UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL

Tema: Diseño sismorresistente de un edificio de 4 plantas en estructura metálica con un subsuelo en hormigón armado ubicado en la ciudad de Quito

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del título de cuarto nivel de Magister en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyecto de Titulación con componentes de investigación aplicada y/o de desarrollo.

Autor: Ing. Roberto Sebastián Quintana Vásconez

Director: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

Ambato – Ecuador

2024

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El Tribunal receptor de la defensa del Trabajo de Titulación, presidido por: Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg., e integrado por los señores: Ing. Fabián Rodrigo Fiallos Morales, Mg., e Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, M. Sc., designados por la Unidad Académica de Titulación de Posgrados de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para receptar el Trabajo de Titulación con el tema: "DISEÑO SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO DE 4 PLANTAS EN ESTRUCTURA METÁLICA CON UN SUBSUELO EN HORMIGÓN ARMADO UBICADO EN LA CIUDAD DE QUITO" elaborado y presentado por el señor Ing. Roberto Sebastián Quintana Vásconez, para optar por el Titulo de cuarto nivel de Magíster en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras Metálicas; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Wilson Santiago Medina Robalino, Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal

Ing. Fabián Rodrigo Fiallos Morales, Mg.
Miembro del Tribunal

Ing. Lourdes Gabriela Peñafiel Valla, M. Sc.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: "DISEÑO SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO DE 4 PLANTAS EN ESTRUCTURA METÁLICA CON UN SUBSUELO EN HORMIGÓN ARMADO UBICADO EN LA CIUDAD DE QUITO", le corresponde exclusivamente a: Ing. Roberto Sebastián Quintana Vásconez, Autor bajo la Dirección del Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg., Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Roberto Sebastián Quintana Vásconez

c.c.:1804597316

AUTOR

Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

c.c.:1803605540

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Roberto Sebastián Quintana Vásconez

c.c.:1804597316

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA i
A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
ÍNDICE GENERAL v
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES x
AGRADECIMIENTO xii
DEDICATORIA xiii
RESUMEN EJECUTIVO xiv
EXECUTIVE SUMMARY xvi
CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 1
1.1. Introducción 1
1.2. Justificación 2
1.3. Objetivos 2
1.3.1. General 2
1.3.2. Específicos 3
CAPITULO II MARCO TEÓRICO 4
2.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 4
2.2. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA 8
2.2.1. Importancia del diseño sismorresistente en zonas sísmicas 8

2.2.2. Normas y códigos de diseño sismorresistente aplicados 9
2.2.3. Acero como material de construcción 10
2.2.4. Sistemas estructurales sismorresistentes 11
2.2.5. Diseño sismorresistente de elementos estructurales 13
2.2.6. Unión viga – columna 29
2.2.7. Conexiones 30
2.2.8. Conexiones precalificadas ANSI/AISC 358 30
2.2.9. Consideraciones de diseño de juntas de pórticos resistentes a momento. ... 44
CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO 46
3.1. Ubicación 46
3.2. Equipos y materiales 46
3.2.1. Equipos 46
3.2.2. Materiales 47
3.3. Tipo de investigación 47
3.4. Población o muestra: 48
3.5. Prueba de Hipótesis 48
3.6. Recolección de información: 48
3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico: 49
CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN 50
4.1. Memoria de cálculo 50
4.1.1. Datos de la estructura: 50
4.1.2. Cargas aplicadas en la estructura: 50
4.1.3. Estudio geotécnico 50

