocido simulado integrado de la red neuronal BP”

- Liu et al (2020), analizó la existencia de una relación entre los parámetros de conducción de TBM (Tunnel Boring Machine) y los parámetros del macizo rocoso,

esto a su vez considera las características básicas del macizo rocoso como la compresión uniaxial (UCS), el índice de fragilidad (Bi), la distancia entre el plano de debilidad (DPW) y la orientación de las discontinuidades (α), con lo cual proponen un algoritmo híbrido (SA-BPNN) que integra la red neuronal de retropropagación (BPNN) con recocido simulado (SA). Se recolectó 320 muestras de las cuales se seleccionaron al azar 280 para el entramiento del modelo, mientras que las 40 restantes formaron el primer conjunto de datos para probar el modelo, obteniendo errores porcentuales absolutos medios predichos de 7.7% (α), 13.9% (UCS), 12.9% (DPW), y 11% (Bi) con coeficientes de determinación correspondiente (R^2) de 0.845, 0.737, 0.731 y 0.657 respectivamente, determinando que el modelo SA-BPNN tiene una precisión relativamente alta.

En este artículo, el SA-BPNN aporta información sobre el uso de entrenamiento en modelos de predicción de los parámetros del macizo rocoso, calculando el gradiente descendiente y la solución más óptima mediante el algoritmo de Simulated Annealing.

- **A nivel nacional**

“Sintonía de un controlador PID para un péndulo invertido mediante algoritmos meta-heurísticos: luciérnaga y recocido simulador”

- Ñaupari y Luis (2020), desarrollaron un algoritmo metaheurístico el cual pertenece a la rama de la Búsqueda informada dentro de la inteligencia artificial, cuyo objetivo es optimizar una determinada función de costo evitando los máximos y mínimos locales, para esto se consideró un modelo linealizado de un sistema péndulo invertido con un carro deslizante para la aplicación de dos algoritmos: el recocido simulado y el de luciérnagas, los cuales tuvieron como rango superior el determinado por el Criterio de Routh-Huwitz para todas las especificaciones de rendimiento en el dominio tiempo,

esto permitió determinar que los parámetros optimizados de controlador PID no tenían una diferencia significativa y la velocidad de convergencia era rápida.

Este artículo considera modelos lineales para un sistema de péndulo invertido con un carro deslizante, con el se logra la aplicación de dos algoritmos, el de Simulated Annealing y el de luciérnagas; teniendo en cuenta el modelo de Routh-Hurwitz.

“Optimización de pruebas de software estructurales usando algoritmos genéticos: revisión sistemática”

- Castro (2019), realizó un análisis investigativo sobre las pruebas estructurales mediante un algoritmo heurístico, dado que en la actualidad se han encontrado diversos estudios como algoritmos de elección para optimizar casos de prueba, por lo cual se realizó un plan de revisión sistemática en artículos relacionados a la optimización de pruebas de software mediante el uso de técnicas y algoritmos heurísticos.

Esta investigación aporta información sobre la prueba de flujo de datos mediante la aplicación de algoritmos genéticos, en donde para la generación de rutas de pruebas de flujo de datos para flujos basados en criterios seleccionados, permite generar una población inicial aleatoria.

“Algoritmos evolutivos aplicados a la generación de horarios para el colegio Aplicación de la UNA-PUNO”

- Hañari (2016), desarrolló una solución basada en algoritmos evolutivos para la resolución automatizada de generación de horarios con base científica y metodológica, contribuyendo a minimizar el tiempo, reemplazando los papeles por sistemas automatizados que ahorren tiempo y recursos. La evolución de dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende de una tasa de mutación de 0.005 y de un elitismo de 7 mejores individuos, con lo cual el proceso del algoritmo

evolutivo solo tardo unos 35 minutos para encontrar la mejor solución y generar el horario escolar.

El presente trabajo de investigación aporta conocimiento en la selección de los parámetros del algoritmo evolutivo, aplicando pruebas con probabilidades de mutación del orden del 0.005, manejando como lenguaje de programación Java.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Viga

Son elementos elaborados de concreto armado de forma horizontal y en ocasiones con pendiente inclinada; asimismo, soportarán todo el peso del piso al que pertenecen. Las vigas de gran peralte son elementos cargados en una cara y apoyados en la cara opuesta; en ese sentido, las vigas de mayor peralte tomar una distribución no lineal para su diseño. (Ministerio de vivienda, Norma E060 Concreto Armado, 2019).

1.3.2. Definición de concreto

Existen múltiples definiciones de concreto, considerando que el cemento es el aglomerante y que mezclado en proporciones adecuadas de agua y agregados (fino y grueso), proporcionan resistencias a la compresión óptimas para la ejecución de edificaciones en su estado endurecido.

En ese sentido, se define al concreto como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión (Sanchez, 2001, p. 22).

Cuando los 3 agentes interactúan entre sí en conjunto, lo que se busca es que el concreto cumpla con los requerimientos especificados tanto en su estado fresco como en su estado endurecido.

1.3.3. Características y funciones de los componentes

Es importante considerar las características específicas que deben poseer los componentes que intervienen en la preparación de un concreto. Sanchez (2001) define:

- Cemento:

El cemento Portland tiene propiedades tanto adhesivas como cohesivas, lo cual le dan la capacidad de aglutinar los agregados o áridos para conformar el concreto. Estas propiedades dependen de su composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad de fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar (p. 22).

- Agua:

Los cementos son hidráulicos porque tienen la propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella; por lo tanto, el agua es el material que dentro del concreto hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes (p. 22).

- Aire:

El aire incluido dentro de la masa (aire naturalmente atrapado), posteriormente es liberado por los procesos de compactación a que es sometido el concreto una vez ha sido colocado. Sin embargo, siempre queda aire residual dentro de la masa endurecida ya que la compactación no es perfecta (p. 23).

- Agregados áridos:

Como agregado o áridos para concreto pueden tomarse en consideración todos aquellos materiales que, poseyendo una resistencia propia suficiente, no perturban ni afectan el proceso de endurecimiento del cemento hidráulico, es decir que son inertes y garantizan una adherencia suficiente con la pasta de cemento endurecida (p. 23).

Los componentes de un concreto deben poseer un perfil preventivo sin dejar de poner énfasis en el control que se debe ejercer en cada uno de ellos, ya que solo así, asegurará los resultados de los ensayos en concreto fresco y endurecido.

1.3.4. Fraguado del concreto

Este término se usa para representar el cambio del estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento. Aunque durante el fraguado la pasta requiere de alguna resistencia, para efectos prácticos es conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento, pues este último se refiere al aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada (Sanchez, 2001). Sin embargo, se debe tener en cuenta que el clima, la relación agua-cemento puede afectar las propiedades mecánicas del concreto y por ende el tiempo de fraguado.

1.3.5. Curado del concreto

Para realizar el curado se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento, con esto se pretende controlar el movimiento de la temperatura la humedad (Harmsen, 2002). Por otro lado, cuando no se realiza el curado del concreto corre el riesgo de reducir su resistencia.

1.3.6. Propiedades del concreto

Considerando que los estados del concreto son el estado fresco y endurecido, cada uno de estos estados está ligado a características que deben poseer, de esta forma, Abanto (2009) define:

- Trabajabilidad:

Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones. No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia (p. 47).

- Consistencia:

Está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada (p. 47).

- Resistencia:

La resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado las cuales después de curadas se someten a pruebas de compresión (p. 50).

- Segregación:

En una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero. Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciendo en el elemento llenado, bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejeras, etc. (p. 50).

- Exudación:

Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado (p. 54).

- Durabilidad:

El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, a la acción de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio; sin embargo, para que esto mejore se debe incluir del 2 a 6% de aire (p. 57).

Por lo expuesto controlar las propiedades del concreto tanto en tamaño y calidad de los componentes que intervienen en la preparación

1.3.7. Concreto estructural

Según Abanto (2009), el concreto estructural se define como “el concreto simple, cuando este es dosificado, mezclado, transportado y colocado, de acuerdo a especificaciones que garanticen una resistencia mínima pre establecida en el diseño”

1.3.8. Ensayos de laboratorio

Para el análisis de muestras de concreto en laboratorio es necesario conocer normativas y estándares que deben aplicarse a determinados ensayos; en ese sentido es necesario emplearse las últimas revisiones.

1.3.8.1. Para ensayo de materiales

- Muestreo de cemento hidráulico ASTM C183.
- Peso específico de cementos hidráulicos ASTM C188.
- Análisis por tamices de agregado fino y grueso ASTM C136.
- Peso específico y absorción del agregado grueso ASTM C127.
- Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C128.
- Humedad superficial en el agregado fino ASTM C70.
- Contenido de humedad total del agregado por secado ASTM C566.
- Peso unitario del agregado ASMT C29.
- Vacíos en agregados para concreto ASTM C30.
- Módulo de fineza – terminología relativa a concreto y agregados para concreto ASTM C-125.

1.3.8.2. Para ensayos de concreto

- Muestreo de concreto fresco ASTM C172.
- Determinación del contenido de aire de mezclas de concreto fresco por el método volumétrico ASTM C173.

- Determinación del contenido de aire de mezclas de concreto fresco con el método de presión ASTM C231.
- Asentamiento de concretos de cemento portland STM C143.
- Peso unitario, rendimiento y contenido de aire (granulométrico) del concreto ASTM C138.
- Preparación y curado en el laboratorio, de especímenes para ensayos de compresión y flexión del concreto ASTM C192.
- Resistencia a la compresión de cilindros moldeados de concreto ASTM C39.
- Resistencia a la flexión del concreto, ASTM C293

1.3.9. Columna

Según la norma E060 Concreto Armado, las columnas son diseñadas para resistir las fueras axiales de los pisos superiores y el momento máximo debido a las cargas amplificadas; asimismo, para determinar los momentos flectores y fuerzas cortantes en vigas y columnas es necesario utilizar el modelo simplificado. Las columnas tienen como función principal la confinar los muros, permitiendo la estabilidad y evitando el movimiento.

1.3.10. Losa aligerada

Las losas aligeradas están compuestas por piedra chancada, arena gruesa, agua y refuerzo con varillas de acero; y para aliviar su peso utiliza ladrillos de huecos. Además, este tipo de losa corresponde para los diferentes pisos de la edificación.

1.3.11. Inercia

Propiedad que poseen los cuerpos de oponerse a un cambio de estado en reposo o movimiento que se encuentra, además Newton en el postulado de su primera ley también llamada ley de inercia, afirma que los cuerpos permanecen en reposo o movimiento en línea recta, (Significados, 2021).

1.3.12. Momento

El momento se define como la resultante de una fuerza por una distancia, además es constante, por lo que se puede tomar en cualquier punto del plano, dando siempre el mismo resultado, (Beer, Johnston, Dewolf, & Mazurek, 2010)

1.3.13. Cortante

La fuerza cortante se define como la magnitud paralela a la sección que tiende a “cortar” la barra; por otro lado, es la suma algebraica de todas las fuerzas externas perpendiculares al eje de la viga. La fuerza cortante de una viga tiene igual magnitud, pero dirección opuesta a la resultante de las componentes en la dirección perpendicular al eje de la viga, (Beer, Johnston, Dewolf, & Mazurek, 2010).

1.3.14. Torsión

Las fuerzas de torsión son aquellas que hacen que una pieza tienda a retorcerse sobre su eje central. Por otro lado, se dice que un cuerpo sujeto en una sección de torsión simple, cuando reduce las fuerzas actuantes sobre éste, da como resultado una cupla que da como resultado en el plano de la misma, (Beer, Johnston, Dewolf, & Mazurek, 2010).

1.3.15. Flexión

Fuerza que actúa sobre una barra permitiendo que esta se doble o combe, estas a su vez pueden ser una combinación de compresión y tracción, haciendo que las fibras superiores a flexión se acorten mientras las inferiores se alargan, (Beer, Johnston, Dewolf, & Mazurek, 2010).

1.3.16. Investigación de operaciones

En la práctica, la investigación de operaciones no cuenta con técnicas que permitan resolver todos los modelos, con lo cual queda determinado por el tipo y complejidad del modelo matemático que determina la solución. Es así que, la programación lineal es la técnica más importante en la investigación de operaciones, sin dejar de lado técnicas como la

programación entera, programación dinámica, programación de red y programación no lineal. Es importante resaltar que la mayoría de las soluciones no se obtienen en formas cerradas sino por algoritmos, el mismo que proporciona reglas fijas de cálculo que, gracias a las iteraciones acerca a una solución óptima. Sin embargo, es posible que algunos modelos matemáticos por su complejidad necesiten buscar una solución aplicando heurística y metaheurística, (Taha, 2012).

