



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Vigas de Geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Civil

AUTORES:

De La Rosa Santos, Keiko Daniela ([orcid.org/ 0000-0002-4867-0762](https://orcid.org/0000-0002-4867-0762))

ASESOR:

M. Sc. Clemente Condori, Luis Jimmy (orcid.org/0000-0002-0250-4363)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño Sísmico y Estructural

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ

2024

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, ya que, gracias al él, he logrado llegar a este punto de mi carrera, a mi mamá y hermanos por el gran esfuerzo que hacen a diario para que continúe con mis estudios y pueda cumplir mis metas, también a cada uno de los ingenieros quienes fueron mis maestros, su apoyo y paciencia para enseñarnos fue vital en todo el proceso.

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por bendecirme con buena salud, cuidar de mis seres queridos y darme la fortaleza y determinación necesarias para alcanzar mis metas. Agradezco a mi mamá y a mis hermanos por su apoyo constante a lo largo de mi carrera.

También expreso mi gratitud a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y a todos los docentes que me impartieron los conocimientos necesarios para desenvolverme en mi vida profesional. De manera especial, agradezco a mi asesor de tesis, el Ing. Clemente Condori, Luis, por su guía, orientación y valiosos consejos que me ayudaron a iniciar este proyecto de tesis.

Keiko Daniela



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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CLEMENTE CONDORI LUIS JIMMY, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, asesor de Tesis titulada: "Vigas de geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico", cuyo autor es DE LA ROSA SANTOS KEIKO DANIELA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

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

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

LIMA, 10 de Julio del 2024

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
LUIS JIMMY CLEMENTE CONDORI DNI: 09957407 ORCID: 0000-0002-0250-4363	Firmado electrónicamente por: LCLEMENTECO el 17-07-2024 15:14:20

Código documento Trilce: TRI - 0808427



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, DE LA ROSA SANTOS KEIKO DANIELA estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "Vigas de geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Nombres y Apellidos	Firma
DE LA ROSA SANTOS KEIKO DANIELA DNI: 75360435 ORCID: 0000-0002-4867-0762	Firmado electrónicamente por: KLASA5 el 26-07-2024 19:34:24

Código documento Trilce: INV - 1697676

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Indice de Contenido	vi
Indice de Tablas	ix
Índice de Figuras.....	x
Índice de Graficos	xi
Resumen.....	xii
Abstract.....	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEORICO.....	7
III. METODOLOGIA.....	48
3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación	48
3.2. Variable y operacionalización de variables	50
3.3. Población, muestra y muestreo	50
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	51
3.5. Procedimientos.....	54
3.6. Método de análisis de datos	62
3.7. Aspectos éticos.....	63
IV. RESULTADOS.....	63
V.DISCUSIÓN.....	100
VI.CONCLUSIONES.....	101
VII. RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:.....	103
ANEXOS	106

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

SA:	Simulated annealing (recocido simulado)
SAC:	Simulated annealing caótico (recocido simulado caótico)
GPL:	Gases del Petróleo Licuados
FEMA P-58:	Metodología para evaluar las probables prestaciones sísmicas
DSSI:	Interacción dinámica suelo estructura
CFD:	Computational fluid dynamics (Dinámica de fluidos computacional)
PR:	Planos Resistentes

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo N° 1. Matriz de Consistencia
- Anexo N° 2. Matriz de operalización
- Anexo N° 3. Formato para validación de expertos
- Anexo N° 4. Cuestionario de validación de instrumentos
- Anexo N° 5 Diseño Arquitectónico 3D - SKETCHUP
- Anexo N° 6 Diseño Arquitectónico 3D – Renderizado
- Anexo N° 7 Comportamiento dinámico - ETAPS
- Anexo N° 8 Análisis estructural – TEKLA STRUCTURE
- Anexo N° 9 STORY REPOSE PLOTS
- Anexo N° 10 STORY REPOSE PLOTS
- Anexo N° 11 ELEVATION
- Anexo N° 12 DIAGRAM FOR COLUMN

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas de materiales	20
Tabla 2. Factor de geometría, k geometría.....	24
Tabla 3. Rango de valores del factor de rigidez k.....	26
Tabla 4. Clasificación de niveles de confiabilidad (Cronbach)	53
Tabla 5. Datos generales de edificaciones en san isidro	54

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1:</i> Ubicación del distrito de San Isidro,	6
<i>Figura 2:</i> Componentes de la viga en curva y de elemento de parrilla asociado... 15	15
<i>Figura 3:</i> Apoyos, fuerzas externas y acciones internas de la viga en curva	17
<i>Figura 4:</i> Reacciones de la viga en curva empotrada	18
<i>Figura 5:</i> Elemento de parrilla empotrado	20
<i>Figura 6:</i> Traslado de las cargas de la viga en curva	21
<i>Figura 7:</i> Reacciones sobre el elemento recto de parrilla.	23
<i>Figura 8:</i> Influencia del factor de rigidez β sobre las reacciones en el apoyo.	27
<i>Figura 9:</i> Corte en Y,	28
<i>Figura 10:</i> Torre de Dubái en ejecución,	29
<i>Figura 11:</i> Secciones Superior, Medio y Bajo.....	29
<i>Figura 12:</i> Secuencia de los “retrocesos” de las alas.....	30
<i>Figura 13:</i> Modelo en Túnel de Viento,	31
<i>Figura 14:</i> Modelo en Túnel de Viento	31
<i>Figura 15:</i> Desplazamientos verticales en función del piso, a 30 años	32
<i>Figura 16:</i> Redistribución de la fuerza entre hormigón y acero en el tiempo.....	33
<i>Figura 17:</i> Los 20 edificios más altos para 2020	34
<i>Figura 18:</i> Structural System Chart, first proposed by Fazlur R. Khan	36
<i>Figura 19:</i> Frame System.....	36
<i>Figura 20:</i> Planta de edificio residencial.....	38
<i>Figura 21:</i> Deformación cantiléver y cortante,	38
<i>Figura 22:</i> Construcción del World Trade Cente	39
<i>Figura 23:</i> Planta modelo tube in tube.....	40
<i>Figura 24:</i> Retraso de cortante en sistemas tubulares interconectados.....	40
<i>Figura 25:</i> Sistema tubular arriostrado. Acero (izq.) Hormigón (der.)	41
<i>Figura 26:</i> Shangai Tower, outrigger system.....	42
<i>Figura 27:</i> Sistema "Superframe"	43
<i>Figura 28:</i> Torre del Banco de China	44
<i>Figura 29:</i> Planta Burj Khalifa.....	45
<i>Figura 30:</i> Modelo directo de elemento finito y de subestructura DSSI.....	46
<i>Figura 31:</i> Cono, Rotor, Hiperboloide, Prisma rectangular, Prisma torsionado	47

<i>Figura 32.</i> Zonas sísmicas	58
<i>Figura 33.</i> Tipo de suelo.....	59
<i>Figura 34.</i> Diseño estructural 40 pisos,4 sótanos.....	61
<i>Figura 35.</i> Software teckla structures	62

RESUMEN

La investigación se centró en optimizar y modelar vigas curvas en edificaciones de gran altura mediante la técnica de "simulated annealing". El objetivo principal fue desarrollar y validar un modelo numérico para optimizar estas vigas, analizando su comportamiento estructural y dinámico. La metodología incluyó el uso de los programas Tekla Structures y SketchUp para el modelado arquitectónico y estructural detallado, y se realizaron análisis numéricos utilizando técnicas heurísticas. Los datos geométricos y mecánicos precisos se recopilaron y se usaron para ajustar y validar los modelos numéricos. Los resultados mostraron que "simulated annealing" es altamente efectivo para optimizar vigas curvas, equilibrando resistencia estructural y peso. El uso de Tekla Structures y SketchUp permitió una visualización y análisis espacial precisos, identificando problemas potenciales antes del análisis numérico final. La correcta selección de diámetro y longitud de las vigas curvas resultó crucial para un adecuado comportamiento dinámico. La investigación concluyó que la técnica de "simulated annealing" proporciona configuraciones estructurales óptimas y que el modelado detallado es esencial para evaluar y optimizar el comportamiento estructural. Estos hallazgos mejoran la seguridad estructural de edificaciones de gran altura. La importancia de esta investigación radica en la mejora de la seguridad y eficiencia de estas edificaciones mediante el uso de técnicas avanzadas de optimización y modelado, contribuyendo significativamente a la ingeniería estructural.

Palabras clave: vigas curvas, modelado numérico, edificaciones de gran altura, Tekla Structures, comportamiento dinámico.

ABSTRACT

The research focused on optimizing and modeling curved beams in high-rise buildings using the "simulated annealing" technique. The main objective was to develop and validate a numerical model to optimize these beams, analyzing their structural and dynamic behavior. The methodology included the use of Tekla Structures and SketchUp programs for detailed architectural and structural modeling, and numerical analyzes were performed using heuristic techniques. Precise geometric and mechanical data were collected and used to fit and validate the numerical models. The results showed that simulated annealing is highly effective in optimizing curved beams, balancing structural strength and weight. The use of Tekla Structures and SketchUp enabled accurate spatial analysis and visualization, identifying potential issues before final numerical analysis. The correct selection of diameter and length of the curved beams was crucial for adequate dynamic behavior. The research concluded that the simulated annealing technique provides optimal structural configurations and that detailed modeling is essential to evaluate and optimize structural behavior. These findings improve the structural safety of high-rise buildings. The importance of this research lies in improving the safety and efficiency of these buildings through the use of advanced optimization and modeling techniques, contributing significantly to structural engineering.

Keywords: curved beams, numerical modeling, high-rise buildings, Tekla Structures, dynamic behavior.

I. INTRODUCCIÓN

La ingeniería estructural en relación con las vigas curvas utilizadas en la construcción de rascacielos representó un desafío importante. La curvatura presente en estas estructuras añadió un grado de complejidad que requería una atención minuciosa para lograr un rendimiento dinámico eficaz. Este estudio se centró en este problema, con un enfoque particular en su aplicación en la construcción de torres de gran altura, que desempeñaron un papel crucial en el progreso urbano contemporáneo.

La necesidad de investigar las vigas curvas radicaba en la relevancia de comprender su comportamiento en el contexto de estructuras de gran envergadura. La construcción de rascacielos se había vuelto fundamental en la evolución de las ciudades modernas, y la introducción de la forma curva añadió una dimensión adicional a la ingeniería estructural. Por lo tanto, realizar un análisis minucioso de estas vigas se convirtió en un aspecto crucial con el objetivo de asegurar que estas torres, desde una perspectiva estructural, mantuvieran altos niveles.

Por otro lado, tuvimos a Modesto (2018) quien nos informó sobre el impacto de la informática en el diseño y construcción de proyectos, así como avanzadas tecnologías aplicadas a la ingeniería los componentes de construcción, lo cual permitió una nueva independencia en el ámbito arquitectónico que no se conocía antes. Esto se vio impulsado por el crecimiento económico neoliberal experimentado por algunos países en las últimas décadas, lo que resultó en una arquitectura que no tenía restricciones económicas, formales o constructivas. Además, la revolución en las comunicaciones y la difusión de información permitieron que este tipo de arquitectura surgiera en varios países casi simultáneamente. Las ciudades y naciones se volvieron más conscientes de sí mismas y proyectaron su imagen al mundo exterior. Los progresos en las infraestructuras de comunicación hicieron que fuera fácil "observar" y ser "observado", lo que llevó a los países que podían exhibir sus diseños arquitectónicos al mundo, enviando un mensaje simbólico de crecimiento económico y progreso. Estos edificios se convirtieron en símbolos de una era de globalización, y a menudo eran similares en apariencia a pesar de estar en diferentes lugares, ya que muchos competían por alcanzar grandes alturas en

forma de rascacielos.

Asimismo, Alberto, Kohan y Quinteros (2012) señalaron que el diseño de estructuras delgadas hechas de materiales compuestos presentaba desafíos diversos, principalmente debido a las propiedades únicas de estos materiales. Los materiales compuestos ofrecían ventajas significativas, como una elevada relación entre la rigidez y el peso, así como una mayor resistencia en relación al peso, mayor resistencia a la fatiga y la corrosión, así como flexibilidad en cuanto a su composición y fabricación. Esta última característica involucraba diversas variables de diseño, como las propiedades del material, la variedad y el arreglo de las fibras empleadas en la edificación, el número de capas del laminado y su espesor.

La inclusión de estas variables en el diseño creaba un problema complejo, lo que estimulaba la creación de enfoques novedosos computacionales de diseño basados en algoritmos de optimización matemática. Estos métodos permitían el diseño automático de estructuras con el objetivo de cumplir ciertos objetivos de la manera más eficiente posible. En el trabajo actual, se diseñaron vigas curvas hechas de materiales ortotrópicos mediante una formulación de diseño óptima que buscaba maximizar una función de diseño sin dimensiones, considerando tanto la maximización de la resistencia como la minimización del peso de la estructura.

El análisis estructural se basó en un modelo teórico desarrollado por Piovan y Cortínez, que incorporaba efectos de flexibilidad por corte en vigas compuestas de eje curvo y se implementó método de elementos discretos. Además, se consideraron efectos de distorsión seccional de manera simplificada.

Para resolver el problema de diseño, se utilizó la técnica de recocido simulado (SA), así como un método de búsqueda basado en un sistema caótico llamado recocido simulado caótico (SAC), que utilizaba el mapa logístico para generar variables de diseño. Este método se comparó con el enfoque clásico basado en distribuciones normales.

Se indicó que se había realizado un estudio sobre las vigas con forma arqueada desde el inicio del siglo pasado hasta el momento actual, y se mencionaron varios investigadores, como Timoshenko y Goodier, quienes llevaron a cabo estudios en esta área. Además, se mencionaron otros investigadores que habían perfeccionado la teoría de Timoshenko respecto a las vigas arqueadas. En lo que respecta a la

representación de vigas curvas a través del empleo del método de elementos discretos, se citaban autores como Oñate, Zienkiewics y Taylor, que habían abordado este tema en libros y artículos de ingeniería estructural.

1.1. Formulación del problema

Problema general

- ¿Cómo el modelamiento numérico podría determinar el óptimo comportamiento dinámico de vigas de geometría no lineal en torres de gran altura?

Problemas específicos

- ¿Considerando un radio de curvatura adecuado de las vigas de geometría no lineal, se podría definir el comportamiento dinámico estructural?
- ¿La sección de las vigas no lineales sometidas a cargas dinámicas, puede determinar un adecuado comportamiento dinámico estructural?
- ¿El Diámetro y la longitud de la viga no lineal, interfiere para lograr un adecuado modo de vibración específico?

1.2. Justificación de estudio

Justificación teórica

La base teórica residía en el requerimiento de una comprensión exhaustiva las implicaciones de la geometría no lineal en las vigas de torres de gran altura. Esto se debía a que las estructuras de gran altura eran inherentemente complejas y requerían un enfoque teórico más avanzado para comprender cómo factores no lineales influían en su comportamiento estructural. Por lo tanto, se pretendía cerrar esta laguna de conocimiento y ofrecer una visión más integral de las respuestas estructurales en estos contextos.

Justificación práctica

Debido a la relevancia de las torres de gran altura en entornos urbanos. El enfoque en las vigas de geometría no lineal, es una respuesta práctica para abordar las complejidades que enfrentan estas estructuras en situaciones del mundo real, mejorar el comportamiento mecánico y físico de las vigas, optimizar la funcionalidad

de las torres, permitir la evaluación del radio y diámetro de las vigas, aumentar la durabilidad de las estructuras. Mejora la adaptación a cargas cambiantes, optimiza la distribución de cargas, amplía los espacios interiores y reduce el tamaño de las vigas, todo lo cual contribuye a una construcción más segura.

Justificación metodológica

La justificación metodológica radicaba en la necesidad de emplear técnicas de modelamiento numérico avanzadas. Estas herramientas permitían simular y analizar de manera precisa y detallada el comportamiento de vigas con geometría no lineal en torres de gran altura. La aplicación de estas metodologías garantizaba una evaluación rigurosa y completa del rendimiento estructural, lo que resultaba fundamental para tomar decisiones bien fundamentadas en el diseño y construcción de estas torres.

Justificación social

Desde una perspectiva social, la seguridad de las torres de gran altura fue de interés público. Los desastres relacionados con edificios, como colapsos, tuvieron un impacto devastador en las comunidades y la economía. Contribuyó a la seguridad estructural al mejorar la comprensión de cómo las vigas con geometría no lineal afectaban el comportamiento de las torres lo que podría traducirse en métodos de edificación mejorados y, en última instancia, en una mayor salvaguardia para la población.

Justificación económica

En términos económicos, presentó una justificación sólida al permitir una inversión más eficiente a largo plazo. Al comprender mejor cómo la geometría no lineal en las vigas influía en el comportamiento estructural, fue posible evitar costos innecesarios y garantizar una inversión más rentable en la construcción y el mantenimiento de torres de gran altura. Esto tuvo implicaciones significativas para la gestión de recursos y el desarrollo sostenible de infraestructuras urbanas.

Objetivos

Objetivo general

- Determinar el óptimo comportamiento dinámico estructural por

modelamiento numérico de vigas de geometría no lineal en torres de gran altura.

Objetivos específicos

- Definir el comportamiento dinámico estructural considerando un radio de curvatura adecuado de las vigas de geometría no lineal
- Determinar un adecuado comportamiento dinámico estructural, según la sección de las vigas no lineales, sometidas a cargas dinámicas.
- Lograr un adecuado modo de vibración específico evaluando el diámetro y la longitud de la viga no lineal.

1.3. Hipótesis

Hipótesis única

El modelamiento numérico determina el óptimo comportamiento dinámico estructural de vigas de geometría no lineal en torres de gran altura.

1.4. Delimitaciones

Delimitación temporal

El estudio se realizó a lo largo de un lapso de diez meses, iniciando con la fase preliminar el 4 de septiembre de 2023, que abarcó la revisión de bibliografía y la formulación de objetivos, hasta la fase conclusiva el 15 de julio de 2024, que incluyó la presentación y defensa del proyecto de investigación. En este periodo, se recopilaron datos, se llevaron a cabo análisis de modelado computacional, se elaboró el informe final y se realizaron revisiones definitivas. La organización temporal se estructuró de manera eficiente para asegurar una ejecución adecuada y una culminación exitosa del estudio.

Delimitación espacial

La investigación se realizó en la ciudad de Lima, y como área de interés se eligió el distrito de San Isidro. La Figura 1 ilustró de manera clara la ubicación geográfica de esta área de análisis

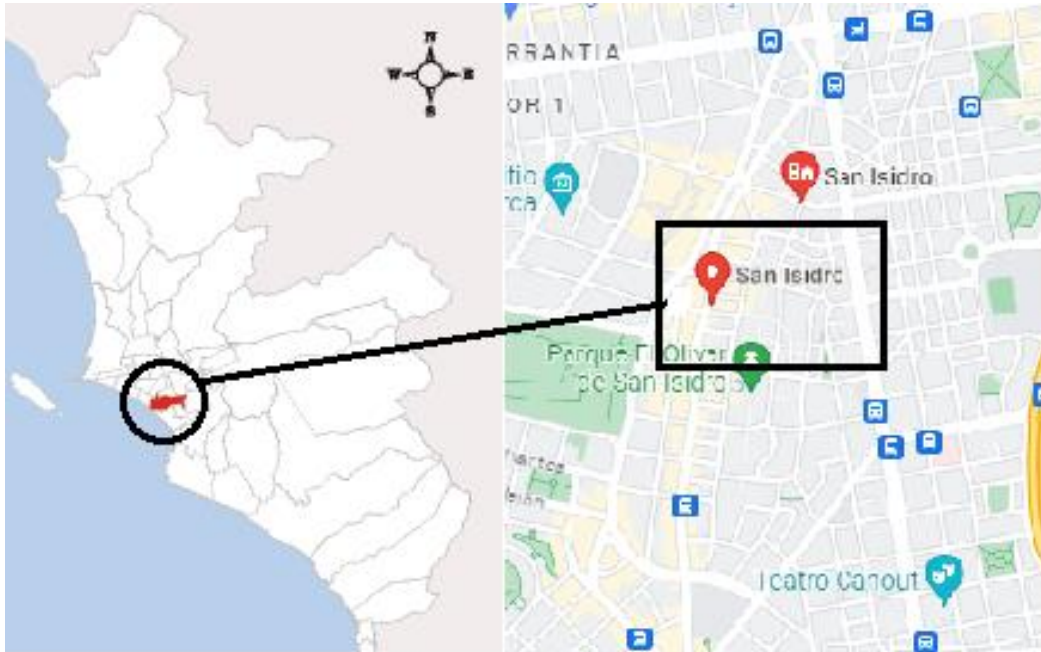


Figura 1: Localización del distrito de estudio

Fuente: <https://acortar.link/zmeoS>

II. MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes:

Antecedentes Internacionales

Bidgoli R. (2018) en su artículo titulado: *Functionally graded graphene reinforced porous nanocomposite curved beams: Bending and elastic stability using a higher - order model with thickness stretch effect* (Vigas curvas de nanocompuestos porosos reforzados con grafeno funcionalmente graduado):

La investigación tiene como objetivo examinar vigas curvas fabricadas con nanocompuestos porosos reforzados mediante placas de grafeno funcionalmente graduadas. Se emplea un método experimental que incorpora un modelo de orden superior capaz de considerar el efecto de estiramiento a través del espesor de la viga, el propósito principal es analizar el comportamiento de estas vigas en términos de flexión estática y estabilidad elástica. El enfoque teórico desarrollado es amplio y puede aplicarse a una variedad de estructuras de vigas. Las ecuaciones se derivan del principio de Hamilton y se resuelven mediante soluciones de Navier. La investigación compara distintas teorías aplicadas a diversos problemas estructurales relacionados con vigas.

Se investigan diferentes características, como la dispersión de las placas de grafeno, la porosidad, la superficie de la viga, la relación de espesor y la geometría de las placas. Se examinan las variaciones en la deflexión y la tensión en la dirección del espesor de la viga. Además, se abordan los análisis estáticos de flexión y pandeo de las vigas curvas hechos de nanocompuestos porosos reforzados con placas de grafeno utilizando un modelo de orden superior que tiene en cuenta el efecto de estiramiento del espesor de la viga.

En resumen, el estudio concluye que las propiedades del material del nanocompuesto se evalúan utilizando el modelo micromecánico de Halpin-Tsai y la regla de mezcla, tomando en consideración varios parámetros geométricos y de material, como el coeficiente de porosidad, la distribución del medio poroso. la fracción de peso de las placas de grafeno y su patrón de dispersión.

Guimin, Fulei y Guangbo (2018) en su artículo titulado: *Modeling Large Deflections of Initially Curved Beams in Compliant Mechanisms Using Chained Beam Constraint Model (Modelado de grandes deflexiones de vigas inicialmente curvadas en mecanismos compatibles utilizando el modelo de restricción de vigas encadenadas)*. El propósito principal en el diseño de mecanismos compatibles es comprender y analizar desviaciones grandes y no lineales. En un inicio, las vigas curvas presentan un potencial beneficio para los diseñadores de mecanismos compatibles y ofrecen alternativas valiosas a las vigas rectas tradicionales. Sin embargo, la cantidad de información disponible en la literatura sobre el examinar y diseñar vigas de este tipo es limitada. Este artículo presenta un enfoque general y preciso para modelar las grandes deflexiones planas de vigas que tienen una forma inicialmente curva con una sección transversal uniforme. Este enfoque es adaptable a vigas curvas de diversas formas.

El método divide una viga curva en unos pocos elementos y representa cada elemento como una viga de arco circular. Se ofrecen dos enfoques de discretización diferentes para este método: uno que es apropiado para vigas de arco circular y otro para vigas curvas de otras formas. Se utiliza este método para modelar mecanismos compatibles que emplean vigas con formas iniciales curvas, como arco circular, coseno y parábola, para demostrar su eficacia en vigas curvas de diversas formas. Además, el método demuestra ser lo suficientemente preciso como para capturar las características no lineales de carga y deflexión pertinentes.

Yeong, Asce y Sgyh (2015) en su artículo titulado: *Effect of Curvature on Stability of Curved Beams (Efecto de la curvatura sobre la estabilidad de vigas curvas)* El objetivo de este artículo consiste en elaborar las fórmulas diferenciales no lineales de balance para una viga con configuración de "I" que está curvada horizontalmente. Se basa en el principio de desplazamientos virtuales para establecer el equilibrio de la viga en su configuración deformada o pandeada. Para tener en cuenta el efecto de la curvatura, es esencial expresar diversas cantidades en coordenadas cilíndricas e incorporar tensiones radiales en la formulación del trabajo virtual.

Las ecuaciones diferenciales fundamentales se obtienen para la viga curva mediante el uso de las ecuaciones de Euler-Lagrange del funcional a través de un procedimiento

variacional. Se demuestra la coherencia de esta teoría a través de ejemplos típicos, en los cuales se identifican las fuentes de error en teorías previas. Además, se ilustra la falta de consistencia en un análisis de elementos finitos convencionales en el que una viga curva se representa mediante varios elementos de viga recta.

Kolosvary, Terzic y Miller (2018) en su artículo titulado: *Assessment of dynamic behavior and seismic performance of a high-rise rc coupled wall building (Evaluación del comportamiento dinámico y comportamiento sísmico de un edificio de gran altura con muros acoplados a RC.)* Este estudio analiza el comportamiento frente a sismos y el rendimiento de un edificio de gran altura con muros acoplados, que cumple con los códigos de construcción, Situado en una región caracterizada por una elevada actividad sísmica, como es común en la franja oeste de los Estados Unidos. Se emplea un enfoque de modelado para llevar a cabo un análisis dinámico de un sistema de muros acoplados, utilizando un modelo innovador para estos muros que captura su interacción no lineal en términos de flexión y cortante axial. Este modelo se valida utilizando datos experimentales disponibles en la literatura, lo que permite una nueva perspectiva para analizar el comportamiento de este sistema.

La evaluación del desempeño sísmico se realiza considerando tanto los elementos estructurales como los no estructurales del edificio, utilizando dos medidas de desempeño: el costo de reparación y el tiempo de reparación. Para evaluar las pérdidas se aplica la metodología FEMA P-58 junto con un modelo realista de tiempo de reparación que tiene en cuenta sismos frecuentes (50% en 50 años), poco frecuentes (10% en 50 años) y muy raros (2% en 50 años). Los resultados del análisis indican que los sismos fuertes generan variaciones significativas en las fuerzas axiales en los pilares del sistema de muros acoplados, lo que resulta en una interacción y daño sustancial relacionado con el cortante (agrietamiento) a lo largo de la mayor parte de la altura del muro. En cambio, las rotaciones de las vigas de acoplamiento y el daño correspondiente son relativamente pequeños debido a la capacidad excesiva obtenida en el diseño conforme a los códigos de construcción.

A pesar de que el costo promedio de reparación es relativamente bajo, siendo inferior al 6% del costo de construcción para sismos frecuentes y poco frecuentes, y alrededor del 24% para sismos muy raros, la funcionalidad del edificio se ve afectada en todos

los niveles. de peligro, desde unas pocas semanas en el caso de sismos frecuentes hasta varios meses en el caso de sismos muy raros. Estas alteraciones se deben principalmente a daños en los pilares de los muros y las conexiones losa-columna.

Pinto y Ledesma (2019) en su artículo titulado: *Interacción suelo-estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago, Chile* Se informa que actualmente hay aproximadamente 935 edificios en todo el mundo que tienen una altura superior a los 200 metros. En América del Sur, la Torre Costanera Center en Chile, que alcanza una elevación de 300 metros, es un ejemplo representativo de este tipo de edificaciones. Investigaciones y normativas de diseño han reconocido en rascacielos, la dinámica interacción entre el terreno y la estructura es crucial (conocida como DSSI) desempeña un papel de considerable importancia, y puede modificar La reacción sísmica en contraste con las estimaciones de los modelos simplificados. que generalmente se emplean en análisis y regulaciones de diseño estructural convencionales.

Los estudios han resaltado la necesidad de tomar en cuenta de manera apropiada ciertas variables, como la hondura de los pisos subterráneos, la naturaleza del suelo que rodea la infraestructura subterránea, la altura del edificio y las particularidades de la solicitud sísmica. Este artículo realiza un análisis del desempeño sísmico de un rascacielos que incluye sótanos de considerable profundidad, considerando la influencia de la relación dinámica entre el terreno y la edificación (conocida como DSSI), Para llevar a cabo esta evaluación, se emplea un modelo análisis en dos dimensiones utilizando técnicas de modelado y métodos numéricos no lineales que reproducen las particularidades de un rascacielos con sótanos en el contexto de Chile. Los resultados principales se concentran en la descripción de las fuerzas sísmicas horizontales en las paredes de retención de los niveles subterráneos y las variaciones en la solicitud sísmica entre condiciones de suelo no restringido y el nivel del sello de la cimentación.

Antecedentes nacionales

Modesto (2018) en su artículo titulado: *Análisis del desarrollo formal en la edificación en altura mediante la simulación fluidodinámica de la acción del viento*, El propósito que se busca es investigar y evaluar. diversas formas arquitectónicas de edificios de gran altura con el fin de determinar cuál es la más adecuada para resistir las fuerzas laterales generadas por el viento. Para calcular la orientación y la intensidad de estas fuerzas, se recurre al análisis del flujo de fluidos preferidos mediante software, llamados CFD (Computational Fluid Dynamics), los cuales emulan la circulación.

Aunque el uso de la CFD en la construcción se ha centrado principalmente en simular condiciones ambientales y térmicas relacionadas con la circulación de aire y temperaturas dentro y fuera del edificio, actualmente se está experimentando con su aplicación para Perfeccionar la configuración aerodinámica de rascacielos. Este objetivo se alcanza mediante la simulación de la influencia del viento utilizando una herramienta especializada conocida como "Ingeniería de Viento Computacional" (CWE). En tiempos anteriores, las estructuras de gran envergadura se sometieron a pruebas de resistencia al viento en túneles de viento, y la incorporación de modelos aerodinámicos a principios de la década de 1960 marcó un importante progreso tecnológico. Estos modelos no solo replican las propiedades elásticas de los edificios, sino también las fuerzas del viento, que debido a su naturaleza dinámica requieren un análisis que tenga en cuenta el factor tiempo como una clave variable.

Reguera y Cortinez (2012) en su artículo titulado *Diseño Óptimo De Vigas Curvas Construidas Con Material Compuesto*, Se ha desarrollado un enfoque con el fin de alcanzar la configuración más eficiente de vigas curvas de poco espesor construidos a partir de materiales compuestos. El modelo de diseño propuesto se basa en una formulación unidimensional que considera completamente la flexibilidad por corte y se implementa a través de un esquema tipo viga en el marco de análisis numérico. La formulación del problema de optimización se ha diseñado de manera que abarque restricciones de naturaleza estructural y geométrica, con el propósito de elevar la eficacia de la estructura. Para resolver este desafío, se ha empleado la técnica heurística del "simulated annealing" (similitud recorrida).

El fruto de esta investigación es la solución de un desafío de optimización enfocado

en la configuración de vigas curvas de paredes delgadas elaboradas a partir de materiales ortotrópicos.