4.1.4. Zona sísmica: 51
4.1.5. Coeficientes sísmicos de los suelos: 51
4.1.6. Amplificación espectral, η: 51
4.1.7. Asignación de espectro de respuesta: 51
4.1.8. Determinación del período de vibración T_a (método 1, NEC – SE – DS 2015, sección 6.3.3.): 53
4.1.9. Período de vibración de la estructura modelada: 54
4.1.10. Período límite de vibración de la estructura T_0 y T_c: 54
4.1.11. Aceleración espectral, Sa: 55
4.1.12. Cortante basal de diseño, V: 55
4.1.13. Coeficiente relacionado con el periodo de vibración de la estructura: 55
4.1.14. Asignación de losa con placa colaborante: 55
4.1.15. Modelación de la estructura: 56
4.1.16. Validación del cortante basal estático y dinámico: 57
4.1.17. Derivas de piso: 58
4.1.18. Forma de desplazamiento de la estructura: 59
4.2. Revisión de piso flexible 60
4.3. Verificación de la relación demanda/capacidad del pórtico analizado de vigas y columnas 61
4.4. Diseño de placa base en software ingenieril. 61
4.5. Diseño de conexión RBS en software ingenieril. 63
4.6. Diseño de conexión a corte en software ingenieril. 65
CAPÍTULO V CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA, ANEXOS 67

5.1. Conclusiones 67

5.2. Recomendaciones 68

5.3. Bibliografía 69

5.4. Anexos 74

CAPÍTULO VI PROPUESTA 116

6.1. Título 116

6.2. Descripción 116

6.2.1. Problemática 116

6.2.2. Justificación 116

6.2.3. Antecedentes 117

6.3. Objetivos 118

6.3.1. Objetivo General 118

6.3.2. Objetivos Específicos 118

6.4. Desarrollo de la propuesta 118

6.4.1. Investigación preliminar 118

6.4.2. Diseño experimental 118

6.4.3. Pruebas experimentales 119

6.4.4. Análisis de resultados 119

6.4.5. Desarrollo de conclusiones 119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de diseño para espectro de diseño. 53
Tabla 2. Cortante estático para SISX y SISY. 57
Tabla 3. Cortante dinámico para ESPECX. 57
Tabla 4. Cortante dinámico para ESPECY 57
Tabla 5. Derivas estáticas en dirección X. 58
Tabla 6. Derivas estáticas en dirección y. 58
Tabla 7. Derivas dinámicas en dirección x. 59
Tabla 8. Derivas dinámicas en dirección y. 59
Tabla 9. Participación de la masa modal. 59
Tabla 10. Rigidez de entrepiso por Sismo X. 60
Tabla 11. Rigidez de entrepiso por Sismo Y. 61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Pórticos Ordinarios a Momento. 11
Ilustración 2. Pórtico Intermedio a Momento. 12
Ilustración 3. Pórtico Especial a Momento. 12
Ilustración 4. Zonas esperadas de deformación inelásticas. 12
Ilustración 5. Geometría del pórtico estudiado. 13
Ilustración 6. Carga sísmica reactiva asignada 15
Ilustración 7. Modos de vibración asignados 16
Ilustración 8. Efectos P-delta basados en masa 18
Ilustración 9. Asignación de brazos rígidos. 19
Ilustración 10. Perfil tipo I Viga T1 19
Ilustración 11. Soportes laterales de la viga principal. 21
Ilustración 12. Perfil tipo I que forma la cruciforme Columna C1 23
Ilustración 13. Relación ancho - espesor para elementos a compresión de moderada y alta ductilidad 24
Ilustración 14. Valores recomendados para el factor de longitud efectiva. 25
Ilustración 15. Gráfico de alineación—desplazamiento lateral permitido 25
Ilustración 16. Localización de rótulas plásticas en vigas con diferente tipo de conexiones. 30
Ilustración 17. Secciones de columnas armadas. 32
Ilustración 18. Conexión con viga de sección reducida 32
Ilustración 19. Ejemplo de una conexión con viga de sección reducida. 33
Ilustración 20. Detalle de la conexión viga - columna 35
Ilustración 21. DCL entre el centro de la RBS y la cara de la columna. 38
Ilustración 22. DCL conexión viga - columna. 40
Ilustración 23. Propiedades de Clasificación de Metales de Aporte para Soldaduras en Sistemas Resistentes a Fuerzas Sísmicas. 45
Ilustración 24. Propiedades Mecánicas para Soldaduras Críticas por Demanda. 45
Ilustración 25. Ubicación del proyecto 46
Ilustración 26. Espectro de diseño según NEC 2015 52

