

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i14.0211>

ANÁLISIS COMPARATIVO PARA EL CÁLCULO DE LA PILA DE UN PUENTE MEDIANTE EL MÉTODO TRADICIONAL Y EL SOFTWARE SAP2000

COMPARATIVE ANALYSIS FOR THE CALCULATION OF A BRIDGE PIER USING THE TRADITIONAL METHOD AND SAP2000 SOFTWARE

Solórzano-Cedeño Iris Nicole¹; Basurto-Mendoza José Gregorio ²;
Zevallos Marcos ³

¹ Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Civil. Portoviejo. Ecuador.
Correo: isolorzano2099@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-0077-0248>

² Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Civil. Portoviejo. Ecuador.
Correo: jbasurto2614@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-9117-6098>

³ Universidad Técnica de Manabí, Carrera de Ingeniería Civil. Portoviejo. Ecuador.
Correo: marcos.zevallos@utm.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7979-8363>

Resumen

En este artículo se realiza un análisis comparativo detallado de las pilas de un puente utilizando el software de elementos finitos SAP2000 y el método tradicional de análisis estructural de diseño por factores de carga de la AASHTO LRFD 2017 (8va edición). El objetivo principal es evaluar la efectividad y precisión de SAP2000 en comparación con los enfoques tradicionales, proporcionando una visión integral de las ventajas y limitaciones de cada método en términos de modelado, simulación y resultados obtenidos. La metodología incluye la modelización de las pilas del puente en SAP2000, especificando la geometría, propiedades del material, condiciones de contorno y cargas aplicadas. Simultáneamente, se realiza el análisis estructural de las pilas utilizando métodos tradicionales, detallando los procedimientos, simplificaciones y suposiciones involucradas. Los resultados obtenidos de ambos métodos se comparan minuciosamente en función de parámetros clave como esfuerzos, deformaciones y resistencia estructural.

Palabras clave: Pila de puente, elementos finitos, SAP2000, método tradicional.

Abstract

This article provides a detailed comparative analysis of the piers of a bridge using the finite element software SAP2000 and the traditional structural analysis method of load and resistance factor design by AASHTO LRFD 2017 (8th edition). The main objective is to evaluate the effectiveness and accuracy of SAP2000 compared to traditional approaches, providing a comprehensive overview of the advantages and limitations of each method in terms of modeling, simulation, and obtained results. The methodology includes modeling the bridge piers in SAP2000, specifying the geometry, material properties, boundary conditions, and applied loads. Simultaneously, the structural analysis of the piers is performed using traditional methods, detailing the procedures, simplifications, and assumptions involved. The results obtained from both methods are thoroughly compared based on key parameters such as stresses, deformations, and structural strength.

Keywords: Bridge pile, finite elements, SAP2000, traditional method.

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 15 de abril de 2024.

Fecha de aceptación: 25 de junio de 2024.

Fecha de publicación: 10 de julio de 2024.



1. Introducción

El hombre en sus inicios más humildes buscó la forma de expandirse en territorio, encontrándose con numerosos obstáculos entre ellos accidentes geográficos, por los cuales tuvo que hacer uso de su ingenio para poder abatirlos creando los primeros puentes, utilizando los materiales disponibles en el entorno y con técnicas muy pobremente implementadas. Con el paso del tiempo la insuficiencia de estos puentes derivó en desarrollo de nuevas técnicas constructivas así como en el uso de nuevos materiales, volviéndose más eficientes, prueba de esto son algunos puentes que todavía sobreviven a nuestra época como lo es el puente de Alcántara en Cáceres, España. Palacios (2011)

El diseño y análisis estructural de puentes constituye un área crucial en la ingeniería civil, donde la seguridad y la eficiencia son de suma importancia. Entre los elementos fundamentales de un puente, las pilas desempeñan un papel crítico al soportar cargas verticales y horizontales, transmitiendo las fuerzas de la superestructura hacia

los cimientos. Con el avance de la tecnología, herramientas de simulación computacional como el software SAP2000 han ganado prominencia en el análisis estructural, ofreciendo capacidades sofisticadas para modelar y predecir el comportamiento de las estructuras bajo diversas condiciones de carga.