El objetivo principal es maximizar la resistencia de la estructura en relación a su peso, al mismo tiempo que se cumplen las restricciones impuestas por la geometría y las características estructurales. La metodología de diseño propuesta se ha aplicado utilizando la técnica heurística de " simulated annealing " (SA) en conjunto con varios enfoques de búsqueda, como producto de este proceso, se han establecido las dimensiones óptimas para la geometría lateral de la viga y se ha desarrollado el diseño óptimo del laminado para una viga de tipo I que está sujeta a cargas de flexión. En términos de la resolución matemática del problema, se ha verificado que los resultados obtenidos son consistentes con las expectativas. Además, se ha demostrado que, en esta situación de diseño específico, al ampliar el rango de búsqueda de las variables de diseño, La inclusión de una técnica de búsqueda caótica en el algoritmo de "simulated annealing " genera resultados más efectivos en contraste con la utilización de la búsqueda estándar.

Edelstein (2015) en su artículo titulado: *Diseño Estructural: Torre Dubai*, Este análisis se centra en examinar la planificación estructural del Burj Dubai, también conocido como la Torre Dubai, que actualmente ostenta el nombre del rascacielos más elevado globalmente, con 160 pisos y una altura de 828 metros. El objetivo principal es examinar en detalle su diseño estructural y explicar sus principios fundamentales. Este diseño se caracteriza por tener una forma que se asemeja a la letra "Y", lo que crea una morfología variable en altura que contribuye a reducir la influencia del viento, tal como se ha confirmado a través de recomendaciones obtenidas de estudios en túneles de viento.

La organización de los Planos Resistentes (PR) es un componente crucial en el diseño, ya que proporciona la rigidez espacial necesaria al conjunto. La forma en "Y" se logra mediante un núcleo hexagonal que está fuertemente conectado a un sistema de arbotantes. Los Planos Resistentes se construyen utilizando tabiques de hormigón armado con vigas de conexión. Cualquier posible agrietamiento de estas vigas se ajusta a las disposiciones reglamentarias que se basan en el concepto de bielas. Además, el estudio aborda las cuestiones relacionadas con la deformación elástica,

la formación lenta de fisuras y la retracción.

El sistema de fundación es de tipo mixto, combinando una placa y pilotos, lo cual es una consecuencia de las considerables cargas que soporta el edificio y el tipo de suelo en el que se encuentra construido. En resumen, el diseño estructural de la Torre Dubai se ha desarrollado con el objetivo de erigir el edificio más alto del mundo, y como resultado, se han obtenido valiosas recomendaciones de diseño.

Berlana (2017) en su maestría titulada: *Estudio De Edificios Altos Rigidizados Por Fachada Tubular Con O Sin Núcleo Central Resistente*, Con el fin de explorar y comprender el desempeño de sistemas estructurales en construcciones de diversas alturas, se utilizan representaciones paramétricas para ajustar Las características de la estructura y así poder comparar diferentes situaciones. Esto permite evaluar y seleccionar el sistema estructural más adecuado para cada altura específica. Los rascacielos están en constante crecimiento en las destacadas metrópolis de países desarrollados.

El aumento en la construcción de este tipo de construcciones se atribuye al incremento de la solicitud por parte de compañías y personas, así como a los progresos en diseño, materiales y materiales.

Las operaciones comerciales necesitan estar próximas entre sí, lo que demanda un espacio generoso en las zonas de negocios. La escasez de espacio conlleva a explorar alternativas verticales como una respuesta a las limitaciones de superficie. Para enfrentar esta dificultad, se han desarrollado y perfeccionado los sistemas estructurales en rascacielos con el fin de maximizar la utilización del espacio limitado y reducir el tamaño de los componentes estructurales. Hasta antes de la década de 1960, los edificios de gran altura solían utilizar sistemas de pórticos rígidos, de manera similar a la mayoría de las otras edificaciones, pero a una mayor escala.

Fazlur R. Khan propuso la idea de un sistema de soporte en forma de tubo, lo que desencadenó en diversas adaptaciones que se aplicaron en la construcción de la mayoría de los rascacielos hasta esa fecha. Estas variaciones se adaptaron a diferentes rangos de altura, lo que resultó en sistemas más adecuados para ciertas alturas. Con los avances en tecnología de construcción y materiales, las alturas en las

que estos sistemas resultan eficientes han variado, permitiendo que algunos de ellos alcancen alturas considerablemente mayores y superen a otros sistemas en términos de eficacia.

En esta investigación se recogen datos de rascacielos ya construidos y se comparan los sistemas estructurales más comunes según los períodos de construcción, con el meta de descubrir una evolución en la altitud máxima alcanzada y en el método empleado en los edificios más elevados de cada era.

Caballero, Rodríguez y Vidovich (2014) en su artículo titulado: *Análisis de solicitaciones y deformaciones en vigas curvas*, Este estudio se dedica a investigar vigas de forma curva con el fin de examinar su respuesta en situaciones estáticas cuando se les aplican cargas en el plano de la viga. Se parte de la teoría de Euler-Bernoulli aplicada a vigas rectas, ya que las suposiciones relacionadas con la flexión y la carga axial en una viga curva se alinean con los principios de esta teoría. En esta investigación, se resuelven de forma teórica algunos problemas simples relacionados con arcos circulares, y se contrastan estos resultados con el rendimiento de software comercial ampliamente utilizado en el análisis estructural, como SAP2000 y AxisVM. Asimismo, se efectúa una comparativa con los resultados obtenidos a través de un programa desarrollado por los estudiantes llamado ARCHFEM, el cual es de código abierto y permite la resolución de arcos con diversas formas, como círculos, parábolas o catenarias. Cuando se analizan los resultados obtenidos de los tres programas, se observa que SAP2000 y AxisVM producen resultados similares entre sí, pero diferentes de los resultados de ARCHFEM. Esta discrepancia lleva a la hipótesis de que los programas comerciales utilizan funciones de forma distinta para calcular la interpolación de desplazamientos en comparación con ARCHFEM, que se basa en funciones de forma convencionales utilizadas en el análisis de vigas y barras.

Además, en este estudio se investiga las fuerzas que actúan sobre vigas que presentan una curvatura que cambia, como los arcos parabólicos y catenarios, con el propósito de entender cómo se comportan estructuralmente en diferentes situaciones.

Bases teóricas de vigas de Geometría no lineal:

Una viga que presenta una forma curvada se caracteriza a nivel geométrico por el ángulo central de la curvatura, que es igual a 2θ . Este ángulo es formado por los radios que se extienden a partir del punto de partida designado como L al punto de llegada definitivo, identificado como R, de la viga curvada, se visualiza en la figura 2. La forma de el segmento cortada de la viga curvada se describe mediante la resistencia a la flexión Sobre el vector ZC según marco de coordenadas local de la curvatura, indicado como I, además de considerar, resistencia a la flexión en relación al eje XC según el marco de coordenadas local de la curva, denominado J, según se visualiza en la figura 2. Las propiedades del material de la viga curvada se determinan mediante el Coeficiente elástico, representado como E, además de considerar el módulo elástico transversal, conocido como G.

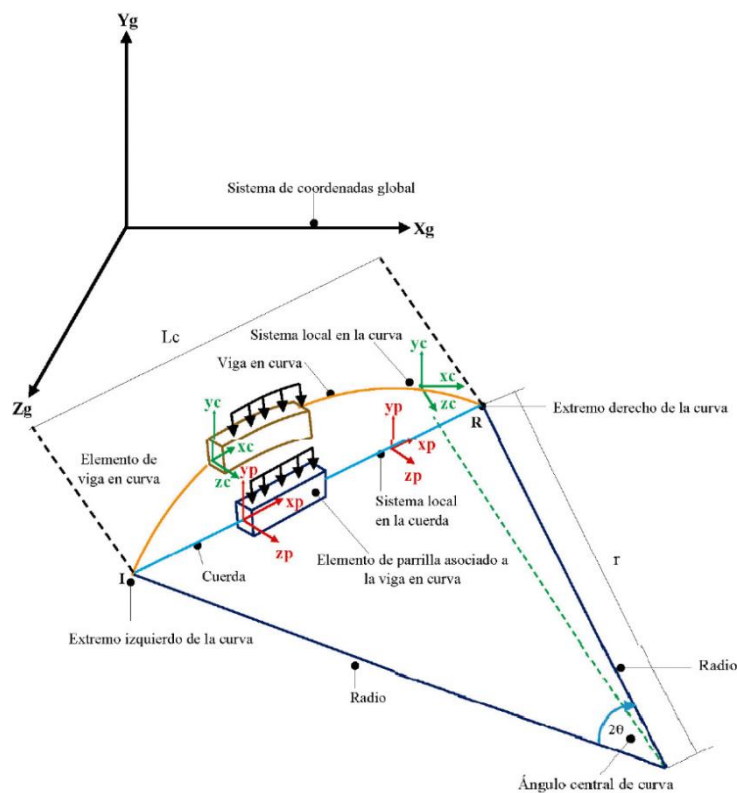


Figura 2: Secciones de la viga en arco y del elemento de rejilla vinculado

Fuente: <https://goo.su/XyY6>

sección de cuadrícula para la viga en arco:

Elemento enrejado relacionado con la viga arqueada es una estructura lineal cuya orientación principal se alinea con el segmento recto que une los extremos de la viga curva. Esta construcción se localiza en el mismo plano, abarca la línea principal viga curva y es responsable de soportar las cargas aplicadas a la viga arqueada, que se visualiza en la figura 2.

El segmento de cuadrícula vinculado a la viga de arco se posiciona en el espacio utilizando un marco de referencia espacial locales que se basa en la cuerda de la curva, representada por las coordenadas x_p , y_p , z_p , como se representa en la figura 1. La longitud de este componente, denotada como L_c , se calcula de acuerdo a la figura 2 mediante la fórmula:

$$L_c = 2 * r * \text{sen}\theta \quad (1)$$

Por lo cual:

r: radio de la curva

θ : representa el inciso del vértice semi considerado en la curva.

Soportes, influencias externas y movimientos internos del elemento de soporte viga arqueado y del de rejilla asociado.

La viga curvada y su componente de rejilla conectados están respaldados en los extremos opuestos, según la figura 3. En el caso de la viga curvada, se consideran dos tipos de fuerzas externas que actúan a lo largo del eje global Y_g : una fuerza puntual y una distribución uniforme que cubre toda su longitud. Al resolver el problema de la viga curvada utilizando el componente de rejilla asociado, la fuerza puntual se transfiere hacia el componente de rejilla en dirección radial, según se ilustra en la figura 3, mientras que carga repartida se extiende por toda la extensión del componente de rejilla conectado. En ambos casos, la magnitud de estas fuerzas se mantiene constante al realizar la transferencia desde la viga curvada al componente de rejilla. Las fuerzas Intrínsecas en una ubicación de la trave curvada dentro de su sistema de coordenadas propio, o en un punto del componente enrejado asociado en su sistema de coordenadas particular, incluyen una fuerza cortante, V , a lo largo de la dirección y , una fuerza de flexión, M , alrededor de la dirección z , y una fuerza de torsión, T , en torno a El sentido x , figura 3.

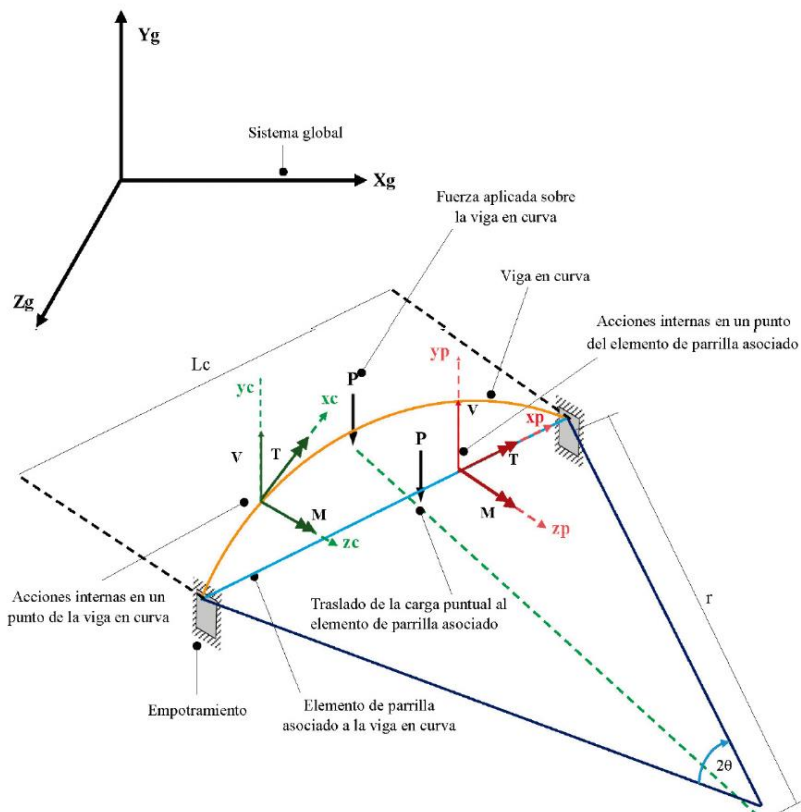


Figura 3: Soportes, cargas externas y efectos internos de viga arqueada y del componente de estructura entrelazada relacionada.

Respuestas en los puntos de apoyo de la viga arqueada utilizando el enfoque tradicional

El procedimiento estándar aplicado se muestra que fue establecido por Tuma en 1988. Según este método tradicional, las fuerzas de reacción en el soporte izquierdo de la viga arqueada, que está fijada en ambos extremos, se describen de la siguiente manera. Para situaciones de carga concentrada y distribuida uniformemente a lo largo de toda la extensión de la viga arqueada la reacción de corte se denota como W_{L0} , la reacción de momento flector se representa como Y_{L0} y la respuesta de movimiento giratorio se indica como X_{L0} , según la figura 4.

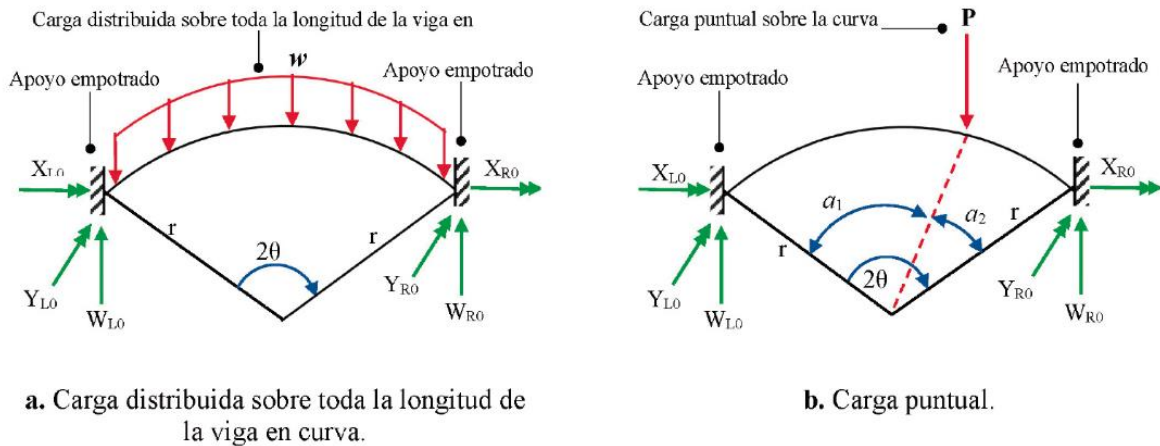


Figura 4: Respuestas de la viga en curva fijada en ambos extremos, con carga distribuida uniformemente a lo largo de toda su extensión y con una carga puntual (Tuma, 1988).

Fuente: <https://goo.su/XyY6>

En situaciones donde se aplica una carga distribuida a lo largo de toda la extensión de la viga curva, Tuma (1988) determina las fuerzas de reacción en el apoyo izquierdo de la viga arqueada. de la siguiente manera:

$$W_{L0} = \theta * r * w \quad (2)$$

$$X_{L0} = (\sin \theta - \theta \cos \theta) * r^2 * w \quad (3)$$

$$Y_{L0} = \left[\frac{\left[\frac{(1+k)}{2} * (\theta^2 \sin \theta + 2\theta \cos \theta - 2 \sin \theta) \right] + \left[\frac{(1+k)}{2} * (\sin \theta - \theta \cos \theta) * \cos 2\theta \right]}{\left(\frac{(1+k)}{2} * \theta \right) + \left(\frac{(1-k)}{2} * \sin \theta * \cos \theta \right)} \right] * r^2 \theta \quad (4)$$

$$k = \frac{E}{G} * \frac{I}{J} \quad (5)$$

En el escenario de una carga puntual, Tuma (1988) especifica Las respuestas en el punto de apoyo izquierdo de la viga curva se muestran de la siguiente forma:

$$W_{L0} = (K_1 * G_{11} * K_2 * G_{12} + K_3 * G_{13}) * p * r \quad (6)$$

$$X_{L0} = (K_2 * G_{11} * K_4 * G_{12} + K_7 * G_{13}) * p * r \quad (7)$$

$$X_{L0} = (K_3 * G_{11} * K_4 * G_{12} + K_7 * G_{13}) * p * r \quad (8)$$

En las ecuaciones 3-8, que se aplican a la viga curvada, se emplean los siguientes símbolos: "r" que denota el radio, "2θ" que corresponde al El ángulo principal, identificado como "w", representa la carga extendida de manera uniforme, mientras que "P" denota la carga concentrada. "E" corresponde al coeficiente de elasticidad del

sustancia, e 'I' denota la fuerza de giro.

el momento de inercia del perfil transversal dado por el eje propio de la trayectoria z_c , y "G" simboliza el índice de resistencia del componente, mientras que el coeficiente de rotación polar del perfil seccional está representado por 'k', definido en la fórmula número 5, el factor de rigidez, junto con las características geométricas del perfil seccional y las propiedades mecánicas del componente de la viga curvada que se expresan mediante "E" y "G".

Los parámetros "K1" a "K7" y "G11" a "G13" presentes en las ecuaciones 6-8 fueron establecidos por Tuma en 1988 y están condicionados por variables como "r", " 2θ ", "k" y el vertice 'a2' a partir del lugar donde se ejerce la fuerza concentrada y el extremo lineal de la viga curvada, tal como indica la figura 3b. Debido a su longitud y complejidad matemática, se proporcionan de manera general las fórmulas para las respuestas en el apoyo siniestro de la viga curvada cuando se trata de una carga puntual, y se encuentran detalladas en las ecuaciones 6-8.

Respuestas en los puntos de apoyo del componente recto de la rejilla.

Las fórmulas utilizadas para calcular las fuerzas de respuesta en los puntos de soporte de un componente lineal de rejilla, que está fijado en ambos extremos, fueron propuestas por Hurtado Gómez en 2016. Estas ecuaciones han sido desarrolladas para abordar tanto situaciones de carga puntual como de carga equitativamente distribuida a través de toda la extensión del componente de rejilla, especialmente en el punto de apoyo izquierdo que está fijado. Estas expresiones permiten determinar la fuerza de corte, representada como WL rejilla, el momento de curvatura, YL rejilla, y el momento torsional, XL rejilla, en la figura 4.

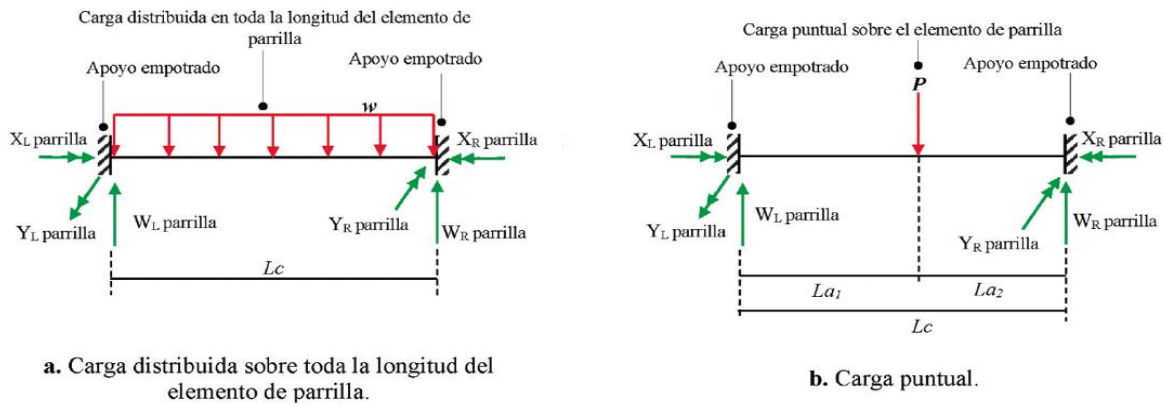


Figura 5: Componente de rejilla empotrado en ambos extremos, con carga de manera uniforme repartida a lo largo de toda su extensión y carga puntual (Hurtado Gómez, 2016).

Fuente: <https://goo.su/XyY6>

Sustancias evaluadas en el estudio de la viga arqueada

Según el estudio de la estructura curvada mediante el enfoque tradicional según Tuma (1988), se toman en cuenta concretos que presentan capacidades de compresión de 21 MPa y 42 MPa, así como acero con una capacidad de soportar deformación de 250 MPa. En el contexto de estos materiales y el método convencional, Las cualidades mecánicas que describen el material de la viga curvada incluyen el constante de elasticidad (E) y el coeficiente de cizalladura (G). Los valores respectivos de E y G se encuentran detallados en la tabla 1.

Tabla 1. Propiedades mecánicas de los componentes evaluados durante el estudio de la viga arqueada

	capacidad de soportar deformación plástica	Constante elástica	Módulo de rigidez
Material	f _c o f _y	E	G
	Mpa	Mpa	Mpa
Concreto	21	21,538	8,974
	28	24,870	10,362
	35	27,805	11,585
	42	30,459	12,691
Acero	250	200,000	77,200

Fuente: elaboración propia

Transferencia de las fuerzas desde el arco de la viga al segmento lineal de la rejilla conectado.

En el método que hemos descrito, las fuerzas aplicadas sobre el arco de la viga se transfieren al segmento recto de la rejilla conectada, manteniendo su magnitud original. El escenario de una carga repartida de manera uniforme recto por toda la extensión del arco de la viga, esta carga se distribuye a lo largo del componente lineal de la rejilla, tal y como se representa en la figura 5a

En situaciones donde hay una carga concentrada en el arco de la viga, esta carga se transfiere al tramo recto de la estructura asociada, a lo largo del radio que pasa por el punto en la curva donde se ubica la carga concentrada, según la figura 5b.

Es crucial destacar que, al transferir la carga extendida desde el arco de la viga al componente lineal de la rejilla asociada, conservando su magnitud, las reacciones en este componente serán menores que las reacciones en la viga curvada. Esto se debe ya que la extensión del arco es superior a la distancia de la cuerda. Esta observación convierte nuestro enfoque propuesto en una aproximación en términos de análisis. La precisión de esta estimación se examina en la sección 4.3, donde se contrasta nuestro método mediante el enfoque convencional de Tuma (1988).

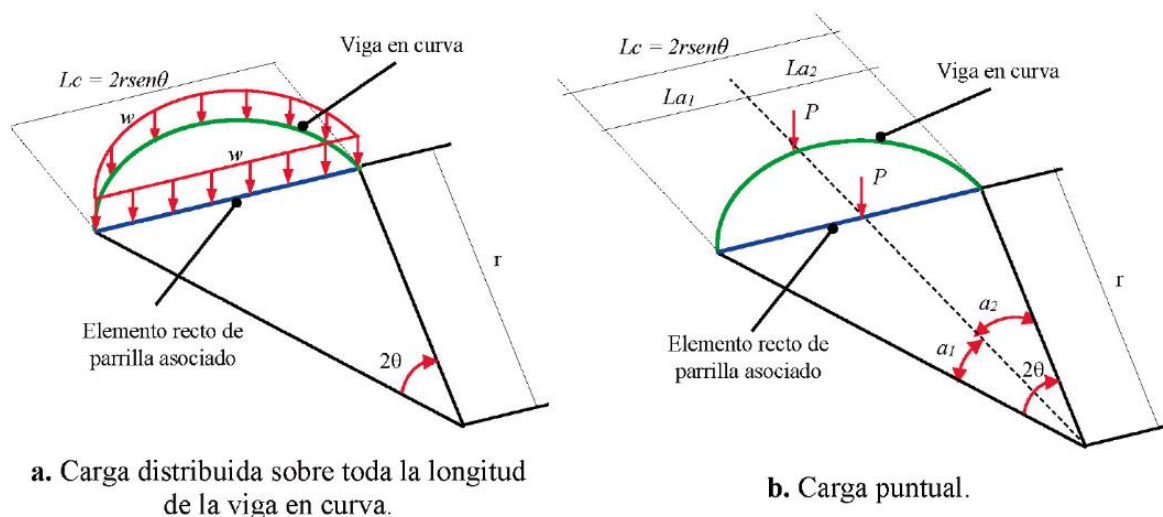
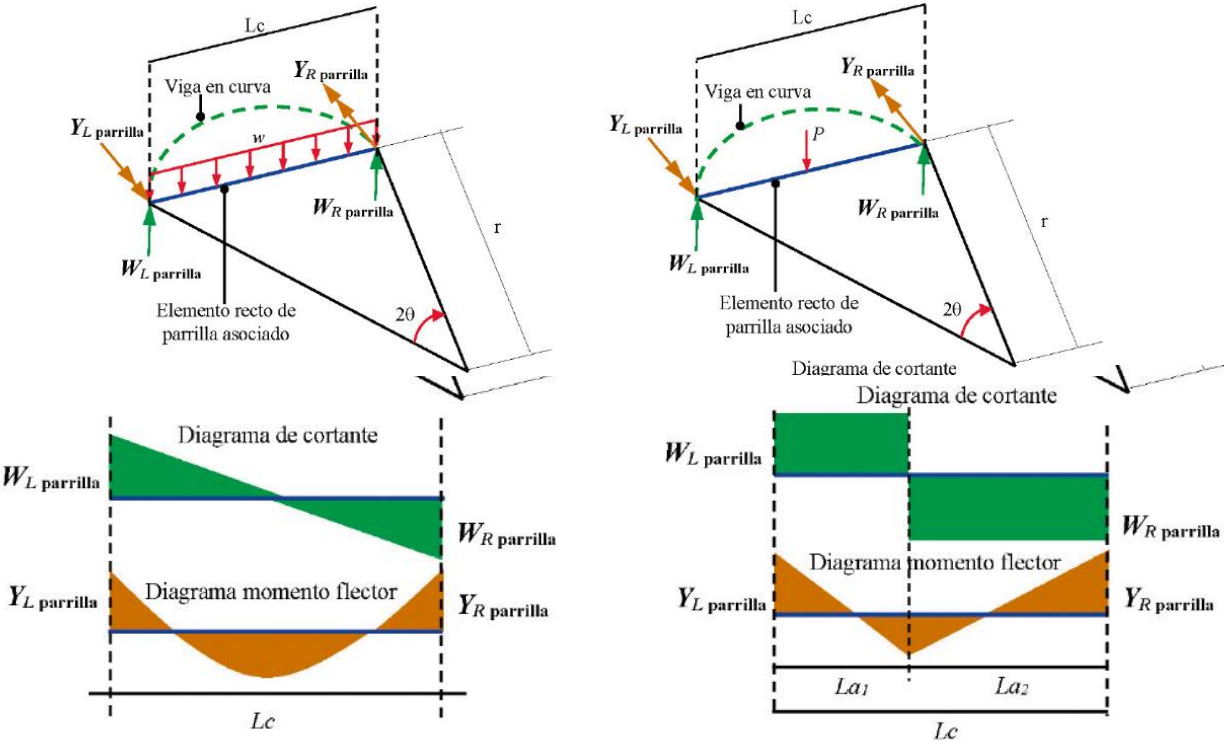


Figura 6: Transferencia de las fuerzas transferidas desde la viga arqueada al componente lineal de la rejilla vinculada (Los soportes de la viga arqueada y del componente lineal de la rejilla no están representados).

Fuente: <https://goo.su/XyY6>

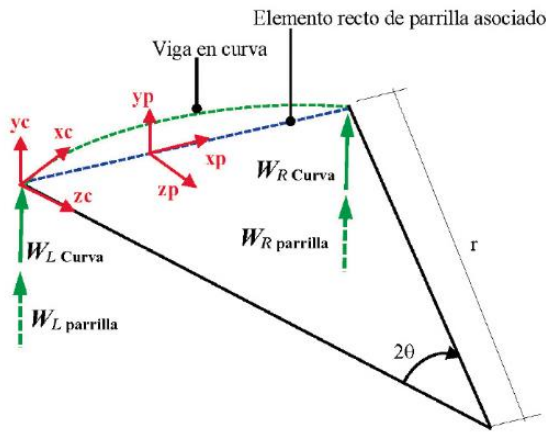
Descomposición de las reacciones en el componente de parrilla asociado en la viga curvada: En la representación gráfica, se analizaron las fuerzas reactivas en los puntos de apoyo del componente lineal de la rejilla asociada, originadas por las fuerzas transferidas a partir del arco de la viga, en relación en relación con los ejes propios del arco de la estructura, específicamente, x_c , y_c y z_c .

La representación del esfuerzo de cizallamiento del componente lineal de la rejilla asociada, denominado $W_parrilla$, se asume igual a la respuesta cortante del tramo curva, W_curva , ya que los vectores verticales propios de ambos componentes (y_p y y_c) están alineados, se visualiza en la figura 6c. Por otro lado, la respuesta del momento flector del componente lineal de la rejilla asociada, identificada como $Y_parrilla$, se desglosó con relación a los vectores propios de la viga arqueada, es decir, x_c y z_c . Esto se realizó utilizando el semiángulo central de la curva, θ , para generar el momento torsional, X_curva , y el momento de flexión, Y_curva , en la viga arqueada, según la figura 6.

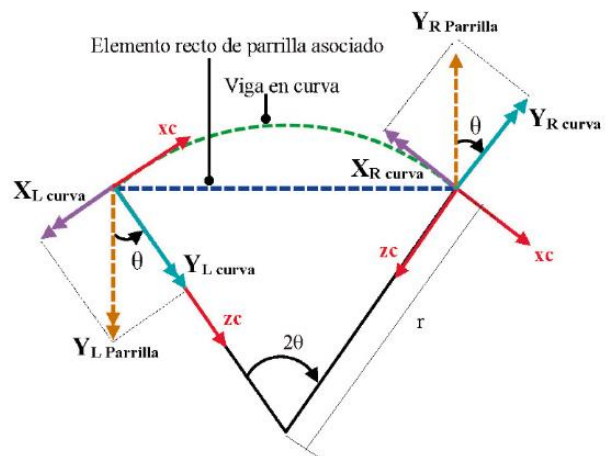


a. Reacciones sobre el elemento recto de parrilla asociado para el caso carga distribuida sobre toda la longitud.

b. Reacciones sobre el elemento recto de parrilla asociado para el caso carga puntual.



c. Vista tridimensional de la descomposición de la reacción de cortante $W_{parrilla}$.



d. Vista en planta de la descomposición de la reacción de momento flector $Y_{parrilla}$.

Figura 7: Reacciones en el componente lineal de la rejilla correspondiente y descomposición de estas reacciones acerca de las respuestas del elemento de soporte arqueada para los casos de carga repartida a lo largo de toda la extensión y puntuales.