Ilustración 27. Período de vibración obtenida de software 54
Ilustración 28. Propiedades geométricas y mecánicas de la losa con placa colaborante. 56
Ilustración 29. Estructura modelada. 56
Ilustración 30. Demanda/capacidad del pórtico analizado. 61
Ilustración 31. Modelado de placa base. 62
Ilustración 32. Tensión equivalente de la placa base. 63
Ilustración 33. Modelado de la conexión RBS 63
Ilustración 34. Tensión equivalente de la conexión RBS. 64
Ilustración 35. Modelado de la conexión a corte. 65
Ilustración 36. Tensión equivalente de conexión a corte. 66

AGRADECIMIENTO

Mi más profundo reconocimiento a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y a la Universidad Técnica de Ambato, por brindarme las herramientas y el entorno necesario para mi desarrollo académico y profesional. Su compromiso con la formación de profesionales es una fuente constante de inspiración.

De manera especial, quiero agradecer al Ing. Francisco Peña, mi docente tutor, por su guía y apoyo durante este proceso. Sus conocimientos y consejos fueron clave para la culminación de este trabajo.

Asimismo, extiendo mi gratitud a las autoridades del Centro de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y a los docentes del programa de maestría, por su gestión, respaldo y conocimientos a lo largo de este camino académico.

Finalmente, gracias a todos por formar parte de este importante capítulo de mi carrera. Estoy profundamente agradecido por el apoyo incondicional y por haberme acompañado en esta travesía.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi inspiración en cada paso de esta travesía. Sin su luz y su amor incondicional, este sueño no habría sido posible.

A mis padres, Roberto y Rocío, quienes con su sacrificio, amor y apoyo me han dado las bases para llegar hasta aquí. Todo lo que soy y he logrado se lo debo a ustedes, son mi mayor ejemplo de esfuerzo y superación.

A mi hermana Andrea y a mi cuñado Esteban, por su apoyo constante y por estar siempre a mi lado. Saber que puedo contar con ustedes ha sido un gran aliciente durante este camino.

A mi enamorada, María José, por ser mi compañera, por su paciencia, comprensión y por siempre creer en mí, incluso en los momentos más difíciles. Tu amor me ha impulsado a seguir adelante.

A mis sobrinos, Joaquín, Jeremías y Agustín, que con sus sonrisas y alegría llenan mi vida de luz. Que este logro les sirva de inspiración para que, cuando llegue el momento, también luchen por sus sueños con todo su corazón.

A mis amigos, quienes han estado presentes a lo largo de este camino, apoyándome en los momentos más difíciles y celebrando conmigo cada pequeño avance.

Así como en mi tesis de grado, a la Ing. Jacqueline Camino, una gran docente que siempre creyó en mí y cuya memoria sigue viva en mi corazón. Su confianza y sus enseñanzas me acompañarán siempre. Este logro es también un homenaje a su legado.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS

TEMA:

"DISEÑO SISMORRESISTENTE DE UN EDIFICIO DE 4 PLANTAS EN ESTRUCTURA METÁLICA CON UN SUBSUELO EN HORMIGÓN ARMADO UBICADO EN LA CIUDAD DE QUITO"

MODALIDAD DE TITULACIÓN: Proyecto de Titulación con componentes de Investigación Aplicada y/o de Desarrollo.