Aunque el software SAP2000 ha demostrado ser una herramienta poderosa en el análisis estructural, es esencial comparar sus resultados con enfoques tradicionales de modelado para validar su precisión y fiabilidad. En este contexto, este artículo presenta un análisis comparativo de la pila de un puente utilizando tanto el software SAP2000 como un modelo tradicional basado en métodos analíticos y empíricos. Se examinarán varios aspectos, incluida la distribución de tensiones y deformaciones, la capacidad de carga y el comportamiento frente a cargas estáticas y dinámicas.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la concordancia entre los resultados obtenidos mediante el enfoque computacional avanzado de SAP2000 y las predicciones derivadas del diseño por factores de carga de la AASHTO LRFD 2017

(8va edición). Además, se busca identificar las ventajas y limitaciones de cada método, así como su aplicabilidad en la práctica ingenieril. Esta comparación permitirá a los ingenieros tomar decisiones informadas al seleccionar la herramienta más adecuada para el análisis de pilas de puentes, contribuyendo así a la mejora continua en el diseño y la seguridad de las estructuras de transporte terrestre.

Objetivos.

Objetivo General:

Realizar un análisis comparativo de la efectividad y precisión del software SAP2000 frente a los métodos tradicionales aprendidos en el análisis estructural de las pilas de un puente, para determinar las ventajas y limitaciones de cada enfoque en términos de modelado, simulación y resultados obtenidos.

Objetivos específicos:

- Modelar y simular la pila del puente utilizando el software SAP2000, describir el proceso y analizar los resultados.
- Realizar el análisis estructural de las pilas del puente utilizando

métodos tradicionales aprendidos en la academia, describir el proceso y analizar los resultados.

- Identificar y comparar las similitudes y diferencias en los resultados obtenidos mediante SAP2000 y los métodos tradicionales.
- Definir las ventajas y desventajas del uso de SAP2000 en comparación con los métodos tradicionales, considerando factores como precisión, facilidad de uso, tiempo de cálculo y aplicabilidad a diferentes escenarios estructurales.

Definición

Pila de un Puente

Las pilas o pilares de un puente son los apoyos intermedios los cuales deben soportar la carga viva y muerta sin que se produzcan asentamientos además de resistir los factores naturales como crecidas, la presión del agua, fuerzas de sismo, fuerzas de viento y empuje de los rellenos. Los pilares se comportan como columnas sujetas a cargas axiales y a momentos en dos direcciones lo cual puede variar

dependiendo de las características de la estructura (Bermejo & Clavijo, 2014).

Los pilares pueden ser de una sección transversal constante o variable dependiendo de su altura, también pueden tener una sección llena o hueca a elección de acuerdo a la construcción y estética de la pila (Ramirez & León, 2010).

Dos de los requerimientos funcionales de estos elementos de apoyo son:

- Transmitir las cargas debidas al peso propio, tráfico, cargas especiales, etc. A las fundaciones.
- Transmitir a las fundaciones las componentes horizontales de las reacciones de apoyo, debidas al viento, frenado de los vehículos, rozamiento, terremotos, etc.

2. Materiales y métodos

Materiales y Métodos

El presente trabajo de investigación cuenta con datos obtenidos de “PUENTES, CON AASHTO LRFD 2017, 8va edición”, Serquén. A (2020 actualizado). Situados en el capítulo 6, “Pilares” se decidió trabajar con el

ejercicio 6.1, para comparar el mismo pilar modelado en el Software SAP2000. La metodología utilizada por el Ingeniero Arturo Rodríguez Serquén se describe a continuación:

En el Capítulo 6 del libro de Arturo Serquén, específicamente en el Ejercicio 6.1, se aborda el diseño de un pilar central de un puente ubicado en una zona no sísmica. A continuación, se describe el análisis y los pasos principales del método de cálculo que se utiliza en este ejercicio.

Descripción del Problema

El problema 6.1 requiere diseñar un pilar central que consta de dos columnas circulares y una viga travesaño rectangular. Los materiales utilizados tienen una resistencia específica y las dimensiones de los elementos estructurales se proporcionan en el enunciado.

Pasos del Método de Cálculo.

1. *Determinación de las Cargas Actuantes:*

- Cargas permanentes: incluyen el peso propio de las columnas y la viga, así como las cargas provenientes de la

- superestructura y cualquier carga adicional permanente.
- Sobrecargas vivas: se deben considerar las cargas que actúan temporalmente sobre el puente, como vehículos y peatones.
- Cargas de viento y otras cargas horizontales: en este caso, debido a que la ubicación es no sísmica, no se consideran cargas sísmicas.