Con base en la representación gráfica proporcionada en la figura 6 y en la desagregación detallada previamente, las fórmulas del enfoque sugerido para las respuestas en el apoyo siniestro de la viga arqueada son las siguientes:

Fuente: <https://goo.su/XyY6>

1. En la situación de Una carga repartida homogéneamente a lo largo de toda la extensión del arco de la viga

$$W_{L\ curva} = r * w * \text{sen } \theta \quad (9)$$

$$X_{L\ curva} = \frac{w x Lc^2}{12} x \text{sen } \theta \quad (10)$$

$$Y_{L\ curva} = \frac{w x Lc^2}{12} x \text{cos } \theta \quad (11)$$

2. En la situación de una carga concentrada en el arco de la viga:

$$W_{L\ curva} = \frac{P x L a_{22}}{Lc^3} (3La_1 + La_2) \quad (12)$$

$$X_{L\ curva} = \frac{P x La_1 x L a_{22}}{Lc^2} x \text{sen } \theta \quad (13)$$

$$Y_{L\text{ curva}} = \frac{P \times L a_1 \times L a_2^2}{L C^2} \times \cos \theta \quad (14)$$

Intervalo de fluctuación del coeficiente de rigidez para vigas curvas

El Coeficiente de elasticidad, k , mencionado en la ecuación 5 de la sección 2.4, se utiliza en el estudio de estructura arqueadas según el método tradicional según Tuma (1988). Para evaluar el intervalo de fluctuación de k , la ecuación 5 se descompuso en dos componentes conocidos como el coeficiente de fórmula 15 y el coeficiente de fórmula 16 . Estos dos componentes se establecen para determinar dicho intervalo de variación

$$K_{material} = \frac{E}{G} \quad (15)$$

$$K_{material} = \frac{I}{J} \quad (16)$$

En el compuesto de la viga arqueada, E y G representan la fuerza de flexibilidad y la capacidad de corte, respectivamente, mientras que, en el perfil transversal de la viga arqueada, I y J indican la inercia del momento en relación con el vector propio de la viga arqueada z_c y el índice de inercia angular polar en relación con el vector propio de la viga arqueada x_c , correlativamente

Los coeficientes k para los materiales fueron establecidos en 2.40 y 2.60 para el hormigone y material metálico, en ese orden, utilizando la fórmula 15 y los parámetros de E y G especificados en la tabla 1 de la sección 2.7. De manera similar, se determinaron los coeficientes k para la geometría de las secciones transversales de la viga curva, variando entre 0.50 y 0.66 mediante la aplicación de la fórmula 22. Los detalles de estos valores geométricos de k se presentan segun la tabla 3. La observación, revela que para, perfiles transversales redondos y rectangulares, vacíos el valor geométrico de k permanece invariable. Sin embargo, en el caso de las secciones transversales rectangulares, tanto huecas como sólidas, el valor geométrico de k cambia en función que para, perfiles transversales redondos y circulares, vacíos, h/b .

Tabla 2. El coeficiente del factor geométrico, k geométrico, para las formas perpendiculares de la viga arqueada descritas en la tabla 2 de la sección 2.8

cortes perpendiculares de la viga arqueada	$K_{\text{geometría}} ()$
Circular sólida	0.50
Circular hueca	0.50
Rectangular sólida	0.25 – 0.59
Rectangular hueca	0.25 – 0.66
Cuadrada sólida	0.59
Cuadrada hueca	0.66

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3, se realizaron cálculos para los valores de k geometría según la relación h/b para secciones rectangulares, tanto sólidas como huecas, utilizando las ecuaciones 17 y 18. En los dos casos, se establecieron las restricciones inferiores y superiores del rango de k geometría para $h/b = 0.0$ y $h/b = 1.0$, que representan secciones que son muy anchas en comparación con su altura (una condición Común en estructuras de puente y formas cuadradas, respectivamente). Según los datos presentados en la tabla 3, se concluye que el factor geométrico, k geométrico, para las secciones perpendiculares, muestra variaciones en el rango de 0.25 a 0.66.

$$k_{\text{geometría}} = \frac{1}{12 * \left[\frac{1}{3} - 0.21 \frac{h}{b} * \left(1 - \frac{1}{12} * \left[\frac{h}{b} \right]^4 \right) \right]} \quad (17)$$

$$k_{\text{geometría}} = \frac{1}{12} * \left[3 + \frac{h}{b} \right] * \left[1 + \frac{h}{b} \right] \quad (18)$$

Se calculó el factor de rigidez, k , multiplicando los valores previamente determinados para el factor de compuestos, k componentes, y el factor de k geometría, dentro de los rangos establecidos anteriormente.

A partir de los dos elementos mencionados, según la definición de la ecuación 5, se determinaron los valores mínimos y máximos del índice de dureza, k , que se detallan en la tabla 4. Esta evaluación se llevó a cabo al calcular el producto de los valores

extremos de ambos componentes para las secciones transversales comúnmente empleadas en aplicaciones estructurales y mecánicas, construidas en materiales rígidos o metálicos como resultado, el factor de rigidez varió en el rango de 0.60 a 1.71.

Tabla 3. Intervalo de magnitudes del coeficiente de estabilidad k con respecto a las partes laterales del elemento estructural curvo detalladas en la lista 2 de la parte 2.8 y hechas de materiales rígidos o metálicos.

	Factor de material, con la fórmula (15)	Factor de geometría, formula (16)	Factor de rigidez
Límite	()	()	()
Inferior	2.40	0.25	0.60
Superior	2.60	0.66	1.71

Fuente: elaboración propia

Impacto del coeficiente de rigidez en los enfoques propuesto y tradicional. La figura 7 ilustra cómo el coeficiente de estabilidad afecta las fuerzas de cizallamiento, Fuerza flexionante y fuerza torsional en el soporte siniestro de la viga arqueada, β , obtenido a través de la fórmula 14 en la sección 2.9. Los valores de β se calcularon para coeficientes de rigidez k en el rango de 0.5 a 2, considerando tanto cargas Repartidas a lo largo de la extensión de la viga como cargas puntuales. Se seleccionaron los valores de k basándose en los hallazgos presentados según la tabla 4 de la sección 4.1. Las fuerzas de corte, fuerza de flexión y fuerza de torsión empleadas para determinar β se determinaron mediante el sistema tradicional de Tuma (1988), según las ecuaciones 2–8. Estos cálculos se realizaron para vigas curvas con un ángulo central de 2θ que varía de 0° a 180° , un radio r de 1 metro, una carga uniforme w de 1 N/m y una carga puntual p de 1 N. Se evaluaron estas condiciones en incrementos de 0.1 con respecto a γ , donde γ representa la relación entre el ángulo desde donde se aplica la carga hasta el soporte derecho (como se muestra en la figura 3b) y el inciso central del arco 2θ . Es importante notar que aquellos datos en la figura 7 se

determinaron empleando cifras unitarios para r , p y w , al calcular β como la proporción entre la respuesta para un valor determinado de k y la respuesta para k igual a uno, los efectos de r , p y w se cancelan en la ecuación.

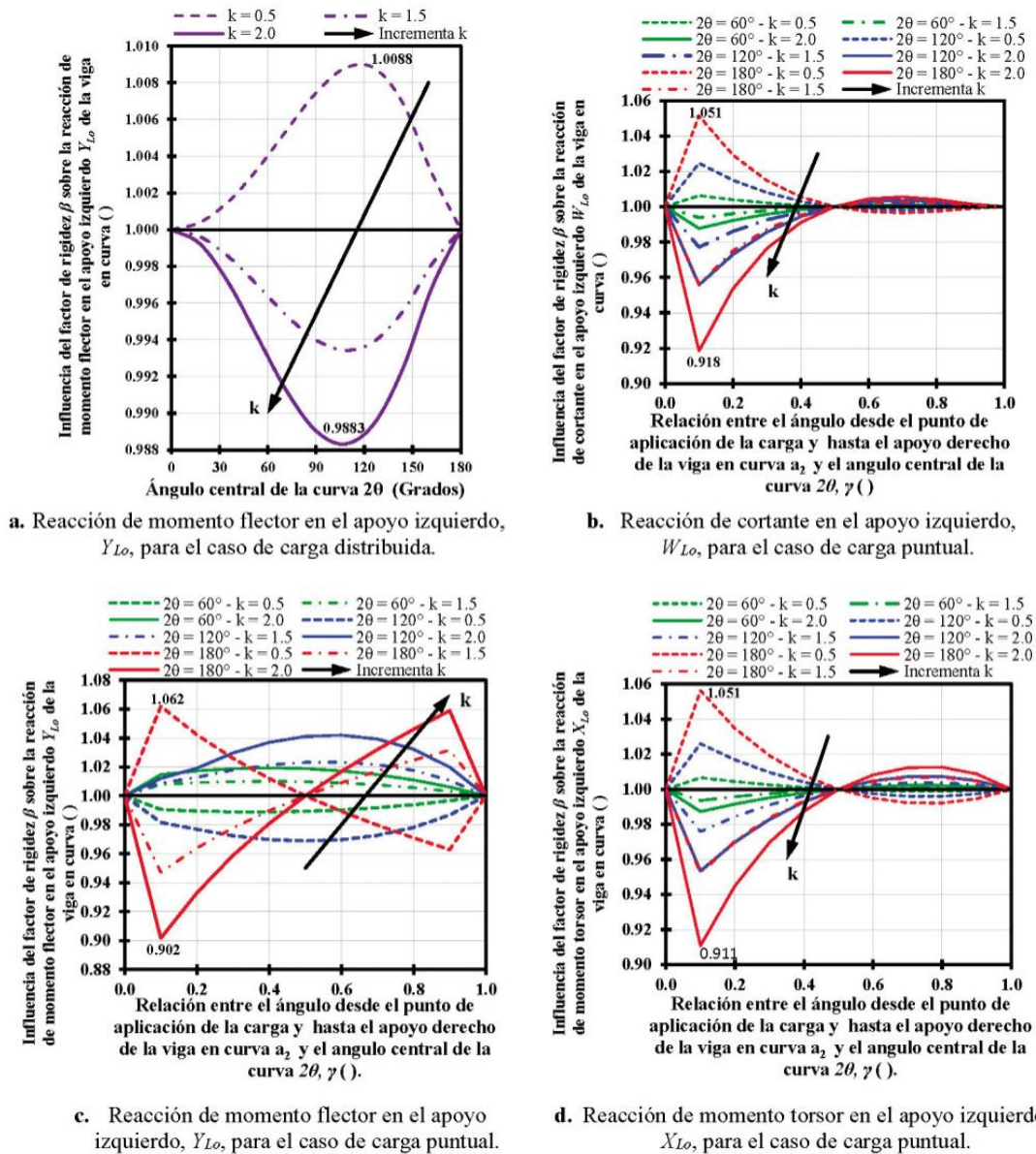


Figura 8: Efecto del coeficiente de rigidez β en las fuerzas de reacción en el soporte izquierdo de la viga curva, considerando cargas distribuidas y puntuales, utilizando el enfoque tradicional. (Tuma, 1988).

Fuente: <https://goo.su/XyY6>

Bases teóricas de edificios de gran altura:

Ante la investigación de los fenómenos físicos los cuales rodean esta magnitud de

proyectos, se considera como enfoque de estudio la torre de Dubai, la cual cuenta con 828 m de altura y está sometida a la magnitud del viento, vibraciones, estudios de volumetría, deformación elástica, evaluación de retrocesos, compresión, tracción, empuje, torsión, flexión y rozamiento.

Corte y Volumetría: La forma elegida es un corte en la forma de una "Y", y la apariencia tridimensional del edificio se origina a partir de esta disposición, junto con la decisión de disminuir las dimensiones de cada una de las ramas de la 'Y' conforme se incrementa la cantidad de pisos. En la Figura 2, se representa el diseño en forma de "Y" y se señala la secuencia de reducciones que se producen en sentido horario, comenzando desde la rama "A".

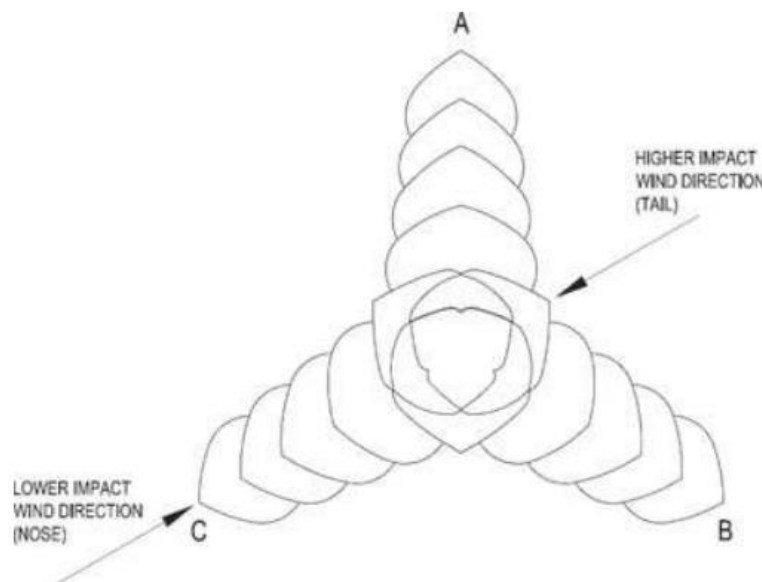


Figura 9: Corte en Y,

Fuente: <https://onx.la/58be7>

Se ofrece una perspectiva del edificio en construcción que muestra su forma tridimensional, que resulta de la combinación del corte y los cambios en la altura, y esto se ilustra en la figura 10.



Figura 10: Torre de Dubái en ejecución,

Fuente: <https://onx.la/58be7>

El empleo de la Volumetría como un recurso para desorientar la acción del viento: Siguiendo lo anticipado, la morfología que resulta de la disposición en "Y" y la elección de reducir las dimensiones de las extensiones de las alas Conforme se incrementa la cantidad de niveles genera una estructura que resulta eficaz en las alteraciones de la dirección del viento, perturbando sus corrientes, como se comprobó en el Estudio en el túnel aerodinámico y se muestra en la Figura 11. En resumen, se han representado tres secciones distintas, a circundantes las áreas superior, media e inferior, y en todas ellas se verifica la reducción de las corrientes de aire a medida que se asciende en altura.

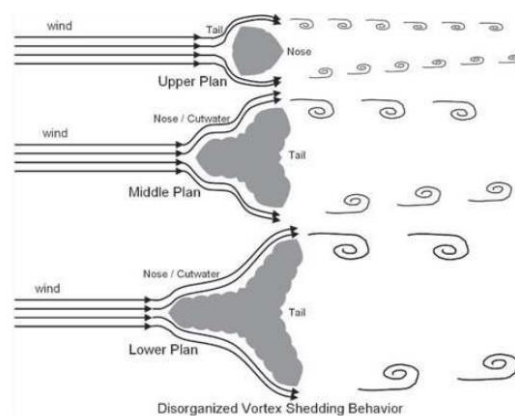


Figura 11: Secciones Superior, Medio y Bajo

Fuente: <https://onx.la/58be7>

Claramente, la disminución de estos torbellinos resulta en una disminución significativa de los efectos del viento, lograda gracias a la forma de la estructura y su resistencia. Estos factores son los únicos elementos necesarios para lograrlo, sin la necesidad de utilizar sintonizadores de masa, como se ha requerido en otros edificios de menor altura y número de pisos.

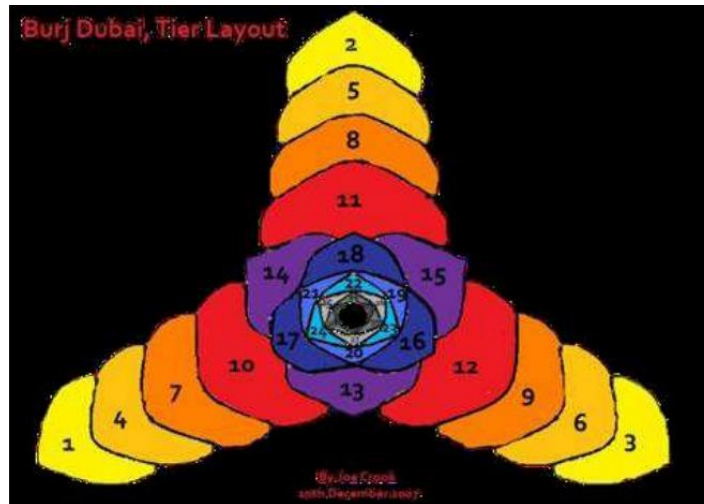


Figura 12: Secuencia de los "retrocesos" de las alas

Fuente: <https://onx.la/58be7>

De acuerdo a lo que se ha venido señalando, la Figura 12 ilustra la progresión de los "retrocesos" de las alas del edificio, los cuales ocurren en sentido horario y de manera rotativa a medida que se añaden más pisos, siguiendo la numeración que se encuentra en la misma figura. La misma configuración del edificio, tal como se observa en la Figura 10, demuestra que estos "retrocesos" tienen un impacto en la distribución de las fuerzas gravitatorias, lo que resulta en una falta de simetría a ambos lados del Núcleo Hexagonal del edificio y, Como consecuencia lógica, provoca desplazamientos laterales.

Estudio Modelo en el túnel aerodinámico: La exploración en el en el túnel aerodinámico se llevó a cabo utilizando un modelo reducido a una escala de 1/500, que se ilustra en la Figura 13. Se emplearon dos variantes de modelos, uno de ellos rígido y el otro flexible, y se realizó mediciones de las presiones. Realizar un análisis con modelos en un Túnel de Viento exige una comprensión sólida de principios fundamentales, como las Leyes de Semejanza.

Debido a este motivo, es crucial disponer de un conocimiento previo de las características dinámicas del sistema estructural proyectada, como los intervalos de tiempo de vibración. Estos intervalos de tiempo de vibración se analizaron mediante un método computacional y se representan en la Figura 14. Los tres primeros intervalos de tiempo de vibración son los siguientes: $T_1=11,43$ segundos, $T_2=10,2$ segundos en la orientación perpendicular y $T_3=4,3$ segundos en la orientación de torsión.



Figura 13: Modelo en Túnel de Viento,

Fuente: <https://onx.la/58be7>



Figura 14: Modelo en Túnel de Viento

Fuente: <https://onx.la/58be7>

La utilización de un Modelo Flexible implica que, en el contexto de las Leyes de Semejanza, se debe tener en cuenta la distribución de masas y rigideces del edificio en construcción. Luego de cada evaluación de resultados en el modelo, se ajusta el

diseño del edificio con el propósito de perfeccionar el diseño que se está investigando.

Deformación elástica, lenta y de retracción, y su importancia La forma y la estructura de la Torre Dubai generan problemas significativos, que se ven agravados por su gran altura. Las cargas gravitatorias son principalmente responsables de provocar deformaciones elásticas a largo plazo y de retracción en el edificio. Para mitigar estos efectos, se especifican dimensiones específicas para las columnas y los tabiques con el propósito de equilibrar las tensiones debidas al peso propio y mantener relaciones similares entre volumen y sección en relación a la retracción.

Las deformaciones que se originan en la cimentación afectan los resultados, y dado que estas deformaciones están relacionadas con el tiempo, los enfoques de estudio tradicionales que son lineales arrojan resultados incorrectos. Estas deformaciones tienen un impacto significativo en el proceso de construcción, lo que hizo necesario implementar un programa de ajuste en la altura entre pisos. Esto se llevó a cabo con el fin de prevenir que estas deformaciones disminuyan y, como resultado, afecten las alturas planificadas.

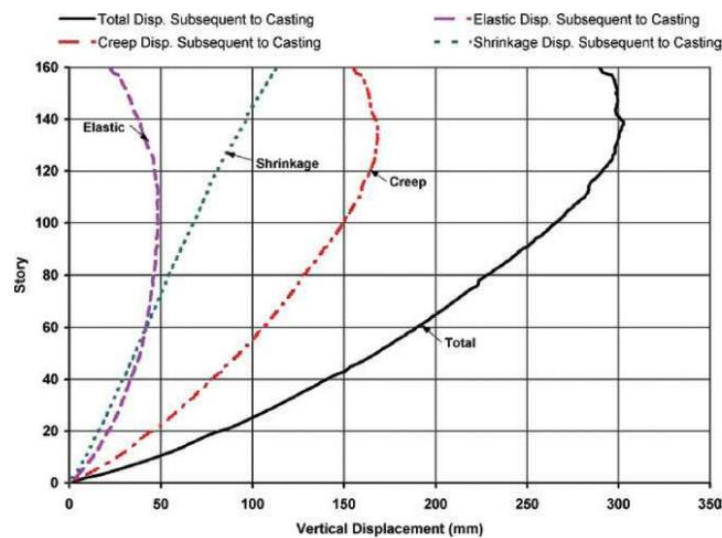


Figura 15: Desplazamientos verticales en función del piso, a 30 años

Fuente: <https://onx.la/58be7>

En la Figura 15, se presentan las gráficas que muestran los movimientos verticales en relación con el nivel del piso, transcurridos 30 años desde la colocación del hormigón.

Se distinguen los desplazamientos debidos a la deformación elástica, retracción, deformación a largo plazo y el desplazamiento total, Este resultado pone de manifiesto que el desplazamiento vertical total máximo después de 30 años alcanza los 30 centímetros, lo que subraya la relevancia de estas deformaciones. Debido a la forma del edificio, en particular los retrocesos ocasionados por la reducción de dimensiones de las extensiones, las cargas verticales ocasionan desplazamientos horizontales. Esto implica la necesidad de llevar a cabo un seguimiento constante con el propósito de reposicionar el eje vertical de la estructura.

La influencia el volumen de acero en las columnas y paredes de armado de concreto en relación con los problemas de deformación a largo plazo y retracción. La coincidencia en la deformación entre el hormigón y el acero, que resulta del Principio de Conservación de Secciones Planas, da lugar a una redistribución gradual de las cargas entre el hormigón y el acero con el tiempo, se visualiza en la Figura 16. En esta figura, se visualiza esta redistribución de fuerzas a través de tres curvas. Por ejemplo, con una cantidad de acero del 1% en el piso 135, al finalizar la construcción, el acero soporta el 15% de la carga, mientras que el hormigón sostiene el 85%. Después de 30 años, el acero se encarga del 30% de la carga y el hormigón del 70%. Si se aumenta la cantidad de acero, estos porcentajes intensifican la transferencia de esfuerzos del hormigón al acero. Es bien sabido que esta transferencia de esfuerzos es beneficiosa, ya que contribuye a reducir la deformación lenta, la cual es mayormente causada por el hormigón.

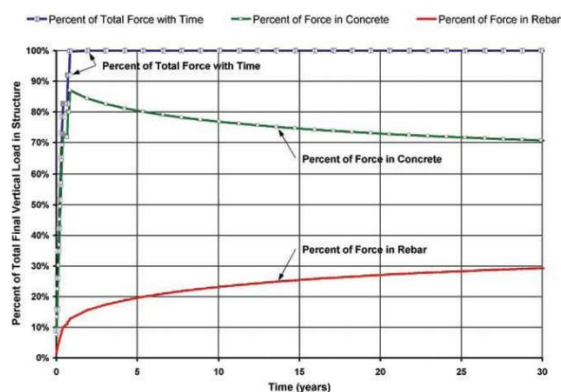


Figura 16: Redistribución de la fuerza entre hormigón y acero en el tiempo

Fuente: <https://onx.la/58be7>

Marco conceptual

Edificios más altos: La concepción y construcción de rascacielos se originó en los Estados Unidos, donde se encuentra la mayor parte de estas estructuras, especialmente en las tres principales ciudades: Chicago, Los Ángeles y Nueva York. Hacia el final del siglo XX, esta tendencia se expande a Asia, impulsada por el crecimiento de países como Tailandia y China. Posteriormente, se propagó a naciones del Oriente Medio, donde la competencia por alcanzar récords de altura se intensificó, culminando en la creación del rascacielos más alto en la actualidad, el Burj Khalifa. Además, actualmente se encuentra en el proceso de construcción de la Jeddah Tower, con su finalización programada para 2021. Esta torre superará al Burj Khalifa en altura, alcanzando los 1000 metros, se puede ver en la figura 17.

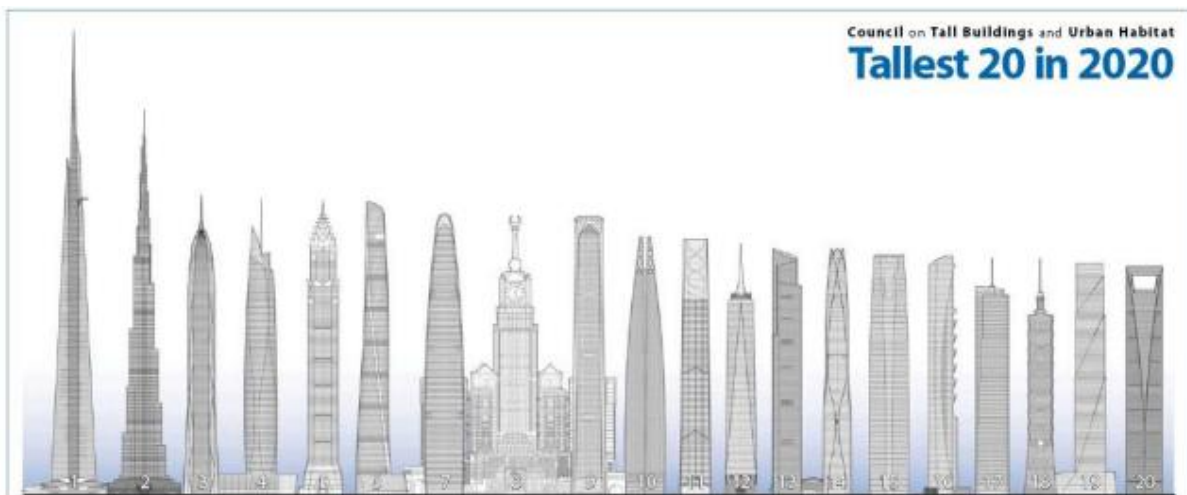


Figura 17. Los 20 edificios más altos para 2020

Fuente: <https://onx.la/bda96>

El progreso en los materiales de construcción contemporáneos, que son notablemente más duraderos y eficaces, junto con un conocimiento más profundo en ingeniería de materiales, ha permitido una utilización más eficiente de estos recursos, aprovechando al máximo sus ventajas. Una táctica exitosa ha involucrado la mezcla de materiales como el concreto de alta resistencia con concretos livianos, lo que posibilita elevar la resistencia de los componentes estructurales mientras disminuye la carga permanente. Esto, a su vez, brinda la posibilidad de incrementar la elevación de los edificios sin afectar la superficie disponible.

En cuanto al proceso de modelado, las herramientas de cálculo actuales permiten la creación de modelos tridimensionales completos. A pesar de que estos modelos representan con mayor precisión la realidad, también generan una gran cantidad de información, lo que incrementa la probabilidad de errores, especialmente en modelos extensos y complicados. Por ello, se está buscando la creación de modelos más sencillos que puedan ofrecer resultados que se puedan extrapolar y aplicar a situaciones reales.

Configuraciones estructurales en edificios de gran altura

El proyecto de la estructura de un inmueble se define a través de diversos elementos, tales como la ubicación, las características del suelo donde se asentará, los materiales de construcción, la altura total, su relación de altura frente a ancho, su finalidad de uso, y aspectos relacionados con su aspecto visual. Ya que la función primordial de la estructura radica en enfrentar las fuerzas horizontales, dos de los aspectos más cruciales para definir el sistema estructural son la elevación del edificio y su relación de altura respecto al ancho. La elevación del edificio, junto con las condiciones climáticas, ejerce influencia en las cargas horizontales producidas por el viento, mientras que la relación de altura respecto al ancho establece cómo se distribuyen la carga a través de los componentes estructurales para contrarrestar estas fuerzas.

La elección del sistema estructural también está vinculada al propósito previsto para el edificio. Por ejemplo, en el caso de edificios destinados a oficinas, se suele requerir la disponibilidad de espacios amplios y diáfanos, lo que implica que los elementos resistentes deben ser mayoritariamente colocados en la periferia del edificio y en su núcleo central, alrededor de zonas como los sistemas de elevadores, escaleras y la mayoría de las instalaciones. Dado que estos edificios acogen a un gran número de ocupantes, la presencia de ascensores, escaleras y sistemas de instalaciones ocupan un espacio considerable, y su colocación en el núcleo central ejerce una notable influencia en cómo se diseñan los componentes estructurales.

En los años sesenta, Fazlur R. Khan introdujo la innovadora propuesta de emplear un sistema estructural con forma de tubo. A partir de esta concepción, se han implementado diversas adaptaciones que han tenido un papel esencial en el diseño de la mayoría de los rascacielos construidos hasta el momento.

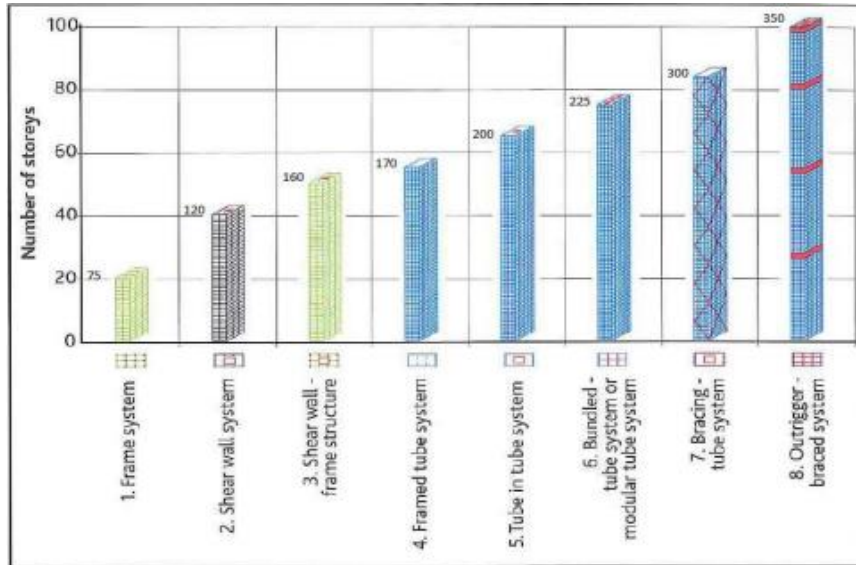


Figura 18: Structural System Chart, first proposed by Fazlur R. Khan

Fuente: <https://onx.la/663c8>

Se idearon varios sistemas estructurales que presentan diferentes enfoques para lograr la resistencia y rigidez necesarias para enfrentar las fuerzas del viento y la gravedad (aunque estas últimas son menos críticas al elegir el sistema estructural, siguen siendo importantes). Esto condujo a la creación de lo que se conoce como el "Cuadro del sistema estructural" o "Structural System Chart", como se ilustra en la figura 18.

Sistemas estructurales resistentes y rígidos: La estructura más fundamental involucra la disposición de vigas y columnas conectadas de manera inflexible para hacer frente tanto a las cargas laterales, así como las fuerzas ocasionadas por la gravedad. Es imperativo que las conexiones sean planificadas de modo que aseguren la transferencia eficaz de fuerzas y momentos entre los elementos. La estabilidad de esta estructura está en gran medida determinada por la resistencia de los elementos individuales, las conexiones que los unen y su proximidad entre sí, en la figura 19.