1.3.17. Heurística

La palabra heurística se deriva del griego *heuriskein*, que significa “encontrar” o “descubrir”, algunos lo utilizan como un antónimo de “algoritmo”. El concepto de heurística es difícil de aprender, Newell, Shaw y Simon en 1963 la definieron “proceso que puede resolver un problema dado, pero que no ofrece ninguna garantía de lo que hará” (Malagón, 2017). La heurística encuentra soluciones aproximadas de problemas combinatorios difíciles, esta técnica utiliza reglas prácticas de soluciones localizadas. Durante las primeras generaciones de heurística, se basaba en la regla de búsqueda codiciosa; sin embargo, en la década de 1980 se buscó mejorar las soluciones heurísticas al permitir la búsqueda de una trampa de escape a través de la metaheurística, (Taha, 2012). Por otro lado, la heurística es el camino por el que se desea enviar un cierto número de unidades por diferentes rutas a un mínimo costo, que al encontrar esa ruta de mínimo costo, satura la ruta buscando otra ruta de mínimo costo (Rincón, 2001).

1.3.18. Metaheurística

El método heurístico está diseñado principalmente para escapar del entrapamiento del óptimo local, al permitir movimientos inferiores en caso sea necesario, (Taha, 2012). Una metaheurística es un método de solución general que proporciona una estructura general como criterios estratégicos para el desarrollo de un método heurístico específico que se ajuste a un tipo de problema particular; en ese contexto, una característica clave de la metaheurística

es la capacidad de escapar de un óptimo local, así las diferentes metaheurísticas ejecutan este escape de modos diferentes (Hiller & Lieberman, 2010).

1.3.19. Algoritmo

Un algoritmo es una serie de pasos detallados los cuales permiten obtener una solución adecuada, (López, 2009). En programación supone el paso previo a ponerse a escribir el código, en ese sentido todo algoritmo es preciso, ordenado, finito, concreto y definido.

1.3.19.1. Condiciones de un algoritmo

- Precisión: Especificar en cada paso las instrucciones para su precisión.
- Finitud: Concluir siempre tras un número finito de pasos.
- Efectividad: Las instrucciones deben ser realizadas por una persona o la máquina que ejecuta el algoritmo.
- Entra y salida: Todo algoritmo tiene INPUTs elementos de entrada que se procesan por diferentes algoritmos, los mismo que generan resultados a los que se les llama OUTPUTs.

1.3.20. Algoritmo Simulated Annealing

El recocido simulado o Simulated Annealing es un algoritmo que escapa del entrapamiento en un óptimo local, utilizando una condición de probabilidad con la cual acepta o rechaza el movimiento inferior, (Taha, 2012).

1.3.21. Algoritmo de Euclides

Uno de los algoritmos más conocidos y difundidos a través de la historia es el algoritmo de Euclides, método por el cual permite calcular el máximo común divisor (MCD), es importante resaltar que dicho algoritmo no solo funciona para los números naturales, sino también para cualquier conjunto en el que exista una “división con residuo” a las cuales se les

denomina como divisiones euclidianas, y a los que pueden definirse les llama dominios euclídeos, (Magallanes, 2014).

1.3.22. Algoritmos meméticos

Sus orígenes se remonta a finales de los años 80, en el cual se puede definir a un algoritmo Memético como técnicas de optimización que combinan sinérgicamente conceptos tomados de otras metaheurísticas, tales como la búsqueda basada en poblaciones y la mejora local. Aquella denominación surge del término inglés acuñado en su momento por R. Dawkins como el análogo de gen en el contexto de la evolución cultural. Un algoritmo Memético mantiene en todo momento una población de diversas soluciones al problema considerado, tal extensión se le denomina individuo tan comúnmente empleado en el contexto de los algoritmos evolutivos, permitiendo capturar elementos distintivos de los algoritmos meméticos, (Moscato & Cotta, 2003).

1.3.23. Algoritmo de búsqueda tabú

Este algoritmo permite a través del entrapamiento de un óptimo local, seleccionar el siguiente movimiento de búsqueda (posiblemente inferior) prohibiendo temporalmente volver a examinar las soluciones anteriores, (Taha, 2012).

1.3.24. Machine Learning

Machine Learning o Aprendizaje automático, está teniendo un impacto dramático en la ingeniería de software, debido a que está diseñado para que pueda seguir el ritmo de los cambios empresariales; al mismo tiempo permite utilizar datos para impulsar reglas y la lógica empresarial. Sin embargo, todo esto no es un esfuerzo en solitario, es más bien un esfuerzo conjunto de científicos e ingenieros de datos, analistas de negocios y líderes empresariales, (Hurwitz & Kirsch, 2018).

1.3.25. Deep Learning

Aprendizaje profundo o Deep Learning es un sub conjunto del Machine Learning, esencialmente una red neuronal con tres o más capas, el mismo que intenta simular el comportamiento del cerebro humano, aunque lejos de igualar. En ese sentido, si bien una red neuronal con una sola capa puede realizar predicciones aproximadas, las capas ocultas adicionales pueden ayudar a optimizar y refinar la precisión. Por otro lado, el Aprendizaje Profundo permite automatizar aplicaciones y servicios de inteligencia artificial, considerando que muchos de los productos, servicios cotidianos y tecnologías hacen uso de las bondades del Aprendizaje profundo, (IBM Cloud Education, 2020).

1.3.26. Lógica borrosa

La lógica borrosa o lógica difusa es una técnica de inteligencia computacional que procesa datos con un alto grado de imprecisión a diferencia de la lógica convencional que trabaja con datos precisos, es así que a través de la lógica clásica los resultados pueden concluirse a partir de hechos conocidos, mientras que la lógica borrosa trabaja con datos parcialmente verdaderos. Por tanto, el propósito esencial es realizar búsquedas con aproximaciones semánticas, no sintácticas; en ese sentido, los metabuscadores amplían el radio y escalabilidad de búsqueda, acceso a múltiples buscadores y la efectividad de recuperación, (Juca, García, & Carrión, 2019).

1.3.27. Redes neuronales

Se pueden distinguir dentro de la inteligencia artificial dos grandes áreas, aquella que se ocupa de la construcción de sistemas como son la inteligencia artificial simbólica y subsimbólica. La inteligencia artificial simbólica define el problema a resolver con un sistema capaz de resolverlo siguiendo esquemas prefijados por la disciplina; mientras que la inteligencia artificial subsimbólica no realiza diseños a alto nivel capaces de resolver los problemas utilizando técnicas de la disciplina. Es importante resaltar que, el sistema de

comunicación neuronal se compone de tres partes: Los receptores, el sistema nervioso y los órganos diana o efectores. Sin embargo, una máquina conexionista elabora en cierta medida la información de entrada para obtener respuesta, estas siguen filosofías de diseño, reglas de aprendizaje y funciones de construcción, (Isasi & Galván, 2004).

1.3.28. Algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos son algoritmos de búsqueda probabilística u optimización que, a través de múltiples iteraciones, transforman un conjunto o población cada uno con un valor de coste, en una nueva población de descendientes utilizando los principios Darwinianos de selección natural, para lo cual utiliza operaciones genéticas naturales como “crossover” (reproducción sexual) y mutación, (Gutiérrez, 2021).

En la década de los 60, John Holland planteó la posibilidad de incorporar mecanismos naturales de selección y supervivencia para la resolución de problemas de inteligencia artificial, y es que la evolución natural de las especies da una solución estocástica a la que se le llamó algoritmos evolutivos, las mismas que fueron enmarcadas dentro de las técnicas no convencionales de optimización.

1.3.29. Colonias de hormigas

En la década de los 90 se desarrollaron los primeros algoritmos basado en colonia de hormigas (ACO), en la cual para resolver el problema se constataba la validez del enfoque, y es así que se han formulado numerosas variantes y modificaciones que han permitido obtener mejores resultados a los problemas. Los algoritmos de colonias de hormigas están basados en el comportamiento real de las hormigas, las mismas que se agrupan en comunidades o colonias para llevar comida a su hormiguero, en ese sentido su comportamiento es explorar el área (neast) de manera aleatoria, luego esta encuentra comida (food) para llevarlo a su nido. Del mismo modo, la hormiga va depositando sus feromonas que ayudan al resto de las hormigas a rastrear esa sustancia; por tanto, este mismo comportamiento es el que sigue

dicho algoritmo para el desarrollo y aplicación en problemas de optimización combinatoria, (Revuelta, 2015).

1.3.30. GRASP

El algoritmo de tipo Greedy Randomized Adaptive Search Procedure es una metaheurística iterativa multiarranque que en cada iteración realiza dos fases perfectamente definidas, en la que la primera fase construye una solución factible para en la segunda fase optimizarla mediante la exploración del vecindario de soluciones hasta caer en un óptimo local. Este algoritmo se ha aplicado a la resolución de múltiples problemas combinatorios de alta complejidad tales como, empaquetamiento de conjuntos, max-min diversity problema, programación de proyectos con recursos parcialmente renovables, cartero chino mixto y recolección y distribución de un producto, (Caballero & Alvarado, 2010).

1.3.31. Cadenas de Markov

Una cadena de Markov se puede definir como un proceso estocástico en la cual, si un estado futuro depende sólo del estado inmediatamente anterior, (Taha, 2012).

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación general

La investigación busca optimizar el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, la misma que permitirá realizar nuevos campos de estudios en cuanto a optimización metaheurística, buscando el entrapamiento de un óptimo local para la solución de un determinado problema de optimización.

1.4.2. Justificación teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de aportar conocimiento a la comunidad estudiantil de la Universidad Privada del Norte, del uso del algoritmo Simulated Annealing para la optimización del diseño de una viga de concreto armado, en la que los resultados

podrán sistematizarse en una propuesta en el cálculo y predimensionamiento de las estructuras de hormigón armado.

1.4.3. Justificación práctica

La presente investigación se realiza porque existe la necesidad de optimizar el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, la misma que busca reducir los tiempos de cálculo en la verificación de cada una de sus comprobaciones, aceptando su óptimo local producto de su entrapamiento.

1.4.4. Justificación metodológica

La aplicación del algoritmo Simulated Annealing para la optimización del diseño de cada una de las vigas de concreto armado, generará situaciones para la ciencia que, demostrada su validez y confiabilidad, se podrán utilizar en otros trabajos de investigación.

1.5. Formulación del problema

¿Cuál es la optimización el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021?

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

- Optimizar el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021.

1.6.2. Objetivos específicos

- Analizar el costo de diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021.
- Determinar la cantidad de acero para el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021.
- Determinar la relación resistencia a la compresión-costo para el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021.

1.7. Hipótesis

La optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing es del orden 10%, Perú 2021.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Enfoque de la investigación

De acuerdo al enfoque de la investigación, se realizan mediante una perspectiva cuantitativa, en la que la recolección y análisis de datos contestan la pregunta de investigación e hipótesis establecidas previamente, asimismo confía en la medición numérica, el conteo y el uso de la estadística para intentar establecer con exactitud patrones en una población, (Gómez M. , 2006).

2.2. Tipo de investigación

2.2.1. Por el propósito

De acuerdo al propósito de investigación es aplicada, porque genera conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad o un entorno productivo. No obstante, está dirigido a incrementar los postulados teóricos de una determinada ciencia o aplicación inmediata en la solución de problemas prácticos, (Arias, 2012).

2.2.2. Según el diseño

La presente investigación es de tipo no experimental descriptiva, puesto que la variable no es manipulada ni controlada; asimismo, la investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo para poder establecer su estructura o comportamiento, (Arias, 2012).

2.3. Diseño de investigación

Según el diseño obedece a una investigación no experimental transversal descriptivo, recolectando datos en un determinado tiempo; del mismo modo se describe la variable y se analiza su incidencia y su interrelación en un momento dado; por otro lado, se busca indagar en la incidencia y valores que se manifiestan en una o más variables, (Arias, 2012). La investigación es no experimental porque no se controla o manipula la variable, además es

transversal porque se va a analizar datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población; por otro lado, es descriptiva porque se basa en la recolección de datos con la finalidad de describir las variables y analizar el comportamiento.