Figura 1: Determinación de datos de ejercicio. Rodríguez. A. (2020)

PROBLEMA 6.1 Diseñar el pilar central de un puente ubicado en una zona no sísmica, constituido por dos columnas circulares y una viga travesaño rectangular. Utilizar $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. Se precisan los esfuerzos críticos:

Viga

$M_{lr} = -145 \text{ T-m}$ (estado de Resistencia I)

$M_{lr} = +138 \text{ T-m}$ (estado de Resistencia I)

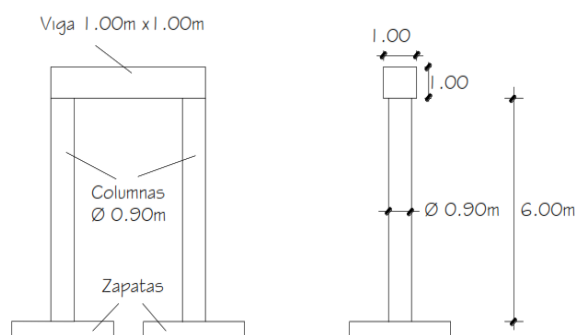
$M_s = -95 \text{ T-m}$ (estado de Servicio I)

$V_s = 200 \text{ T}$ (estado de Resistencia I)

Columna (estado de Resistencia V)

$P_u = -350 \text{ T}$

Plano del Pórtico	Sentido Transversal
$M_{lr} = 90 \text{ T-m}$	$M_{lr} = 35 \text{ T-m}$
$M_{dr} = 13 \text{ T-m}$	$M_{dr} = 10 \text{ T-m}$



2. Cálculo de la Resistencia Axial:

- Se debe determinar la capacidad de carga axial de las columnas considerando las propiedades del material y la geometría de las secciones transversales.
- La fórmula general para la resistencia axial se presenta en el capítulo, junto con las consideraciones de diseño específicas.

Figura 2: Resistencia axial. Rodríguez. A (2020).

6.3 RESISTENCIA AXIAL

(Art. 5.6.4.4)

La resistencia axial mayorada de los elementos comprimidos de hormigón armado simétricos respecto de ambos ejes principales se deberá tomar como:

$$P_r = \phi P_n \quad (5.6.4.4-1)$$

3. Diseño de la Flexión Biaxial:

- Se aborda la capacidad del pilar para resistir momentos flectores en dos direcciones ortogonales.

Este cálculo es crucial para garantizar la estabilidad del pilar bajo diferentes condiciones de carga.

Figura 3: Diseño a Flexión Biaxial. Rodríguez. An (2020).

- Si la carga axial mayorada es mayor o igual que 0.10 $\phi f'_c A_g$:

$$\frac{1}{P_{ray}} = \frac{1}{P_{rx}} + \frac{1}{P_{ry}} - \frac{1}{\phi P_o} \quad (5.6.4.5-1)$$

siendo:

$$P_o = k_c (A_g - A_{st} - A_{ps}) + A_{st} f_y - A_{ps} (f_{pc} - E_p \epsilon_{cu}) \quad (5.6.4.5-2)$$

- Si la carga axial mayorada es menor que 0.10 $\phi f'_c A_g$:

$$\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \leq 1.0 \quad (5.6.4.5-3)$$

4. Determinación del Refuerzo Longitudinal y Transversal:

- Se especifica la cantidad y disposición del refuerzo de acero necesario para garantizar que las columnas puedan soportar las cargas aplicadas sin fallar.
- El refuerzo transversal incluye estribos y zunchos que ayudan a mantener la integridad estructural y evitar el pandeo.

5. Cálculo del Factor de Longitud Efectiva (K):

- Este factor ajusta la longitud efectiva de las columnas para tener en cuenta las condiciones de soporte en los extremos de las columnas. El valor de K (1) se obtiene de tablas y nomogramas proporcionados en el libro (Libro de Puentes 2020).