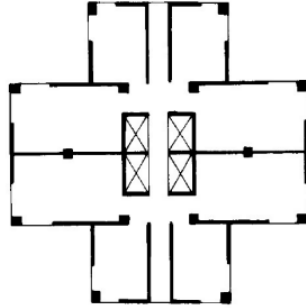


Figura 19: Frame System

Fuente: <https://onx.la/faec4>

Núcleo de estructura: Este sistema está constituido por una sucesión de muros que se extienden de forma continua en ambas direcciones perpendiculares y se encuentran unidos de forma sólida para constituir una especie de viga en forma de tubo. Este tubo estructural tiene como función principal soportar las fuerzas horizontales, y también recibe el peso de las cargas debidas a la gravedad, operando de forma análoga a una viga en voladizo. Las paredes dispuestas en la parte central del edificio constituyen lo que se denomina el núcleo de resistencia. El espacio interior de estas paredes está destinado a acomodar los sistemas de transporte vertical y las instalaciones del inmueble.

En construcciones residenciales, es habitual que se ubiquen muros exteriores a cierta distancia del núcleo central del edificio. Estos muros cumplen una doble función, actuando como divisiones arquitectónicas y contribuyendo a mejorar la rigidez del sistema al incrementar su resistencia a las fuerzas de flexión y torsión. Es fundamental garantizar una unión resistente entre las paredes perimetrales y los interiores para que funcionen como un solo conjunto estructural. Esto se consigue emplear vigas adecuadamente conectadas en términos de altura para transmitir las fuerzas, como se representa en la figura 20.

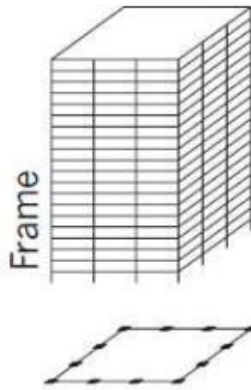


Figura 20: Planta de edificio residencial

Fuente: <https://onx.la/288e5>

Núcleo de resistencia y estructura rígida: En esencia, se trata de una fusión de los dos sistemas previamente mencionados. Al fusionar ambas modalidades de contrarrestar las fuerzas laterales, se logra una marcada reducción en las distorsiones resultantes, lo que habilita la construcción de edificios que pueden alcanzar alturas totales de hasta 160 metros o disponer de 50 pisos.

Bajo esta aproximación, el núcleo interno continúa teniendo un papel significativo en la resistencia a las fuerzas laterales, pero las columnas exteriores no solo soportan la carga debida a la gravedad, sino que también colaboran en contrarrestar las fuerzas horizontales. En consecuencia, se fusiona el comportamiento típico de una viga en voladizo con la deformación resultante del esfuerzo cortante característico de un sistema estructural rígido. En la parte superior del edificio, el núcleo se apoya en el sistema estructural rígido, lo que reduce la alteración total en el lugar más alto de la estructura, figura 21

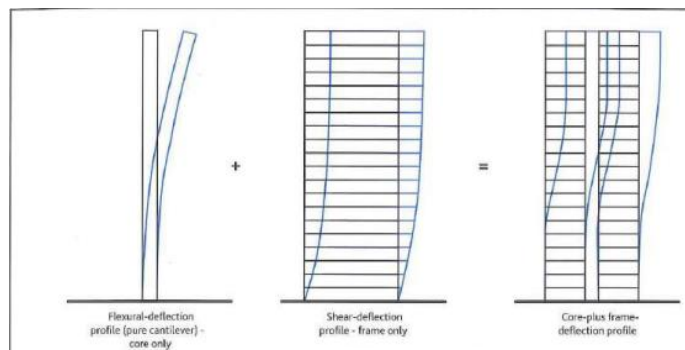


Figura 21: Deformación cantiléver y cortante,

Fuente: <https://acortar.link/zmeoS8>

Framed tube system (Estructura tubular porticada): La separación entre columnas debe ser mantenida en un intervalo de 2 a 4 metros, y la altura de las vigas tiene que estar dentro del rango de 0,6 a 1,2 metros. Este proceso genera una estructura en forma de viga en voladizo, en la cual las paredes exteriores alineadas con la orientación del viento actúan de manera similar a las alas de la sección, mientras que las paredes perpendiculares actúan como las partes centrales. No obstante, la cercanía de las columnas en las plantas inferiores complica la creación de una entrada cómoda y atractiva. Por ello, en estos niveles se reduce la cantidad de columnas, aumentando su tamaño y conectándolas a través de vigas de transferencia, conforme se ilustra en la figura 22.



Figura 22: Construcción del World Trade Center

Fuente: <https://onx.la/3204b>

Sistema Tubo en tubo: El enfoque denominado "Sistema de Tubo en Tubo" comprende la presencia de una estructura con forma de tubo en el exterior que opera de manera coordinada con un núcleo central constituido por muros continuos que se encuentran entrelazados, dando lugar a un segundo tubo estructural interior. La deformación resultante guarda semejanza con la del sistema "Núcleo resistente y pórtico rígido", aunque varía según la relevancia relativa de los conductos. A pesar de que la forma de deformación es parecida, la introducción de la estructura tubular porticada en el exterior ocasiona un aumento considerable en la firmeza global del sistema. Este efecto, a su vez, provoca una reducción significativa en la deformación total, lo que permite que los edificios planificados con este enfoque logren alturas de

hasta 200 metros o 65 pisos, se representa - figura 08.

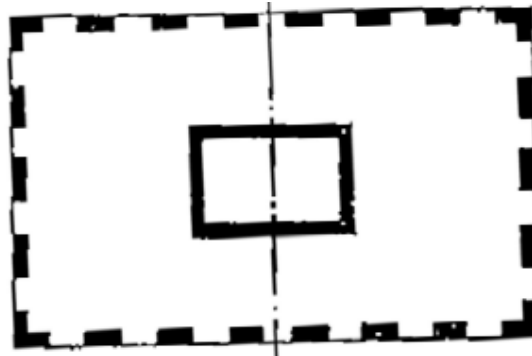


Figura 23: Planta modelo tube in tube

Fuente: <https://onx.la/288e5>

Sistemas tubulares interconectados: Este sistema comprende una estructura en forma de tubo en el exterior, la cual se fortalece internamente mediante la inclusión de muros o pórticos, configurando una trama que segmenta el espacio interior en celdas, generando una estructura análoga a una viga en voladizo. Este diseño amplía el número de componentes que forman las secciones externas de la viga, lo que da como resultado una mayor resistencia debido a las conexiones entre los sistemas tubulares generados. Esto posibilita aumentar la separación entre las columnas y disminuir la distorsión global en edificios de hasta 225 metros en construcciones de hormigón y 450 metros en el caso de estructuras de acero. La introducción de una red interna de fortalecimiento disminuye de manera significativa los efectos de retardo en la tensión cortante, mejorando la eficiencia de los elementos y aumentando su contribución a la solidez general del edificio, figura 23.

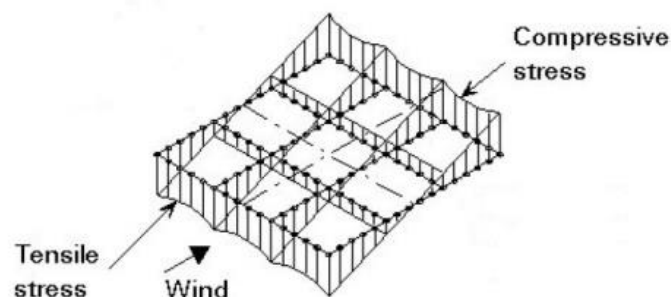


Figura 24: Retraso de cortante en sistemas tubulares interconectados

Fuente: <https://onx.la/98bdb>

Sistema tubular arriostrado: Una alternativa para elevar la fortaleza y solidez del sistema tubular es la inclusión de diagonales que refuercen la estructura exterior, estableciendo una trama de componentes que trabajan conjuntamente para potenciar la eficacia global. Mediante la interconexión de los elementos de refuerzo con las vigas y columnas, el tubo transforma su función en la de una viga en celosía, donde las diagonales asumen este rol, las vigas operan como montantes y las columnas funcionan como cordones. Esta reconfiguración brinda una solidez notablemente incrementada, lo que posibilita lograr alturas de hasta 300 metros en edificaciones de concreto y 500 metros en la situación de construcciones de acero, conforme indica la figura 25.

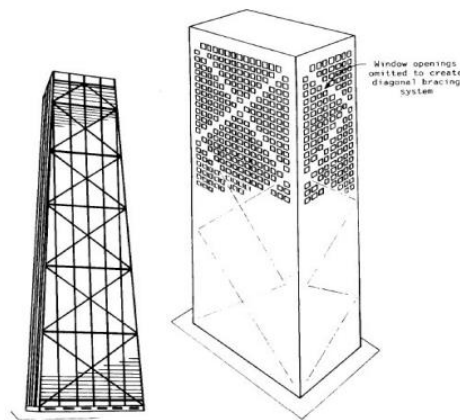


Figura 25: Sistema tubular arriostrado. Acero (izq.) Hormigón (der.)

Fuente: <https://onx.la/98bdb>

Sistema de estabilizadores: Este enfoque funciona al unir un núcleo central con una estructura externa a través de vigas internas o elementos estabilizadores. Los componentes estructurales exteriores pueden ser mega columnas dispuestas a una mayor separación o una estructura tubular porticada con elementos mucho más cercanos. La unión de estos dos elementos incrementa la firmeza, de manera similar a lo observado en otros sistemas.

La distinción reside en que las vigas outrigger disminuyen la inclinación del núcleo cuando este se enfrenta a fuerzas laterales, originando un par de fuerzas en las columnas externas y, de esta manera, conformando una viga en voladizo compuesta. Generalmente, estas vigas de estabilización se componen de celosías o muros de hormigón que se extienden a lo largo de una o dos plantas del edificio, y estas plantas

se dedican a albergar instalaciones. En el caso de que la estructura exterior sea de tipo tubular, para garantizar la unión del núcleo con el tubo exterior y para distribuir la carga entre todas las columnas, se instala una viga alrededor de la fachada con la misma altura que los estabilizadores, conectando todos los elementos. Estas vigas se conocen como "cintas de refuerzo", en la figura 26.

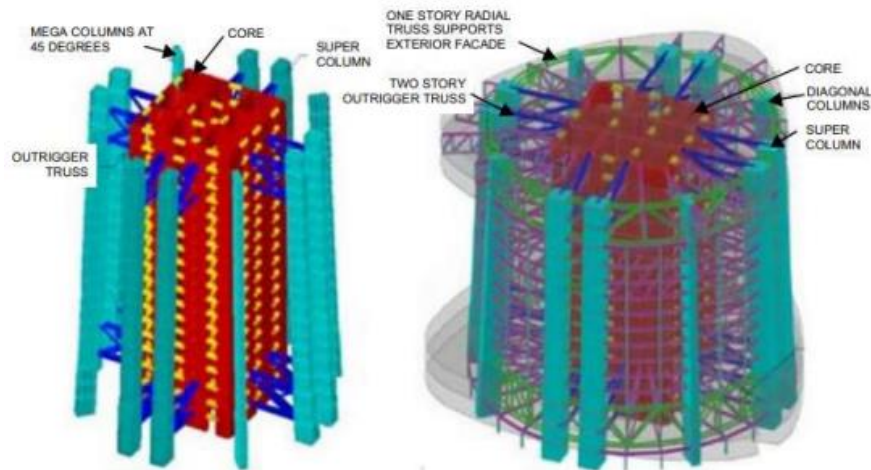


Figura 26: Shanghai Tower, outrigger system - corte de la estructura central del edificio (izquierda) corte de una zona que incorpora losas de piso (derecha),

Fuente: <https://onx.la/98bdb>

Supermarco de acero: Este enfoque es particularmente adecuado para edificaciones fabricadas en acero. Se caracteriza por contar con extensos pórticos formados por vigas en celosía, donde las columnas se encuentran en las esquinas del edificio y se conectan cada 12 o 14 pisos, trabajando en conjunto. El resultado que se produce es similar al de una estructura tubular, aunque con una clave de distinción: al concentrar los componentes verticales en las esquinas, la capacidad para resistir las fuerzas laterales es significativamente ampliada. Este planteamiento posibilita la generación de amplios espacios en el interior del edificio y aberturas considerables en el centro de la estructura para facilitar la circulación de aire y, como resultado, disminuir la fuerza horizontal ejercida, en la figura 27.

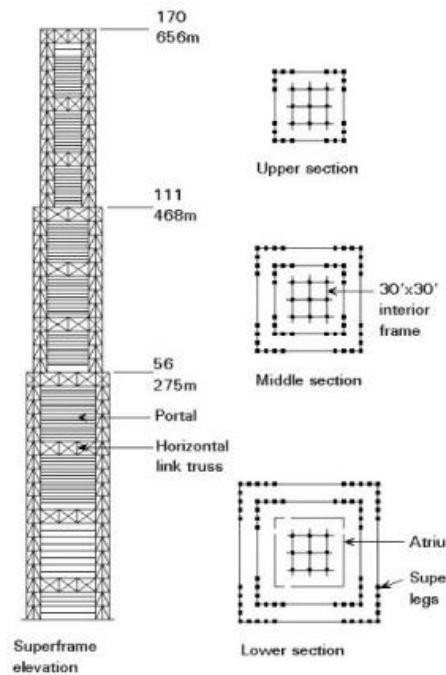


Figura 27: Sistema "Superframe"

Fuente: <https://onx.la/98bdb>

Sistema reticulado espacial: Este tipo de estructura se destaca por su sistema espacial con una disposición triangular de elementos relativamente delgados que poseen la capacidad de resistir las fuerzas del viento y la gravedad sin interrupciones notables. Esto permite una distribución efectiva de las fuerzas a través de los elementos y hacia el suelo. Aunque en teoría este modelo es simple, la geometría no convencional y la complejidad en la representación de las conexiones hacen que el proceso de cálculo de estas estructuras sea un desafío de considerable complejidad. Frecuentemente, se simplifica este proceso de cálculo al introducir un núcleo resistente, que puede estar construido con hormigón o acero, para absorber tanto las fuerzas laterales como una parte de las cargas gravitatorias que se concentran en la zona central del edificio. La principal ventaja de este sistema radica en su alta eficiencia, su peso reducido y, especialmente, en su atractivo aspecto estético, que lo distingue de los diseños tradicionales y le otorga un estilo moderno, determinados en la figura 28.

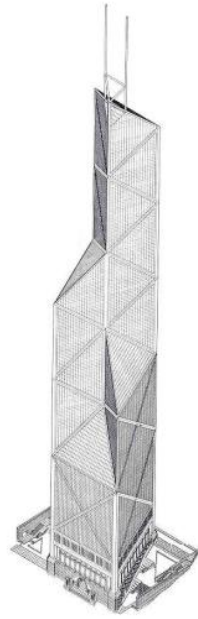


Figura 28: Torre del Banco de China

Fuente: <https://onx.la/98bdb>

Sistema de núcleo y muros pantalla:

Esta configuración estructural se caracteriza por fusionar muros de hormigón armado relativamente delgados que funcionan de manera conjunta para resistir tanto las cargas verticales como las fuerzas del viento. Dentro de este sistema, se pueden identificar cuatro categorías de muros.

1. Un núcleo resistente con una forma triangular.
2. Muros que configuran pasillos.
3. Muros perpendiculares dispuestos en un patrón similar a una espina de pez.
4. Muros ubicados en los extremos de las alas.

En el caso particular del Burj Khalifa, este modelo de muros se ve fortalecido con columnas de generosas dimensiones que se encuentran en las puntas de ambas alas y se conectan al sistema de muros a través de elementos denominados "outriggers" esta organización brinda al edificio una destacada resistencia estructural, como se puede apreciar en la ilustración 29.

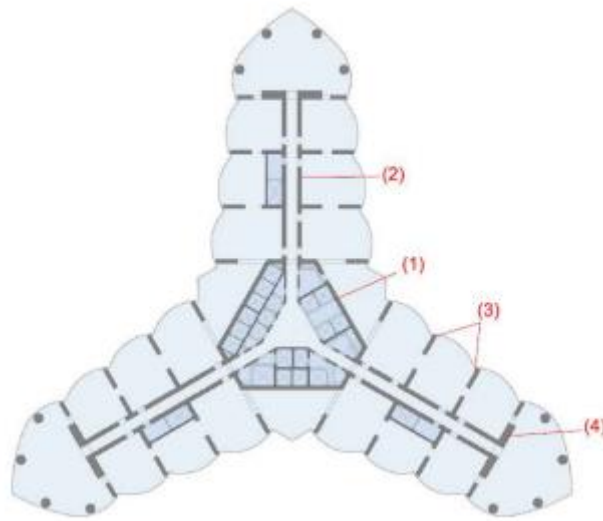


Figura 29: *Planta Burj Khalifa*

Fuente: <https://onx.la/98bdb>

Viga de Geometría no lineales

Las vigas curvas han sido analizadas Desde inicios del siglo XX hasta la actualidad dado el amplio cuerpo de conocimiento existente en esta área, solo se mencionarán algunas de las fuentes que se han examinado en profundidad. Timoshenko y Goodier realizaron un análisis minucioso y abarcador de problemas en coordenadas polares en el plano de tensiones bidimensionales, que incluía la investigación de vigas curvas. Luego, Timoshenko elaboró una teoría aproximada coherente con estos hallazgos. Esta teoría de aproximación ha resultado ser extremadamente útil en situaciones prácticas al permitir la resolución de problemas relacionados con deflexiones e hiperestaticidades utilizando el teorema de Castigliano. No obstante, es crucial resaltar que estos resultados son aplicables cuando las dimensiones de la sección son mucho menores que el radio de curvatura, y es posible despreciar las deformaciones debidas a fuerzas de corte y flexión directa. Diversos autores han contribuido a mejorar y perfeccionar la teoría de Timoshenko en lo que respecta a la representación de vigas curvas a través de la aplicación de la técnica de elementos discretos. La literatura científica incluye libros y artículos en revistas especializadas en ingeniería estructural que abordan de manera exhaustiva el análisis de vigas curvas, utilizando tanto modelos bidimensionales (2D) como tridimensionales (3D). Para ilustrar, Oñate lleva

a cabo una investigación sobre arcos planos, considerándolos como una aplicación específica de la teoría de placas asimétricas, la cual se deriva de la teoría de sólidos asimétricos. Por otro lado, Zienkiewicz y Taylor también se enfocan en el análisis de superficies curvas, similar al enfoque de Oñate, seguido de un análisis limitado sobre vigas curvas.

Modelo de elementos finitos

La respuesta dinámica del edificio en cuestión se ve principalmente determinada por el núcleo de armado de hormigón del edificio en su habilidad para reaccionar a movimientos laterales en la dirección que se considera más vulnerable de la estructura. Este comportamiento se destaca por tener un período principal de alrededor de $T = 6,2$ segundos. Inicialmente, se elige emplear modelos de elementos finitos en dos dimensiones para representar con precisión la respuesta dinámica ante fuerzas sísmicas. Se han desarrollado dos enfoques distintos para Examinar la relación entre la edificación y el terreno.

1. Un enfoque que aborda directamente la interacción entre suelo, fundación y estructura empleando la herramienta informática Plaxis2D (Brinkgreve et al., 2018).
2. Un esquema que replica la infraestructura subterránea, con el suelo alrededor del sótano, mediante curvas py, utilizado en el programa informático SAP2000 (Wilson y Habibullah, 1997).

Ambos enfoques implicaron un estudio detallado de la sensibilidad de las fuerzas sísmicas en las estructuras de contención de tierra alrededor de los sótanos, tanto en condiciones sin superestructura como con esta. La Figura 14 muestra los modelos de Modelos de análisis avanzados, excluyendo el enfoque de base rígida debido a su semejanza con el modelo directo de elementos discretos, donde se considera que la estructura está integrada en la capa externa, Figura 30

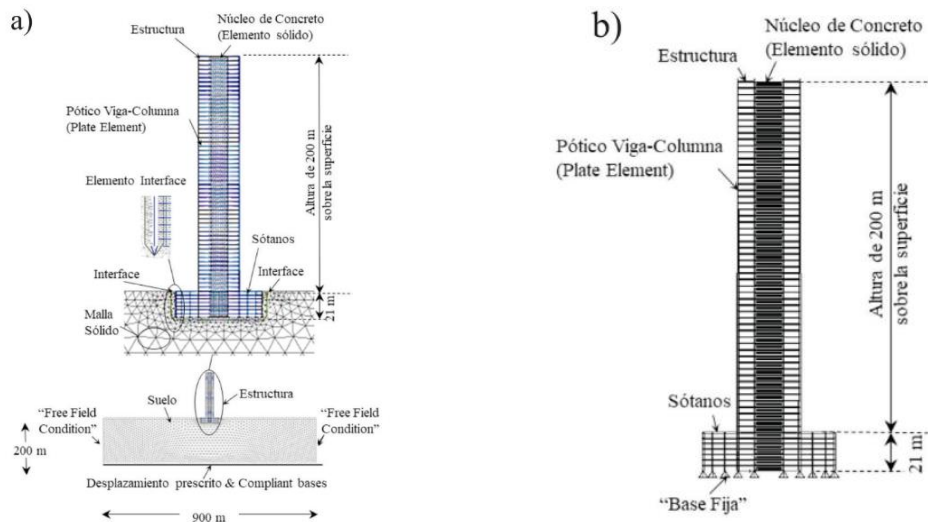


Figura 30: a) Enfoque directo empleando la técnica de mallas discretas DSSI y b) Enfoque de subestructura aplicando el método DSSI

Fuente: <https://onx.la/98bdb>

Elementos a analizar.

Hemos elegido cinco torres con diseños diversos: una con forma de cono, otra con forma de rotor, una más con forma de hiperboloide, y dos prismas, uno cuadrado y otro cuadrado retorcido. Las bases de las tres primeras tienen formas circulares con un diámetro de 100 metros, mientras que las dos torres prismáticas poseen bases cuadradas de 100 metros por lado. Todas las torres tienen una altura de 600 metros. Esta elección busca reflejar las elevaciones y las direcciones observadas observadas en los rascacielos modernos, figura 31.

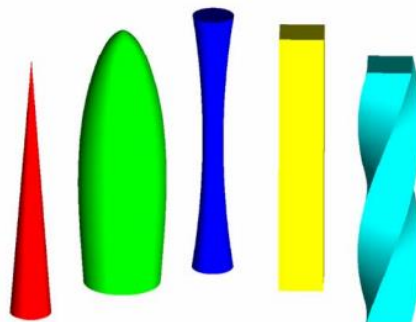


Figura 31: elementos de rascacielos

Fuente: <https://onx.la/98bdb>

III. METODOLOGIA

3.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

Tipo de investigación

Según Murillo (2008), la denominada "investigación aplicada" o "empírica" Se destacó debido a su notable entusiasmo por la aplicación efectiva de los conocimientos adquiridos. Este enfoque implicó implementar y sistematizar prácticas basadas en la investigación para aprovechar el conocimiento existente y adquirir nuevos. La investigación aplicada dio como resultado un entendimiento más exhaustivo y estructurado de la realidad, gracias al uso deliberado de los conocimientos y los resultados obtenidos en el proceso investigativo

Es por ello que el tipo de investigación usada fue la *aplicada*, dado que se realizó un análisis del comportamiento dinámico estructural de las vigas curvas a través del modelado numérico.

Nivel de investigación

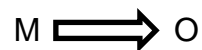
Según Cauas (2015), la principal orientación de esta investigación implicaba detallar fenómenos sociales o educativos dentro de un contexto temporal y particular. Los niveles de investigación fluctuaron según las interrogantes planteadas. A diferencia de las investigaciones exploratorias, que carecían de preguntas específicas y se centraban en la exploración en estas áreas críticas, las interrogantes se organizaron utilizando esquemas descriptivos y taxonomías. Estas preguntas estaban dirigidas hacia las variables relacionadas con los individuos o la situación bajo análisis.

El propósito de estos estudios fue identificar Los rasgos distintivos de individuos, grupos, comunidades u otros fenómenos sometidos a análisis. En un estudio descriptivo, se escogieron varias cuestiones y se analizaron de forma separada, con el propósito de ofrecer una descripción minuciosa del objeto de estudio.

El nivel de investigación utilizado fue el *descriptivo*. Trabajamos con nuestra única variable que era el comportamiento dinámico estructural de una viga curva.

Diseño de investigación

Según Sabino (1986), el estudio descriptivo se centró en analizar hechos concretos y se distinguió por su objetivo principal de ofrecer una interpretación precisa. En este tipo de investigación, se dedicó especial atención a la identificación de características fundamentales en conjuntos homogéneos de fenómenos. Se emplearon criterios sistemáticos con el fin de revelar la estructura o el comportamiento de dichos conjuntos, permitiendo así la obtención de notas distintivas que definieron la realidad bajo estudio.



M: Muestra

O: observación

Donde se trató de averiguar el comportamiento dinámico estructural de vigas curvas mediante el modelamiento numérico.

Método de investigación

Según (Gonzales 2016, p.16), este método posibilitó la transición de afirmaciones generales a hechos específicos, partiendo de lo complejo hacia lo simple. Se derivó del razonamiento deductivo, que implicaba descender de lo general a lo particular. Se basó en la aplicación de principios generales a casos específicos a través de ciertos enlaces lógicos de juicios.

En su implementación, implicó inicialmente la identificación de principios desconocidos a partir de los conocidos. Esto significó que una ley o principio pudo ser simplificado o reducido a otro más general que lo englobara. Además, este método se utilizó para descubrir consecuencias no conocidas previamente a partir de principios ya establecidos.

El método utilizado fue el *lógico-deductivo*, donde se deseaba determinar una resistencia apropiada y características generales de una viga curvada, fundamentándonos en la información previamente establecida y regulada por el código nacional de construcciones.

3.2. Variable y operacionalización de variables

López (2000). Una variable se operó con el propósito Convertir un concepto abstracto en uno concreto y mensurable a través de un instrumento fue fundamental. Este procedimiento permitió a un investigador principiante evitar errores comunes en la investigación, garantizando la Consistencia entre la variable y el método utilizado para su medición. Esto fue fundamental para no comprometer la validez, que es la fidelidad entre la medición empírica y la conceptual. La precisión en la definición de términos benefició la comunicación precisa de los resultados.

Variable única: comportamiento dinámico estructural

El comportamiento dinámico estructural, basado en la conducta estructural registrada en terremotos anteriores, fue utilizado para adaptar los criterios de diseño sísmico E030 y E070 para estructuras de albañilería. A pesar de esto, la adaptación de las construcciones a las normativas actuales estaba en una fase inicial, lo que resultó en la creación de edificaciones con un desempeño sísmico deficiente. (Quiun y Silva, 2018, p. 151)

Variable compuesta: Vigas de geometría no lineal

Los elementos sujetos a fuerzas de flexión no necesariamente tenían una forma recta. En ciertos casos, como en el caso de los ganchos de grúas, la línea central de la barra pudo haber sido curva. Cuando la curvatura era considerable, es decir, cuando el radio de curvatura era pequeño, la deformación debida a las tensiones difería de la predicha por la fórmula tradicional de flexión. (Navarrete C., 2020, p.1)

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

Según la identificación de la población se centró en localizar el grupo específico Dentro de un grupo finito o infinito de elementos con propiedades semejantes que fueron objeto de análisis en la investigación. Este método se evidenció claramente

en la definición; este enfoque se reflejó de manera evidente en el planteamiento del cuestión y metas del análisis. (Arias, 2012, pág. 82).

La muestra consistió en las construcciones realizadas durante los últimos cinco años en el distrito de San Isidro, ubicado en Lima.

Muestra

Borja (2012) expresó que, si todos los participantes en una investigación compartieran las mismas características, bastaría con tener una muestra de tamaño uno. Sin embargo, a pesar de que esto no fue aplicable en la situación actual, se consideró necesario contar con una muestra que fuera mayor que uno, pero al mismo tiempo menor que la totalidad de la población.

En el contexto de este trabajo, se optó por un tipo de muestra no probabilística, también conocida como dirigida, ya que la selección se basó en criterios de conveniencia o preferencia. Bajo este enfoque, la muestra se definió como el modelado de una viga curva en una edificación de gran altura, siendo la unidad la muestra seleccionada.

Muestreo

La metodología de muestreo no aleatorio se caracterizó por la ausencia de selección aleatoria de sus elementos muestrales; en cambio, dependió de factores relacionados con las propiedades que el investigador consideró relevantes (Portillo, 2022, p. 26). En para la elaboración de la tesis se empleó un muestreo no aleatorio por facilidad del investigador. Esto se debió a que se centró únicamente en la evaluación de la edificación del Banco de la Nación, que proporcionó datos específicos pertinentes para el proyecto.

3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

Arias (2012) indicó que los métodos para realizar un estudio, Se desarrolló un conjunto de procedimientos o procedimientos diseñados para generar o obtener información específica sobre un hecho particular.

La recolección de datos fue básicamente obtener datos geométricos detallados de torres de gran altura, incluyendo planos arquitectónicos y especificaciones técnicas,

así como datos sobre Las características físicas de los materiales empleados en las vigas, como resistencia, elasticidad y coeficientes de deformación.

Estudio de modelos numéricos detallados utilizando software especializado en análisis estructural no lineal. Se ajustaron parámetros del modelo según los datos recopilados experimentalmente. Se realizaron entrevistas con ingenieros estructurales y expertos en el campo para obtener información cualitativa sobre consideraciones prácticas, desafíos comunes y recomendaciones para el diseño y la evaluación de vigas en torres de gran altura.

Instrumentos de recolección de datos

Según Arias (2012), Se estimó que una herramienta apropiada para la recolección de datos era cualquier medio, ya fuera un Un aparato o un medio (ya sea impreso o electrónico), empleado para capturar, documentar o conservar datos.

El proceso de recopilación de datos estuvo sustentado en normas del código nacional de construcción E060, E020, A010, que nos dieron especificaciones necesarias para poder insertar datos en el software Teckla Structures y realizar el análisis numérico, instrumento base para realizar el modelado de la viga curva.

Validez

Hernández et al. (2010, p. 204) Se indica hasta qué punto un instrumento específico es capaz de medir con precisión una variable de estudio deseada. Para asegurar la validez del instrumento de investigación, fue evaluado Por tres especialistas en el campo de la ingeniería civil, quienes analizaron imparcial y especializadamente el criterio de validez correspondiente. Además, la información recopilada provino de fuentes confiables, y el proceso de recopilación de datos se planificó mediante una cédula, facilitando así su procesamiento a través del software correspondiente.

Confiabilidad

La confiabilidad de una prueba indicaba en qué medida las variaciones individuales en las calificaciones de la prueba se debían al azar en lugar de a diferencias reales en la característica medida. Cualquier condición irrelevante para el propósito de la

prueba se consideró un error de varianza. Al controlar el entorno, las instrucciones y otros factores, el investigador buscó reducir este error de varianza y incrementar la fiabilidad de las evaluaciones de la prueba (Martínez, 2013).