Figura 1. *Diagrama de diseño de investigación*



Tabla 1. *Diseño de la investigación*

Estudio	TI
M: Todas las vigas de concreto armado que se puedan diseñar mediante Simulated Annealing, Perú 2021	O: Diseño de una viga

Donde

M: Muestra

O: Observación

2.4. Variables

Diseño de viga: Según Norma Técnica de edificación E.060, viga es un elemento que trabaja fundamental a flexión y cortante. Por otro lado, se puede definir como viga a un elemento estructural horizontal, que resiste cargas entre dos apoyos además de soportar la cubierta del techo o el tipo de carga, asociado con los elementos que componen el techo.

Según Harmsen (2002), las vigas simplemente apoyadas son consideradas estructuras isostáticas, además de no presentar mayores dificultades en cuanto a la determinación de sus fuerzas internas, ya que se evalúan por medio de las ecuaciones de equilibrio; sin embargo, las vigas continuas en calidad de hiperestatismo, requieren de criterios adicionales para la determinación de sus fuerzas internas, en la cual se consideran las características de los materiales para su respectivo análisis (p. 208).

2.4.1. Clasificación de variables

Tabla 2. *Identificación de las variables*

Variables	Relación	Naturaleza	Escala de medición	Dimensión	Forma de medición
Diseño de una viga	Independiente	Cuantitativa	Razón	Tridimensional	Indirecta

2.4.2. Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Diseño de una viga	Según Norma Técnica de edificación E.060, viga es un elemento que trabaja fundamental a flexión y cortante	Elemento estructural de forma rectangular, donde la base es la mitad de su altura	Costo Cantidad de acero Relación resistencia a la compresión-costo	Optimización del costo de la viga Características geométricas $A_s = \frac{M_u}{\phi * f_y * (d - a/2)}$ Características resistentes del hormigón	Razón

2.5. Población y muestra

2.5.1. Población

La población para el desarrollo de la presente investigación son todos los diseños de vigas de concreto mediante Simulated Annealing, Perú 2021.

2.5.2. Muestra

2.5.2.1. Técnicas de muestreo

La técnica empleada para la realización de la investigación es mediante el muestreo no probabilístico; por tanto, todos los individuos de la población poseen una posibilidad de entrar a formar parte de la muestra mediante el algoritmo Simulated Annealing, ya que es un algoritmo que permite escapar del entrapamiento en un óptimo local, utilizando una condición de probabilidad con la cual acepta o rechaza el movimiento inferior, (Taha, 2012). Además, por juicio de experto en base a los criterios del investigador se ha considerado las características geométricas en cuanto al ancho, altura, recubrimiento, longitud de viga y longitud de centro; y sus características mecánicas como resistencia a la compresión, resistencia a la fluencia, número de barras, momento último, cortante, torsión, axial, módulo de elasticidad, para el diseño de una viga de concreto armado.

2.5.2.2. Tamaño de la muestra

Se trabajó con una muestra de 15602 vigas de concreto armado para la optimización del diseño mediante Simulated Annealing, Perú 2021; se elige esta muestra debido al tiempo computacional para el cálculo.

2.5.3. Materiales

Dentro de los materiales que se utilizó para la realización de la presente investigación sobre optimización del diseño mediante Simulated Annealing, Perú 2021; se detallan a continuación:

Tabla 4. *Materiales*

Materiales	Cantidad	Unidad
Computadora	1	Und
Internet	20	Mbps
Microsoft Excel	1	Und

2.6. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.6.1. Técnicas de recolección de datos

El investigador realizó la recolección de datos a través del método de inspección visual (observación), con lo que se obtienen datos reales del procesamiento de diseño de las vigas de concreto armado mediante el algoritmo Simulated Annealing (Recocido Simulado). Del mismo modo se realizó las verificaciones bajo las normas técnicas de edificación E.060 Diseño de concreto y E.030 de Diseño Sismorresistente para la optimización del diseño de vigas de concreto armado.

2.6.2. Instrumento de recolección de datos

En base a la técnica de recolección de datos se utilizó el instrumento de guía titulada “Diseño de viga de concreto armado ACI 318-19” que nos permitirá obtener las dimensiones de la viga, así como el coste de fabricación. Del mismo modo, dicho instrumento ha sido validado por el Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz para la presente investigación, ver Anexo 1.

2.6.3. Validación de instrumento de recolección de datos

La validez lo realizó el ingeniero Alberto Rubén Vásquez Diaz, colegiatura 166228, con experiencia de 18 años en el sector construcción; del mismo modo el ingeniero Josualdo Carlos Villar Quiroz valida los instrumentos de recolección de datos.

La guía de observación que se utiliza está validada por las normas que rigen el diseño de una viga de concreto armado, tanto en normas nacionales como internacionales para su verificación.

2.6.4. Análisis de datos

Como instrumento para la recolección de datos se empleó herramientas informáticas como el Excel que, a través de su programador en Visual Basic, permite ejecutar un lenguaje de programación muy denso con restricciones y bucles para la optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing.

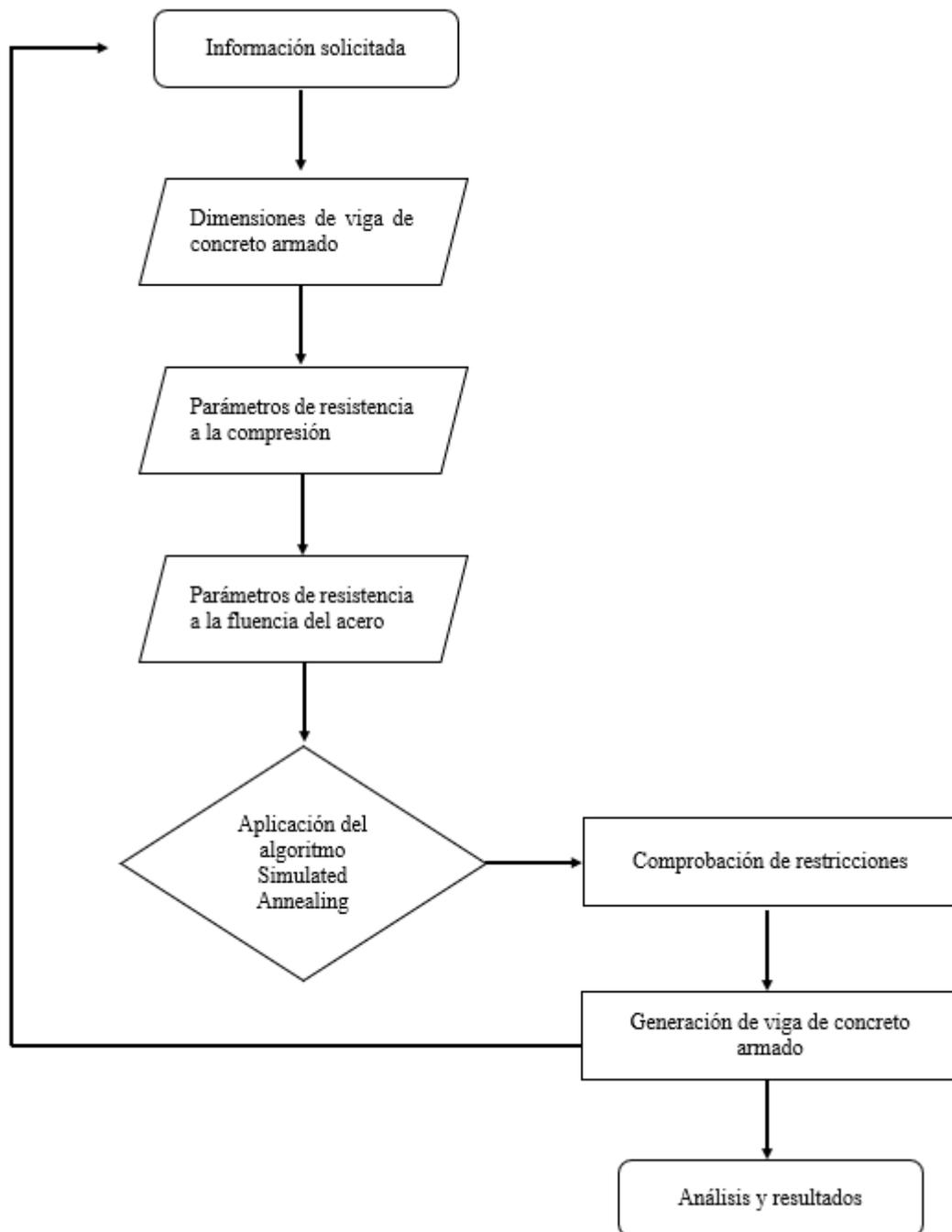
El análisis de los datos se realizó aplicando la heurística de los algoritmos genéticos, que a través de los parámetros geométricos y las verificaciones que se han realizado empleando las normas técnicas de edificación, así como la norma ACI 318-19, permitirán generar una base de datos para el análisis correspondiente en cuanto al coste, la cantidad de acero y la relación resistencia a la compresión-costo.

Por otro lado, las gráficas de dispersión para cada una de las dimensiones a evaluar admitieron las posibles vigas de hormigón armado para su análisis correspondiente.

Finalmente, se empleó la estadística descriptiva para el análisis de las tablas y gráficos, con el objetivo de inferir o generalizar resultados de una muestra a una población.

2.7. Procedimiento

Figura 2. Procedimiento para la recolección de datos



Nota: El procedimiento aplicado para dicho estudio respeta el esquema elaborado por el investigador; es ese aspecto, se ha mantenido e implementado metodologías para la recolección de datos para su posterior procesamiento evitando el sesgo en los resultados.

Figura 3. *Algoritmo Simulated Annealing*

Algorithm 1. Simulated Annealing

```

1: function Ascent( $N, Temp, t^0$ )
2:    $e = \pi^0 = 0$  ▷ Initial
3:   for  $k = 0 \rightarrow N$  do
4:      $e' = GetNeighbor(e, t^k)$ 
5:      $\Delta = Fitness(e') - Fitness(e)$  ▷ Maximize fitness
6:     if  $\Delta \geq 0$  then ▷ Better solution
7:        $e = e'$ 
8:     else
9:       if  $\exp(\frac{-\Delta}{Temp}) \geq Uniform(0, 1)$  then ▷ Accept worse solution with
probability
10:         $e = e'$ 
11:      end if
12:    end if
13:     $Temp = Cooling(Temp)$ 
14:     $t^{k+1} = Cooling(t^k)$  ▷ Decrease step size
15:  end for
16: end function

```

Nota: Imagen extraída del artículo de (Strak, Wieczorek, & Nowakowski, 2017)

A continuación, se describe el procedimiento de investigación en donde, se solicita información para la optimización de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing. El dimensionamiento de la viga de concreto se realiza en Excel, para los cuales se toman las características geométricas de base, altura, recubrimiento, número de barras, longitud de viga y la longitud centro. Del mismo modo se considera la resistencia a la compresión del hormigón en $f'c=140, 175, 210, 280, 350$ y 420 kg/cm^2 ; por otro lado, en cuanto a los parámetros de resistencia a la fluencia del acero se ha considerado un $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$. La aplicación del algoritmo Simulated Annealing se realiza con ayuda del programador de Visual Basic que tiene incorporado el Microsoft Excel, considerando las dimensiones de la viga de concreto armado, los parámetros de resistencia a la compresión y los parámetros de resistencia a la fluencia del acero.

La comprobación de las restricciones se ha hecho en flexión, por corte y torsión mediante la normativa del American Concrete Institute ACI 318-19, con todos estos parámetros ingresados se procede a calcular de forma iterativa a través del algoritmo Simulated Annealing para la generación de la viga de concreto armado.