Figura 3: Tabla 1. Factores de longitud efectiva, K. (Tabla C4.6.2.5-1, AASHTO)

FACTORES DE LONGITUD EFECTIVA, K					
La geometría de la columna deformada por pandeo se indica en líneas de puntos.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0
	0.65	0.80	1.2	1.8	2.0
Referencia de las condiciones de vínculo de los extremos	ap p p p	ap p p p	Rotación impedida, traslación impedida	Rotación libre, traslación impedida	Rotación impedida, traslación libre

FACTORES DE LONGITUD EFECTIVA, K					
La geometría de la columna deformada por pandeo se indica en líneas de puntos.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0
	0.65	0.80	1.2	1.8	2.0
Referencia de las condiciones de vínculo de los extremos	ap p p p	ap p p p	Rotación impedida, traslación impedida	Rotación libre, traslación impedida	Rotación impedida, traslación libre

FACTORES DE LONGITUD EFECTIVA, K					
La geometría de la columna deformada por pandeo se indica en líneas de puntos.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0
	0.65	0.80	1.2	1.8	2.0
Referencia de las condiciones de vínculo de los extremos	ap p p p	ap p p p	Rotación impedida, traslación impedida	Rotación libre, traslación impedida	Rotación impedida, traslación libre

6. Verificación de la Estabilidad:

- Finalmente, se verifica la estabilidad global del pilar y se

asegura que todos los factores de seguridad se cumplan según las normas de diseño aplicables.

Figura 4: Verificación de la estabilidad. Rodríguez. A (2020).

En efecto, se puede verificar que:

$$0.1 \phi_{axial} f'_c A_g = 0.1 (0.75) (210 \text{ kg/cm}^2) (6362 \text{ cm}^2) = 100.2 \text{ T} < 350 \text{ T}$$

Entonces debemos usar:

$$\frac{M_{ux}}{M_{rx}} + \frac{M_{uy}}{M_{ry}} \leq 1.0 \quad (5.7.4.5-3)$$

Como:

$$\frac{M_u}{M_r} = \frac{113.02 \text{ T-m}}{118.29 \text{ T-m}} = 0.96 < 1.0 \quad \text{OK!}$$

Modelado en SAP2000.

El objetivo del análisis es investigar las respuestas más probables de una estructura de puente debido a un rango de cargas aplicadas. Los resultados de estas investigaciones deben ser convertidos en datos útiles de diseño, proporcionando a los diseñadores la información necesaria para evaluar el funcionamiento de las estructuras de puentes y determinar las acciones apropiadas para lograr la configuración del diseño más eficiente. Adicionalmente, el cálculo de capacidades del sistema estructural es un aspecto importante cuando determinamos la alternativa de diseño más confiable. Cada esfuerzo debe ser hecho para

asegurar que todo trabajo realizado durante cualquier actividad analítica, permita a los diseñadores producir un conjunto de documentos de construcción de calidad incluyendo planos, especificaciones, y estimaciones (Ramírez & León, 2010).

El realizar de la mejor manera posible las actividades del desarrollo de software siempre ha sido difícil para cualquier tipo de organización. Esto dada la falta de un enfoque ingenieril que guíe dichas actividades. Por ello, a lo largo de la historia del desarrollo y la ingeniería de software se han investigado, creado y aplicado una serie de posibles soluciones, unas con más éxito que otras, que intentan mejorar

el desarrollo de software. Entre estas soluciones se encuentra la mejora de procesos de software. Lo que se propone es definir, controlar y mejorar los procesos y actividades que utiliza una organización para el desarrollo de software para aumentar los niveles de calidad en los productos y servicios ofrecidos. (Rioseco, 2012).

A continuación, se muestra la metodología usada para la modelación en SAP-2000.

Definir unidades.

1. Definir Unidades: Se asegura seleccionar las unidades correctas, en este caso sistema MKS (kg, cm).

Definir Materiales

1. Materiales: Se definen los materiales para el concreto y el acero de refuerzo.

- Concreto: Se ingresa las propiedades del concreto (f'_c , peso unitario, módulo de elasticidad, etc).