Confiabilidad Cronbach

La consistencia fue valorada y analizada utilizando fórmulas, como el índice alfa de Cronbach, que produjo valores de consistencia para todos los instrumentos empleados. Estos valores variaron dentro del rango de cero a uno, donde cero señalaba una consistencia nula, mientras que uno representaba una consistencia excelente o ideal. En otras palabras, a medida que el valor se aproximaba a cero, la fiabilidad disminuía. (Madueño, 2022, p. 53)

Para la determinación se emplea la siguiente ecuación

$$\alpha = \frac{k}{k - 1} * \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_t^2} \right]$$

Donde:

k = Cantidad de ítems

S_i^2 = Varianza individual total

S_t^2 = Varianza total

α = Coeficiente de alfa de Cronbach

Tabla de intervalos de confiabilidad

Tabla 4. Categorías de grados de fiabilidad (*Cronbach*)

Niveles	Dimensión
0.81 a 1.00	Altamente significativa
0.61 a 0.80	Significativa
0.41 a 0.60	Equilibrada
0.21 a 0.40	Mínima
0.01 a 0.20	Poco significativa

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4 presenta un rango de valores que señala el grado de fiabilidad de un estudio

Tabla 5. Cálculo de alfa de Cronbach

Expertos	ÍTEMS										SUMA
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	4	5	4	5	5	5	5	4	4	5	46
2	5	5	5	4	4	5	5	4	5	4	46
Varianza	0.11	0	0.11	0.11	0.11	0	0	0	0.11	0.11	
Σ Varianzas	0.6426										
Varianza Σ Ítems	1										

Fuente: Elaboración propia

3.5. Procedimientos

Eta de recolección de datos y material a analizar

En esta fase, se centró en la recopilación de datos y recursos fundamentales para la elaboración del proyecto, en la realización de ajustes y en la elección de un modelo base que facilitara los análisis relacionados con el comportamiento dinámico de la estructura.

Evaluación de edificaciones existentes en el distrito de San isidro

Tabla 6. Datos generales de edificaciones en san isidro

N°	Nombre	Imagen	Altura	Ciudad	Distrito	Pisos	Año
1	Torre Banco de la Nación		140m	Lima	San Borja – san isidro	30	2015
2	Torre BBVA		137 m	Lima	San isidro	19	1980 y 2012

3	Hotel Westin Libertador		120 m	Lima	San isidro	30	2011
4	Torre Begonias		120m	Lima	San isidro	26	2013
5	Torre Chocavento		107m	Lima	San isidro	25	2001
6	Torre Forum		104m	Lima	San isidro	30	2018
7	Torre Panamá		104m	Lima	San isidro	29	2017
8	Torre Orquídeas		102m	Lima	San isidro	27	2015
9	Centro Ejecutivo Javier Prado 560		100m	Lima	San isidro	27	2016

Fuente: elaboración propia.

Elaboración de diseño arquitectónico:

Para la planificación arquitectónica que se desarrolló, se tomaron en cuenta antecedentes de edificaciones con vigas curvas elaboradas en otros países. Dichos modelos servirán como referencia, aunque se considerará la viabilidad del diseño.



Figura 32: Leeza Soho (Beijing)

Fuente: <https://goo>.

En la figura 32, se visualiza el esquema constructivo en beijing el cual muestra un modelo para el desarrollo arquitectónico.



Figura 33: Burj Al Arab Dubai

Fuente: <https://goo.su/pLMoC>

En la figura 33, se visualiza el esquema constructivo en beijing el cual muestra un modelo para el desarrollo arquitectónico



Figura 34: Burj Khalifa Dubai

Fuente: <https://goo.su/q34rb2>

En la figura 34, se visualiza el modelo de edificación en beijing el cual muestra un modelo para el desarrollo arquitectónico

Datos base para hallar el comportamiento dinámico estructural

- Zonificación

La Norma Técnica Peruana E.030 clasifica el país en cuatro zonas sísmicas, fundamentándose en la distribución de la actividad sísmica, las características de los movimientos tectónicos, la disminución de la intensidad con la distancia al epicentro y los datos sobre la tectónica reciente.



Figura 35. Zonas sísmicas

Fuente: <https://cutt.ly/VwPKVODb>

Para el análisis de datos relacionado con el modelado estructural, de acuerdo con la norma, se concluyó la delimitación de la zona de estudio 4, como se ilustra en la figura 35.

Condiciones geotécnicas

San Isidro se ubicaba en el cono de deyección del río Rímac, y su suelo estaba predominantemente compuesto por un estrato grueso de grava fluvial y aluvial, conocido como conglomerado. Según la figura 36, la capa superficial, que se extendía entre 0.40 y 0.70 metros de profundidad, consistía en un material de relleno medianamente compacto, compuesto principalmente por arena fina a gruesa, con una notable presencia de raíces y gravas. En ocasiones, se encontraba una capa de arcilla limosa desde la profundidad mencionada hasta 1.40 metros, con algo de arena fina. Esta capa se distinguía por su consistencia dura y su ligera humedad.

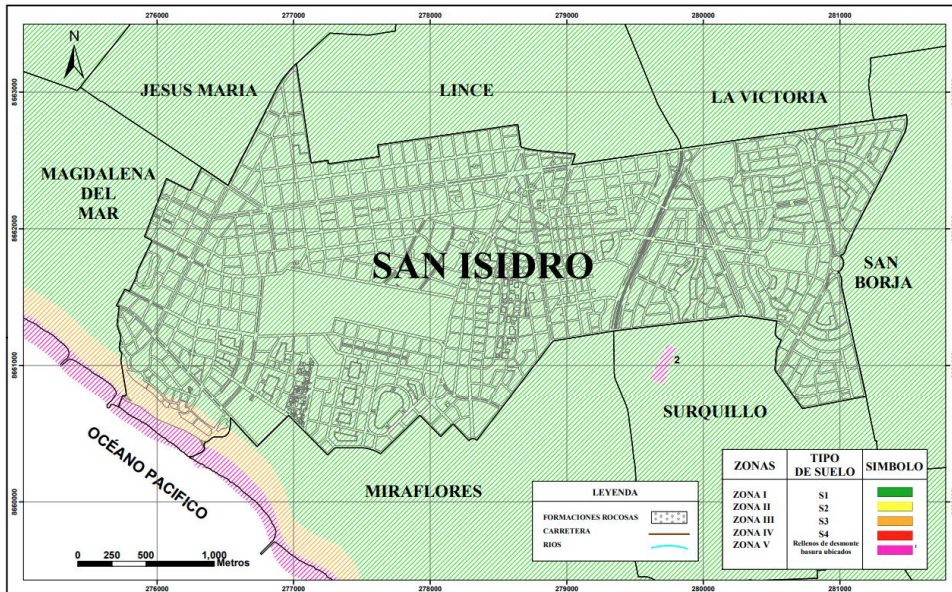


Figura 36. Tipo de suelo

Fuente: <https://cutt.ly/VwPKVODb>

- **Categoría, sistema estructural y regularidad**

De acuerdo con la NTP E.030, cada estructura fue clasificada según las categorías establecidas en la norma. Para el modelado estructural, se consideró la categoría C para edificaciones comunes, con el fin de desarrollar oficinas y determinar el valor de las cargas correspondientes.

- **Número de pisos**

El número de pisos a modelar superó el máximo especificado en la tabla N°5; se realizó el modelado considerando un total de 35 pisos.

- **Área total**

Se asignó un área mayor a la del Banco de la Nación, situado entre San Isidro y San Borja. Mientras que el Banco de la Nación tenía 3815 m² de terreno para construir, el modelado se realizó con un área designada de 4000 m².

Diseño estructural

Para ello se utilizaron las NTE E.020 de cargas y E 0.60 de concreto armado, con lo cual se pudo realizar el cálculo de las estructuras, siguiendo algunos parámetros establecidos.

Diseño de vigas

Se consideraron las cargas distribuidas y las dimensiones mínimas establecidas por las normativas. La planificación de vigas desempeñó un papel crucial en la ingeniería estructural, ya que estas estructuras eran fundamentales para soportar y transferir cargas a los puntos de apoyo. Para diseñar vigas de manera efectiva, era esencial comprender algunos conceptos básicos:

- Las vigas se componen de dos elementos principales: el alma y las alas. El alma es la sección central de la viga, mientras que las alas son las secciones laterales que se extienden desde el alma.
- Las dimensiones y la forma de las vigas están directamente relacionadas con las fuerzas que deben soportar y las condiciones de soporte. Es necesario considerar factores como el peso propio de la viga, así como las cargas externas, tales como la masa de la construcción o las cargas en uso, como personas y vehículos.
- El diseño de vigas requiere un análisis detallado de las cargas, el comportamiento estructural de los materiales utilizados y las condiciones de apoyo. Con un diseño adecuado, se garantiza una estructura segura y eficiente.

Diseño de columnas

Debía garantizar su capacidad para resistir las fuerzas axiales y los momentos máximos generados por las cargas incrementadas en todos los pisos, considerando también las cargas en secciones adyacentes y la condición que resultara en la mayor relación entre momento y fuerza axial.

Diseño de zapata y dimensiones

Fue esencial diseñar las zapatas para que pudieran soportar las cargas aumentadas (según el Diseño por Resistencia) y las reacciones resultantes, cumpliendo con las directrices establecidas en la Norma E.060 y lo especificado en el Capítulo 15.

Cálculo de acero

La dirección de la laminación en perfiles y placas resultó fundamental en el diseño estructural, con el esfuerzo de fluencia como la principal propiedad mecánica

analizada mediante pruebas de tracción. Además, aspectos como la anisotropía, la ductilidad y la resistencia a la corrosión también pudieron jugar un papel crucial en el desempeño adecuado de algunas estructuras.

Cargas

Las cargas aplicadas se modificaron conforme a las directrices de la NTP E.020 sobre Cargas, considerando las reducciones permitidas para las sobrecargas. Las acciones sísmicas se ajustaron de acuerdo con las directrices establecidas en la NTP E.030 para el Diseño Sismorresistente.

Modelo alámbrico de la estructura o modelo mecánico

Implicó la construcción de la estructura aporricada del edificio. En este caso, se tomó como referencia el análisis y planificación estructural de una torre de 35 plantas y 2 niveles subterráneos. Esto sirvió para establecer los datos fundamentales necesarios para iniciar el modelado en el software adecuado, utilizando los parámetros elegidos presentados en la figura 37.

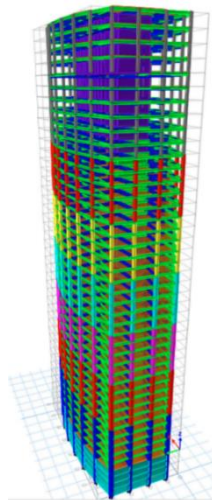


Figura 37. Diseño estructural 35 pisos, 2 sótanos

Fuente: <https://goo.su/PEVb7W>

Se determinan los siguientes datos:

De acuerdo con las normativas peruanas para el diseño de estructuras de concreto reforzado, la resistencia mínima del concreto (f'_c) se fija en 175 kg/cm^2 . Sin embargo, para este proyecto específico, que se enfoca en el diseño de vigas y losas, se está utilizando un f'_c de 280 kg/cm^2 . En el análisis, se tendrá en cuenta el valor del módulo

de elasticidad del concreto, el cual se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$E_c = 15000 \sqrt{f'c} \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

$$E_c = 15000\sqrt{280} = 250998 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Se consideró un acero de refuerzo corrugado debe adherirse a las especificaciones de la NTP E.060 para concreto reforzado, y debe cumplir con los valores determinados para la resistencia y el módulo de elasticidad, que son los siguientes:

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$$

Datos de la viga, ancho 40 cm, peralte 90 cm, del proyecto modelo se estable la sección de la viga,

Datos de sección de columna, 1.20m * 1.20m

Modelado numérico y comportamiento dinámico estructural

Con los datos determinados y ejemplo establecido como guía, comienza la etapa de modelado en el software Tekla structures, se insertan los datos establecidos, se modifica el modelo de viga lineal a una viga no lineal, la figura 38.

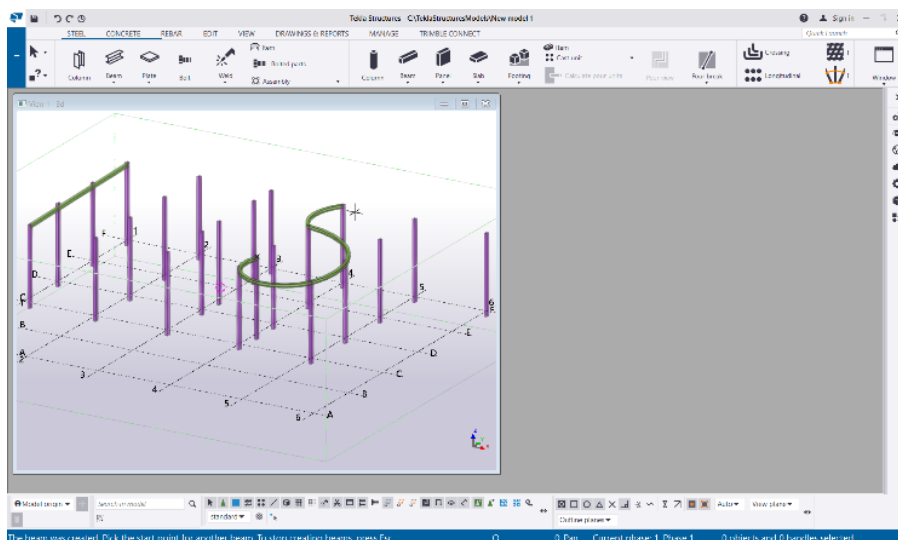


Figura 38. Software teckla structures

Fuente: elaboración propia

3.6. Método de análisis de datos

Se utilizó el método de elementos finitos para analizar datos, el cual implicó Convertir un sólido continuo en un modelo segmentado aproximado mediante la discretización del modelo. La comprensión de los eventos en este modelo se logró interpolando valores conocidos en los nodos, proporcionando esencialmente una aproximación basada en un número finito de puntos conocidos.

3.7. Aspectos éticos

Se observó un respeto integral hacia cada una de las fuentes utilizadas, al referenciarlas correctamente dentro del formato correspondiente, junto con la consideración de los datos y recomendaciones proporcionadas por expertos dentro del enfoque del método de elementos discretos Además, las fuentes incorporadas en esta investigación fueron debidamente referenciadas siguiendo el sistema ISO, lo cual garantizó una descripción y cita apropiada de los datos obtenidos.

Considerando los artículos 14°, 15° y 17° de la resolución del concejo universitario N° 0126 – 2017/ UCV, se brindó consentimiento para la publicación de la investigación, y se basó en las normativas de redacción y anonimato con respecto a las revisiones. En cuanto a la política antiplagio, se garantizó que el proyecto a realizar tendría en cuenta la similitud y evitaría el plagio con una redacción a conciencia, en coordinación con nuestro asesor para la coordinación de presentaciones, otorgando la importancia adecuada por parte del estudiante y el asesor designado.

IV. RESULTADOS:

4.1. Datos referenciales de edificaciones de gran altura en Perú

Como resultado de la investigación sobre los edificios más altos en Perú, se encuentra que el edificio del Banco de la Nación tiene una altura de 140 metros, consta de 30 pisos y está situado en el distrito de San Borja, en la cuadra 24 de la Av. Javier Prado Este. El edificio ocupa un área de 3,815 m² y cuenta con más de 66,000 m² de área construida, según figura 39.



Figura 39: Edificio más alto del Perú

Fuente: Elaboración propia

4.2. Plano arquitectónico:

Los planos arquitectónicos desarrollados para la tesis titulada "Vigas de Geometría No Lineal en Torres de Gran Altura y Evaluación del Comportamiento Dinámico Estructural mediante Modelamiento Numérico" detallan la distribución de los espacios, la ubicación de la escalera y el ascensor. En su elaboración, se consideraron las normativas actuales de diseño estructural y arquitectónico, asegurando así tanto la seguridad como la funcionalidad del edificio, como se ilustra en las Figuras 40 y 41.

Los espacios fueron diseñados para maximizar el confort de los usuarios, con una disposición que facilita la circulación y el acceso a todas las áreas. La colocación de las vigas de geometría no lineal es esencial para la estabilidad estructural del edificio, y su comportamiento dinámico fue minuciosamente evaluado utilizando técnicas avanzadas de modelamiento numérico.

El resultado es un diseño arquitectónico que, además de adherirse a los estándares técnicos y normativos, ofrece un entorno visualmente atractivo y práctico para sus ocupantes.

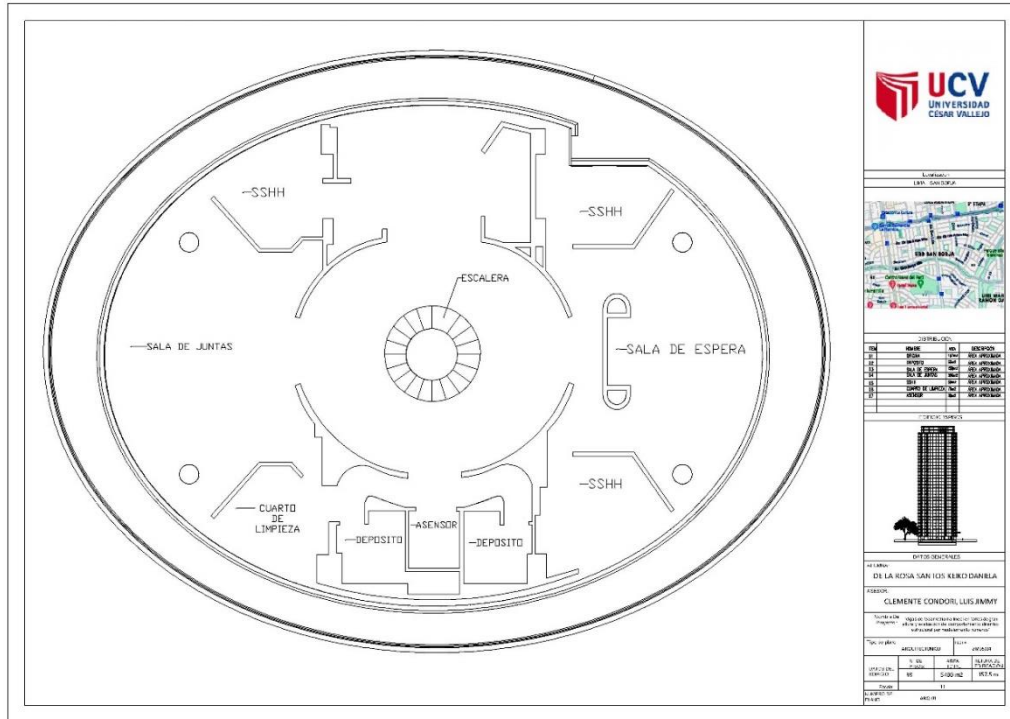


Figura 40: Layout de arquitectura

Fuente: Elaboración Propia



Figura 42: Modelado arquitectónico – vista frontal

Fuente: Elaboración propia

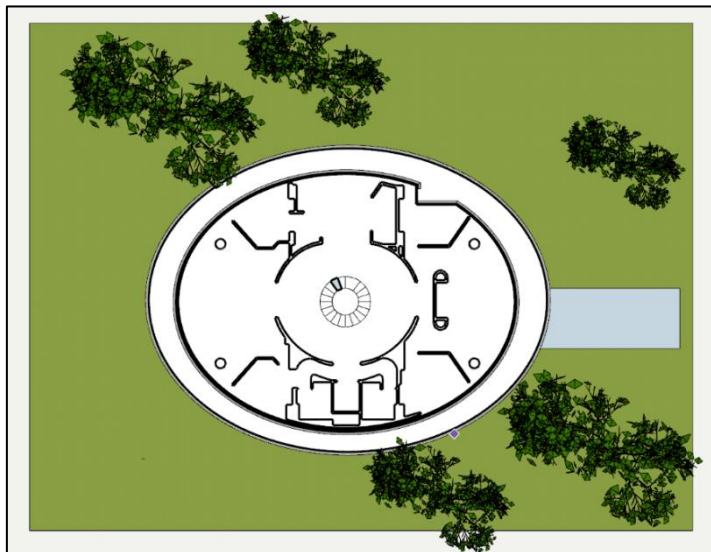


Figura 43: SKETCHUP – vista en planta

Fuente: Elaboración propia



Figura 44: Renderizado– fachada 3D

Fuente: Elaboración propia

4.4. Plano estructural:

Los planos estructurales preparados para la investigación titulada "Vigas de Geometría No Lineal en Torres de Gran Altura y Evaluación del Comportamiento Dinámico Estructural mediante Modelamiento Numérico" comenzaron con la disposición de las columnas, con el objetivo de maximizar la capacidad de carga y la estabilidad del edificio, como se ilustra en las figuras 45 y 46. La ubicación precisa y el tamaño adecuado de las columnas fueron esenciales para asegurar la solidez estructural y la eficiencia en la transferencia de cargas. A continuación, se diseñaron las vigas con geometría no lineal, que fueron integradas de manera estratégica en la estructura para mejorar su rendimiento dinámico y su resistencia a eventos sísmicos. Este método permitió una distribución más efectiva de las fuerzas y una mayor

flexibilidad en el diseño arquitectónico, sin comprometer la seguridad del edificio.

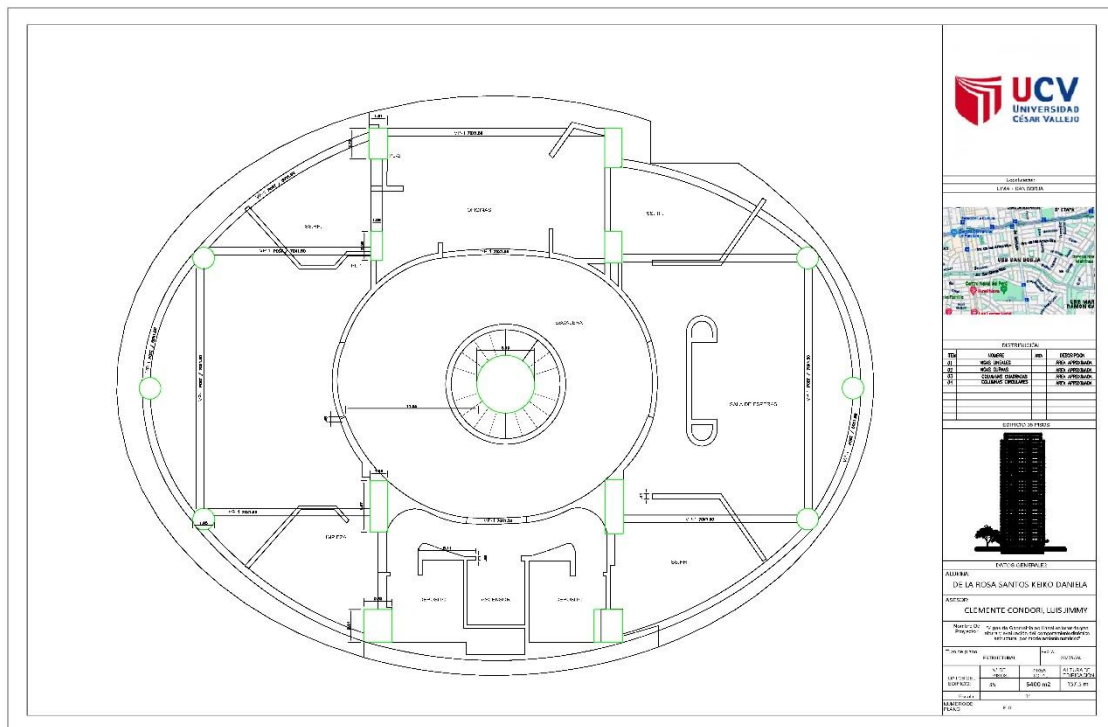


Figura 45: Distribución estructural

Fuente: Elaboración propia

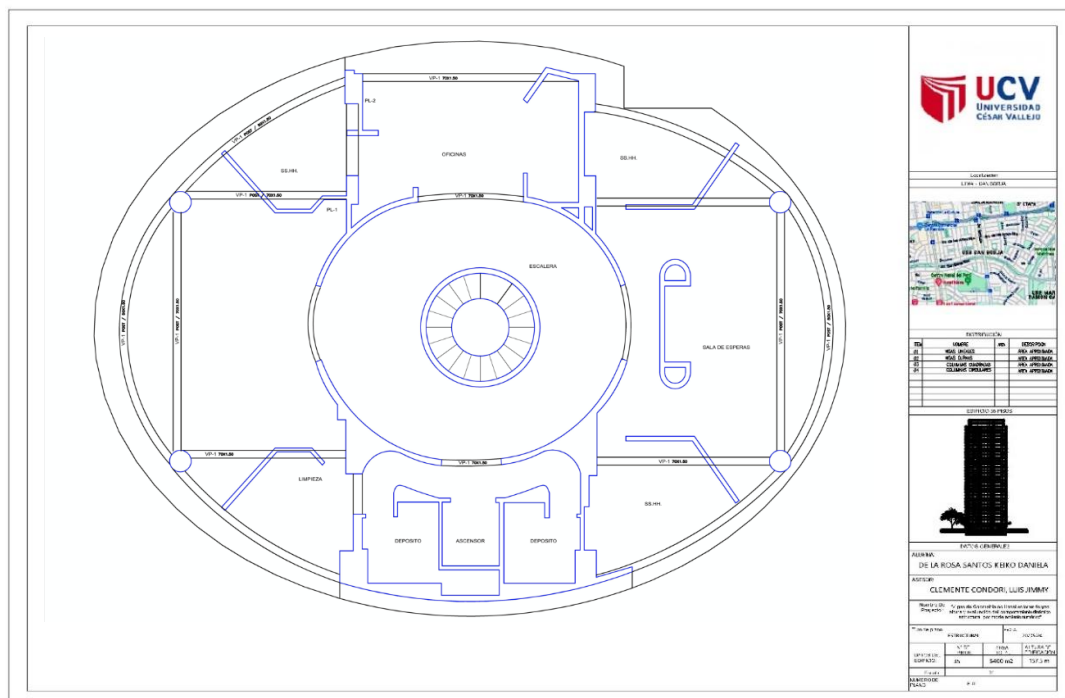


Figura 46: Distribución de Placas

Fuente: Elaboración propia

4.5. Redimensionamiento:

Para realizar el redimensionamiento de una estructura, es crucial reunir información detallada sobre las características del terreno y las especificaciones del proyecto. Esto incluye el tipo de suelo, la clasificación de la zona, las condiciones del terreno, el número de niveles del edificio y otros detalles relevantes. El trabajo de investigación titulado "Vigas de Geometría No Lineal en Edificios de Gran Altura y Evaluación del Comportamiento Dinámico Estructural mediante Modelamiento Computacional" proporciona un plan exhaustivo para examinar el rendimiento dinámico de estructuras complejas a través de métodos de modelado computacional. Este análisis es fundamental para comprender cómo las vigas con geometría no lineal afectan la estabilidad y la resistencia de torres de gran altura bajo diferentes condiciones dinámicas, permitiendo así desarrollar un diseño más seguro y eficiente..

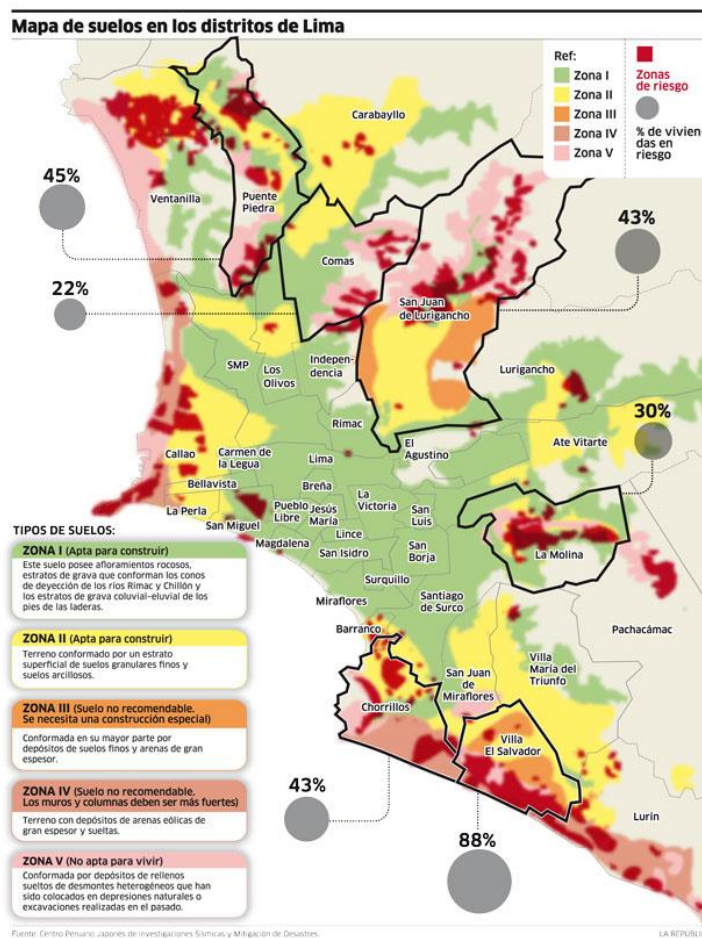


Figura 47: Cartografía de terrenos en los barrios de Lima

Fuente: <https://n9.cl/7wg3>

Como resultado del análisis sobre la clase de terreno en el distrito de San Borja, la figura 47 muestra el tipo de suelo según el SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental). El terreno exhibe afloramientos rocosos, estratos de grava que forman los abanicos aluviales de los ríos Rímac y Chillón, así como capas de grava coluvial y eluvial en las bases de las colinas. Con base en esta información, comenzamos a especificar los datos de acuerdo con la NTP E.030 Diseño Sismorresistente:

Tabla 5. Factor de zona – RNE E030 Diseño sismo resistente

ZONA	FACTOR DE ZONA (Z)
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: RNE E030

Según la tabla 6 y datos anteriores de SINIA, el distrito de San Borja se localiza en la área 4, por lo tanto, el coeficiente de zona a considerar para el Predimensionamiento es 0.45

Tabla 6. Categorías de los tipos de terreno

CLASIFICACIÓN DE LOS PERFILES DE SUELO			
Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	>1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E030

Según la tabla 07 y parámetros establecidos en el RNE E030 diseño sismorresistente, se determina que el tipo de suelo es el S2

Tabla 7. Clasificación de los edificios y coeficiente de uso

CATEGORÍA	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	Ver nota 1
	1.5
B Edificaciones Importantes	1.3
c Edificaciones Comunes	1.0
D Edificaciones Temporales	Ver nota 2

Fuente: RNE E030

De acuerdo con la tabla 8, para la clasificación y el factor de uso de la construcción se empleará la categoría B. Dado que la edificación será de gran altura y albergará a un gran número de personas, así como la posibilidad de incluir cines y otros usos en el futuro, se optará por esta categoría para el análisis.