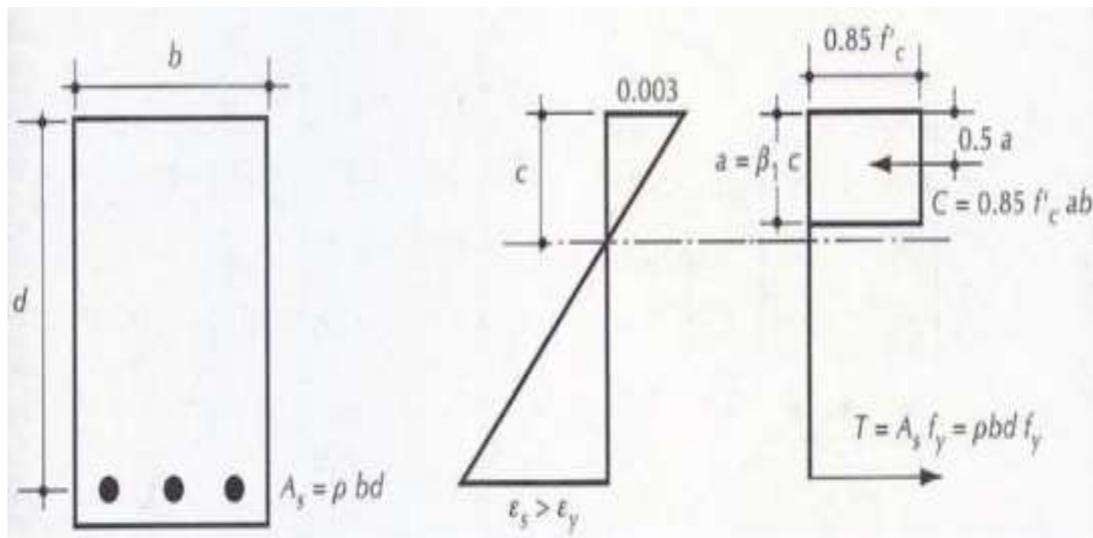
Es importante resaltar que la generación de las vigas de concreto armado serán analizadas en cuanto al coste, con lo cual se ha asumido los siguientes costos para los hormigones basados en la resistencia a la compresión mencionados en los párrafos anteriores: s/.250.79, s/.283.99, s/.309.58, s/.333.25, s/.376.51 y s/.394.62. Además, se ha considerado la madera de encofrado en un costo de s/.11.25 y del acero en s/.25.11

Finalmente, a través de las múltiples iteraciones se procede a escoger las 15602 vigas para el análisis de los resultados en donde se precisa que estas estén alineadas a los objetivos de la investigación.

2.8. Desarrollo

Para el dimensionamiento de la viga se asumen las características geométricas como mecánicas para las comprobaciones tanto en flexión, corte y torsión; para posteriormente con ayuda del programador de Excel (Visual Basic) ingresar los parámetros de dimensionamiento, en donde se realizará la optimización con ayuda del algoritmo Simulated Annealing. La generación de las vigas de concreto armado serán organizadas en una base de datos con ayuda del instrumento de recolección de datos (ver Anexo 3)

Figura 4. *Diseño de viga*



Nota: Imagen extraída del libro Diseño de concreto reforzado (McCormac & Brown, 2011)

2.8.1. Características geométricas y mecánicas

Base:	$b=25$ cm
Altura:	$h=50$ cm
Recubrimiento:	$r=4$ cm
Resistencia a la compresión	$f'_c=210$ kgf/cm ²
Resistencia a la fluencia	$f_y=4200$ kgf/cm ²
Módulo de elasticidad	$E_s=2100000$ kgf/cm ²
Momento último	$M_u=20$ tonf.m

2.8.2. Diseño por flexión

Cuando bajo cargas que son pequeñas, los esfuerzos de tensión tienden a ser menores que el módulo de ruptura; en ese sentido la sección transversal de la viga resiste a flexión, generando las zonas tanto de compresión en el paramento superior de la viga, así como de tracción en la parte inferior.

2.8.2.1. Cálculo del área del acero

Cálculo del valor de β_1

$$\beta_1 := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } 2500 \text{ psi} \leq f'_c \leq 4000 \text{ psi} \\ \quad \beta_1 \leftarrow 0.85 \\ \text{if } 4000 \text{ psi} < f'_c < 8000 \text{ psi} \\ \quad \beta_1 \leftarrow 0.85 - \frac{0.05 \cdot (f'_c - 4000 \text{ psi})}{1000 \cdot \text{psi}} \\ \text{if } f'_c \geq 8000 \text{ psi} \\ \quad \beta_1 \leftarrow 0.65 \end{array} \right. = 0.85$$

2.8.2.2. Cálculo del área de acero inicial

Asumimos, $\Phi=0.9$

$$d = h - r = 46 \text{ cm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2M_u}{\phi * 0.85 * f'_c * b}} = 12.533 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M_u}{\phi * f_y * (d - a/2)} = 13.316 \text{ cm}^2$$

$$A_s = 0.85 * b * d * \left(\frac{f'_c}{f_y}\right) \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{\phi * 0.85 * f'_c * b * d^2}}\right) = 13.316 \text{ cm}^2$$

2.8.2.3. Cálculo de c

Asumimos la deformación unitaria en compresión, $\varepsilon_{cu}=0.003$

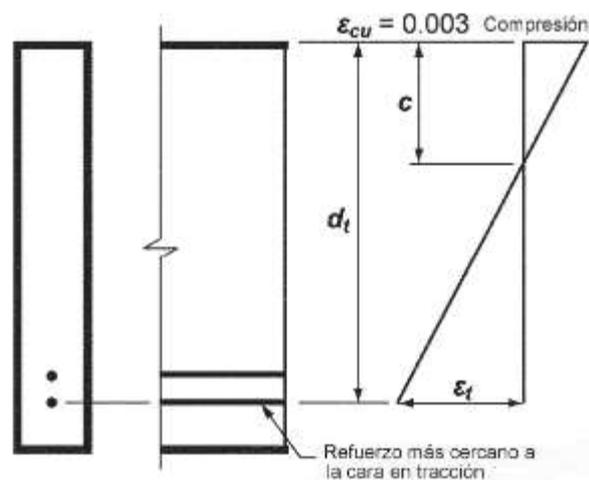
$$c = \frac{a}{\beta_1} = 14.745 \text{ cm}$$

Por tanto, la deformación unitaria en tracción será:

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon_{cu}}{c} * d - \varepsilon_{cu} = 0.00636$$

$$\varepsilon_{ty} = \frac{fy}{E_s} = 0.002$$

Figura 5. Deformación unitaria de compresión y tracción



Nota: Imagen extraída del libro Diseño de concreto reforzado (McCormac & Brown, 2011)

Se requiere que la sección quede controlada por la tracción, entonces:

$$\phi := \begin{cases} \text{if } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty} \\ \quad \phi \leftarrow 0.65 \\ \text{if } \varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < \varepsilon_{ty} + 0.003 \\ \quad \phi \leftarrow 0.65 + 0.25 \cdot \frac{(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{0.003} \\ \text{if } \varepsilon_t \geq \varepsilon_{ty} + 0.003 \\ \quad \phi \leftarrow 0.90 \end{cases}$$

$$\phi_t := \begin{cases} \text{if } \varepsilon_t \geq \varepsilon_{ty} + 0.003 \\ \quad \phi_t \leftarrow 0.90 \\ \text{else} \\ \quad \phi_t \leftarrow \text{"Error-Seccion no controlada por tension"} \end{cases} = 0.9$$

$$\phi_{obs} := \begin{cases} \text{if } \varepsilon_t \geq \varepsilon_{ty} + 0.003 \\ \quad \phi_{obs} \leftarrow \text{"Niguna Observacion, OK"} \\ \text{else} \\ \quad \phi_{obs} \leftarrow \text{"Error-Seccion no controlada por tension"} \end{cases}$$

2.8.2.4. Área de acero recalculado

$$A_s = \frac{M_u}{\phi_t * f_y * (d - a/2)} = 13.316 \text{ cm}^2$$

2.8.2.5. Área de acero mínimo

$$A_{s_{min}} = \max\left(\frac{0.80 * \sqrt{f'c} * b * d}{f_y}; \frac{14}{f_y} * b * d\right) = 3.833 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{max} = \left(\frac{0.003}{\varepsilon_{ty} + 0.006}\right) * \beta_1 * 0.85 * \frac{f'c}{f_y} = 0.01355$$

$$A_{s_{max}} = \rho_{max} * b * d = 15.579 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{normativo}} = \min(\max(A_{s_{min}}; A_s); A_{s_{max}}) = 13.316 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{requerido}} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } A_s < A_{s_{min}} \\ \quad \left\| A_{s_{requerido}} \leftarrow A_{s_{min}} \right. \\ \text{if } A_{s_{min}} \leq A_s < A_{s_{max}} \\ \quad \left\| A_{s_{requerido}} \leftarrow A_s \right. \\ \text{if } A_s \geq A_{s_{max}} \\ \quad \left\| A_{s_{requerido}} \leftarrow A_{s_{max}} \right. \end{array} \right\| = 13.316 \text{ cm}^2$$

2.8.2.6. Capacidad de la sección por flexión

Tabla 5. Tabla de aceros

ID	d_{barra} mm	Área cm^2
1	8	0.503
2	10	0.785
3	12	1.131
4	16	2.011
5	20	3.142
6	25	4.909

$$A_{S_{provisto}} = n_b * \frac{\pi}{4} * (d_{barra,iD})^2 = 19.635 cm^2$$

$$sep_{min} = \max(25 \text{ mm}; d_b) = 2.5 \text{ cm}$$

$$r = rec - d_b/2 = 2.75 \text{ cm}$$

$$s_{calculada} = \frac{b - 2 * r - n_b * d_b}{n_b - 1} = 3.167 \text{ cm}$$

```

verificacion1 := || if scalculada < sepmin
|| || verificacion1 ← "No cumple espaciamento minimo ACI 25.2"
|| ||
|| if scalculada ≥ sepmin
|| || verificacion1 ← "Cumple el espaciamento minimo ACI 25.2"
|| ||

```

$$\phi * M_n = \phi * A_{s_{provisto}} * f_y * (d - a/2) = 29.49 \text{ tonf.m}$$

$$ratio = \frac{M_u}{\phi * M_n} = 0.678$$

$$\rho_{cuatia} = A_{s_{previsto}} / (b * d) = 0.01707$$

```

verificacion2 := || if ratio > 1
|| || verificacion2 ← "FALLA POR FLEXION"
|| ||
|| else
|| || verificacion2 ← "LA SECCION FUE DISEÑADA CORRECTAMENTE, OK"
|| ||

```

2.8.3. Diseño por corte

Cortante último	$V_u = 15 \text{ tonf}$
Separación de estribos	$s = 20 \text{ cm}$
Carga axial	$N_u = 0.5 \text{ tonf}$
Constante según el concreto	$\lambda = 1$
Diámetro de estribo	$\phi = 10 \text{ mm}$

Tabla 6. Valores de λ para concreto liviano con base en la densidad de equilibrio

$w_c \text{ (kg/m}^3\text{)}$	λ	
≤ 1600	0.75	(a)
$1600 < w_c \leq 2160$	$0.00047 w_c \leq 1.0$	(b)
> 2160	1.0	(c)

Nota: Imagen extraída del American Concrete Institute, 2019

$$As_v = n_b * \frac{\pi}{4} * (d_{barra,iD})^2 = 1.571 \text{ cm}^2$$

$$V_c = (0.53 * \lambda * \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6 * b * d}) * b * d = 8.916 \text{ tonf}$$

$$V_{c_max} = (1.33 * \lambda * \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6 * b * d}) * b * d = 22.165 \text{ tonf}$$

$$V_c = \min(V_c; V_{c_max}) = 8.916 \text{ tonf}$$

$$V_c := \left\| \begin{array}{l} \text{if} \left(0.53 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} + \frac{N_u}{6 \cdot b \cdot d} \right) \cdot b \cdot d \leq V_{c_max} \\ \quad \left\| \begin{array}{l} \text{if} \frac{N_u}{6 \cdot b \cdot d} \leq 0.05 \cdot f'_c \\ \quad \left\| V_c \leftarrow \left(0.53 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} + \frac{N_u}{6 \cdot b \cdot d} \right) \cdot b \cdot d \end{array} \right. \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| V_c \leftarrow \text{"Error, } V_c > V_{c_max} \text{ ACI 22.5.5.1.1"} \end{array} \right. \\ \end{array} \right\| = 8.916 \text{ tonnef}$$