AUTOR: Ing. Roberto Sebastián Quintana Vásconez

DIRECTOR: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

FECHA: Doce de septiembre del 2024

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación aborda el diseño estructural de un proyecto en una zona de alta actividad sísmica, con especial atención en los aspectos relacionados con la seguridad sísmica y el cumplimiento de las normativas vigentes tales como la AISC 341, AISC 360, AISC 358, NEC 2015 y ASCE 7-16. Basado en estudios geotécnicos previos, se realizó un análisis detallado de las condiciones del suelo y las cargas esperadas, con el fin de garantizar una base sólida para la estructura. Este análisis permitió identificar los parámetros sísmicos necesarios para adaptar el diseño estructural a las características específicas del terreno y asegurar la estabilidad ante movimientos sísmicos.

En el desarrollo del proyecto, se utilizaron programas especializados para realizar el modelado estructural. A través de estos softwares, se lograron simular de manera precisa las cargas sísmicas, analizando tanto los esfuerzos como las deformaciones que la estructura podría experimentar. De esta forma, se optimizó el comportamiento estructural, garantizando una adecuada distribución de los esfuerzos y minimizando las derivas y desplazamientos laterales en cada nivel.

Los resultados obtenidos mostraron un comportamiento robusto de la estructura ante las exigencias sísmicas del lugar, destacando la implementación de columnas metálicas en sección cruciforme. Esta solución estructural permitió maximizar la eficiencia de la edificación, aprovechando su elevada inercia, lo cual es esencial para resistir cargas laterales.

Finalmente, la validación de los parámetros de diseño demostró el cumplimiento de los requisitos establecidos por las normativas sismorresistentes, asegurando la capacidad del edificio para soportar las demandas sísmicas previstas sin comprometer su seguridad ni funcionalidad. Este enfoque integral ha permitido desarrollar una estructura optimizada y acorde a las exigencias locales, proporcionando una solución viable y segura para las condiciones de alto riesgo sísmico.

DESCRIPTORES: AISC 341, AISC 358, AISC 360, ASCE 7-16, COLUMNA CRUCIFORME , DISEÑO ESTRUCTURAL SISMORRESISTENTE, ESTRUCTURA METÁLICA, NEC 2015, PÓRTICO SMF.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS METÁLICAS

THEME:

"SEISMIC-RESISTANT DESIGN OF A 4-STORY STEEL STRUCTURE BUILDING WITH A REINFORCED CONCRETE BASEMENT LOCATED IN THE CITY OF QUITO."

TITULATION MODALITY: Degree Project with Applied Research and/or Development components.

AUTHOR: Ing. Roberto Sebastián Quintana Vásconez

DIRECTOR: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, Mg.

DATE: September twelve, 2024

EXECUTIVE SUMMARY

The present thesis shows the structural design of a project located in a high seismic activity zone, with particular focus on seismic safety and compliance with applicable regulations such as AISC 341, AISC 360, AISC 358, NEC 2015, and ASCE 7-16. Based on previous geotechnical studies, a detailed analysis of soil conditions and expected loads was conducted to ensure a solid foundation for the structure. This analysis enabled the identification of the necessary seismic parameters to adapt the structural design to the specific characteristics of the terrain and ensure stability against seismic movements.

During the project development, specialized software was used to perform structural modeling. Through these programs, seismic loads were precisely simulated, analyzing both the stresses and deformations that the structure could experience. This approach optimized the structural behavior, ensuring an adequate distribution of stresses and minimizing inter-story drifts and lateral displacements at each level.

The results demonstrated robust structural performance under the seismic demands of the site, highlighting the implementation of cruciform steel columns. This structural solution maximized the building's efficiency, leveraging its high moment of inertia, which is essential for resisting lateral loads.

Finally, the validation of the design parameters confirmed compliance with seismic design codes, ensuring that the building can withstand the expected seismic demands without compromising its safety or functionality. This comprehensive approach has allowed the development of an optimized structure that meets local requirements, providing a viable and safe solution for high seismic risk conditions.

DESCRIPTORS: AISC 341, AISC 358, AISC 360, ASCE 7-16, CRUCIFORM COLUMN, SEISMIC STRUCTURAL DESIGN, STEEL STRUCTURE, NEC 2015, SMF FRAME.