Predimensionamiento de losa maciza:

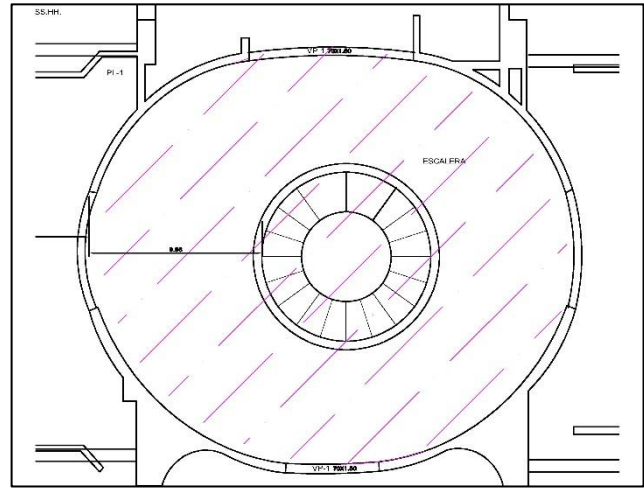
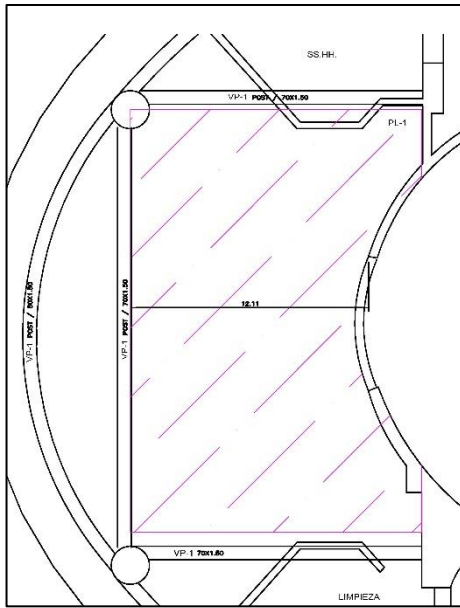
El espesor de las losas macizas puede establecerse dividiendo el perímetro entre 180 o la distancia libre entre soportes entre 40. No obstante, es importante considerar que estos valores podrían generar problemas de vibración o deficiencias en el aislamiento acústico.

$$h \geq \frac{\text{Perímetro}}{180} \text{ o } h \geq \frac{L}{40}$$

Donde:

h = Peralte de la losa

L= luz libre



a. Losa maciza con luz libre de 11.42

b. Losa maciza con luz libre de 9.68

Figura 48: Losa Maciza

Fuente: elaboración propia

$$a) h = \frac{11.42}{40} = 0.286$$

$$b) h = \frac{9.68}{40} = 0.242$$

Después de elegir el tramo de losa maciza con las dimensiones más grandes y llevar a cabo los cálculos necesarios para determinar su espesor, se decidió que la losa tendría una altura de 25 cm.

Predimensionamiento de vigas:

El espesor de las vigas (h) suele determinarse entre 1/10 y 1/12 de la distancia libre (L). Para evitar deflexiones excesivas, se aconseja un espesor superior a 1/16 de esa medida. Además, según la normativa E.060, el ancho mínimo de las vigas debe ser de 25 cm cuando tienen un rol sísmico, lo que también ayuda a prevenir el exceso de refuerzo de acero.

$$\frac{L}{12} \leq h \leq \frac{L}{10} \text{ Y } \frac{L}{16} \leq h ; 0.25 \text{ m} \leq b$$

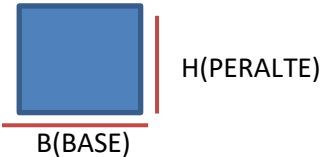
Donde:

h = Peralte de viga

b = ancho mínimo

L = luz libre

Tabla 8: Predimensionamiento de vigas

Según la norma E.030 tabla n°5			
Edificaciones esenciales	A	$h=L/10$	
Edificaciones importantes	B	$h=L/11$	
Edificaciones comunes	C	$h=L/12$	

Fuente: elaboración propia

En la tabla 8 se pueden ver los parámetros para determinar la sección de la viga (h). Dado que, como se mencionó anteriormente, la categoría de la edificación es B, se aplicará el valor $L/11$.

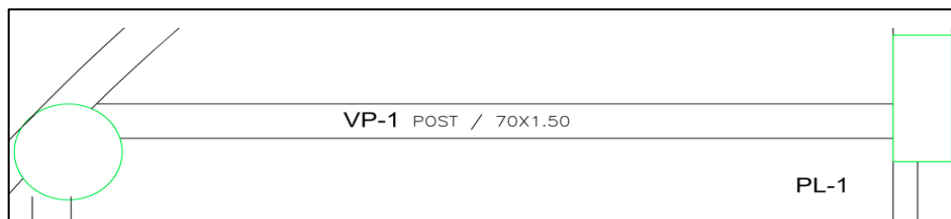


Figura 49: Viga principal postensada

Fuente: elaboración propia

Tabla 9: Sección de viga principal recta

h	18.68	SECCION DE VIGA POST.
$H (L/11)$	1.70	1.50 m x 0.70 m
$B (h/2)$	0.85	

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla 9, la sección transversal de la viga principal recta es de 1.50 m por 0.70 m. Se espera que, al tratarse de vigas postensadas, esta sección

experimentará una disminución proporcional debido al uso del refuerzo.

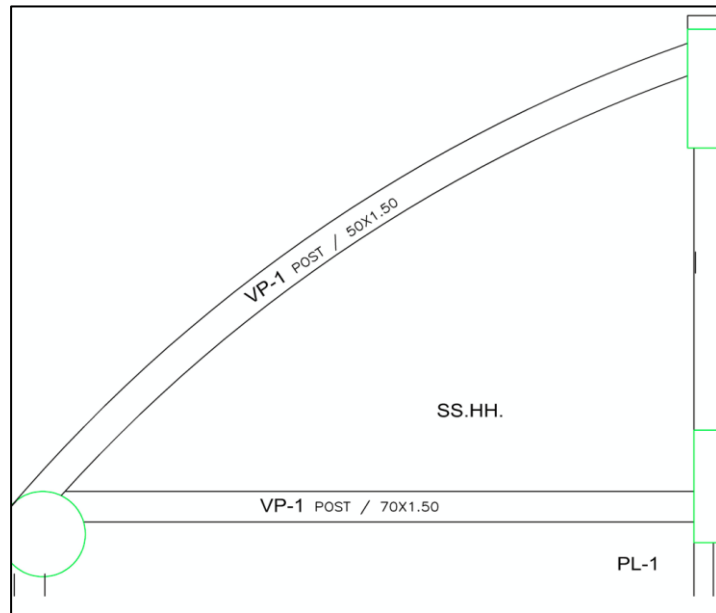


Figura 50: viga principal postensada curva

Fuente: elaboración propia

Tabla 10: sección de viga principal curva

h	17.4	SECCION DE VIGA POST.
H (Ln/11)	1.58	1.50 m x 0.50 m
B (h/2)	0.79	

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla 10, las dimensiones transversales de la viga principal recta son 1.50 m por 0.50 m. Se espera que, debido a que se trata de vigas postensadas, la sección experimentará una disminución proporcional en tamaño a causa del refuerzo aplicado.

Predimensionamiento de columnas:

El predimensionamiento de columnas es el proceso inicial de cálculo preliminar para estimar las dimensiones de una columna antes de llevar a cabo un diseño exhaustivo y un análisis estructural completo. Esta etapa es esencial en las fases iniciales del diseño de estructuras, ya que determina dimensiones aproximadas que garantizarán que la columna cumpla con los requisitos de resistencia y estabilidad necesarios.

$$p = 133.37 * 1ton = (4.91 * 10^6)kg$$

$$f_c = 450 \frac{kg}{cm^2}$$

Por lo tanto, en la columna rectangular las dimensiones son de:

$$A_1 = \frac{P}{0.45 \cdot f_c} = 2.43 m^2$$

$$A_1 = 100cm * 258cm = 2.58$$

Para la columna circular el diámetro es de:

$$P_2 = 92.37.1ton = (3.404 * 10^6)kg$$

$$f_{c2} = 250 \frac{kg}{cm^2}$$

$$A_2 = \frac{P_2}{0.45 * f_{c2}} = 3.026 m^2$$

$$A_{20} = \pi * (1m^2) = 3.142 m^2$$

Predimensionamiento de placas:

El predimensionamiento de placas implica la evaluación preliminar o cálculo inicial de las dimensiones de las losas antes de llevar a cabo un diseño estructural detallado. Este procedimiento es esencial en las etapas iniciales del diseño estructural para definir tamaños aproximados que asegurarán que la placa pueda soportar las cargas esperadas sin sobrepasar los límites de flexión y resistencia establecidos.

Tabla 11: Predimensionamiento de placas

		b(m)	h(m)	i (m ⁴)		vu	vn	
cc2m	6	1	1	0.785	0.00096466	26.8562324	7778.75576	0.00345251
cc5.20	1	2.6	2.6	35.872616	0.04408281	1227.26537	8764.06482	0.14003381
c1	2	4.57	1.52	1.33741355	0.00164351	45.7552727	18011.4497	0.00254034
c2	2	2.91	2.52	3.88072944	0.00476891	132.766588	19014.3906	0.00698243
c3	1	0.7	23	709.741667	0.87218076	24281.5123	24102.0581	1.0074456
c4	3	0.4	5.11	4.44776103	0.00546572	152.165738	7949.88839	0.01914061
C5	4	0.4	5	4.16666667	0.00512029	142.549004	10371.6743	0.01374407
C6	4	0.4	11	44.3666667	0.0545209	1517.8618	22817.6836	0.06652129
C7	4	0.4	6	7.2	0.00884787	246.32468	12446.0092	0.01979146

c8	2	2.7	1.6	0.9216	0.00113253	31.529559	11201.4083	0.00281479
c9	2	2.58	1	0.215	0.00026421	7.35552863	6689.72996	0.00109953
c10	2	0.5	2.7	0.820125	0.00100783	28.0579205	3500.44009	0.00801554
				813.755245		27840		

Según la tabla 12 podemos observar el resultado de calculo de placas el cual se tendrá las siguientes consideraciones en el modelado.

Análisis sísmico:

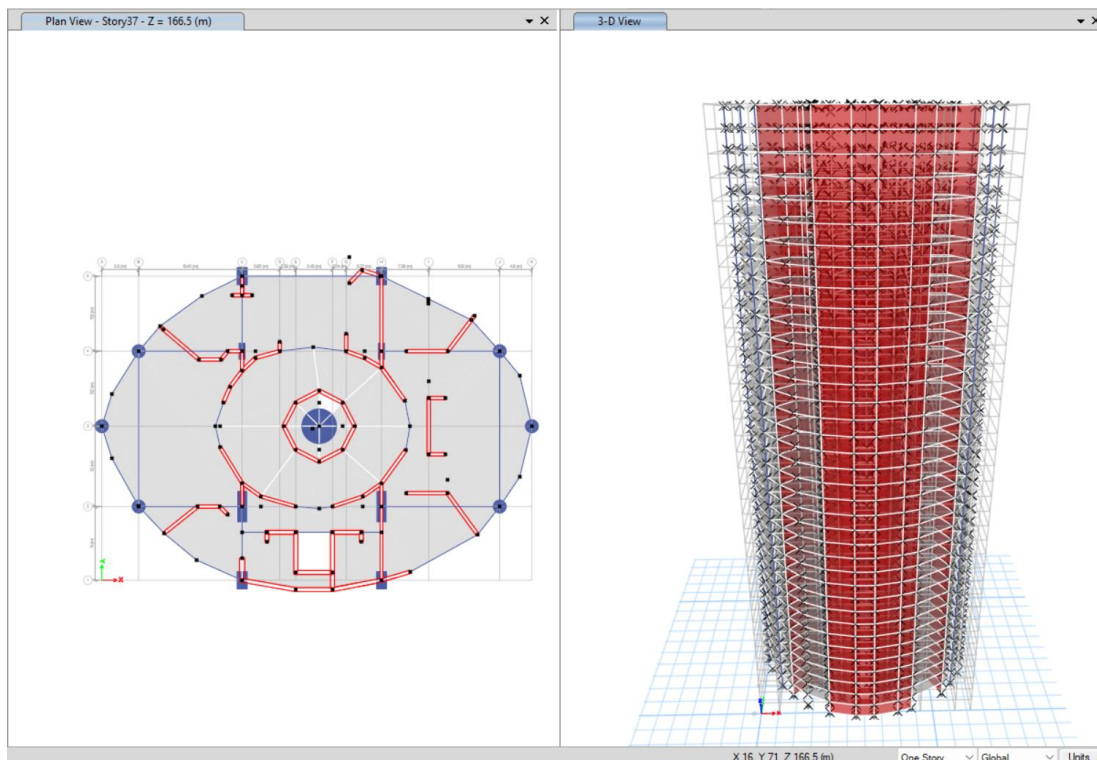


Figura 51: Análisis sísmico ETAPS

Fuente: elaboración propia

Análisis estático y dinámico

El análisis estático y el análisis dinámico son dos métodos esenciales en ingeniería estructural para evaluar el comportamiento de las estructuras bajo diversas cargas y fuerzas: **100%PL+25%PD**

$$P = 165000. \text{ ton}$$

$$Z = 0.45$$

$$U = 1$$

$$s = 1.05$$

$$T_p = 0.6 \text{ s}$$

$$T_l = 2 \text{ s}$$

Cortante en la dirección x

$$R_x = 7$$

$$T_x = 3.5 \text{ S}$$

$$C_x = 2.5$$

Por lo tanto:

$$V_{sx} = \frac{Z.U.C_x.S.P}{R_x} = (2.784 * 10^4) \text{ ton}$$

$$V_{dx} = 55 \text{ ton}$$

$$fe_x = \frac{0.9 * V_{sx}}{V_{dx}} = 455.625$$

Cortante en la dirección Y

$$R_x = 7$$

$$T_x = 3.5 \text{ S}$$

$$C_x = 2.5$$

Por lo tanto:

$$V_{sy} = \frac{Z.U.C_y.S.P}{R_y} = (2.784 * 10^4) \text{ ton}$$

$$V_{dy} = 88 \text{ ton}$$

$$fe_x = \frac{0.9 * V_{sy}}{V_{dy}} = 284.766$$

Comprobación: $driffx = 0.00075 * 0.75 * 7 = 0.004 \dots ok$

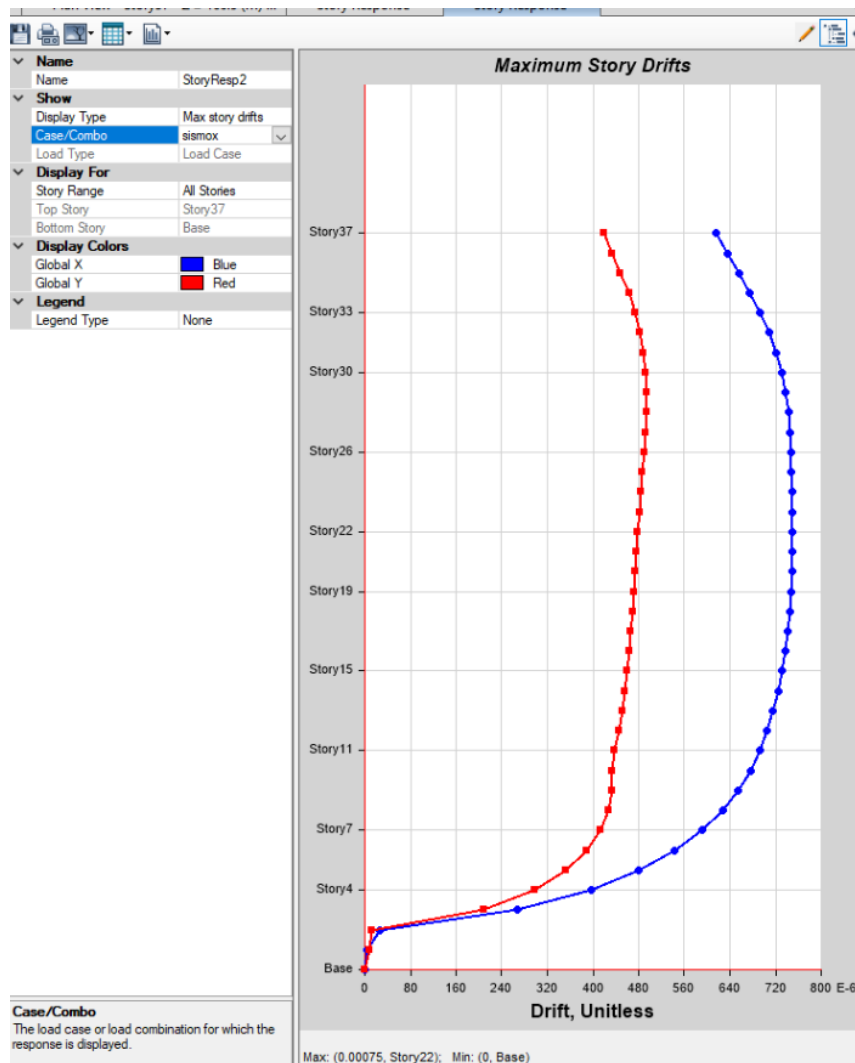


Figura 52: tiempo de historia para verificar la resistencia sísmica

Fuente: elaboración propia

Diseño estructural

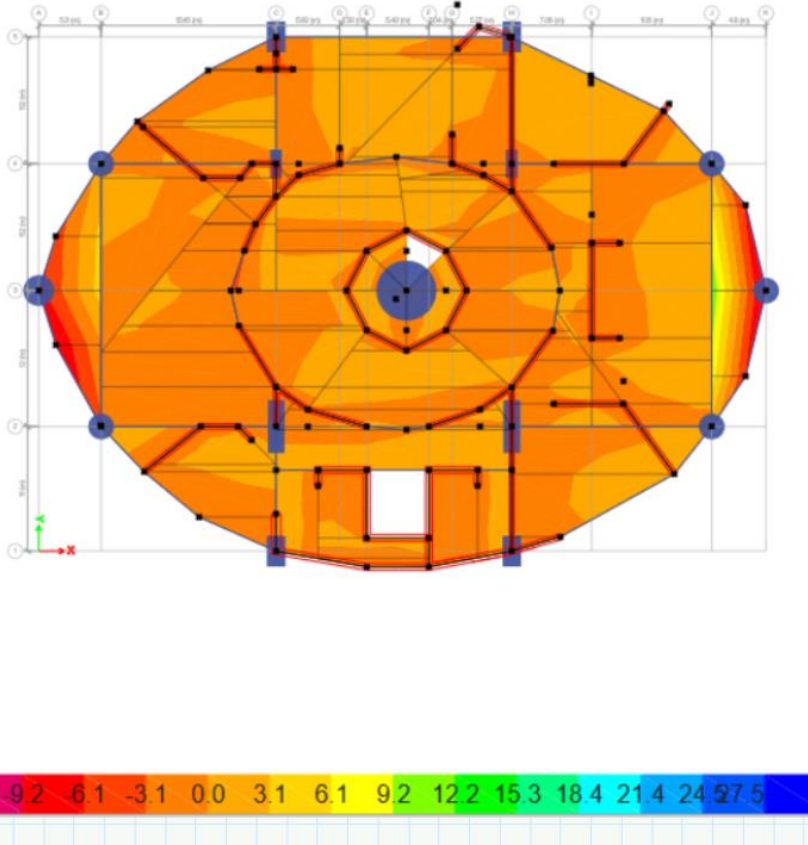
El diseño estructural es el proceso de concebir estructuras seguras y eficientes, capaces de soportar las cargas y fuerzas a las que estarán sometidas a lo largo de su vida útil.

Diseño de losa maciza

El diseño de losas macizas implica la utilización de paneles de madera contrachapada maciza para construir losas estructurales. Se determinan las dimensiones y espesores adecuados en función de las cargas y luces requeridas, garantizando así resistencia y funcionalidad. Este enfoque es esencial por su capacidad para ofrecer soluciones estructurales eficaces y sostenibles, combinando resistencia mecánica con

propiedades de aislamiento acústico y térmico.

MOMENTOS EN X-X



$M_{xn} = -3.1 \text{ ton.m}$

$M_{xn} = 3.1 \text{ ton.m}$

Figura 53: momentos en x-x

Fuente: elaboración propia

La figura 53 muestra como ejerce los momentos en x-x, el cual ayudara al diseño estructural.

$$f_y = 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$h = 25 \text{ cm}$$

$$r = 3 \text{ cm}$$

$$f_c = 280 * \frac{kgf}{cm^2}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$\gamma = 0.85$$

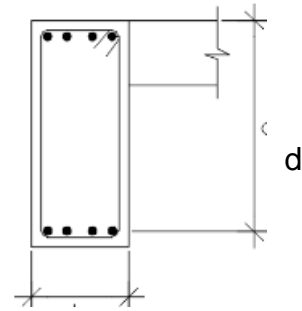


Figura 51: Diseño de viga

Fuente: Elaboración propia

$$d = (h - r) = 22 \text{ cm}$$

$$\phi = 0.9$$

b

$$M_{xn} = 3.1 * 10^5 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_{xn}}{0.9 * 0.85 * b * f_c}} = 8.052 \text{ cm}$$

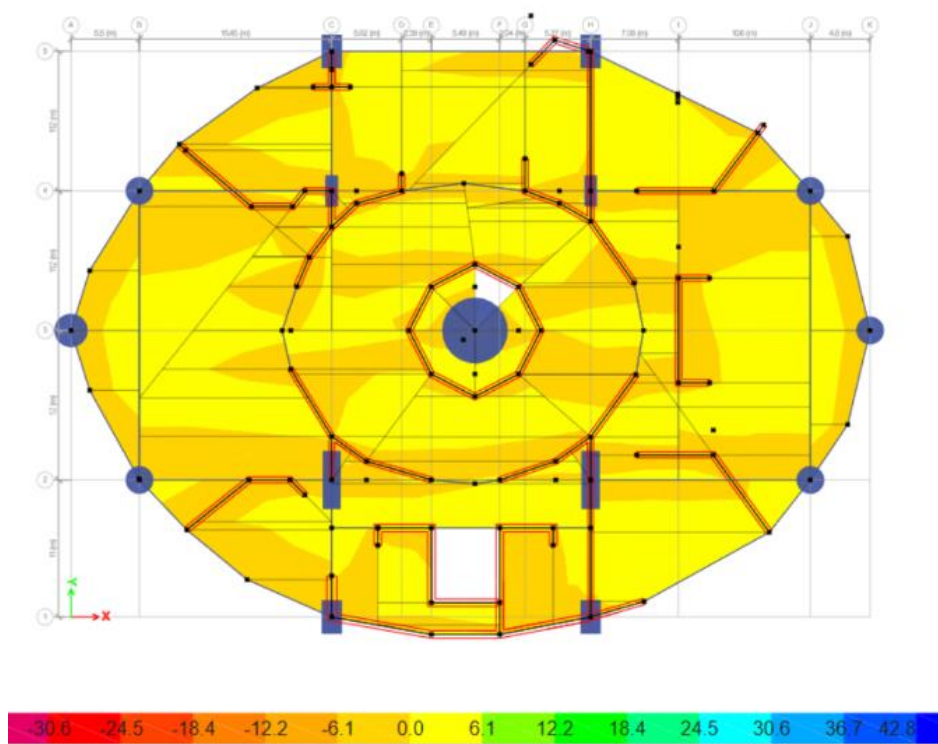
$$A_s = \frac{M_{xn}}{0.9 * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 4.563 \text{ cm}^2$$

$$M_{xp} = 3.1 * 10^5 \text{ kgf} * \text{cm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_{xp}}{0.9 * 0.85 * b * f_c}} = 8.052 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M_{xp}}{0.9 * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 4.563 \text{ cm}^2$$

MOMENTOS EN Y-Y



$$M_{yn} = -12 \text{ ton.m}$$

$$M_{yp} = 6.1 \text{ ton.m}$$

Figura 52: Momentos en y-y

Fuente: Elaboración propia

$$f_y = 4200$$

$$f_c = 28. \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$d = (h - r) = 37 \text{ cm}$$

$$r = 3 \text{ cm}$$

$$\gamma = 0.85 \text{ cm}$$

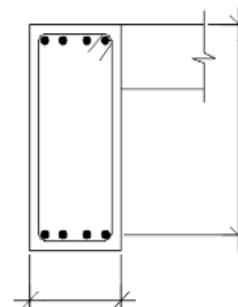


Figura 53: Diseño de viga

Fuente: Elaboración propia

$$\phi = 0.9$$

$$M_{yn} = 12 * 10^5 \text{ kgf.cm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot M_{yn}}{0.9 * 0.85 * b * f_c}} = 21.234$$

$$A_s = \frac{M_{yn}}{0.9 * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 12.033$$

$$M_{yp} = 6.1 * 10^5 \text{ kgf.cm}$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 \cdot M_{yp}}{0.9 * 0.85 * b * f_c}} = 8.726 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{M_{yp}}{0.9 * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} = 4.945 \text{ cm}^2$$

Diseño de vigas y cálculo de acero

Acero a Flexión en Vigas ACI 318-14

El acero de refuerzo en vigas se refiere a la incorporación de varillas de acero dentro de una viga de concreto armado para soportar las fuerzas de flexión. Estas varillas fortalecen la viga, permitiéndole resistir cargas de flexión al absorber y redistribuir las tensiones internas. Este refuerzo es crucial para aumentar la capacidad de carga de la viga y evitar daños por flexión excesiva. Este método es un aspecto fundamental en el diseño estructural para asegurar que las vigas cumplan con los estándares de resistencia y seguridad bajo diferentes tipos de cargas.

$$f_y = 4200 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$f_c = 280 * \frac{kgf}{cm^2}$$

$$h = 120cm$$

$$b = 60cm$$

$$r = 3cm$$

$$\gamma = 0.85$$

$$d = (h - r) = 117cm$$

$$\phi = 0.9$$

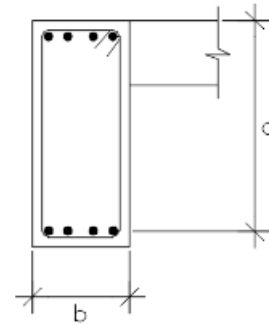


Figura 54: Diseño de Viga

Fuente: Elaboración propia

$$M_u = 149 * 10^5 kgf * cm$$

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_u}{0.9 * 0.85 * b * f_c}} = 10.368 cm$$

$$A_s = \frac{M_u}{0.9 * f_y * (d - \frac{a}{2})} = 35.253 cm^2$$

Acero mínimo:

$$f_{y1} = 420$$

$$f_{c1} = 21$$

$$A_{smin1} = 1.4 * b * \frac{d}{f_{y1}}$$

$$A_{smin1} = 23.4 cm^2$$

$$A_{smin2} = \frac{\sqrt{f_{c1}}}{4 * f_{y1}} * b * d$$

$$A_{smin2} = 19.149 cm^2$$

Acero máximo:

$$\varepsilon_u = 0.003$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$p_{max} = \gamma * \beta_1 * \frac{f_c}{f_y} * \left(\frac{\varepsilon_u}{\varepsilon_u + 0.005} \right)$$

$$p_{max} = 0.018$$

$$A_{Smax} = p_{max} * b * d$$

$$A_{Smax} = 126.799 \text{ cm}^2$$

Acero a cortante en vigas:

$$V_u = 59 \text{ tonf}$$

$$A_{vt} = 1.4 \text{ cm}^2 \quad \dots \quad \text{área de la varilla transversal}$$

$$f_{c2} = 280$$

$$V_c = \frac{b * d * 0.53 * \sqrt{f_{c2} * 10}}{m^2} * \text{tonf} = 62.258 \text{ tonf}$$

$$V_s = \frac{V_u - 0.85 * V_c}{0.85} = 7.154 \text{ tonf}$$

$$S = \frac{A_{vt} * f_y * d}{V_s} = 1.06 \text{ m}$$

Diseño de zapatas

El diseño de zapatas implica calcular y especificar las cimentaciones superficiales que transmiten de manera segura y efectiva las cargas de la estructura al suelo.