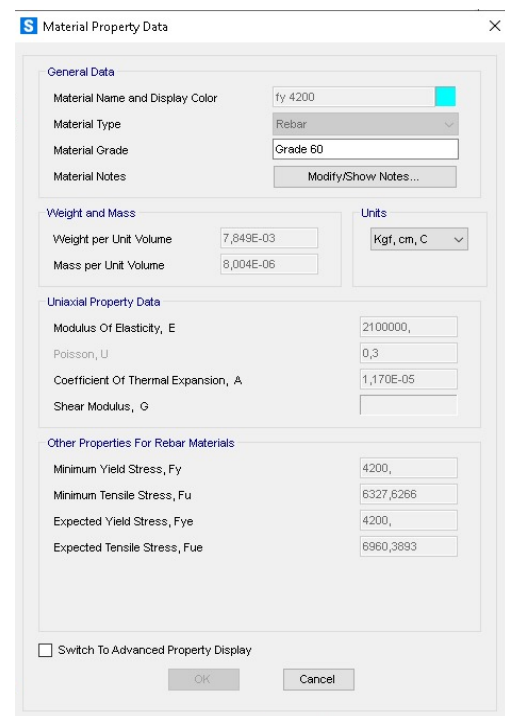
Figura 5: Propiedades de los materiales



The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a concrete material. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (f'c 210 kg/cm2), 'Material Type' (Concrete), 'Material Grade' (f'c 4000 psi), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (2,403E-03) and 'Mass per Unit Volume' (2,450E-06). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (218819,79), 'Poisson, U' (0,2), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (9,900E-06), and 'Shear Modulus, G' (91174,91). The 'Other Properties For Concrete Materials' section includes 'Specified Concrete Compressive Strength, f'c' (210), 'Expected Concrete Compressive Strength' (210), and a checkbox for 'Lightweight Concrete'. The 'Units' dropdown is set to 'Kgf, cm, C'. The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is unchecked. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

- Acero de Refuerzo: Se define las propiedades del acero (f_y , módulo de elasticidad, peso unitario, etc).

Figura 6: Propiedades del acero.

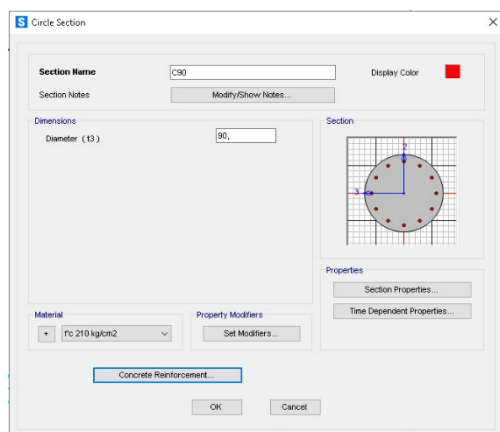


The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for a rebar material. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (fy 4200), 'Material Type' (Rebar), 'Material Grade' (Grade 60), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (7,849E-03) and 'Mass per Unit Volume' (8,004E-06). The 'Uniaxial Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (2100000), 'Poisson, U' (0,3), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (1,170E-05), and 'Shear Modulus, G'. The 'Other Properties For Rebar Materials' section includes 'Minimum Yield Stress, Fy' (4200), 'Minimum Tensile Stress, Fu' (6327,6266), 'Expected Yield Stress, Fye' (4200), and 'Expected Tensile Stress, Fue' (6960,3893). The 'Units' dropdown is set to 'Kgf, cm, C'. The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is unchecked. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Definir Secciones de Elementos

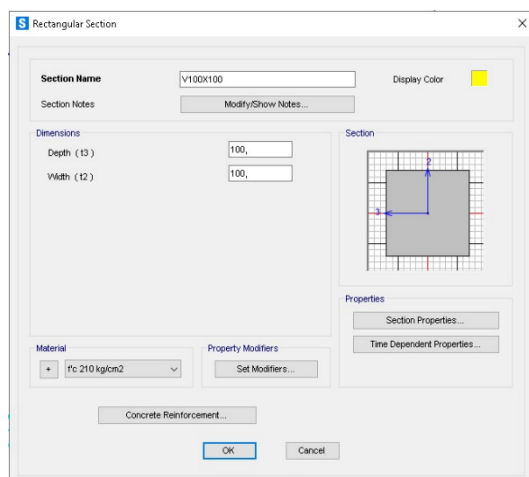
1. Columnas: Define las secciones transversales de las columnas.
 - Seleccionar la forma (circular) y específica el diámetro.

Figura 7: Definición de secciones y formas.



2. Viga: Define la sección transversal de la viga travesaño.
 - Seleccionar la forma (rectangular) y especificar las dimensiones (ancho y altura).

Figura 8: Definición de sección transversal.



Crear la Geometría del Modelo

1. Dibujo de Elementos: Usa las herramientas de dibujo para crear la geometría del pilar central:
 - Dibuja las dos columnas como elementos verticales.
 - Dibuja la viga travesaño como un elemento horizontal que conecta las dos columnas en la parte superior.