2.8.3.1. Control de la sección

$$verificacion_3 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } V_u \leq \phi_c \cdot \left(V_c + 2.2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot b \cdot d \right) \\ \quad \left\| verificacion_3 \leftarrow \text{"OK, Dimensiones de la seccion transversal"} \right. \\ \quad \text{else} \\ \quad \left\| verificacion_3 \leftarrow \text{"Error, Dimensiones de la seccion no adecuadas"} \end{array} \right\|$$

$$V_s = A_v * f_y * d/s = 15.174 \text{ tonf}$$

$$V_n = V_s = +V_c$$

$$\phi_c * V_n = \phi_c * V_n = 18.067 \text{ tonf}$$

$$V_{s_requerido} = V_u - \phi_c * V_c = 8.313 \text{ tonf}$$

$$A_{v_s} = \frac{V_u - \phi_c * V_c}{\phi_c * f_y * d} = 0.057 \text{ cm}^2$$

2.8.3.2. Límites de refuerzo por corte

$$A_{v_s_min} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } V_u > \phi_c \cdot \lambda \cdot 0.27 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \cdot b \cdot d} \\ \left\| \max \left(0.2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot \frac{b}{f_y} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}, 3.5 \cdot \frac{b}{f_y} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right) \right\| \\ \text{else} \\ \left\| 0 \text{ cm} \right\| \end{array} \right\| = 0.021 \frac{\text{cm}^2}{\text{cm}}$$

$$s_{max} := \left\| \begin{array}{l} \text{if } V_{s_requerido} \leq 1.1 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{cm^2}{kgf} \cdot \frac{kgf}{cm^2} \cdot b \cdot d} \\ \left\| \min\left(\frac{d}{2}, 600 \text{ mm}\right) \right\| \\ \text{if } V_{s_requerido} > 1.1 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{cm^2}{kgf} \cdot \frac{kgf}{cm^2} \cdot b \cdot d} \\ \left\| \left\| \min\left(\frac{d}{4}, 300 \text{ mm}\right) \right\| \right\| \end{array} \right\| = 23 \text{ cm}$$

$$verificacion_4 := \left\| \begin{array}{l} \text{if } s > s_{max} \\ \left\| \text{"Error, la separacion "s" supera el smax!"} \right\| \\ \text{else} \\ \left\| \left\| \text{"OK, la separacion "S", es correcta!"} \right\| \right\| \end{array} \right\|$$

2.8.4. Diseño por torsión

Torsor último	1.5 tonf.m
Recubrimiento	40 mm
Factor de torsión ϕ_t	0.75
Carga axial en la viga	0.5 tonf
Θ	45°

Figura 6. *Propiedades de la sección*

$$A_{cp} = bh, \quad (\text{ACI 2.2, R22.7.5})$$

$$A_{oh} = (b - 2c)(h - 2c), \quad (\text{ACI 2.2, R22.7, Fig R22.7.6.1.1})$$

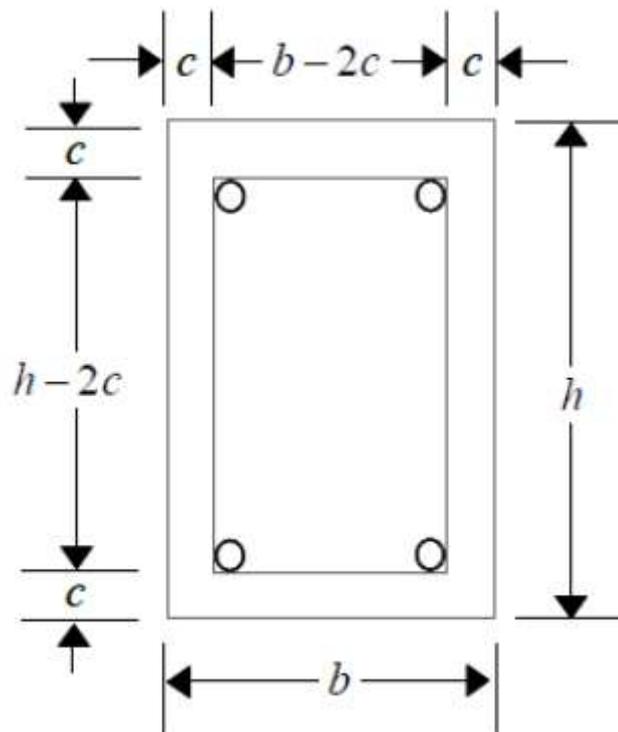
$$A_o = 0.85 A_{oh}, \quad (\text{ACI 22.7.6.1.1, Fig R22.7.6.1.1})$$

$$p_{cp} = 2b + 2h, \text{ and} \quad (\text{ACI 2.2, R22.7.5})$$

$$p_h = 2(b - 2c) + 2(h - 2c), \quad (\text{ACI 22.7.6.1, Fig R22.7.6.1.1})$$

Nota: Imagen extraída del American Concrete Institute, 2019

Figura 7. *Sección de viga*



Nota: Imagen extraída del American Concrete Institute, 2019

$$c = rec_{estribo} + \frac{d_{estribo}}{2} = 4.5 \text{ cm}$$

$$A_{cp} = b * h = 1250 \text{ cm}^2$$

$$A_{oh} = (b - 2 * c)(h - 2 * c) = 662.282 \text{ cm}^2$$

$$A_o = 0.85 * A_{oh} = 562.94 \text{ cm}^2$$

$$P_{cp} = 2 * b + 2 * h = 150 \text{ cm}$$

$$P_h = 2 * (b - 2 * c) + 2 * (h - 2 * c) = 114.44 \text{ cm}$$

$$T_{th} = 0.27 * \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) * \sqrt{1 + \frac{N_u}{1.1 * A_g * \lambda * \sqrt{f'c}}} = 0.413 \text{ tonf.m}$$

$$T_{cr} = \lambda * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) * \sqrt{1 + \frac{N_u}{1.1 * A_g * \lambda * \sqrt{f'c}}} = 1.528 \text{ tonf.m}$$

```

resultados:=
if Tu < φt · Tch
  resultados_1,2 ← "Ignorar la torsion ACI 22.7.1.1"
else
  resultados_1,2 ← "Si se requiere acero por torsion"
  if  $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1.7 \cdot A_{ch}^2}\right)^2} \leq \phi_t \cdot \left(\frac{V_c}{b \cdot d} + 2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{cm^2 \cdot kgf}{kgf \cdot cm^2}}\right)$ 
    resultados_2,2 ← "Si, la Seccion es adecuada, ACI 22.7.1.a"
    if φt · Tch ≤ Tu ≤ φt · Tcr
      resultados_3,2 ←  $\max\left(0.2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{cm^2 \cdot kgf}{kgf \cdot cm^2}} \cdot \frac{b}{f_{yt}}, \frac{3.5 \cdot b}{f_{yt}} \cdot \frac{kgf}{cm^2}\right)$ 
      if Tu > φt · Tcr
        resultados_4,2 ←  $\frac{T_u}{\phi_t \cdot 2 \cdot A_c \cdot f_{yt} \cdot \cot(\theta)}$ 
        resultados_5,2 ←  $\frac{T_u \cdot P_h}{\phi_t \cdot 2 \cdot A_c \cdot f_y \cdot \tan(\theta)}$ 
        resultados_6,2 ←  $\min\left(\frac{1.33 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{cm^2 \cdot kgf}{kgf \cdot cm^2}} \cdot A_{sp}}{f_y} - resultados_{4,2} \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}, \frac{1.33 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{cm^2 \cdot kgf}{kgf \cdot cm^2}} \cdot A_{sp}}{f_y} - \left(\frac{1.75 \cdot b}{f_{yt}} \cdot \frac{kgf}{cm^2}\right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y}\right)$ 
      else
        resultados_2,2 ← "La seccion no es adecuada, ACI 22.7.1.a"
    else
      resultados_2,2 ← "La seccion no es adecuada, ACI 22.7.1.a"
  else
    resultados_1,1 ← "Se requiere acero por torsion?"
    resultados_2,1 ← "La seccion es adecuada?"
    resultados_3,1 ← "Refuerzo minimo (Av+2At)/s"
    resultados_4,1 ← "Refuerzo transversal At/s"
    resultados_5,1 ← "Refuerzo Longitudinal Al"
    resultados_6,1 ← "Refuerzo Longitudinal Minimo Al min"
  if resultados_1,2 = 0
    resultados_7,1 ← "No predomina el refuerzo minimo"
  else
    resultados_7,1 ← "Predomina el refuerzo minimo"
resultados

```

"Se requiere acero por torsion?"	"Si se requiere acero por torsion"
"La seccion es adecuada?"	"Si, la Seccion es adecuada, ACI 22.7.1.a"
"Refuerzo minimo (Av+2At)/s"	0 m
"Refuerzo transversal At/s"	$(4.229 \cdot 10^{-4})$ m
"Refuerzo Longitudinal Al"	$(4.84 \cdot 10^{-4})$ m ²
"Refuerzo Longitudinal Minimo Al min"	$(8.959 \cdot 10^{-5})$ m ²
"No predomina el refuerzo minimo"	0 m

resultados =	"Se requiere acero por torsion?"	"Si se requiere acero por torsion"
	"La seccion es adecuada?"	"Si, la Seccion es adecuada, ACI 22.7.7.1.a"
	"Refuerzo minimo (Av+2At)/s"	0 m
	"Refuerzo transversal At/s"	$(4.229 \cdot 10^{-4})$ m
	"Refuerzo Longitudinal Al"	$(4.84 \cdot 10^{-4})$ m ²
	"Refuerzo Longitudinal Minimo Al min"	$(8.959 \cdot 10^{-5})$ m ²
	"No predomina el refuerzo minimo"	0 m

$$\phi_t * T_{th} = 0.304 \text{ tonf.m}$$

$$\phi_t * T_{cr} = 1.216 \text{ tonf.m}$$

2.8.5. Cálculo del coste

Para el cálculo del coste de la viga se ha considerado una longitud total de 5.6 metros con las características tanto geométricas como mecánicas previamente asumidas para la comprobación de la primera viga.

Tabla 7. Precios de hormigón

	Hormigón (kg/cm ²)	Precios (soles/m ³)	Encofrado	Precio (soles/m ²)	Acero	Precio (soles/unidad)
1	140	250.79	Madera	11.25	Grado 60	25.11
2	175	283.99				
3	210	309.58				
4	280	333.25				
5	350	376.51				
6	420	394.62				

Nota: Precios unitarios asumidos por el autor

Tabla 8. *Tabla resumen para el coste de una viga de concreto armado*

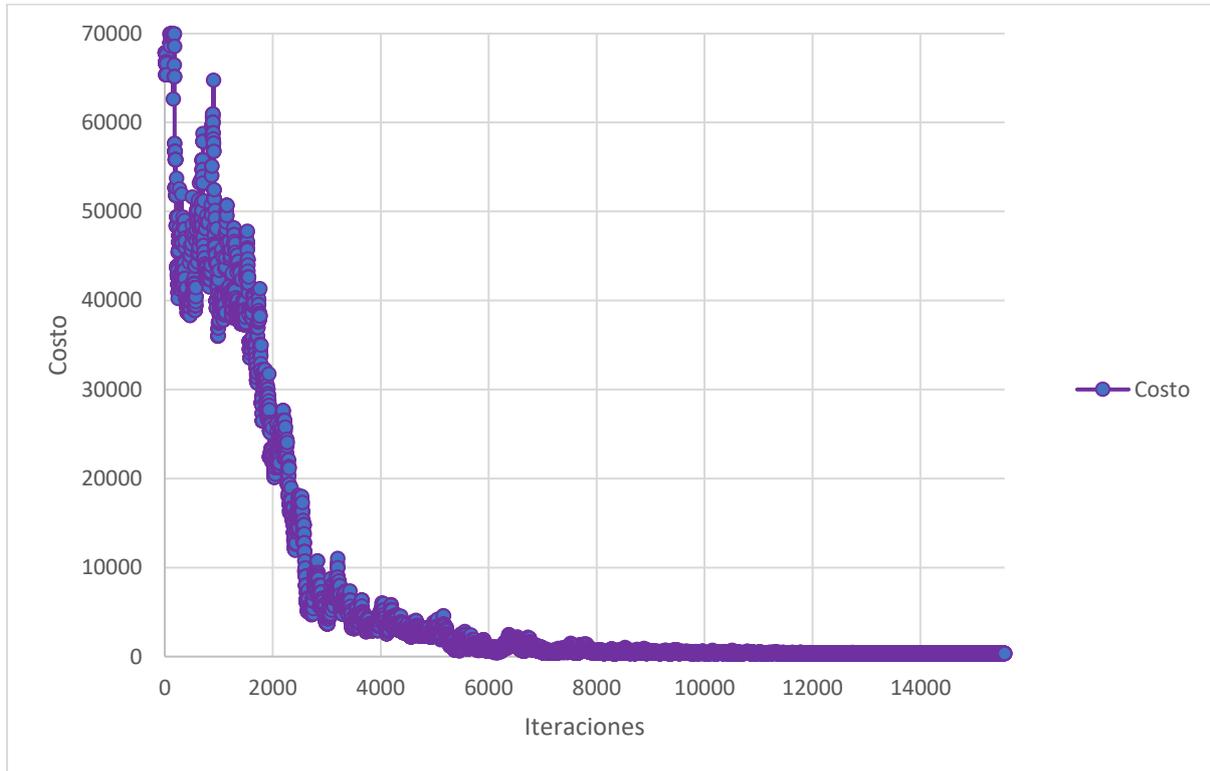
		Nº Repeticiones	Largo (m)	Base (m)	Altura (m)	Parcial	Precio	Coste
Hormigón			5.60	0.25	0.50	0.70	309.58	s/. 216.71
Encofrado		2	5.60		0.50	5.60	11.25	s/. 63.00
			5.60	0.25		1.40	11.25	s/. 15.75
		2		0.25	0.50	0.25	11.25	s/. 2.82
Armadura	Nº barras	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	L (m)	L total (m)	Peso Total	Precio	Coste
	4	25	3.86	5.80	23.18	89.47	25.11	s/. 2246.72
							Costo Total	s/. 2545.00

Nota: El cálculo se realiza para una viga con secciones de 25 cm x 50 cm, con un factor de resistencia a la compresión de 210 kgf/cm², acero de resistencia a la fluencia $f_y = 4200$ kgf/cm², recubrimiento de 40 mm y diámetro de barra de acero de 25 mm.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Costo

Figura 8. Optimización del costo de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing



Nota: El costo de la viga con dimensiones de 30 cm x 140 cm se optimizó en s/. 1909.63, para un hormigón de resistencia a la compresión de 280 kgf/cm².