Col:	3A	
$Pd =$	2500000	Kg
$Pl =$	225000	Kg
$Df =$	1.20	m
$S/C =$	500	Kg/m ²
$t1 =$	1.60	m
$t2 =$	2.70	m
$hc =$	0.20	m
$\gamma_m =$	1900	Kg/m ³
$\sigma_t =$	5.50	Kg/cm ²
$f'c =$	350	Kg/cm ²
$f'c =$	350	Kg/cm ²
$f_y =$	4200	Kg/cm ²

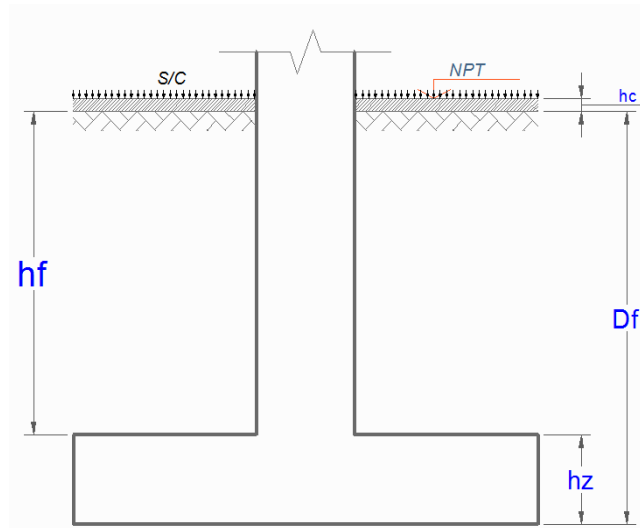


Figura 55: Diseño zapata

Fuente: Elaboración propia

Esfuerzo neto del terreno

$$\sigma_n = \sigma_t - \gamma_{pom} \cdot h_f - h_z \cdot \gamma_c - S/C$$

$$\sigma_n = 5.17 \text{ kg/cm}^2$$

Área de la Zapata

$$A_{zap} = 526671.826 \text{ cm}^2$$

Debe Cumplir que $L_{v1} = L_{v2}$:

$$T = 6.71 \text{ m} \longrightarrow 7.00 \text{ m}$$

$$S = 7.81 \text{ m} \longrightarrow 8.50 \text{ m}$$

$$L_{v1} = L_{v2} = 2700 \text{ m}$$

$$= 2.900 \text{ m}$$

Reacción Neta del Terreno

$$P_u = 360000 \text{ kg}$$

$$A_{zap} = 59500 \text{ cm}^2$$

$$w_u = 5.65 \text{ kg/cm}^2$$

Dimensionamiento de la altura h_z de la Zapata

$$\checkmark \text{ Por Punzonamiento } V_u \leq \phi * V_c$$

$$\phi = 0.75$$

$$V_u = 3360000 - 5.65(160 + d)(270 + d)$$

$$\phi V_c = 1.06 * \phi * \sqrt{f'c * c * b_0 * d}$$

$$b_0 = 2 * (t1 + d) + 2 * (t2 + d)$$

$$d = 137.08 \text{ cm}$$

$$r = 7.5 \text{ cm}$$

Diámetro de Varilla ϕ : 1"

$$d_{prom} = 189.96 \text{ cm}$$

Verificación por Cortante

$$\phi = 0.75$$

$$Vdu = 384192$$

$$\phi Vc = 1200749.023$$

$$Vdu < \phi Vc \dots \dots \dots (conforme)$$

Diseño por Flexión

$$\phi = 0.9$$

Dirección Longitudinal

$$\rho = \frac{100 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot f_y - \sqrt{(100 \cdot \phi \cdot f'_c \cdot f_y)^2 - 23600 \cdot \phi \cdot R_u \cdot f'_c \cdot f_y^2}}{118 \cdot \phi \cdot f_y^2}$$

$$M_u = 1749600 \text{ kg} - m$$

$$R_u = 5.70 \text{ Kg/cm}^2$$

$$p = 0.001525527$$

$$p_{min} = 0.0018$$

$$A_s = 306.0 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 5.07 \text{ cm}^2$$

$$\#var = 60.4$$

$$Esp.S = 13.9 \text{ cm}$$

Usar 50 ϕ 1" @ 13.9 cm

Dirección Transversal

$$A_{st} = 252 \text{ cm}^2$$

$$\#var = 49.7$$

$$Esp. S = 13.9 \text{ cm}$$

Transferencia de Carga de la Columna a la Zapata

✓ Resistencia al Aplastamiento de la Columna

$$\phi n = 0.65$$

$$P_n = \frac{P_U}{\phi}$$

Sobre la columna $p_n = 5169231 \text{ kg}$

De la columna

$$p_{nb} = 0.85 * f_c * A_c$$

$$p_{nb} = 1.3E + 07 \text{ kg}$$

$$P_n < P_{nb} \dots \dots \dots (\text{No Necesita Dowels})$$

$$A_{smin} = 216.0 \text{ cm}^2$$

Acero de Espera (Dowels) entre columna y Zapata $A_s = 216 \text{ cm}^2$

Diámetro de la Varilla a Usar $\phi: 1"$

Numero de Varillas: 43

$$\text{Usar } 43\phi 1"$$

Longitud de Desarrollo del Refuerzo en espera (Dowels) a compresión

$$200 - 7.5 - 5.08 - 2.54 = 185 \text{ cm}$$

- Las Barras (Dowels) se desarrollan adecuadamente

Longitud de Desarrollo del Refuerzo de la Zapata

$$l_d = \left(\frac{f_y}{3.51 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\psi_t \cdot \psi_e \cdot \psi_s}{\left(\frac{c_b + k_{tr}}{d_b}\right)} \right) \cdot d_b$$

$$\frac{c_b + k_{tr}}{d_b} \leq 2.5$$

$$k_{tr} = \frac{40 \cdot A_{tr}}{sn}$$

$$C_b = 6.90 \text{ cm}$$

$$C_{tr} = 0.00 \text{ No hay estribos}$$

$$d_b = 2.54 \text{ cm}$$

$$w_t = 1.3$$

$$w_e = 1.0$$

$$w_s = 1$$

$$\lambda = 1.0 \text{ c}^\circ \text{ de peso normal}$$

$$I_d = 84 \text{ cm}$$

$$I_{dmin} = 30 \text{ cm}$$

Longitud de Desarrollo Disponible: $L_v - r$

$$L_{V1} = \frac{T-t_1}{2} \quad \wedge \quad L_{V2} = \frac{S-t_2}{2} \quad l_{v1} = l_{v2} = 2.7 \text{ m}$$

Longitud de Desarrollo disponible en ambos sentidos

$$l_d = 2.63 \text{ m}$$

Diseño de placas

Datos generales:

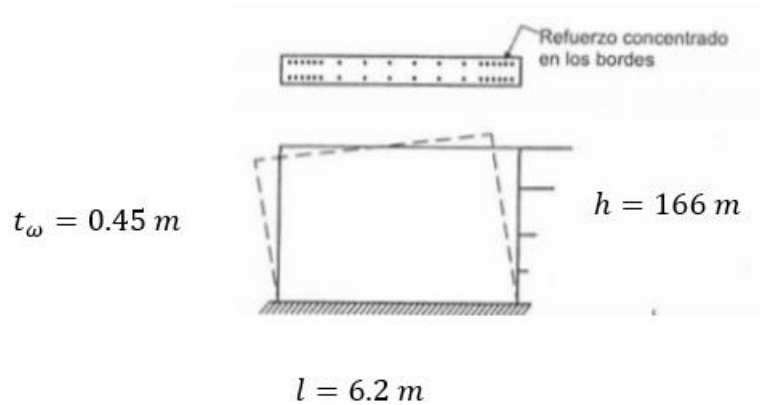


Figura 56: Diseño de placa

Fuente: Elaboración propia

$$\cdot \frac{h}{l} = 26.774$$

si $h/l > 2$ muro esbelto, en caso contrario muro corto

$$P_u = 9000.79 \text{ tonf}$$

$$M_u = 6500.67 \text{ tonf} * \text{m}$$

$$f_c = 320 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y = 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$d = 0.8 * l = 4.9$$

Verificación de Confinamiento en los extremos

verificación por esfuerzo a compresión

$$A_g = l * t_\omega = 2.79$$

$$I = \frac{t_{\omega} * l^3}{12} = 8.937 \text{ m}^4$$

$$f_{cp} = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u * \frac{l}{2}}{I} = 497.221 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

if($f_{cp} > 0.2 * f_c$, *necesita de borde ; no necesita de borde*) = *necesita de borde*

Verificación por desplazamiento inelástico

$h_{\omega cs} = 166 \text{ m}$ Datos de Etabs, desplazamiento

$$\Delta m = 0.26 \text{ m}$$

$$\text{if} \left(\frac{\Delta m}{h_{\omega cs}} < 0.005; 0.005; \frac{\Delta m}{h_{\omega cs}} \right) = 0.005$$

norma E-060

$$\frac{\Delta m}{h_{\omega cs}} 0.002$$

Profundidad del eje neutro C

$$C_{lim} = \frac{l}{600 * (0.005)} = 2.067$$

$c = 6.16 \text{ m}$

eje neutro calculado del Etabs

$$L_{min} = 0.15 * l = 0.93 \text{ m}$$

if $\left(c > \frac{3}{8} * l, \text{espesor min. } 30 \text{ cm, mismo espesor} \right) = \text{espesor min } 30 \text{ cm}$

Escoger la Longitud de confinamiento

$$Lb = 1.20 \text{ m}$$

Acero en columna de confinamiento

Acero vertical en columna de confinamiento

$$f_c = 320$$

$$f_{y1} = 4200$$

$$p_{min} = 0.0025$$

$$p_{min_e060} = 0.12 * \left(\frac{f_c}{f_{y1}}\right) = 0.009$$

$$As_{eb} = 0.009 * t_{\omega} * lb = 48.6 \text{ cm}^2$$

$$st_analysis_excell = 107 \text{ cm}^2$$

$$\text{probamos: } 22 \text{ } \emptyset 1 = 110 \text{ cm}^2$$

$$As_{col_borde} = 110 \text{ cm}^2$$

$$P_{eb} = \frac{As_{col_borde}}{Lb * t_{\omega}} = 0.0$$

Acero horizontal en columna de confinamiento

$$b_c = 42 \text{ cm}$$

Separación en el ancho

$$S = 20 \text{ cm}$$

Separación de los estribos en la vertical

$$A_{shc} = 0.09 * \frac{f_c}{f_y} * b_c * S = 5.76 \text{ cm}^2$$

Recomendaciones separación de refuerzo (estribos)

Separación mínima

$$db = 1.27 \text{ cm}$$

Diámetro de la barra más chica

$$s_2 = 6 * db = 7.62 \text{ cm}$$

$$s_3 = \frac{t_w}{3} = 15 \text{ cm}$$

Separación máxima

$$S_{max} = 3 * t_w = 1.35 \text{ m}$$

$$S_{max} = 40 \text{ cm}$$

✓ Se pondrán 5 ligaduras de 1/2" cada 20 cm horizontalmente

Área de acero de refuerzo horizontal

$$A_{sh} = p_h * s * t_w = 7.475 \text{ cm}^2$$

Se multiplica x3, ya que es en ambos lados del muro:

$$3 * (2.85) \text{ cm}^2 = 8.55 \text{ cm}^2 > A_{SH} \dots \text{CUMPLE}$$

Entonces sería $3 \emptyset * \frac{3}{4} @ 0.11 \text{ m}$ paralelos a la longitud de la placa

Acero vertical en muro:

Cuantía de refuerzo Vertical:

$$p_v = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{d}{l} \right) * (p_h - 0.0025) = 0.013$$

$$p_{vmin} = 0.0015$$

según E060

$$p_v = 0.0132$$

Escoger el mayor

Separación del refuerzo vertical

$$s'_{max} = 40$$

$$s'_{max} = 3 * t_{\omega} = 135 \text{ cm}$$

Asumiremos $s'_{max} = 35$ escoger el menor

Área de acero de refuerzo vertical:

$$A_{stt} = p_v * l * t_{\omega} = 368.28 \text{ cm}^2$$

Se restan los A_s de los confinamientos

$$A_{stt} - 2 * (A_{s_col_borde}) = 148.28 \text{ cm}^2$$

$$(l - 2Lb) = 380 \text{ cm}$$

$$\#A_s = \frac{A_{stt} - 2 * (A_{s_col_borde})}{5.01 \text{ cm}^2} = 29.597$$

$$@A_s = \frac{(l - 2Lb)}{15} = 25.333 \text{ cm}$$

Entonces sería $\emptyset * 1 @ 0.25 \text{ m}$ en ambos lados

Ancho efectivo del ala:

$$h_{efec} = 0.10 * h = 16.6 \text{ m}$$

$$l_{ala} = 10$$

Diagramas de iteración:

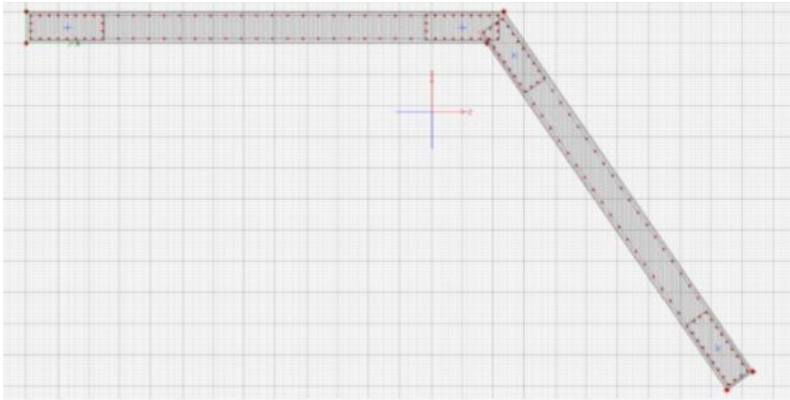


Figura 54: Diagramas de interacción

Fuente: elaboración propia

En la figura 54 se observa la forma de la placa para poder dar mas resistencia, a la estructura, para una mejor resistencia estructural.

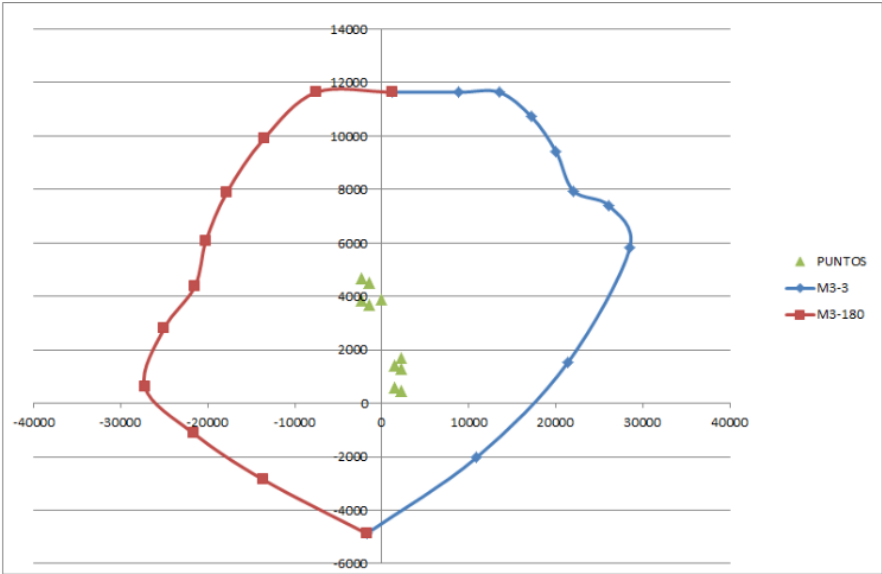


Figura 55: comportamiento Dinámico

Fuente: elaboración propia

En la figura 55 se observa el comportamiento dinámico para poder dar más resistencia, a la estructura, para una mejor resistencia estructural.

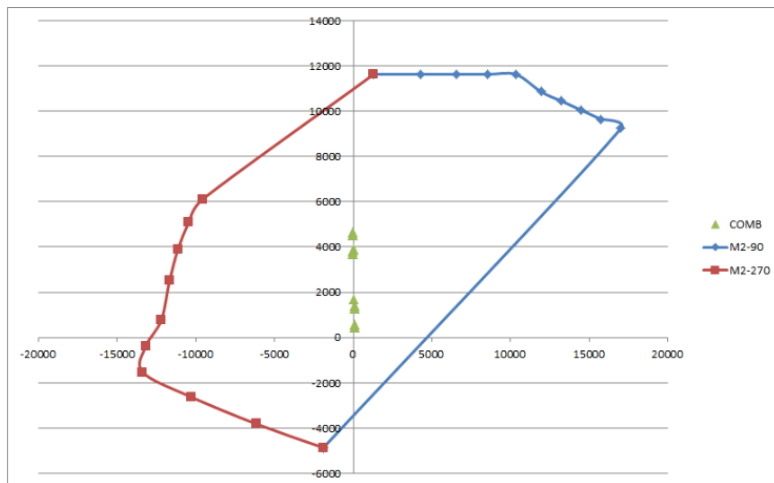


Figura 56: Comportamiento Dinámico

Fuente: elaboración propia

En la figura 56 se observa el comportamiento dinámico para poder dar más resistencia, a la estructura, para una mejor resistencia estructural.

Diseño de columnas

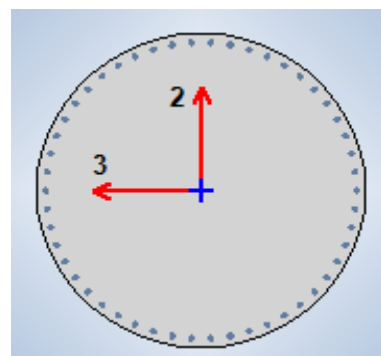
Tabla 12: cargas ultimas de análisis estructural 1er piso

carga	p(ton)	vy(ton)	vx(ton)	My(ton.m)	Mx(ton.m)
muerta	32.72	0.29	0.47	1.38	0.47
viva	11.99	0.24	0.12	-0.11	0.12
sismo x	0.85	11.29	16.28	11.29	31.52
sismo y	1.16	15.31	10.06	15.31	17.39

Según la tabla 12 tenemos como resultado de carga máxima, carga mínima especificada en dicha tabla la cual brinda el programa de ETAPS

Tabla 14: cargas de diseño en la dirección x

	Pu (ton)	Vu(ton)	Mu(ton.m)
1.4CM +1.7 CV	66.191	0.862	0.862
1.25(CM+CV)+CSX	56.7375	17.0175	32.2575
1.25(CM+CV)-CSX	55.0375	-15.5425	-30.7825
0.9CM+CS	30.298	16.703	31.943



0.9CM-CS	28.598	-15.857	-31.097
----------	--------	---------	---------

En la tabla 14 se, muestra los resultados obtenidos lo cual brinda el programa de ETAPS.

Tabla 15: cargas de diseño en la dirección Y

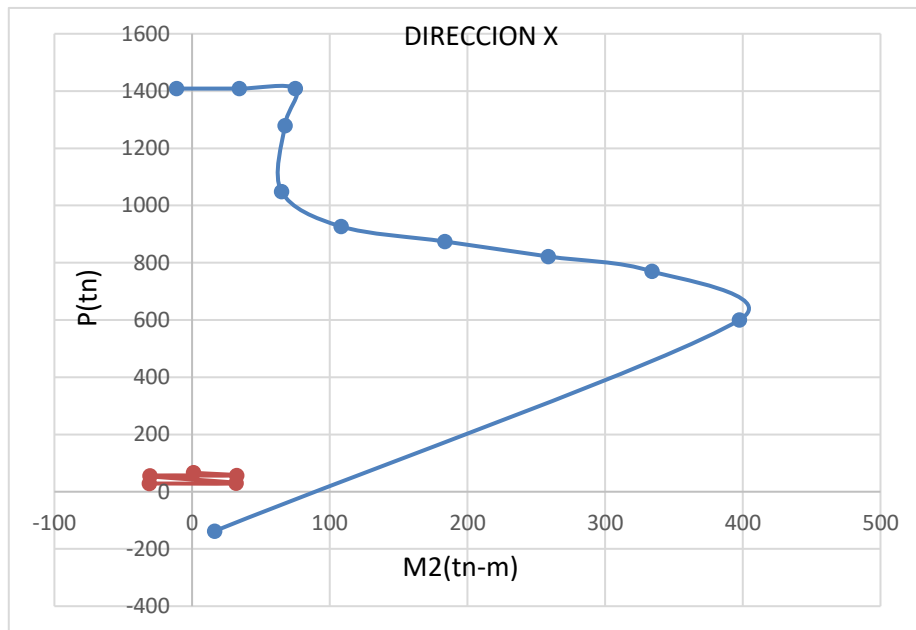
	Pu (ton)	Vu(ton)	Mu(ton.m)
1.4CM +1.7 CV	66.191	0.814	1.745
1.25(CM+CV)+CSY	57.0475	15.9725	16.8975
1.25(CM+CV)-CSY	54.7275	-14.6475	-13.7225
0.9CM+CSY	30.608	15.571	16.552
0.9CM-CSY	28.288	-15.049	-14.068

En la tabla 15 se, muestra los resultados obtenidos de Cargas de diseño en la dirección y lo cual brinda el programa de ETAPS.

Tabla 16: valores de momentos

P	M2	M3
1408.5289	-11.2892	-13.7629
1408.5289	34.1483	380.0404
1408.5289	74.7702	663.1684
1279.0963	67.3331	1102.6049
1048.4259	64.9948	1457.6653
926.7879	108.1986	1569.5097
874.3858	183.4318	1722.4816
821.9836	258.6651	1875.4535
769.5815	333.8984	2028.4255
599.714	397.3879	1761.0091
-137.5272	16.3219	19.8983

En la tabla 16 se los resultados de momentos en dirección X y Y, que nos brinda el programa de ETAPS.



Según la figura 57, se muestra la gráfica de diagrama de momentos en x, que genera los resultados de la tabla 16.

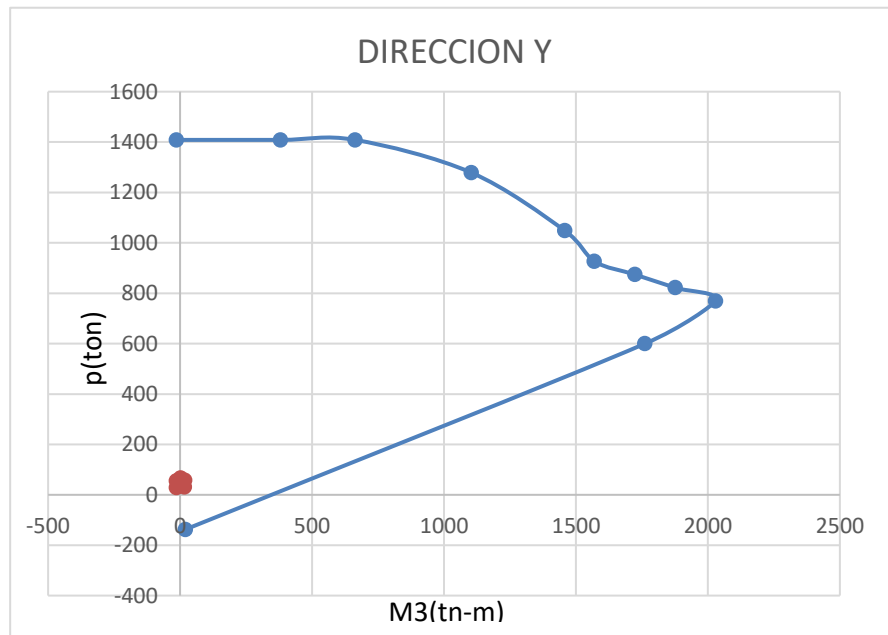


Figura 58: momentos en Y

Fuente: elaboración propia

Según la figura 58, se muestra la gráfica de diagrama de momentos en x, que

genera los resultados de la tabla 16.

Modelado estructural teckla structures

Con Tekla Structures, se ha llevado a cabo un modelado detallado mediante elementos finitos, facilitando una evaluación exacta de la resistencia en estructuras complejas, como las vigas curvas. Este software proporciona una representación tridimensional completa del modelo estructural y permite la elaboración de informes detallados que resumen los resultados del análisis estructural. Esta herramienta mejora considerablemente la capacidad de los ingenieros para analizar cómo las estructuras responden a diversas cargas y optimizar el diseño para garantizar tanto la seguridad como la eficacia en proyectos de construcción, según figura 59.

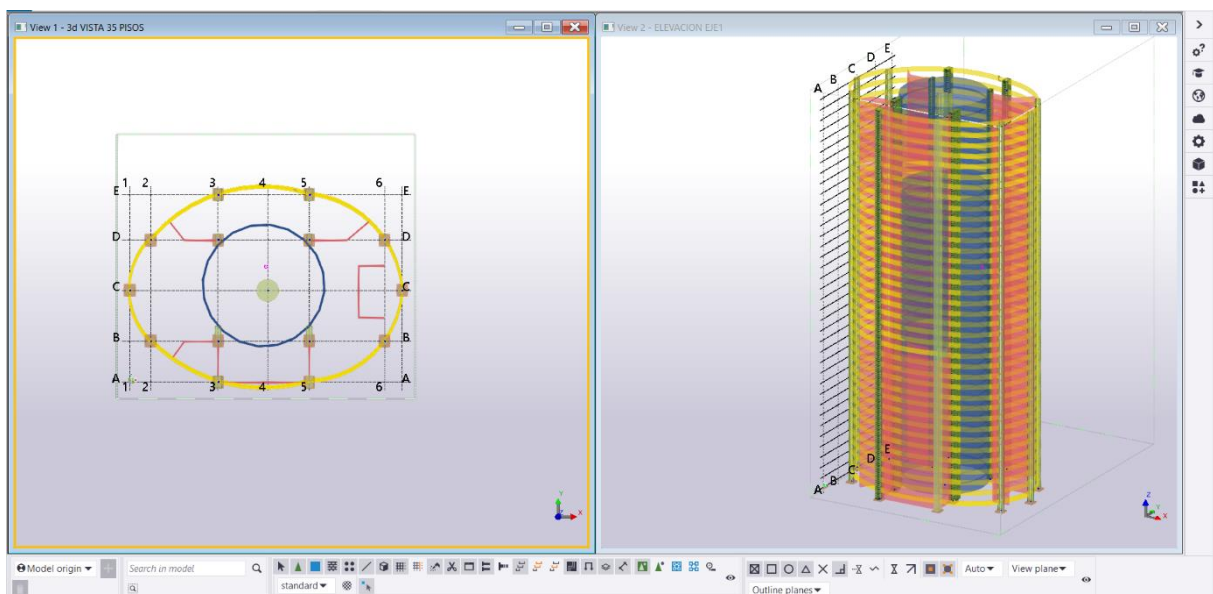


Figura 59: Modelado estructural teckla structure

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la figura 59 un modelado estructural con mejor resolución elaborado en teckla structure, se puede visualizar de color azul y ro las placas, Las vigas se han representado en color amarillo, mientras que las columnas se muestran en color verde.

Reporte de la viga curva:

```
</TR>
<TR ALIGN="Right" VALIGN="Top">
  <TD ALIGN="Left">&nbsp;<B>          D1960          Profile Tota
  </B> &nbsp;</TD>
  <TD>&nbsp;<B>          6
  </B> &nbsp;</TD>
  <TD ALIGN="Center">&nbsp;<B>          Concret***
  </B> &nbsp;</TD>
  <TD>&nbsp;<B>          777000
  </B> &nbsp;</TD>
  <TD>&nbsp;<B>          5619309.1
  </B> &nbsp;</TD>
</TR>
<TR ALIGN="Left" VALIGN="Middle">
```

Figura 60: resultados de tecla estructura diámetro máximo

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la figura 60, el diámetro máximo del resultado que brinda el programa teckla structure.

```
<TR ALIGN="Right" VALIGN="Top">
  <TD ALIGN="Left">&nbsp;<B>          3200*200          Profile Tota
  </B> &nbsp;</TD>
  <TD>&nbsp;<B>          269
  </B> &nbsp;</TD>
  <TD ALIGN="Center">&nbsp;<B>          Concret***
  </B> &nbsp;</TD>
  <TD>&nbsp;<B>          5642419
  </B> &nbsp;</TD>
  <TD>&nbsp;<B>          8666756.2
  </B> &nbsp;</TD>
```

Figura 61: resultados de tecla estructura máxima sección

Fuente: elaboración propia

Se muestra en la figura 61, la sección máximo del resultado que brinda el programa teckla structure.

V. DISCUSIONES

Discusión 1: El estudio ha evidenciado que aplicar la técnica de "recocido simulado" es una solución eficaz para optimizar vigas curvas en edificios altos. Esta metodología facilita la adaptación de parámetros geométricos y de materiales con el objetivo de maximizar la resistencia estructural y reducir el peso, alcanzando así una disposición óptima según las condiciones de carga particulares.

Discusión 2: Los resultados generados por los programas ETABS y SAFE fueron comparables entre ellos, pero mostraron diferencias respecto a los obtenidos con Tekla Structures. Esta variación sugiere que los programas comerciales utilizan métodos de interpolación distintos en comparación con las funciones de forma convencionales empleadas.

Discusión 3: El detallado modelado arquitectónico, realizado con herramientas como SketchUp y Tekla Structures, fue fundamental para apreciar la organización espacial y las relaciones entre los distintos componentes estructurales. Esta etapa resultó en la identificación de posibles inconvenientes y permitió la optimización del diseño antes de llevar a cabo el análisis numérico definitivo.

Discusión 4: El estudio del comportamiento dinámico de las vigas curvas demostró que la elección precisa del diámetro y la longitud de estas vigas es fundamental para alcanzar un modo de vibración adecuado. La forma geométrica y las propiedades de los materiales desempeñan un papel importante en la respuesta dinámica de la estructura frente a las cargas sísmicas.

Discusión 5: La obtención de datos exactos sobre la geometría y las propiedades mecánicas fue crucial para la calibración de los modelos numéricos. Esto abarcó la medición precisa de las dimensiones y características del material, lo que facilitó una representación precisa y un análisis exhaustivo de la estructura.

VI. CONCLUSIONES

Conclusión 1: La metodología de "simulated annealing" resultó ser extremadamente efectiva para la optimización de vigas curvas, alcanzando un balance ideal entre la resistencia estructural y el peso. Esto es especialmente importante en edificaciones de gran altura.

Conclusión 2: Los modelos numéricos ajustados con datos experimentales demostraron ser precisos y valiosos para el análisis estructural, ofreciendo resultados fiables que son aplicables en la práctica de la ingeniería.

Conclusión 3: El empleo de herramientas sofisticadas para el modelado arquitectónico y estructural ha mejorado significativamente la habilidad para analizar y perfeccionar el comportamiento dinámico de la estructura.

Conclusión 4: Los resultados de este estudio aportan a la mejora de la seguridad estructural en edificios de gran altura, especialmente en áreas sísmicas, al emplear métodos avanzados de optimización y modelado.

Conclusión 5: La recolección minuciosa de datos geométricos y mecánicos es esencial para el éxito del modelado y análisis estructural, ya que facilita ajustes precisos y garantiza resultados fiables.

VII. RECOMENDACIONES

Recomendación 1: Usa técnicas avanzadas de modelamiento numérico para maximizar resistencia y minimizar peso de vigas no lineales.

Recomendación 2: Implementa materiales compuestos para mejorar la rigidez, resistencia a la fatiga y la corrosión en vigas curvas.

Recomendación 3: Considera efectos de flexibilidad por corte y distorsión seccional en el análisis estructural para una evaluación precisa

Recomendación 4 Define el comportamiento dinámico estructural considerando radio de curvatura, sección transversal, diámetro y longitud de las vigas.

Recomendación 5: Emplea algoritmos de optimización matemática para diseñar automáticamente estructuras de vigas curvas eficientemente.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

CHEN, Guimin, Fulei Ma, Guangbo Hao y Weidong Zhu. *Modeling Large Deflections of Initially Curved Beams in Compliant Mechanisms Using Chained Beam Constraint Model*. En línea. *Journal of Mechanisms and Robotics*, vol. 11 (noviembre de 2018), n.º 1. ISSN 1942-4310. Disponible en: <https://bit.ly/48WFesC>

POLIT O., Anant C., Anirudh B. y Ganapathi M. *Functionally graded graphene reinforced porous nanocomposite curved beams: Bending and elastic stability using a higher-order model with thickness stretch effect*. En línea. *Composites Part B: Engineering*, vol. 166 (junio de 2019), pp. 310–327. ISSN 1359-8368. Disponible en: <https://bit.ly/3Qkcxim>

YANG, Yeong Bin y Kuo, Shyh Rong. *Effect of Curvature on Stability of Curved Beams*. En línea. *Journal of Structural Engineering*, vol. 113 (junio de 1987), n.º 6, pp. 1185–1202. ISSN 1943-541X. Disponible en: <https://bit.ly/46OKvRb>

KOLOZVARI, Kristijan, Vesna Terzic, Miller Ross y Saldana, Daniel. *Assessment of dynamic behavior and seismic performance of a high-rise rc coupled wall building*. En línea. *Engineering Structures*, vol. 176 (diciembre de 2018), pp. 606–620. ISSN 0141-0296. Disponible en: <https://bit.ly/3PUv57j>

ZHANG, Chunwei, Gholamreza Gholipour y Asma Alsadat Mousavi. *Nonlinear dynamic behavior of simply-supported beams subjected to combined impact-blast loading*. En línea. *Engineering Structures*, vol. 181 (febrero de 2019), pp. 124–142. ISSN 0141-0296. Disponible en: <https://bit.ly/3M3F1dk>

MODESTO MONEDERO, María Cristina. *Análisis del desarrollo formal en la edificación en altura mediante la simulación fluidodinámica de la acción del viento (cfd)*. en línea. *evolución de los edificios en altura después del periodo icónico*, [2018]. disponible en: <https://bit.ly/3ZXlpxq>

ALBERTO CARDONA, Paul, Kohan, Ricardo y Quinteros, Mario. *Diseño óptimo de vigas curvas construidas con material compuesto*. En línea. *Asociación Argentina de*

Mecánica Computacional, Vol XXX (noviembre de 2012), pp. 3481–3499. ISSN 2591-3522. Disponible en: <https://bit.ly/3tAiE9n>

CABALLERO, Mihdi. *Análisis de solicitaciones y deformaciones en vigas curvas*. En línea. Universidad de la República, 2014. Disponible en: <https://bit.ly/46QQHrX>

PINTO VEGA, Francisco J. y Ledezma Christian. *Interacción suelo-estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago, Chile*. En línea. Obras y proyectos, 2019, n.º 25, pp. 66–75. ISSN 0718-2813. Disponible en: <https://bit.ly/46whtX0>

BERLANA MONTES, Jorge. *estudio de edificios altos rigidizados por fachada tubular con o sin núcleo central resistente*. en línea. madrid: universidad politécnica de madrid, 2019. disponible en: <https://bit.ly/3rRRgDa>

VERAA Carlos A., Piovan Marcelo T., y Cortínez Víctor H. *Validación computacional de modelos de vigas de materiales compuestos con secciones de paredes delgadas*. En línea, Centro de Investigaciones de Mecánica Teórica y Aplicada, Universidad Tecnológica Nacional, 11 de abril 2007, Bahía Blanca, Argentina, disponible en: <https://bit.ly/3ZWWmdL>

MINGJUN, Ji y Huanwen Tang. *Application of chaos in simulated annealing*. En línea. Chaos, Solitons & Fractals, vol. 21 (agosto de 2004), n.º 4, pp. 933–941. ISSN 0960-0779. Disponible en: <https://bit.ly/3FhPz4T>

GOODIER, J. N. y Timoshenko S. *Elasticity and plasticity.: The mathematical theory of elasticity*. En línea. New York: Wiley, 1958. Disponible en: <https://onx.la/ba5eb>

CAUAS, Daniel. Definición de las variables, enfoque y tipo de investigación. *Bogotá: biblioteca electrónica de la universidad Nacional de Colombia*, 2015, vol. 2, p. 1-11. Disponible en:

PASTOR, B.F.R., 2019. Población y muestra. *PUEBLO CONTINENTE* [en línea], vol. 30, n°. 1, [consulta: 27 noviembre 2023]. ISSN 1991-5837. Disponible en: <http://journal.upao.edu.pe/PuebloContinente/article/view/1269/0>.