Aplicar Cargas

1. Cargas Permanentes: Aplica las cargas permanentes a las columnas y a la viga.
 - Peso propio: Activa la opción de considerar el peso propio del modelo.
 - Cargas adicionales: Agrega cualquier carga permanente adicional.
2. Cargas Vivas: Aplica las cargas vivas que actúan temporalmente.
3. Cargas de Viento: Aplica las cargas de viento según las especificaciones del ejercicio.

Definir Restricciones y Apoyos

1. Apoyos: Define los apoyos en la base de las columnas.

- Selecciona el tipo de apoyo adecuado (fijo, empotrado, etc.).

Análisis del Modelo

1. Configuración del Análisis: Configurar las opciones de análisis.
 - Seleccionar el tipo de análisis (estático, dinámico, etc.).
2. Ejecutar el Análisis: Se corre el análisis para obtener resultados.

Revisar Resultados

1. Reacciones y Desplazamientos: Se revisa las reacciones en los apoyos y los desplazamientos de los elementos.

Figura 9: Reacciones de la estructura

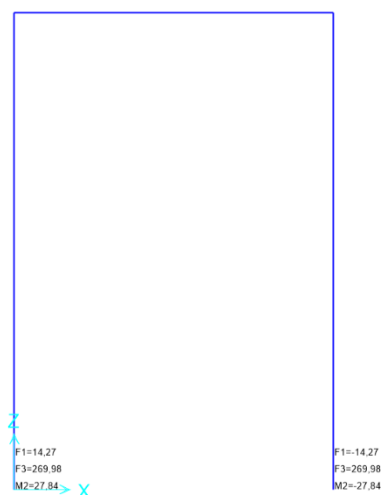
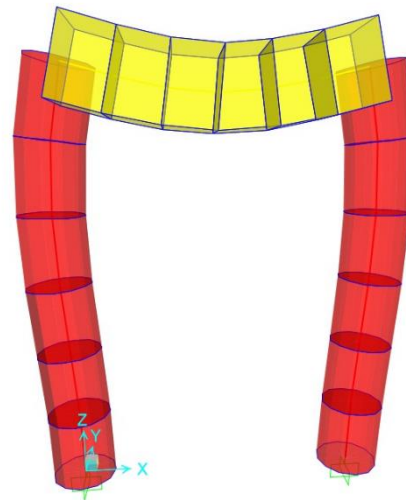
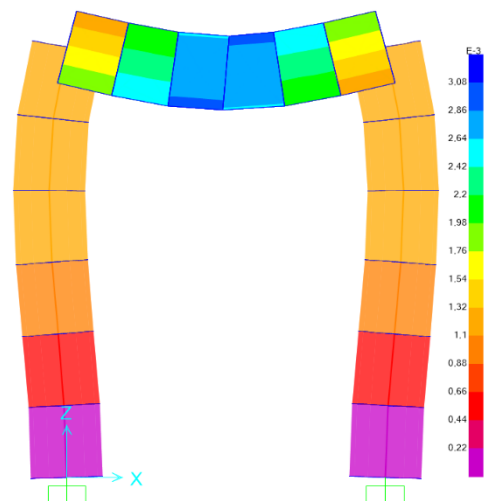


Figura 10: Modelo de deformación de la estructura



2. Fuerzas Internas: Examina las fuerzas internas (momentos, cortantes, axiales) en las columnas y en la viga.
3. Verificación de Esfuerzos: Compara los resultados del análisis con las capacidades de diseño de los materiales y secciones.

Figura 11: Esfuerzos de la estructura

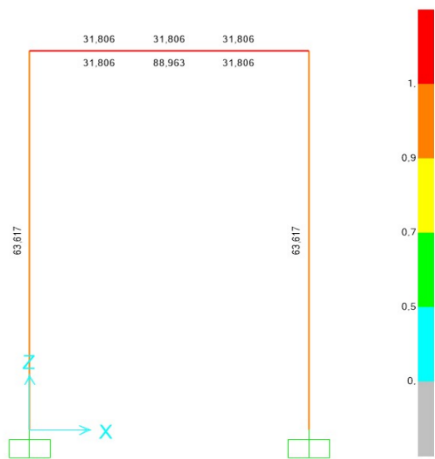


Diseño y Refuerzo

1. Diseño de Refuerzo: Se utiliza las herramientas de diseño de SAP2000 para determinar el refuerzo necesario.

- Se define las barras de refuerzo y su disposición en las columnas y en la viga.

Figura 12: Área de acero requerida para cada elemento.



3. Resultados y discusión

Resultados y análisis.

El objetivo principal de esta investigación consistió en analizar el comportamiento de la pila de un puente a partir del libro "PUENTES" del ingeniero Serquén según el método de cálculo tradicional y la modelación de la pila en el programa SAP2000, a fin de realizar el análisis comparativo e identificar la cantidad de acero de los elementos de la estructurales.

Las conclusiones son las siguientes:

- Al realizar la comparación de los dos tipos de modelación de la pila en el programa SAP2000, y el método tradicional del ejercicio 6.1 Capítulo Pilas, se muestran resultados similares de la cantidad de acero longitudinal, con 95.60 y 97.53% de diferencia uno de otro, (según vigas y columnas).

Tabla 2: Comparación de acero longitudinal según método tradicional y SAP2000.

Comparación del acero longitudinal			
As (cm²)	Método tradicional.	SAP2000	Similitud
Columna	60.81 cm²	63.61 cm²	95.60%
Viga travesaño	91.21 cm²	88.96 cm²	97.53%

Elaborado: Basurto. J y Solórzano. I (2024)

• Al contrastar la cantidad de acero a cortante se determinó que la capacidad cortante del concreto V_c es suficiente para resistir los esfuerzos aplicados sin necesidad de esfuerzo adicional. Sin embargo, el autor decidió usar un acero de cortante de $\frac{5}{8}$ ", posiblemente para incorporar factores adicionales de seguridad y cumplir con los códigos de construcción que requiere un esfuerzo mínimo. SAP2000 proporciona un análisis más detallado y preciso al considerar múltiples factores, como la distribución real de cargas, la interacción entre elementos

estructurales y las condiciones de borde. El cálculo manual del acero cortante en el ejercicio del autor y los resultados obtenidos de SAP2000 muestran diferencias en la necesidad de refuerzo debido a los distintos niveles de precisión y conservadurismo aplicados. Mientras que el método del auto adopta un enfoque conservador para asegurar la seguridad estructural.

SAP2000 proporciona una evaluación detallada y optimizada, lo que puede justificar la necesidad exacta de refuerzo de acero en áreas específicas.

Tabla 3: Comparación de acero cortante según método tradicional y SAP2000.

Comparación del acero a cortante			
As (cm ²)	Método tradicional.	SAP2000	Similitud
Columna	1.98 cm ²	0.00 cm ²	0.00%
Viga travesaño	0.71 cm ²	1.04 cm ²	68.27%

Elaborado: Basurto. J y Solórzano. I (2024)

Figura 13: Cantidad de acero en columna. Rodríguez. A (2020) **Figura 14:** Cantidad de acero en viga. Rodríguez. A (2020)

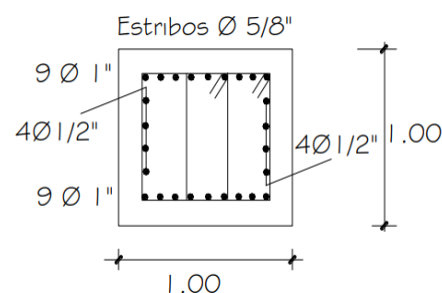
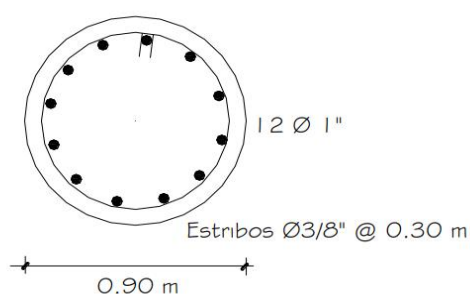
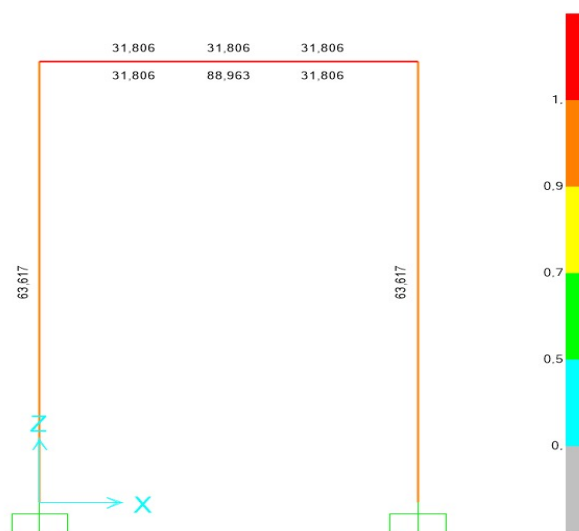


Figura 15: Área de acero sugerida por SAP2000. (Basurto J & Solórzano I)



4. Conclusiones

La comparación entre la resolución del ejercicio de diseño del pilar central de un puente mediante cálculos manuales según el método del autor y los resultados obtenidos a través de SAP2000 revela diferencias significativas en la aproximación y resultados finales.