3.2. Características geométricas

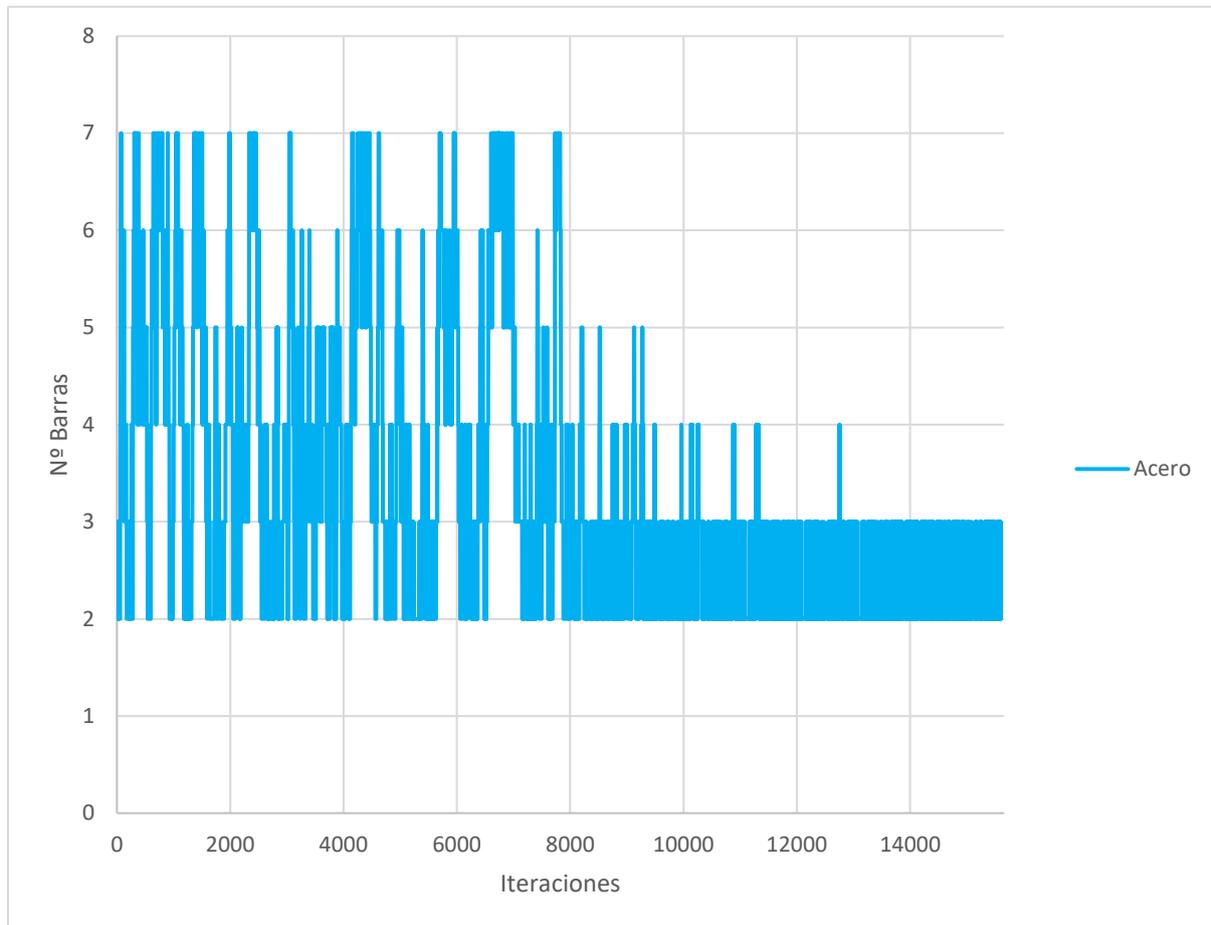
Tabla 9. *Características geométricas optimizadas mediante Simulated Annealing*

Base	b	30 cm
Altura	h	140 cm
Recubrimiento	rec	4 cm
Resistencia Compresión	f'c	280 kgf/cm ²
Resistencia Fluencia	fy	4200 kgf/cm ²
Módulo Elasticidad	Es	2100000 kgf/cm ²
Momento Último	Mu	20 tonf.m
Número barras	nb	4
Diámetro de barra	φ	16 mm
Cortante Último	Vu	15 tonf
Torsión	Tu	1.5 Tonf.m
Axil	Nu	0.5 tonf
Número de ramas	nr	2
Long viga	L	5.6 m
Long centro	Lc	5 m

Nota: El proceso iterativo 6421 arroja las siguientes características geométricas para la optimización de la viga mediante el algoritmo Simulated Annealing, (ver Anexo 4).

3.3. Cantidad de acero

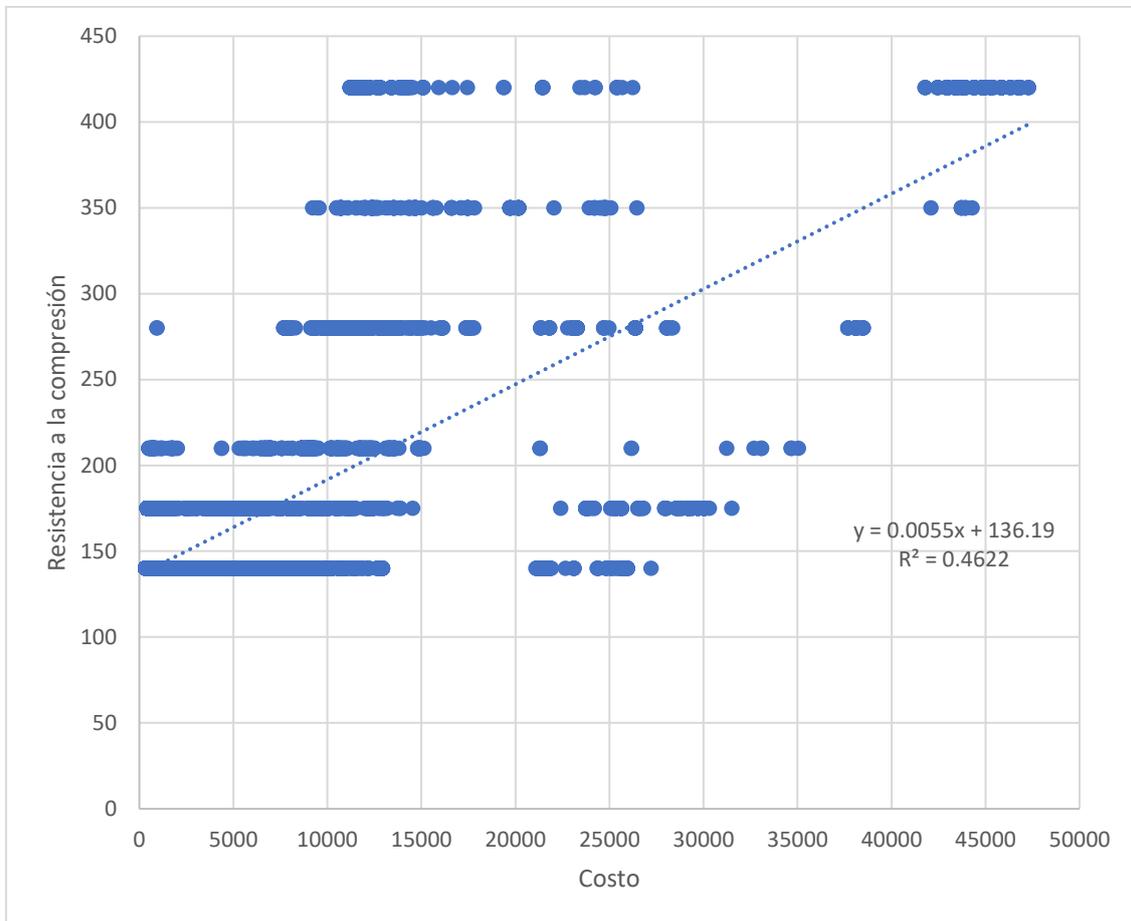
Figura 9. *Cantidad de barras*



Nota: El algoritmo Simulated Annealing permite determinar 4 barras de 16 mm para la sección de la viga de 30 cm x 140 cm, con lo cual se obtiene un área de acero de 8.04 cm².

3.4. Relación resistencia a la compresión-costo

Figura 10. Relación resistencia a la compresión - coste



Nota: En esta gráfica se puede verificar que existe baja relación entre las variables de la resistencia a la compresión y el coste debido a que el R^2 es del orden del 0.4622, lo cual indica que la optimización de la viga mediante el algoritmo Simulated Annealing después del cálculo iterativo necesita un mayor ajuste de ambas variables.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Discusión

La optimización del diseño de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing valida la hipótesis establecida en esta investigación; en ese sentido, el cálculo iterativo del procesamiento de 15602 vigas, permitieron delimitar y al mismo tiempo realizar los cálculos pertinentes respecto al costo, la cantidad de acero y la relación entre la resistencia a la compresión – coste.

En la figura 08 se muestra el procesamiento de 15602 vigas en donde se verifica que el algoritmo empieza a converger con respecto a la variable costo en s/. 1909.63; del mismo modo en la tabla 09 la optimización permite obtener las características geométricas de 30 cm x 140 cm, para un hormigón de resistencia a la compresión de 280 kgf/cm², teniendo en cuenta que este algoritmo escapa del entrapamiento de un óptimo local haciendo uso de la probabilidad, con la cual permite aceptar o rechazar el paso anterior. Por otro lado, en la figura 09 nos permite determinar la cantidad de barras a utilizar para la optimización de la viga en 4 unidades para un diámetro de 16 mm. Además, en la figura 10 nos permite confirmar que existe baja relación entre las variables de la resistencia a la compresión y el costo, debido a que R^2 (coeficiente de determinación) es del orden del 0.4622.

Por otro lado, en los resultados correspondiente al costo de la optimización de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing; concuerda con lo obtenido por Han (2021), en donde a través del algoritmo de recocido simulado (Simulated Annealing) en el control de ahorro de agua del robot de riego de césped, se logró reducir los costos de mano de obra y al mismo tiempo la eficiencia de corte en un 9%, optimizando los parámetros del motor.

Del mismo modo, Ñaupari y Luis (2020) optimizaron la función de costo evitando los máximos y mínimos locales considerando dos algoritmos como es el Simulated Annealing y

el de Luciérnagas para un sistema de péndulo invertido, los cuales tuvieron como rango superior el determinado por el Criterio de Routh-Hwitz para todas las especificaciones de rendimiento en el dominio tiempo, lo que permitió determinar que los parámetros optimizados de controlador PID no tenían una diferencia significativa.