GONZÁLEZ, Elena Labajo. El método científico. *Revista de la Universidad de Costa Rica*, 2016, p. 165-169. Disponible en: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/107-2016-02-17-EI%20M%C3%A9todo%20Cient%C3%ADfico.pdf>

REIDL-MARTÍNEZ, LM, 2013. Confiabilidad en la medición. *Investigación en educación médica* [en línea], vol. 2, núm. 6, [consulta: 6 diciembre 2023]. ISSN 2007-865X. DOI 10.1016/s2007-5057(13)72695-4. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-50572013000200007.

ANEXOS

Anexo N° 1. Matriz de Consistencia

“Vigas de Geometría no lineal en torres de gran altura y optimo comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico”

Autor: De La Rosa Santos Keiko Daniela

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>PROBLEMA PRINCIPAL</p> <p>¿Cómo el modelamiento numérico podría determinar el óptimo comportamiento dinámico de vigas de geometría no lineal en torres de gran altura?</p>	<p>OBJETIVO PRINCIPAL</p> <p>Determinar el óptimo comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico de vigas de geometría no lineal en torres de gran altura.</p>	<p>HIPOTESIS ÚNICA</p> <p>El modelamiento numérico determina el óptimo comportamiento dinámico estructural de vigas de geometría no lineal en torres de gran altura.</p>	<p>VC: Vigas de geometría no lineal.</p>	<p>Dimensiones geométricas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud (m) • Sección (m2) 	<p>• METODO DE INVESTIGACION: Científico lógico deductivo</p> <p>• DISEÑO DE INVESTIGACION: Descriptivo $M \rightleftharpoons O$ M: Muestra O: Observación</p> <p>• TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada</p> <p>• NIVEL DE INVESTIGACIÓN Cuantitativo - descriptivo</p> <p>• POBLACIÓN</p> <p>• MUESTRA</p> <p>• TECNICAS DE OBTENCION DE DATOS: Fuentes primarias: Observación Fuentes secundarias: Textos, tesis, formatos de control, fichas.</p> <p>• TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE DATOS: a través de software de simulación y análisis</p>
<p>PROBLEMA SECUNDARIO N.º 1</p> <p>¿Considerando un radio de curvatura adecuado de las vigas de geometría no lineal, se podría definir el comportamiento dinámico estructural?</p>	<p>OBJETIVO SECUNDARIO N.º 1</p> <p>Definir el comportamiento dinámico estructural considerando un radio de curvatura adecuado de las vigas de geometría no lineal</p>					
<p>PROBLEMA SECUNDARIO N.º 2</p> <p>¿La sección de las vigas no lineales sometidas a cargas dinámicas, puede determinar un adecuado comportamiento dinámico estructural?</p>	<p>OBJETIVO SECUNDARIO N.º 2</p> <p>Determinar un adecuado comportamiento dinámico estructural, según la sección de las vigas no lineales, sometidas a cargas dinámicas.</p>		<p>VU: Comportamiento dinámico estructural.</p>	<p>Esfuerzos físicos y mecánicos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tensión • Deformación • Flexión • Corte • Compresión • Torsión • Fatiga • Estabilidad 	
<p>PROBLEMA SECUNDARIO N.º 3</p> <p>¿El Diámetro y la longitud de la viga no lineal, interfiere para lograr un adecuado modo de vibración específico?</p>	<p>OBJETIVO SECUNDARIO N.º 3</p> <p>Lograr un adecuado modo de vibración específico, evaluando el Diámetro y la longitud de la viga no lineal.</p>					

Anexo N° 2. Matriz de operalización

“Vigas de Geometría no lineal en torres de gran altura y optimo comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico”

Autor: De La Rosa Santos Keiko Daniela

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
<p>Única</p> <p>Comportamiento dinámico estructural.</p>	<p>El comportamiento dinámico estructural, se basa en la conducta estructural registrada en terremotos anteriores, ha sido utilizada para ajustar los estándares de diseño sísmico E030 y E070 de albañilería. A pesar de esto, la adaptación de las construcciones a las normativas actuales está en una fase inicial, lo que resulta en la creación de edificaciones con un desempeño sísmico deficiente. Quiun, y Silva, 2018, p. 151</p>	<p>Se determina mediante el uso de técnicas de análisis que involucran el modelado numérico y la resolución de ecuaciones de movimiento. Empieza con el modelado estructural, se derivan ecuaciones en movimiento, discretización numérica, condiciones iniciales y cargas, resolución numérica, análisis de resultados.</p>	<p>Esfuerzos físicos y mecánicos</p>	<p>Tensión Deformación Flexión Corte Compresión Torsión Fatiga estabilidad</p>	<p>Razón</p>
<p>Compuesta</p> <p>Vigas de geometría no lineal.</p>	<p>Los elementos sujetos a flexión no adoptan siempre una forma recta. En situaciones como la de los ganchos de grúas, la línea media de la barra puede ser curva. Cuando la curvatura es pronunciada, es decir, con un radio de curvatura pequeño, la deformación debida a los esfuerzos difiere de la predicha por la fórmula de flexión estándar. Navarrete C. (2020) p.1</p>	<p>El análisis de vigas con geometría no lineal implica considerar deformaciones grandes y/o cambios significativos en la geometría de la viga. Este tipo de análisis se realiza mediante análisis de estado limite, método de Newton-Raphson, análisis incremental de cargas, modelado de material no lineal.</p>	<p>Dimensiones geométricas</p>	<p>Longitud sección</p>	<p>Razón</p>

Anexo N° 3. Formato para validación de expertos

Quien les suscribe Luis Villar Requis Carbajal CIP N°76748, con grado de magister y profesión ingeniero civil desempeñando actualmente en la institución y/o empresa universidad cesar vallejo hago constar que se ha revisado con fines de validación los procesos de modelado, para efectos de su aplicación en la elaboración de la tesis titulada: **Vigas de Geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico.**

Que luego de haber realizado las revisiones pertinentes, puedo formular los siguientes aspectos de evaluación:

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20%	Regular 21% - 40%	Bueno 41% - 60%	Muy bueno 61% - 80%	Excelente 81% - 100%
Objetividad	El procedimiento esta expresado de una forma clara y específica.				X	
Organización	Existe una organización lógica del procedimiento.					X
Consistencia	Tiene la base teórica y científica que respalda.			X		
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones.				X	
Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación.				X	

- (X) Los procedimientos son aplicable en su totalidad
() Los procedimientos, luego de corregir.
() Los procedimientos no reúnen los requisitos para ser aplicable

Promedio de valoración **80%**

Fecha: 13 de diciembre de 2023


Luis Villar REQUIS CARBAJAL
INGENIERO CIVIL
C.I.P. N° 76748

Firma del experto

Anexo N° 3. Formato para validación de expertos

Quien les suscribe LEOPOLDO CHOCQUE FLORES CIP N° 184345, con grado de DOCTOR y profesión ING. CIVIL desempeñando actualmente JEFE en la institución y/o empresa UCU hago constar que se ha revisado con fines de validación los procesos de modelado, para efectos de su aplicación en la elaboración de la tesis titulada: **Vigas de Geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico.**

Que luego de haber realizado las revisiones pertinentes, puedo formular los siguientes aspectos de evaluación:

Indicadores	Criterios	Deficiente 0 - 20%	Regular 21% - 40%	Bueno 41% - 60%	Muy bueno 61% - 80%	Excelente 81% - 100%
Objetividad	El procedimiento esta expresado de una forma clara y específica.					X
Organización	Existe una organización lógica del procedimiento.					X
Consistencia	Tiene la base teórica y científica que respalda.				X	
Coherencia	Entre los índices, indicadores y las dimensiones.					X
Metodología	La estrategia responde al propósito de la investigación.					X

- (X) Los procedimientos son aplicable en su totalidad
 () Los procedimientos, luego de corregir.
 () Los procedimientos no reúnen los requisitos para ser aplicable

Promedio de valoración 26%

Fecha: 13 de diciembre de 2023



 Firma del experto

Anexo N° 4. Cuestionario de validación de instrumentos

Título de la tesis:	"Vigas de Geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico"
Nombre del autor:	De La Rosa Santos Keiko Daniela
Nombre del experto:	Luis Villar Requis Carbajal
Grado del experto:	Magister en ingeniería civil

Indicaciones:

En el presente documento es un cuestionario de múltiples alternativas y su aplicación será de utilidad para mi investigación, es por ello pido su colaboración:

Indique su grado de acuerdo marcando un aspa "X" la respuesta a las siguientes alternativas que considere conveniente según su punto de vista, de acuerdo a las escalas presentadas:

1. Muy poco	2. Poco	3. Regular	4. Aceptable	5. Muy aceptable
-------------	---------	------------	--------------	------------------

N°	Procesos	Indicadores a evaluar	Puntaje				
			1	2	3	4	5
1	longitud	En base a su conocimiento y experiencia ¿la longitud de una viga interviene en gran manera su resistencia?				X	
2	sección	En base a su conocimiento y experiencia ¿la sección de una viga curva puede ser igual a la de una viga lineal?					X
3	Tensión	En base a su conocimiento y experiencia ¿En una viga curva, la tensión puede variar a medida que nos movemos a lo largo de la curvatura?				X	
4	Deformación	En base a su conocimiento y experiencia ¿la curvatura de una viga afecta al perfil de deformación a lo largo de su longitud?					X
5	Flexión	En base a su conocimiento y experiencia ¿afecta la curvatura de una viga a su capacidad para resistir momentos flexores?					X
6	resistencia	En base a su conocimiento y experiencia ¿la geometría de la viga curva influye en su resistencia a momentos flexores?					X
7	estabilidad	En base a su conocimiento y experiencia ¿la curvatura de una viga afecta a su estabilidad estructural en comparación con una viga recta?					X
8	Radio de curvatura	En base a su conocimiento y experiencia ¿el radio de curvatura de una viga interfiere con el tiempo de durabilidad?				X	
9	Vibración	En base a su conocimiento y experiencia ¿es necesario evaluar y analizar el porcentaje de vibración que se genera y la reacción de la edificación ante sucesos de sismos?				X	
10	Efectos físicos	En base a su conocimiento y experiencia ¿para edificaciones de gran altura, es necesario evaluar y analizar efectos físicos como el viento?					X
		TOTAL	46				

Observaciones:

07 de diciembre de 2023



Luis Villar REQUIS CARBAJAL
INGENIERO CIVIL
C.I.P. N° 76748

Firma del experto
DNI: 04067813
CIP N° 76748

Anexo N° 4. Cuestionario de validación de instrumentos

Título de la tesis:	"Vigas de Geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico"
Nombre del autor:	De La Rosa Santos Keiko Daniela
Nombre del experto:	DR. LEOPOLDO CHOCQUE FLORES
Grado del experto:	DOCTOR

Indicaciones:

En el presente documento es un cuestionario de múltiples alternativas y su aplicación será de utilidad para mi investigación, es por ello pido su colaboración:


Indique su grado de acuerdo marcando un aspa "X" la respuesta a las siguientes alternativas que considere conveniente según su punto de vista, de acuerdo a las escalas presentadas:

1. Muy poco	2. Poco	3. Regular	4. Aceptable	5. Muy aceptable
-------------	---------	------------	--------------	------------------

N°	Procesos	Indicadores a evaluar	Puntaje				
			1	2	3	4	5
1	longitud	En base a su conocimiento y experiencia ¿la longitud de una viga interviene en gran manera su resistencia?					X
2	sección	En base a su conocimiento y experiencia ¿la sección de una viga curva puede ser igual a la de una viga lineal?					X
3	Tensión	En base a su conocimiento y experiencia ¿En una viga curva, la tensión puede variar a medida que nos movemos a lo largo de la curvatura?					X
4	Deformación	En base a su conocimiento y experiencia ¿la curvatura de una viga afecta al perfil de deformación a lo largo de su longitud?				X	
5	Flexión	En base a su conocimiento y experiencia ¿afecta la curvatura de una viga a su capacidad para resistir momentos flexores?				X	
6	resistencia	En base a su conocimiento y experiencia ¿la geometría de la viga curva influye en su resistencia a momentos flexores?					X
7	estabilidad	En base a su conocimiento y experiencia ¿la curvatura de una viga afecta a su estabilidad estructural en comparación con una viga recta?					X
8	Radio de curvatura	En base a su conocimiento y experiencia ¿el radio de curvatura de una viga interfiere con el tiempo de durabilidad?				X	
9	Vibración	En base a su conocimiento y experiencia ¿es necesario evaluar y analizar el porcentaje de vibración que se genera y la reacción de la edificación ante sucesos de sismos?					X
10	Efectos físicos	En base a su conocimiento y experiencia ¿para edificaciones de gran altura, es necesario evaluar y analizar efectos físicos como el viento?				X	

Observaciones:

fecha: 07 de diciembre de 2023


 Firma del experto
 DNI: 42289035
 CIP N° 184345

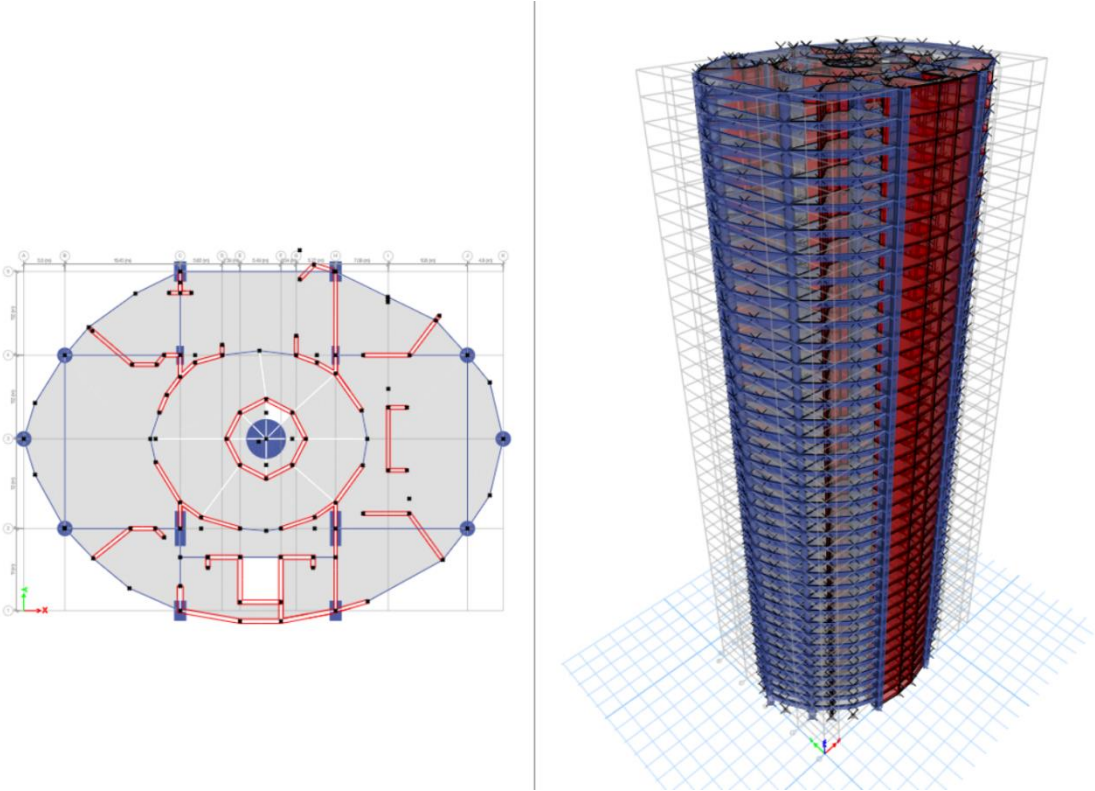
Anexo N° 5 Diseño Arquitectónico 3D - SKETCHUP



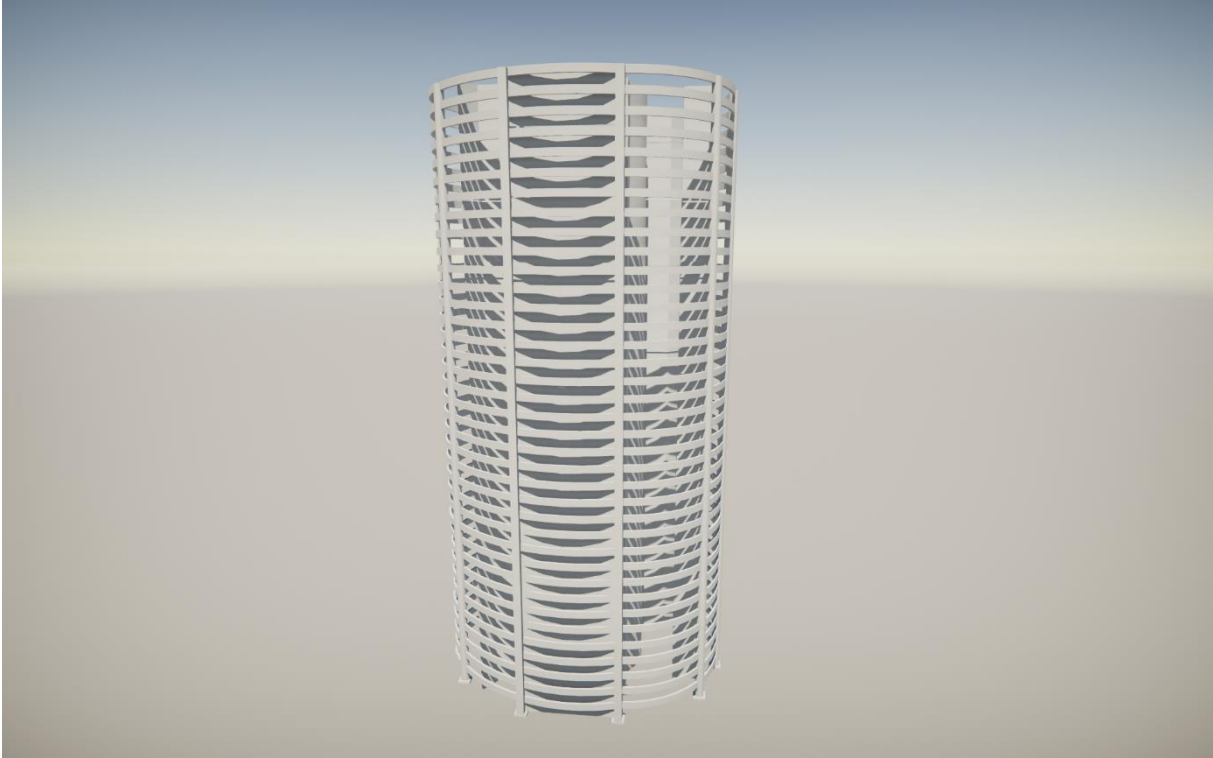
Anexo N° 6 Diseño Arquitectónico 3D – Renderizado



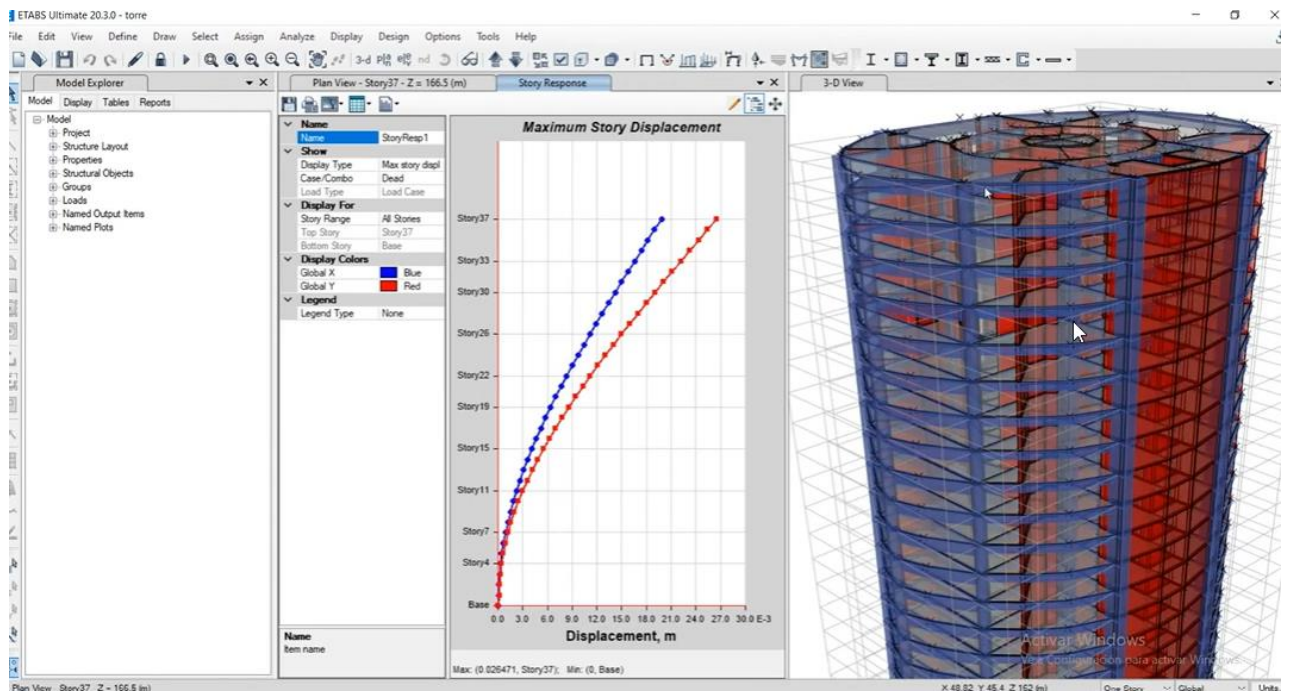
Anexo N° 7 Comportamiento dinámico - ETAPS



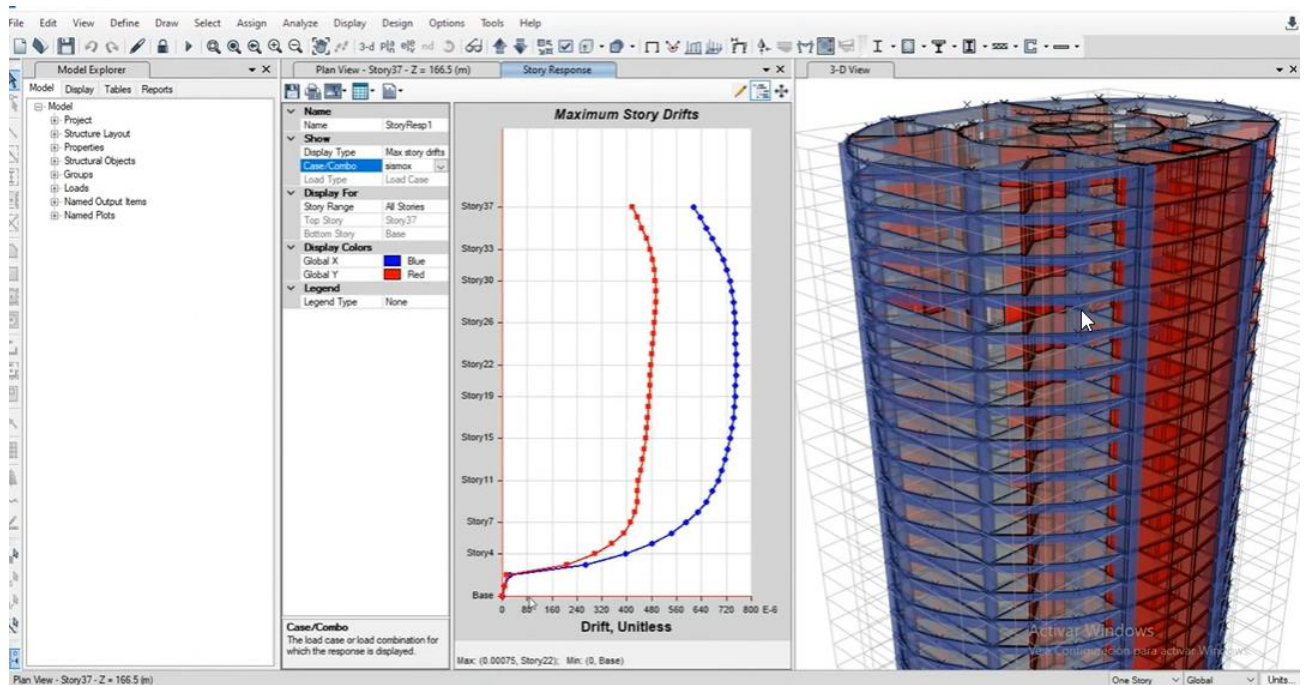
Anexo N° 8 Análisis estructural – TEKLA STRUCTURE



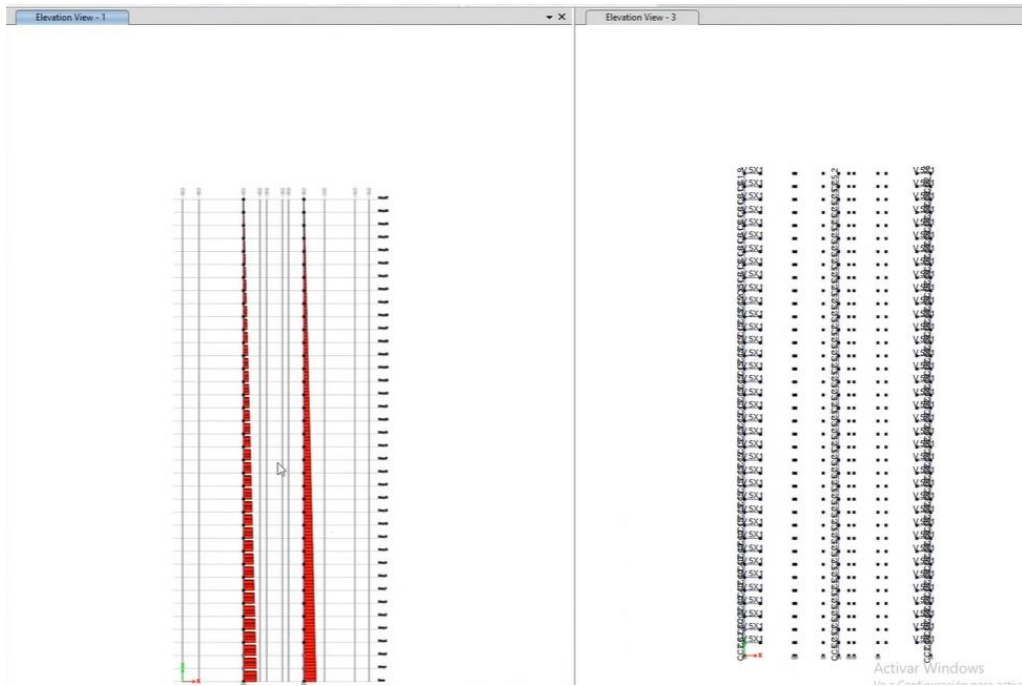
Anexo N° 9 STORY REPOSE PLOTS



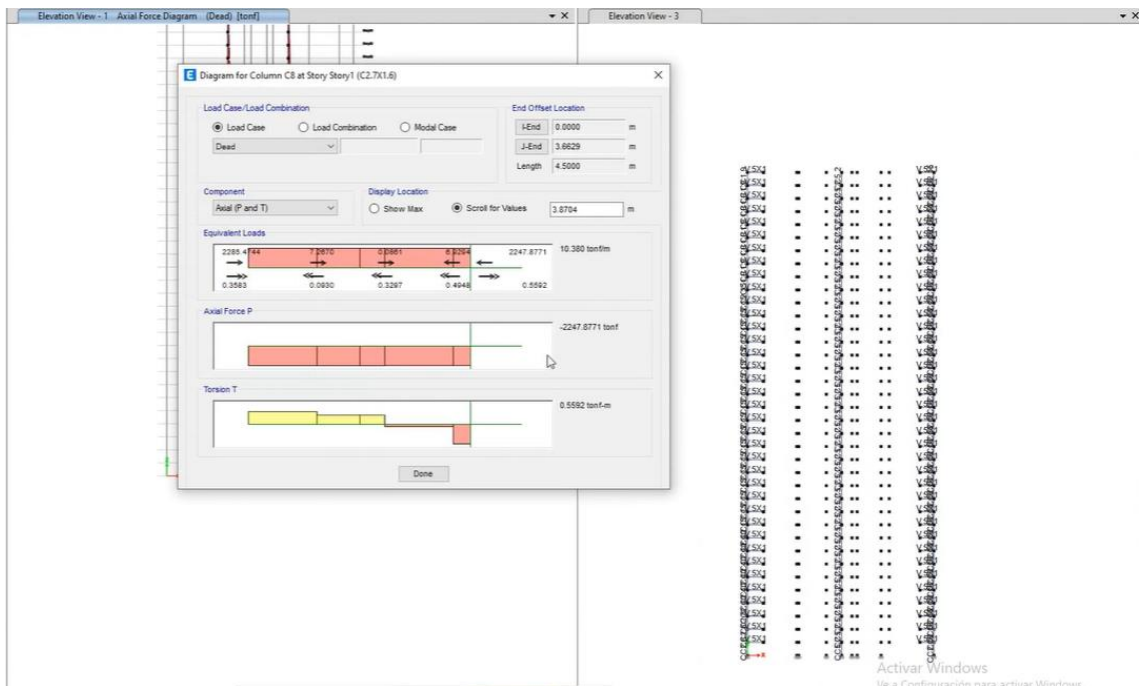
Anexo N° 10 STORY REPOSE PLOTS



Anexo N° 11 ELEVATION



Anexo N° 12 DIAGRAM FOR COLUMN




Índice de similitud del programa de Turnitin - Reporte de Trilce

Feedback Studio - Google Chrome
evturnitin.com/app/calls/es/?o=2420932719&lang=es&e=1&u=1088032488&ro=103

feedback studio KEIKO DANIELA DE LA ROSA SANTOS Vigas de geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelam... /100 1 de 36

1



UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Vigas de Geometría no lineal en torres de gran altura y evaluación del comportamiento dinámico estructural por modelamiento numérico

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORES:
De La Rosa Santos Keiko Daniela (<https://orcid.org/0000-0002-4867-0762>)

ASESOR:
M.Sc./Clemente Condon, Luis Jimmy (<https://orcid.org/0000-0002-0250-4363>)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
Diseño Sísmico y Estructural

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:
Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

LIMA - PERÚ
2024

Resumen de coincidencias X

19 %

Se están viendo fuentes estándar

Ver Fuentes en inglés

Coincidencias

1	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	14 %
2	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	1 %
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1 %
4	ingenieriacivil.cedexes Fuente de Internet	1 %
5	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
6	repositorio.usp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
7	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1 %
8	vsp.info Fuente de Internet	<1 %
9	link.springer.com Fuente de Internet	<1 %
10	Entregado a Universidad... Trabajo del estudiante	<1 %
11	www.semanticscholar... Fuente de Internet	<1 %

Página: 1 de 103 Número de palabras: 19964 Versión solo texto del informe Alta resolución Activada 07:27 25/07/2024