Aquí se presentan las conclusiones claves de esta comparativa:

1. Precisión y Detalle del Análisis

- Método Tradicional:
 - Simplificando: Los cálculos manuales tienden a simplificar varios aspectos del análisis estructural, considerando condiciones ideales y aplicando factores de seguridad

genéricos según su contexto y normas.

- Conservadurismo: El método manual a menudo emplea un enfoque conservador, añadiendo refuerzos adicionales para cubrir posibles incertidumbres y variaciones en las condiciones reales de carga y resistencia para asegurar mayor fiabilidad.

● SAP2000:

- Precisión: SAP2000 proporciona un análisis más detallado y preciso, considerando la distribución real de cargas, la interacción entre los elementos estructurales y las condiciones específicas de la estructura.

- Optimización: El software permite optimizar el diseño al determinar la cantidad exacta de refuerzo necesario en cada sección de la viga, lo que puede resultar en un uso más eficiente de materiales.

2. Uso de Materiales y Eficiencia del Diseño

- Método Tradicional:

- Exceso de Conservadurismo: Puede llevar a un uso excesivo de materiales debido a la incorporación de márgenes de seguridad amplios, como el uso de acero de cortante adicional cuando el cálculo simplificado sugiere que no es necesario.

- Estándares Normativos: Cumple con los códigos de construcción que requieren refuerzos mínimos, asegurando así un nivel de seguridad aceptable.

- SAP2000:

- Eficiencia de Materiales: Permite diseñar estructuras más eficientes al calcular la cantidad exacta de refuerzo necesario, evitando sobrecostos sin comprometer la seguridad.

- Cumplimiento Normativo Detallado: Asegura el cumplimiento detallado

de las normativas al evaluar con precisión las necesidades de refuerzo en cada área específica de la estructura.

3. Consideraciones de Seguridad y Durabilidad

- Método Manual:

- Seguridad Adicional: La adopción de un enfoque conservador puede proporcionar una mayor seguridad y durabilidad, especialmente bajo condiciones de carga imprevistas o a largo plazo.

- Redundancia Estructural: A menudo se utilizan modelos simplificados que pueden no capturar toda la redundancia de la estructura. Por ejemplo, se puede asumir que ciertos elementos son innecesarios o que no contribuyen significativamente a la estabilidad general, lo cual puede no ser cierto en la práctica.

4. Interpretación de Resultados

- Método Tradicional: Requiere una interpretación cuidadosa de los resultados y una comprensión sólida de las teorías y principios estructurales. Puede ser menos intuitivo para aquellos sin una sólida formación en análisis estructural.

- SAP2000: Facilita la interpretación mediante visualizaciones gráficas y reportes detallados. Los resultados pueden ser presentados de manera más comprensible, lo que facilita la toma de decisiones informadas y la comunicación con otros profesionales.

6. Reinoso CAR. MODELADO Y MEJORA DE PROCESOS DE SOFTWARE [Internet]. Pucv.cl. [citado el 7 de agosto de 2024]. Disponible en: http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3500/UCF3545_01.pdf
7. Rodríguez. A (2020). PUENTES CON AASHTO LRFD 2017. (Actualizado 2020. 8th Edición).

Bibliografía

1. ACI-318S-19- (2019). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural: American Concrete Institute.
2. Aguiar, R. (2003). Análisis sísmico por desempeño. Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, 342.
3. Bautista. T (2021). "Manual Diseño de Puentes en SAP2000". Universidad Nacional José Faustino Sanchez Carrión.
4. Director, L. T. P. (2012). Diseño sísmico moderno de pilas de un puente de hormigón armado y verificación mediante análisis dinámico no lineal. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/21253>
5. Norma Ecuatoriana de la Construcción. NEC (2015).