Además, los resultados obtenidos en el análisis resistencia a la compresión – costo, muestran que guardan relación con lo que sostiene Liu *et al* (2020), en el análisis de los parámetros de conducción de TBM (Tunnel Boring Machine) y los parámetros del macizo rocoso como la compresión uniaxial (UCS), el índice de fragilidad (Bi), la distancia entre el plano de debilidad (DPW) y la orientación de las discontinuidades (α), con lo cual se obtuvieron coeficientes de determinación R^2 del orden del 0.845, 0.737, 0.731 y 0.657; esto es acorde con lo que obtiene en la predicción de la relación entre las variables de la resistencia a la compresión y el costo, ya que es del orden del 0.462.

Tanha, Shirvani y Rahmani (2021) utiliza un algoritmo híbrido de programación de tareas metaheurísticas basado en algoritmos de recocido simulado genético y termodinámico en entornos de computación, en la que se logra el equilibrio eficiente entre exploración y explotación en el espacio de búsqueda, el mismo que se aplica en la optimización de la viga de concreto armado.

Castro (2019), optimiza las pruebas de software estructurales usando algoritmos genéticos, aportando información sobre la prueba de flujo de datos mediante criterios seleccionados; generando una población inicial aleatoria, que aplicando a la investigación de la optimización de la viga de concreto permite generar aleatoriamente vigas para posteriormente realizar su comprobación geométrica y mecánica.

Hañari (2016), desarrolla una solución basada en algoritmos evolutivos para la resolución automatizada de generación de horarios con base científica y metodológica, contribuyendo a minimizar el tiempo, reemplazando los papeles por sistemas automatizados

que ahorren tiempo y recursos; que relacionado a la investigación persigue el fin de optimizar el costo de la viga de concreto armado

El estudio de la optimización del diseño de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing tiene limitaciones ya que solo se ha evaluado 15602 vigas debido al alto costo computacional iterativo; por tanto, se debe investigar en la aplicación de nuevas metaheurísticas para la reducción del costo computacional.

Los resultados obtenidos sobre la optimización de la viga de concreto armado permite establecer criterios para las futuras investigaciones sobre el tema en estudio, en la cual se puedan utilizar otros tipos de inteligencia artificial mucho más eficaces donde el coste computacional sea menor.

Lo resultados de la unidad de estudio facilita a los ingenieros en el cálculo y dimensionamiento de las vigas de concreto, ya que el algoritmo Simulated Annealing permite hacer las verificaciones geométricas, mecánicas y el costo de la viga para su optimización, el mismo que se almacena en una base de datos.

Los hallazgos encontrados en cuanto a la optimización de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing concluye que el costo para una viga de 30 cm x 140 cm es del orden de s/. 1909.63, con lo cual el costo se reduce a un 25% del costo calculado para una sección inicial de 25 cm x 50 cm con un costo de s/. 2545.00;

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se determinó la optimización del diseño de la viga de concreto armado mediante el algoritmo Simulated Annealing realizando las comprobaciones mediante el ACI 318-19; con lo que se optimizó el costo, características geométricas y la relación resistencia a la compresión – costo.
- La optimización de la viga de concreto armado mediante Simulated Annealing permite determinar una viga de concreto armado de secciones de 30 cm x 140 cm a un costo de s/. 1909.63.
- Se determinó la cantidad de acero mediante el Simulated Annealing para la viga optimizada en 4 barras de diámetro de 16 mm.
- Se determinó que existe baja relación entre las variables de la resistencia a la compresión y el coste, debido a que el R^2 es del orden del 0.4622, lo cual indica que la optimización de la viga mediante el algoritmo Simulated Annealing después del cálculo iterativo necesita un mayor ajuste de ambas variables.
- El algoritmo Simulated Annealing permite establecer diferentes propuestas de resistencia a la compresión haciendo todas las comprobaciones del ACI 318-19, con lo cual permite fabricar una viga de concreto de $f'c= 280 \text{ kgf/cm}^2$ para las características geométricas optimizadas.
- En síntesis, el análisis de las 15602 vigas mediante el algoritmo Simulated Annealing ha permitido determinar las características geométricas de cada uno de los posibles ejemplares para su evaluación y posterior ejecución.
- Las nuevas tendencias generan un sin número de oportunidades; en ese sentido, permitirán enriquecer en posteriores investigaciones en lo que respecta a

inteligencia artificial y sus bondades en cuanto a la optimización del diseño de una viga de concreto mediante Simulated Annealing.

- El algoritmo Simulated Annealing genera soluciones aleatorias con 15602 iteraciones, cadenas de Markov de 100 y un coeficiente de enfriamiento de 0.366, por lo que resulta muy eficaz.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda a los investigadores la utilización de otras metaheurísticas para la optimización del diseño de vigas de concreto armado en donde el coste computacional sea menor.
- Para una mejor correlación entre las variables de resistencia a la compresión – coste, se recomienda que el coeficiente de determinación sea mayor a 0.9; en ese sentido es importante el empleo de redes neuronales artificiales para una mejor correlación de las variables que se necesita evaluar.
- Se recomienda a los investigadores definir un enfriamiento bien perfeccionado o el conocimiento que se tenga respecto al caso en estudio, con la que se pueda definir una estructura adecuada de entornos y espacios de soluciones.
- La facilidad de trabajar con Simulated Annealing permite definir las decisiones genéricas como específicas del problema; por tanto, se recomienda una estructura de entorno natural para la solución de problemas de optimización.
- Se recomienda ajustar las variables de la base y la altura en la programación en Visual Basic para una mejor optimización en costo de la viga de concreto armado.
- Se recomienda a los investigadores que la clasificación de las múltiples soluciones se haga aplicando cualquier otro algoritmo estocástico en la cual permite reducir el tiempo de procesamiento de las iteraciones.

Referencias

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos E.I.R.L.
- Aguilar. (2007). *Universidad Austral de Chile*. Obtenido de <http://docplayer.es/10227654-Universidad-austral-de-chile.html>
- Arias, F. (2012). *El proyecto de investigación*. Caracas: Editorial Episteme.
- Banco Mundial. (20 de Abril de 2020). *Grupo Banco Mundial*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview>
- Barón, & Mercado. (Mayo de 2012). *Repositorio Pontifica Universidad Javeriana*. Obtenido de <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/2584/1/BaronGonzalezOmarAlberto2012.pdf>
- Beer, F., Johnston, R., Dewolf, J., & Mazurek, D. (2010). *Mecánica de Materiales*. México DF: Mc Graw Hill.
- Caballero, J., & Alvarado, J. (16 de Julio de 2010). Greedy Randomized Adaptive Search Procedure (GRASP), una alternativa valiosa en la minimización de la tardanza total ponderada en una máquina. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-21262010000200004
- Campos, M. (2019). *Diseño del reforzamiento de columnas y vigas, con la técnica del encamisado y el comportamiento estructural de una vivienda, distrito de Puente Piedra, Lima, Año 2019*. Lima. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21249>
- Carvalho, B., Gines, F., & González, S. (Septiembre de 2021). Dimensionamiento óptimo de vigas de hormigón armado con sección en T. *ResearchGate*. Obtenido de

https://www.researchgate.net/publication/49175828_Dimensionamento_Otimo_de_vigas_de_Concreto_Armado_com_Sesao_T

Castro, A. (2019). *Optimización de pruebas de software estructurales usando algoritmos genéticos: revisión sistemática*. Universidad Señor de Sipán, Pimentel. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/6216/Castro%20Alvites%20Anthony%20Giuseppe.pdf?sequence=1>

Gómez. (2009). Obtenido de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/154/194>

Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Córdoba: Editorial Brujas.

Guillermo, A., & Silva, S. (2019). *Evaluación y diseño de dos propuestas de reforzamiento para vigas y columnas de concreto armado en una edificación de hotel*. Lima. Obtenido de https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/628230/Guillermo_T_A.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Gutiérrez, Á. (2021). *Algoritmos Genéticos, introducción a la Robótica inteligente*. Madrid: UPM.

Han, B. (2021). Water Saving Control of Turfgrass Irrigation Robot Using Genetic Simulated Annealing Algorithm. *Hindawi*. doi:<https://doi.org/10.1155/2021/1082304>

Hañari, S. (2016). *Algoritmos evolutivos aplicados a la generación de horarios para el colegio Aplicación de la UNA-PUNO*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno. Obtenido de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3008>

Harmesen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: Fondo Editorial.

- Hernandez. (Octubre de 1999). *Universidad de San Carlos de Guatemala*. Obtenido de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2071_C.pdf
- Hiller, F., & Lieberman, G. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.
- Huicho. (2011). *Universidad Nacional de Ingeniería*. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/420>
- Hurwitz, J., & Kirsch, D. (2018). *Machine Learning*. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. Obtenido de <https://www.ibm.com/downloads/cas/GB8ZMQZ3>
- IBM Cloud Education. (1 de Mayo de 2020). *IBM*. Obtenido de <https://www.ibm.com/cloud/learn/deep-learning>
- Institute, A. C. (2019). *ACI 318-19*.
- Isasi, P., & Galván, I. (2004). *Redes neuronales artificiales, un enfoque práctico*. Madrid: Pearson.
- Juca, F., García, M., & Carrión, J. (2019). La lógica borrosa y su importancia en la búsqueda y recuperaion de información en la Web. *Scielo*. Obtenido de <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v12n2/2218-3620-rus-12-02-306.pdf>
- Linaja, G. (2020). *Diseño de vigas de gran peralte con alto nivel de asimetría usando la técnica del puntal tirante*. Tacna. Obtenido de <http://revistas.upt.edu.pe/ojs/index.php/vestsc/article/view/395>
- Liu, B., Wang, R., Zhao, G., Guo, X., Wang, Y., Li, J., & Wang, S. (2020). Prediction of rock mass parameters in the TBM tunnel based on BP neuralnetwork integrated simulated annealing algorithm. *ScienceDirect*. Obtenido de https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S088677981930269X?casa_token=z5_AnpgmvQYAAAAA:m0vGtTD4kvKJ2hEMYV5-dfP2m0jW_NQ9SGEFqiqbE_7LRthlem-S8zxIQ9VwTJZe-t5mIZudjz7K

- López, J. C. (2009). *Eduteka*. Obtenido de www.eduteka.org
- Magallanes, G. (2014). *Red Educativa Digital DESCARTES*. Obtenido de https://proyectodescartes.org/Prometeo/materiales_didacticos//_Un_141_AlgoritmoDeEuclides/content/escenas/2_Inicio_1.html#
- Malagón, C. (2017). *Búsqueda heurística*. Madrid, España. Obtenido de https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Xx3gbULpVxIJ:https://www.nebrija.es/~cmalagon/ia/transparencias/busqueda_heuristica.pdf+&cd=17&hl=es-419&ct=clnk&gl=es
- McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México D.F.: Alfaomega Grupo Editor, S.A.
- Mesta, C., & León, D. (2019). *Diseño de vigas de gran peralte y muro de corte de baja altura de concreto armado mediante el método puntal - tirante*. Lima. Obtenido de <http://repositorio.usil.edu.pe/handle/USIL/9931>
- Ministerio de vivienda, c. y. (2018). *E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima.
- Ministerio de vivienda, c. y. (2019). *Norma E060 Concreto Armado*. Lima.
- Moscato, P., & Cotta, C. (2003). *Una introducción a los Algoritmos Meméticos*. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28076124_Una_Introduccion_a_los_Algoritmos_Memeticos/link/00b495282f4accadbf000000/download
- Ñaupari, Z., & Luis, B. (2020). *Sintonía de un controlador PID para un péndulo invertido mediante algoritmos meta-heurísticos: luciérnaga y recocido simulador*. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2309-04132020000200082&script=sci_arttext

- Perez, C. (16 de Octubre de 2020). Diseño estructural de vigas con membrana inferior y su eficacia de espacios arquitectónicos. *Revista Científica UNTRM*. Obtenido de <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/CNI/article/view/632/784>
- Ramírez, S. (2018). *Influencias de una viga de concreto armado intermedia, sobre la resistencia y rigidez en muros de albañilería confinada - La Esperanza 2018*. Trujillo. Obtenido de <http://repositorio.uprit.edu.pe/handle/UPRIT/168>
- Revuelta, T. (2015). *Desarrollo y aplicación del algoritmo de Optimización basado en Colonia de Hormigas (ACO) para la resolución del Problema del Viajante Asimétrico (ATSP)*. Universidad de Valladolid, Valladolid. Obtenido de <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/16894/TFG-I-362.pdf;jsessionid=12424A4EA9B46AF3C7D63C1C7E16A4D2?sequence=1>
- Rincón, L. (2001). *Investigación de operaciones para Ingenierías y Administración de Empresas*. Palmira: Universidad Nacional de Colombia.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar Editores LTDA.
- Sanchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santafé de Bogotá: BHANDAR EDITORES LTDA.
- Significados. (11 de Septiembre de 2021). *Significados*. Obtenido de 7Graus: <https://www.significados.com/inercia/>
- Strak, L., Wiczorek, W., & Nowakowski, A. (07 de Setiembre de 2017). Recocido simulado para encontrar el límite inferior de TSP. *Springer Link*. Obtenido de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-67077-5_5
- Taha, H. (2012). *Investigación de Operaciones*. (B. G. Hernández, Ed.) Naucalpan de Juárez: Pearson.

- Tanha, M., Shirvani, M., & Rahmani, A. (2021). A hybrid meta-heuristic task scheduling algorithm based on genetic and thermodynamic simulated annealing algorithms in cloud computing environments. *Springer*. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00521-021-06289-9>
- Tellez, & Villanueva. (19 de Agosto de 2003). *Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua*. Obtenido de <http://biblioteca.mti.gob.ni:8080/docushare/dsweb/Get/Tesis-28/La%20Resistencia%20a%20la%20compresi%C3%B3n%20de%20los%20adoquines%20de%20concreto%20en%20Nic.%201201-CON-N.pdf>
- Toapanta, J. (2016). *Análisis de las curvas de desempeño de una viga reforzada con fibras de carbono y fibras de vidrio*. Ambato. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23917/1/Tesis%201042%20-%20Toapanta%20Caisa%20Julio%20Ra%C3%BAI.pdf>
- Toxqui, P., Zepeda, L., & Sánchez, J. (Noviembre de 2018). Evaluación del comportamiento a flexión y de los criterios de diseño de vigas de concreto subreforzadas con barras de polímeros reforzados con fibra de vidrio. *Researchgate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/329020379_EVALUACION_DEL_COMPOR_TAMIENTO_A_FLEXION_Y_DE_LOS_CRITERIOS_DE_DISENO_DE_VIGA S_DE_CONCRETO_SUBREFORZADAS_CON_BARRAS_DE_POLIMEROS_RE FORZADOS_CON_FIBRA_DE_VIDRIO_ASSESSMENT_FOR_THE_FLEXURA L_BEHAVIOR_AND_

ANEXO-1

Ficha de validación del instrumento

1. Datos generales

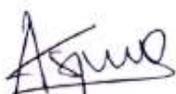
1.1. Título del trabajo de investigación

“Optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú”

Investigador (a) (es): Eduardo Manuel Noriega Vidal

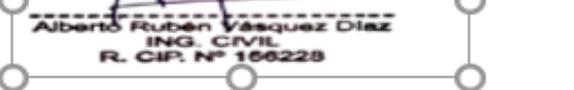
DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO ACI 318-19

Base	b	
Altura	h	
Recubrimiento	rec	
Resist Comp	f c	
Resist Fluencia	fy	
Mod Elast	Es	
Mom Ult	Mu	
Núm barras	nb	
	ID	
	ID estribo	
Cortante Último	Vu	
Torsión	Tu	
Axil	Nu	
Número de ramas	nr	
Long viga	L	
Long centro	Lc	



Alberto Rubén Vázquez Díaz
ING. CIVIL
R. CIP. N° 166228

ANEXO-2

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	Optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing Perú			
Línea de investigación:	Innovación y sostenibilidad			
Apellidos y nombres del experto:	Vásquez Díaz Alberto Rubén			
El instrumento de medición pertenece a la variable:	Independiente			
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.				
Ítems	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	¿La redacción de las preguntas tienen un sentido coherente y no están sesgadas?	x		
7	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	x		
8	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	x		
9	¿Son entendibles las alternativas de respuesta del instrumento de medición?	x		
10	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeta de estudio?	x		
11	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de responder para, de esta manera, obtener los datos requeridos?	x		
Sugerencias:				
				
Firma del experto:				
 				

ANEXO-3



1.1. Título del trabajo de investigación

“Optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú”

Investigador (a) (es): Eduardo Manuel Noriega Vidal

DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO ACI 318-19

Base	b	25	cm
Altura	h	50	cm
Recubrimiento	rec	4	cm
Resist Comp	f_c	210	kgf/cm ²
Resist Fluencia	f_y	4200	kgf/cm ²
Mod Elast	E_s	2100000	kgf/cm ²
Mom Ult	M_u	20	tonf.m
Núm barras	nb	4	
	ID	6	
	ID estribo	2	
Cortante Último	V_u	15	tonf
Torsión	T_u	1.5	tonf.m
Axil	N_u	0.5	tonf
Número de ramas	nr	2	
Long viga	L	5.6	m
Long centro	L_c	5	m

ANEXO-4

Cálculo del valor de β_1

1.00 kgf/cm² 14.22 psi

2,500.00 psi	f'_c	4,000.00 psi
4,000.00 psi	f'_c	8,000.00 psi
	f'_c	8,001.00 psi

β_1 0.85
 β_1 0.85
 β_2 0.65
 β_1 0.85

Cálculo del área de acero inicial

ϕ 0.90 Asumido
d 136.00 cm
a 2.308 cm
As 3.924 cm²

ACI 21.2.2

ϕ
 $\epsilon_t \leq 0.002$ 0.65
 $\epsilon_{ty} \geq \epsilon_t$ 0.005 12.75
 $\epsilon_t \geq 0.005$ 0.90
 ϕ_t
 $\epsilon_t \geq 0.005$ 0.90

Cálculo de c

Área de acero recalculado

c	2.715	cm	As	3.924	cm ²
ϵ_{cu}	0.003		a	2.308	cm
ϵ_t	0.1473		c	2.715	cm
ϵ_{ty}	0.002		ϵ_t	0.147255	
			ϵ_{ty}	0.002	
Área de acero mínimo ACI9.6.1.2					
Asmin	13.600	cm ²	Asmin	7.56	Comp 1 Cumple
ρ_{max}	0.018				
Asmax	73.695	cm ²			
Asnormativo	13.600	cm ²			
Asrequerido	13.600	cm ²			

Capacidad de la sección por flexión

	ID	ϕ Barra	Area (cm ²)		
	1	8	0.50265		
	2	10	0.78540		
	3	12	1.13097		
	4	16	2.01062		
	5	20	3.14159		
	6	25	4.90874		
Asprovisto	8.042	cm ²	Asrequerido	13.600	cm ²
Sep.min	2.5	cm			
r	3.20	cm			
Scalculada	5.733	cm	Comp 2		Cumple

ϕM_n	40.994	tonf.m	
ratio	0.488		
$\rho_{cuantia}$	0.002		Comp 3 OK

Diseño por corte

Cortante del concreto

V_u 15.00

ϕ_c 0.75

n_r 2.00

s 20.00 cm

N_u 0.5 tonf

to **Tabla 19.2.4.1(a) — Valores de λ para concreto liviano con base en la densidad de equilibrio**

w_c (kg/m ³)	λ	
≤ 1600	0.75	(a)
$1600 < w_c \leq 2160$	$0.00047 w_c \leq 1.0$	(b)
> 2160	1.0	(c)

ϕ_{estribo}	1	cm		
A_v	1.571	cm ²		
λ	1			
V_c	36.267	tonf		
V_{c_max}	90.801	tonf	Comp 4	Cumple
$V_u \leq \phi (V_c + 2.2 \sqrt{f'_c} b_w d)$				
Verificación				
V_u	112.648	tonf	Comp 5	Cumple
Cortante del acero				
V_s	44.862	tonf		
$\phi_c V_n$	60.847	tonf		
V_{s_req}	-12.200	tonf		
Ratio	0.24652			
A_{v_s}	-0.0285	cm ² /cm		

Av_s_min	0.0250	cm ² /cm	Comp 6	Cumple
Smax	60	cm	Comp 7	Cumple

Diseño por torsión

Tu	1.5	tonf.m
reCestribo	4	cm
ϕ_t	0.75	
fyt	4200	kg/cm ²
θ	45	
Nu	0.5	tonf
c	4.5	cm
Acp	4200	cm ²
Aoh	2751	cm ²

Ao	2338.35	cm ²
Pcp	340	cm
ph	304	cm
λ	1	
Tth	2.352	tonf.m
Tcr	8.710	tonf.m

Acero por torsión

$$T_u < \phi_t \cdot T_{th}$$

No requiere

La sección es adecuada?

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot p_h}{1.7 \cdot A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi_t \cdot \left(\frac{V_c}{b \cdot d} + 2 \cdot \sqrt{f'_c \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{kgf}} \cdot \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}}\right) \text{ Comp 8}$$

Sección adecuada

ANEXO-5

Matriz de consistencia “Optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú”

Problema general	O b j e t i v o s	M a r c o T e ó r i c o	H i p ó t e s i s	V a r i a b l e s	M e t o d o l o g í a
¿Cuál es la optimización el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021?	<p>O. General:</p> <input type="checkbox"/> Determinar la optimización el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021. <p>O. Específicos:</p> <input type="checkbox"/> Analizar el costo de diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021. <input type="checkbox"/> Determinar la cantidad de acero para el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated	<p>Tanha, Shirvani, & Rahmani (2021) en su tesis, “Un algoritmo híbrido de programación de tareas metaheurísticas basado en algoritmos de recocido simulados genéticos y termodinámicos en entornos de computación en la nube”</p> <p>Han (2021) en su tesis, “Control de ahorro de agua del robot de riego de césped utilizando un algoritmo de recocido simulado genético”</p> <p>Liu <i>et al</i> (2020) en sus tesis, “Predicción de los parámetros del macizo rocoso en el túnel TBM basado en el algoritmo de recocido simulado integrado de la red neuronal BP”</p>	<p>H. General:</p> <p>La optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing es del orden 10%, Perú 2021.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Diseño de una viga: Según Harmsen (2002), las vigas simplemente apoyadas son consideradas estructuras isostáticas, además de no presentar mayores dificultades en cuanto a la determinación de sus fuerzas internas, ya que se evalúan por medio de las ecuaciones de equilibrio; sin embargo, las vigas continuas en calidad</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Propósito: Aplicada</p> <p>Por el diseño:</p> <p>No Experimental</p> <p>Diseño de Investigación:</p> <p>No experimental transversal descriptivo</p> <p>Unidad de Estudio:</p> <p>Vigas de concreto armado</p> <p>Población:</p> <p>La población para el desarrollo de la presente investigación</p>

<p>Annealing, Perú 2021.</p> <p>□ Determinar la relación resistencia a la compresión-costo para el diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú 2021.</p>	<p>Ñaupari y Luis (2020) en su tesis, “Sintonía de un controlador PID para un péndulo invertido mediante algoritmos meta-heurísticos: luciérnaga y recocido simulador”</p> <p>Castro (2019) en su tesis, “Optimización de pruebas de software estructurales usando algoritmos genéticos: revisión sistemática”</p> <p>Hañari (2016) en su tesis, Algoritmos evolutivos aplicados a la generación de horarios para el colegio Aplicación de la UNA-PUNO</p>	<p>de hiperestatismo, es todas las vigas de requieren de criterios concreto armado que se adicionales para la puedan diseñar determinación de sus mediante Simulated fuerzas internas. Annealing, Perú 2021.</p>
		<p>Muestra: Muestreo no probabilístico por juicio de experto, de las cuales se consideran 15602 vigas.</p>
		<p>Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos:</p>
		<p>Para recolectar los datos, se utilizará la guía de recolección de datos, ver Anexo 1</p>
		<p>Técnica:</p>
		<p>Observación</p>
		<p>Instrumento:</p>
		<p>Guía de diseño de viga de concreto armado</p>

Análisis de datos:

Estadística descriptiva

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Mg. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de INGENIERÍA CIVIL, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Noriega Vidal Eduardo Manuel

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: Optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú para aspirar al título profesional de: Ingeniero Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

Ing. /Lic./Mg./Dr. Nombre y Apellidos

Asesor

ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis del estudiante: Eduardo Manuel Noriega Vidal para aspirar al título profesional con la tesis denominada: Optimización del diseño de una viga de concreto armado mediante Simulated Annealing, Perú

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

Aprobación por unanimidad

Aprobación por mayoría

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado

Presidente

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado