



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO INDUSTRIAL**

**” PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA
INFRAESTRUCTURA FÍSICA DE LA BIBLIOTECA DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE ”**



AUTOR: Nicolalde Beltrán Felipe Sebastián
DIRECTOR: PhD. Valencia Chapi Robert Mauricio

Ibarra – Ecuador
2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad.

Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1005353360		
APELLIDOS Y NOMBRES:	NICOLALDE BELTRÁN FELIPE SEBASTIÁN		
DIRECCIÓN:	JUAN DE DIOS NAVAS N°1-88 Y AV. ELOY ALFARO		
EMAIL:	FSNICOLALDEB@UTN.EDU.EC		
TELF. FIJO:	.	TELF. MÓVIL:	0999234281

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA DE LA BIBLIOTECA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
AUTOR(ES):	NICOLALDE BELTRÁN FELIPE SEBASTIÁN
FECHA:	Ibarra, 06 de Marzo de 2026
CARRERA/PROGRAMA:	PREGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO INDUSTRIAL
DIRECTOR:	PHD. VALENCIA CHAPI ROBERT MAURICIO

AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Nicolalde Beltrán Felipe Sebastián , con cédula de identidad Nro. 1005353360 , en calidad de autor (es) y titular (es) de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de integración curricular descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

Ibarra, 06 de Marzo de 2026

EL AUTOR:

Firma

Nombre Nicolalde Beltrán Felipe Sebastián

CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 06 de Marzo de 2026

EL AUTOR:

Firma

Nombre Nicolalde Beltrán Felipe Sebastián

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Ibarra, 06 de Marzo de 2026

PhD. Valencia Chapi Robert Mauricio
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

PhD. Valencia Chapi Robert Mauricio

C.C: 1003134879

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Comité Calificado del trabajo de Integración Curricular “ Plan de mantenimiento preventivo para la infraestructura física de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte ” elaborado por Nicolalde Beltrán Felipe Sebastián , previo a la obtención del título del INGENIERO INDUSTRIAL , aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

PhD. Valencia Chapi Robert Mauricio

C.C: 1003134879

Msc. Erazo Arteaga Victor Alfonso

C.C: 1719188029 .

DEDICATORIA

Mi trabajo le dedico primeramente a Dios por que sé que en momentos de dificultad ha
borado para mi bien y porque su fidelidad es constante, a mis padres pilares fundamentales
de mi vida que desde pequeño me inculcaron la disciplina de estudiar y luchar por lo sueños,
y a mi gatita linda, es el motor de mi vida y motivación para seguir adelante en momentos
difíciles, a mi familia que me apoyaron en seguir adelante en mi vida, también les dedico a
mis amigos que hemos compartido anécdotas inolvidables durante la vida académica, a mis
profesores quienes me ayudaron en fortalecer mis conocimientos y habilidades para mi vida
profesional.

Nicolalde Beltrán Felipe Sebastián

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer desde el fondo de mi corazón primeramente a Dios por darme la vida para el desarrollo de mi tesis. En segundo lugar, quiero agradecer a mi familia por haberme apoyado cada día y en momentos cruciales de mi vida. Además, quiero agradecer a mi director de tesis PhD. Robert Valencia y mi asesor Msc. Víctor Erazo quienes me orientaron de forma profesional y técnica la realización del trabajo de grado. También, quiero agradecer por el personal del departamento de construcciones de la Universidad Técnica del Norte y personal de la biblioteca por haberme brindado los recursos claves que fueron necesarios para desarrollar mi proyecto, quiero agradecer a mis amigos por haber compartido los mejores momentos de mi vida.

Nicolalde Beltrán Felipe Sebastián

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	7
AGRADECIMIENTO	8
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS	13
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
CAPÍTULO I	
1.1 Planteamiento del Problema	18
1.2 Objetivos	19
1.2.1 Objetivo General	19
1.2.2 Objetivos Específicos	19
1.3 Alcance y delimitación	20
1.4 Justificación	20
CAPÍTULO II	
2.1 Antecedentes	22

2.2	Fundamento Teórico	23
2.2.1	Mantenimiento	23
2.2.2	Tipos de mantenimiento	24
2.2.3	Mantenimiento correctivo	24
2.2.4	Mantenimiento Proactivo	24
2.2.5	Mantenimiento Preventivo	24
2.2.6	Gestión del mantenimiento	25
2.2.7	Infraestructura física institucional.	25
2.2.8	Software ANSYS	25
2.2.9	SolidWorks	25
2.2.10	Fichas técnicas.	26
2.2.11	Estado de indisponibilidad	26
2.3	Marco Legal	26
2.4	Presupuesto Base del Proyecto	27
CAPÍTULO III		
3.1	Metodología	28
3.1.1	Enfoque y tipos de investigación	28
3.1.1.1	Método Descriptivo	28
3.1.1.2	Método Cualitativo.	28
3.1.1.3	Método Cuantitativo.	29
3.1.1.4	Formato de registro de incidentes y eventos críticos	30
3.1.2	Diseño de la investigación	31
3.2	Caracterización de la infraestructura	33

3.2.1	Inspección visual de la infraestructura	40
3.2.2	Registro de mobiliario de la biblioteca	44
3.2.3	Relación Fuerza-Deformación Axial en Pilar Crítico de Planta Baja bajo Cargas Incrementales	49
3.2.3.1	Resultados de Simulación: Fuerza vs Tensión (Pilar)	52
3.2.4	Relación Fuerza-Deformación Axial en la Cúpula Cargas Incrementales	54
3.2.5	Análisis de cargas de viento en la cúpula	54
3.2.5.1	Registro de eventos naturales.	58
3.2.5.2	Registro de Catástrofes.	58
3.2.5.3	Registro de cortes eléctricos.	59
CAPÍTULO IV		
4.1	Especificaciones del sistema a diseñar	60
4.1.1	Planteamiento de alternativas de solución	62
4.1.2	Selección de la mejor solución	65
4.1.3	Criterios de evaluación y ponderación	65
4.1.4	Tabla meta de selección	67
4.1.5	Especificaciones del sistema diseñado	70
4.1.6	Indicador de Utilización Estructural (IU)	74
4.1.7	Esfuerzo admisible del material (σ_{adm})	75
4.1.8	Indicador de Deformación Relativa (IDR)	82
4.1.9	Integración de indicadores y priorización	90
4.1.10	Propuesta de plan de mantenimiento preventivo.	97
CONCLUSIONES		101

RECOMENDACIONES	102
BIBLIOGRAFÍA	103
ANEXOS	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Infraestructura actual de la biblioteca	19
Figura 2	Flujograma del diseño de la investigación	31
Figura 3	Ubicación de la biblioteca	34
Figura A.1	Inspección visual del pilar	107
Figura A.2	Inspección visual de la cúpula	108
Figura A.3	Inspección visual de la baldosa	108
Figura A.4	Simulación en Ansys Total Deformation del pilar Ensayo A	109
Figura A.5	Simulación en Ansys Total Deformation del pilar Ensayo B	109
Figura A.6	Simulación en Ansys Total Deformation del pilar Ensayo C	110
Figura A.7	Simulación en Ansys Equivalent Stress del pilar Ensayo A	110
Figura A.8	Simulación en Ansys Equivalent Stress del pilar Ensayo B	111
Figura A.9	Simulación en Ansys Equivalent Stress del pilar Ensayo C	111
Figura A.10	Simulación en Ansys Total Deformation de la cúpula	112
Figura A.11	Simulación en Ansys Equivalent Stress de la cúpula	112
Figura A.12	Plano original de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte . . .	113
Figura A.13	Plano en formato autocad de la biblioteca general de la Universidad Técnica del Norte(Planta baja)	114
Figura A.14	Plano en formato autocad de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte(Segunda Planta)	115
Figura A.15	Plano en formato autocad de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte(Tercera Planta)	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Presupuesto estimado para la ejecución del proyecto de titulación	27
Tabla 2	Criterio de condición visual de los elementos inspeccionados	40
Tabla 3	Nivel de prioridad de intervención	41
Tabla 4	Registro de inspección visual basada en evidencia fotográfica	42
Tabla 5	Registro de inspección visual basada en evidencia fotográfica – Cúpula .	43
Tabla 6	Registro de inspección visual basada en evidencia fotográfica – Baldosa .	44
Tabla 7	Cálculo de Cargas y Pesos - Piso Bajo	45
Tabla 8	Cálculo de Cargas y Pesos - Piso 1	46
Tabla 9	Cálculo de Cargas y Pesos - Piso 2	49
Tabla 10	Características Geométricas y Distribución de Cargas en los Pilares de Planta Baja	49
Tabla 11	Deformación Total bajo Cargas de Servicio	50
Tabla 12	Resultados de Simulación: Ensayo Intermedio	51
Tabla 13	Deformación respecto a la cúpula	51
Tabla 14	Ensayo A: Tensión bajo carga de servicio	52
Tabla 15	Ensayo B: Tensión de carga intermedia	53
Tabla 16	Ensayo C: Tensión carga baja	53
Tabla 17	Velocidad promedio del viento en Ibarra (Octubre–Diciembre)	54
Tabla 18	Fuerza estimada del viento sobre la cúpula (Nov 2025 – Ene 2026)	57
Tabla 19	Ensayo A: Deformación bajo carga de servicio	57
Tabla 20	Ensayo A: Deformación bajo carga de servicio	58
Tabla 21	Matriz de criterios de evaluación para la selección de la alternativa de mantenimiento	65
Tabla 22	Selección de la alternativa de mantenimiento	68
Tabla 23	Descripción del indicador estructural: Tensiones	70
Tabla 24	Descripción del indicador: Deformaciones	72
Tabla 25	Indicador de Utilización Estructural (IU) – Ensayo A	79
Tabla 26	Indicador de Utilización Estructural (IU) – Ensayo B	80
Tabla 27	Indicador de Utilización Estructural (IU) – Ensayo C	81
Tabla 28	Indicador de Utilización Estructural (IU) bajo cargas reales de viento 2025–2026	81
Tabla 29	IDR – Ensayo A: Carga Alta (deformaciones en mm)	87
Tabla 30	IDR – Ensayo B: Carga Intermedia (deformaciones en mm)	88
Tabla 31	IDR – Ensayo C: Carga Baja (deformaciones en mm)	89
Tabla 32	Índice de Deformación Relativa (IDR) – Cúpula bajo cargas reales de viento	90
Tabla 33	Semaforización de Acciones de Mantenimiento	92
Tabla 34	Índice Global de Prioridad (IP) – Ensayo A, Pilar	94
Tabla 35	Índice Global de Prioridad (IP) – Ensayo B, Pilar	95
Tabla 36	Índice Global de Prioridad (IP) – Ensayo C, Pilar	96
Tabla 37	Índice Global de Prioridad (IP) – Cúpula bajo cargas reales de viento . .	96
Tabla 38	Acciones de mantenimiento según el nivel de alerta	97
Tabla 39	Cronograma anual de mantenimiento preventivo – Nivel Verde	98

Tabla 40	Cronograma semestral de mantenimiento preventivo – Nivel Amarillo . .	99
Tabla 41	Cronograma mensual de intervención preventiva – Nivel Rojo	100

RESUMEN

La presente investigación desarrolla un plan de mantenimiento preventivo para la infraestructura física de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte, con el propósito de conservar sus condiciones operativas, funcionales y de seguridad para garantizar la continuidad del servicio académico de la biblioteca, el estudio surge ante la problemática identificada en la gestión actual del mantenimiento que se caracteriza por un enfoque correctivo que incrementa costos, reduce la vida útil de los elementos constructivos y expone a riesgos a los usuarios. La metodología aplicada se incluye la revisión del estado del arte sobre el mantenimiento preventivo, inspecciones técnicas de los elementos estructurales críticos y el análisis de su comportamiento mediante simulaciones estructurales en ANSYS, considerando cargas reales y posibles eventos que pudieran comprometer la integridad del edificio, a partir de los resultados obtenidos, se desarrolló un sistema de indicadores estructurales que va a integrar el Índice de Deformación Relativa y el Indicador de Utilización para establecer el indicador Índice Global de Prioridad para la toma de decisiones futuras.

Se va a tener en cuenta en esta evaluación técnica el modelo de semaforización que se va a clasificar el nivel de alerta en categorías verde, amarillo y rojo para vincular cada condición con acciones específicas de mantenimiento y las frecuencias de intervención; esta propuesta final establece cronogramas anuales, semestrales y mensuales, para promover una gestión planificada, sostenible y alineada con criterios técnicos, el trabajo fortalece la administración institucional del mantenimiento, optimiza recursos y contribuye a la preservación de la infraestructura universitaria.

Palabras clave: Ansys, NEC-SE, NEC-SE-DS, ACI 318, ISO 13822

ABSTRACT

This research develops a preventive maintenance plan for the physical infrastructure of the library at the Technical University of the North, with the aim of preserving its operational, functional, and safety conditions to guarantee the continuity of the library's academic services. The study arises from the problems identified in the current maintenance management, which is characterized by a corrective approach that increases costs, reduces the useful life of structural elements, and exposes users to risks.

The methodology used in this process is based on a review of the state of the art in preventive maintenance, technical inspections of critical elements in the structure, and behavior analysis through simulations in ANSYS software, taking into account loads and events that could affect the integrity of the building. According to the results obtained in this process, a system of indicators for the structure was created, integrating the Relative Deformation Index and the Utilization Indicator to calculate the Global Priority Index for decision-making in the future. This technical assessment will take into account the traffic light model that will classify the alert level into green, yellow and red categories to link each condition with specific maintenance actions and intervention frequencies. This final proposal establishes annual, semi-annual and monthly schedules to promote planned, sustainable management in line with technical criteria. The work strengthens the institutional administration of maintenance, optimises resources and contributes to the preservation of university infrastructure.

Keywords: Ansys, NEC-SE, NEC-SE-DS, ACI 318, ISO 13822

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del Problema

La biblioteca universitaria es un espacio fundamental para el desarrollo académico, investigativo y cultural de la comunidad estudiantil y docente [1]; no obstante, con el paso del tiempo, la infraestructura física de este tipo de instalaciones suele enfrentar diversos deterioros debido al uso continuo, factores climáticos y la falta de un mantenimiento adecuado y planificado, el mantenimiento se realiza de forma correctiva, es decir, únicamente cuando surgen fallas evidentes, lo cual puede generar interrupciones en el servicio, mayores costos de reparación y riesgos para los usuarios.

En el caso de la biblioteca universitaria, objeto de este estudio, se pudo identificar el deterioro progresivo en la infraestructura debido al tiempo y la falta de un mantenimiento planificado, además en la actualidad las acciones que se realizan en la biblioteca son de forma correctiva afectando la operatividad del espacio como consecuencia genera mayores costos, riesgos para los usuarios y disminuye la vida útil de la infraestructura.

La necesidad de diseñar un plan de mantenimiento preventivo permite conservar en buen estado la infraestructura de la biblioteca, prolongar su vida útil, optimizar recursos institucionales y garantizar un entorno adecuado para el aprendizaje y la investigación .

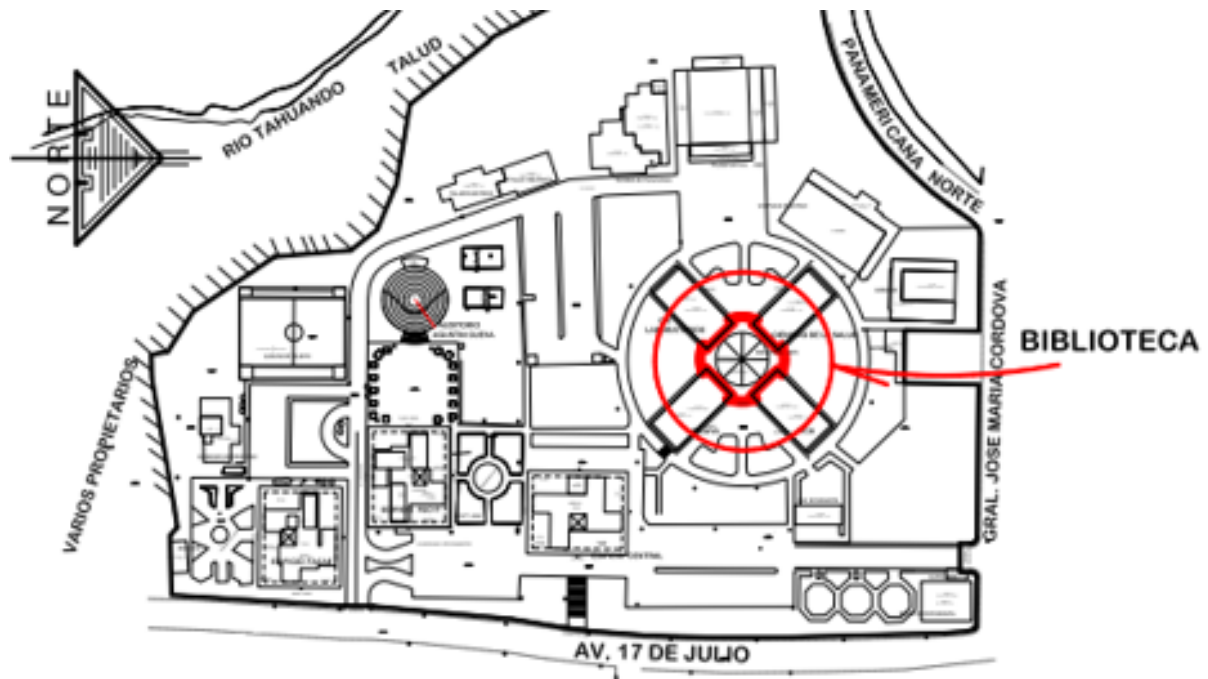


Figura 1.
Infraestructura actual de la biblioteca

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un plan de mantenimiento preventivo para la infraestructura física de la biblioteca universitaria con el fin de contribuir a la conservación de sus condiciones operativas y funcionales a través de una gestión eficiente y planificada de mantenimiento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisar el estado del arte sobre el análisis estructural y mantenimiento preventivo de infraestructuras.
- Diagnosticar el estado actual de la infraestructura de la biblioteca mediante inspecciones técnicas de los elementos estructurales críticos que requieren intervención prioritaria

para analizar su comportamiento estructural mediante simulaciones con ANSYS.

- Proponer un plan de mantenimiento preventivo para la biblioteca universitaria en busca de una gestión eficiente del mantenimiento de la infraestructura.

1.3 Alcance y delimitación

El plan de mantenimiento se orienta para desarrollar una estrategia en la biblioteca universitaria con el fin de conservar en condiciones óptimas la infraestructura, además, abarca en inspeccionar y levantar datos para analizar el comportamiento estructural y desgaste de la estructura, considerando también registros de incidentes previos como temblores, cortocircuitos, filtraciones o inundaciones que hayan podido comprometer su integridad en donde se va a identificar elementos críticos que requieren atención, estos componentes se realizarán simulaciones en el software ANSYS, con base en estos resultados se propondrá un plan preventivo que permita programar intervenciones, priorizar acciones y gestionar de forma eficiente el mantenimiento

1.4 Justificación

La biblioteca universitaria constituye un eje fundamental en el proceso educativo, investigativo y cultural de la comunidad académica, la infraestructura física no solo alberga recursos bibliográficos y tecnológicos, sino que también ofrece espacios adecuados para el estudio, la consulta y el intercambio de conocimiento, López-Gijón et al. [2] menciona como destaca la biblioteca universitaria como un proceso de transformación ante el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), implicando un cambio en el modelo de enseñanza centrado en el aprendizaje y basado en competencias que convierten al estudiante en protagonista de su propio aprendizaje.

La elaboración de dicho plan permitirá establecer una programación técnica, sistemática y sustentable de las intervenciones necesarias, promoviendo un uso eficiente del presupuesto institucional y fomentando una cultura de conservación patrimonial, al garantizar condiciones

físicas adecuadas en la biblioteca, se fortalece el entorno académico, se protege la inversión en infraestructura y se mejora la percepción de calidad de los servicios universitarios, además este enfoque se alinea con los hallazgos de Mishal Alashari, Khaled El-Rayes, Mansour AlOtaibi. [3], quienes desarrollaron un modelo de optimización para la planificación de actividades de mantenimiento en edificios educativos, el estudio demuestra que la implementación de estrategias de mantenimiento preventivo mejora la eficiencia operativa y contribuye a la sostenibilidad y calidad de los servicios ofrecidos.

En la actualidad el mantenimiento de la biblioteca se realiza de forma reactiva, es decir, interviniendo únicamente cuando ya han ocurrido fallas visibles o interrupciones en el servicio, la práctica incrementa los costos operativos, reduce la vida útil de los elementos constructivos y pone en riesgo tanto los bienes materiales como a las personas, el enfoque se observa en estudios como el de Musa [4], donde se destaca cómo la falta de un Plan de Mantenimiento Preventivo en bibliotecas, como la Biblioteca Kashim Ibrahim de la Universidad Ahmadu Bello, contribuye al deterioro de la infraestructura, sugiriendo que un enfoque preventivo es esencial para garantizar la conservación y mejorar la funcionalidad a largo plazo de la biblioteca

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

En los últimos años, diversas investigaciones han abordado la importancia en la Universidad Veracruzana, se diseñó un plan de mantenimiento preventivo y correctivo para la Facultad de Ingeniería Civil [5], incluyendo espacios como bibliotecas y aulas, el plan establece actividades específicas para conservar techos, sistemas eléctricos e hidráulicos, y mobiliario, con un enfoque en sostenibilidad y eficiencia presupuestaria, además el estudio demuestra que una gestión anticipada del mantenimiento mejora la seguridad y la continuidad académica.

D. C. T. M. RAMÍREZ [6], en su propuesta de mantenimiento para la biblioteca de la Universidad Tecnológica del Chocó (UTCH), abordaron la necesidad de conservar la infraestructura a través de acciones preventivas y correctivas, además se identificaron deficiencias en cubiertas, instalaciones eléctricas y redes hidrosanitarias, que afectaban la funcionalidad del edificio y se diseñó un plan estructurado con actividades técnicas por frecuencia de atención y asignación de responsables, promoviendo una mejor gestión institucional del mantenimiento y garantizando condiciones adecuadas para el aprendizaje y consulta académica.

En el caso del Instituto Tecnológico de Costa Rica, D. B. Ugalde [7] se desarrolló un plan de mantenimiento preventivo dirigido a toda la infraestructura institucional, haciendo énfasis en espacios clave como la biblioteca, este enfoque adoptado fue técnico-administrativo, con una estrategia basada en la evaluación del estado físico de los elementos constructivos, la planificación de intervenciones periódicas y la definición de roles operativos por consiguiente, el estudio demostró que una gestión preventiva adecuada mejora la eficiencia en la asignación de recursos, reduce las fallas estructurales inesperadas y prolonga la vida útil de los edificios educativos.

J. Mestre [8] desarrolla un modelo de mantenimiento planificado orientado a la conservación de la Biblioteca Nacional de Portugal, el enfoque incluye la identificación de necesidades críticas del edificio, la planificación periódica de intervenciones y el uso de herramientas técnicas para evaluar el estado de la infraestructura, además el estudio demuestra que la implementación de un plan de mantenimiento preventivo optimiza los recursos y preserva la funcionalidad y valor patrimonial del inmueble.

Kumar Pampana et al. [9] presentan un conjunto de datos exhaustivo sobre el mantenimiento de instalaciones en edificios universitarios de América del Norte, abarcando tanto mantenimiento preventivo planificado como mantenimiento no planificado, en el estudio se destaca cómo la falta de mantenimiento adecuado y las fallas inesperadas de componentes pueden acelerar el deterioro de las instalaciones y generar incertidumbre en la asignación presupuestaria, el conjunto de datos proporciona una base sólida para la toma de decisiones estratégicas en la gestión del mantenimiento de infraestructuras educativas.

2.2 Fundamento Teórico

2.2.1 Mantenimiento

El mantenimiento estima un conjunto de procesos y actividades donde el objetivo es favorecer el funcionamiento de forma continua y eficiente de los tipos de activos que son utilizados en muchas empresas, además es la aplicación para el programa de un mantenimiento preciso, por consiguiente; es esencial para que tenga un buen funcionamiento y longevidad de equipos, estructuras, instalaciones e incluso las empresas.

2.2.2 Tipos de mantenimiento

2.2.3 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo se refiere a el conjunto de acciones para solucionar o corregir la falla o avería, además se tiene en cuenta que este mantenimiento no se planifica debido al fallo que se encuentra en la jornada laboral, se tiene en cuenta que no se realiza diagnósticos ni monitorización esto puede generar posibles altos costos de reparación para la estructura o máquina [10]

.

2.2.4 Mantenimiento Proactivo

El mantenimiento proactivo se encarga de identificar las causas de varios problemas en los equipos antes que ocasione algunas fallas, implica en analizar e identificar las áreas de posibles mejoras para los procesos que impliquen en la fabricación, clasificación y operación, por lo tanto, requiere mucha atención en el uso de recursos y tiempos para reducir la aparición de fallos en los equipos, por consiguiente, genere altos ahorros de costos a largo plazo [11]

.

2.2.5 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo se encarga de prevenir los problemas antes de que sucedan mediante la planificación de actividades y recursos para prolongar la vida útil de la estructura o equipo favoreciendo la eficiencia en los costos, las actividades se realizan cronológicamente según el fabricante para prevenir los riesgos y mejorar la seguridad de los operarios durante la jornada laboral en la empresa o fábrica industrial[12].

2.2.6 Gestión del mantenimiento

La gestión del mantenimiento preventivo es el funcionamiento de forma eficiente para las empresas, permite planificar, ejecutar y controlar todas las actividades que están relacionadas para el mantenimiento de los equipos, estructuras y servicios.

El desarrollo de la gestión genera beneficios que aporta en la optimización de recursos, mejora en el rendimiento operativo y ahorro de costos, esto puede reducir interrupciones en los servicios lo que genera una satisfacción en los clientes y mejora el rendimiento y la imagen de la empresa [13].

2.2.7 Infraestructura física institucional

El mantenimiento de edificios en las instituciones garantiza en favorecer la seguridad del entorno o el área que se realiza la jornada laboral abarcando el enfoque del uso de herramientas y software que se requiere para realizar el análisis de forma metódica para optimizar recursos y mejorar la seguridad de las personas que se encuentran en el entorno [14].

2.2.8 Software ANSYS

Es un software que permite el uso amplio de la ingeniería para analizar y predecir como se van a comportar los objetos mediante fuerzas, rotaciones, deformaciones, entre otros; este software puede modelar productos virtuales mediante CAD CAM reduciendo el uso de recursos para hacer pruebas físicas y ensayos para determinar su rendimiento mediante diversas condiciones.

2.2.9 SolidWorks

Es un software CAD que permite el dibujo industrial para crear piezas, ensambles y planos técnicos para realizar análisis técnicos para aportar en los aspectos que están implicados en el

proceso del desarrollo y diseño de un producto.

2.2.10 Fichas técnicas

Se refiere a un documento que tiene información detallada de las personas responsables y los elementos de la infraestructura tales como: materiales, planos, ubicación para generar un control de forma eficaz en registrar la condición actual del edificio.[15]

2.2.11 Estado de indisponibilidad

Es el estado del elemento que tiene la característica de tener una avería o falla que tiende a incapacitar la función para realizar durante la ejecución del mantenimiento.

2.3 Marco Legal

- Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE). - Garantiza la seguridad, evaluación y el control en los edificios para asegurar la calidad estructural. [16]
- NEC-SE-DS (Diseño Sismo resistente). - Es el capítulo técnico de la Norma Ecuatoriana de la Construcción que está dedicado específicamente a la seguridad estructural del peligro sísmico y diseño sismo resistente [17]
- ACI 318 – Concreto estructural. - Es la norma técnica de referencia mundial, publicada por el American Concrete Institute, que establece los estándares mínimos para el diseño y construcción de estructuras del concreto [18].
- ISO 13822 – Evaluación de estructuras existentes. - Es el estándar internacional que define los requisitos y procedimientos para evaluar la seguridad y funcionalidad de construcciones ya edificadas [19].

2.4 Presupuesto Base del Proyecto

Tabla 1.

Presupuesto estimado para la ejecución del proyecto de titulación

Descripción	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
Comida diaria (8 meses)	240	3,00	720,00
Curso ANSYS	1	10,00	10,00
Servicios básicos (internet mensual)	8	43,75	350,00
Gastos adicionales	1	250,00	250,00
Transporte (mensual)	8	26,25	210,00
Software ANSYS (licencia estudiantil)	1	0,00	0,00
Software SolidWorks (licencia estudiantil)	1	0,00	0,00
Total			1.540,00

Justificación del presupuesto:

La planificación del presupuesto es esencial para ejecutar adecuadamente el proyecto de titulación, este permite anticipar y controlar los gastos necesarios durante el proceso investigativo, como alimentación diaria, transporte mensual, acceso a internet, y formación técnica. También se incluye una previsión para imprevistos, por otro lado, herramientas clave como **ANSYS** y **SolidWorks**, al contar con licencias gratuitas para estudiantes, representan una ventaja al reducir los costos sin afectar la calidad técnica del proyecto, presupuestar adecuadamente permite tomar decisiones informadas y garantizar la continuidad del proyecto sin contratiempos financieros.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Metodología

3.1.1 Enfoque y tipos de investigación

3.1.1.1 Método Descriptivo

Este método permitirá conocer detalladamente el estado actual de la infraestructura física de la biblioteca universitaria a través del análisis documental y técnico, se recopilará información sobre las condiciones estructurales, registros técnicos anteriores y antecedentes relevantes como incidentes, eventos o catástrofes ocurridos en el edificio (temblores, cortos eléctricos, inundaciones, entre otros), estos datos permitirán identificar puntos críticos y establecer prioridades de intervención.

3.1.1.2 Método Cualitativo

El método cualitativo se aplicará mediante entrevistas al personal técnico y usuarios frecuentes sobre el estado de la infraestructura, además, se recopilarán testimonios y percepciones sobre eventos pasados que hayan afectado la estructura o servicios de la biblioteca, como cortes de energía o fallas estructurales.

3.1.1.3 Método Cuantitativo

El método cuantitativo permitirá el análisis estadístico de datos técnicos sobre la infraestructura, esto incluirá el procesamiento de datos históricos de mantenimiento y registros de incidentes o catástrofes para establecer tendencias, frecuencia de fallos y zonas con mayor riesgo, los resultados servirán como base para las simulaciones estructurales y para formular un plan de mantenimiento optimizado.

Técnicas e instrumentos

Revisión documental

Análisis de informes técnicos, históricos de mantenimiento, y registro de incidentes y catástrofes que hayan afectado la infraestructura de la biblioteca.

Registro estructurado

Técnica para ordenar y documentar datos específicos del estado de conservación de los elementos físicos.

Observación directa en la infraestructura física de la biblioteca

Para identificar visualmente daños y deterioros en techos, paredes y sistemas eléctricos.

Análisis estadístico y evaluación de indicadores

Esto sirve para cuantificar los datos técnicos y frecuencia de incidentes o eventos que afectaron en el tiempo la infraestructura con el fin de facilitar la priorización de intervenciones.

Fichas de inspección técnica

Son documentos estructurados que permiten el registro de los hallazgos durante los recorridos técnicos.

Cuadros de verificación

Son las listas de control que se van a usar para evaluar el estado de algunos elementos de la infraestructura.

Software de simulación (ANSYS)

Es una herramienta digital que permite la simulación del comportamiento de la estructura y analizar los escenarios de deterioro.

Hojas de cálculo técnicas

Son plantillas numéricas que se van a usar para organizar, analizar y proyectar datos de mantenimiento.

3.1.1.4 Formato de registro de incidentes y eventos críticos

Documento que recopila información sobre eventos como sismos, inundaciones o fallas eléctricas que hayan afectado la infraestructura.

3.1.2 Diseño de la investigación

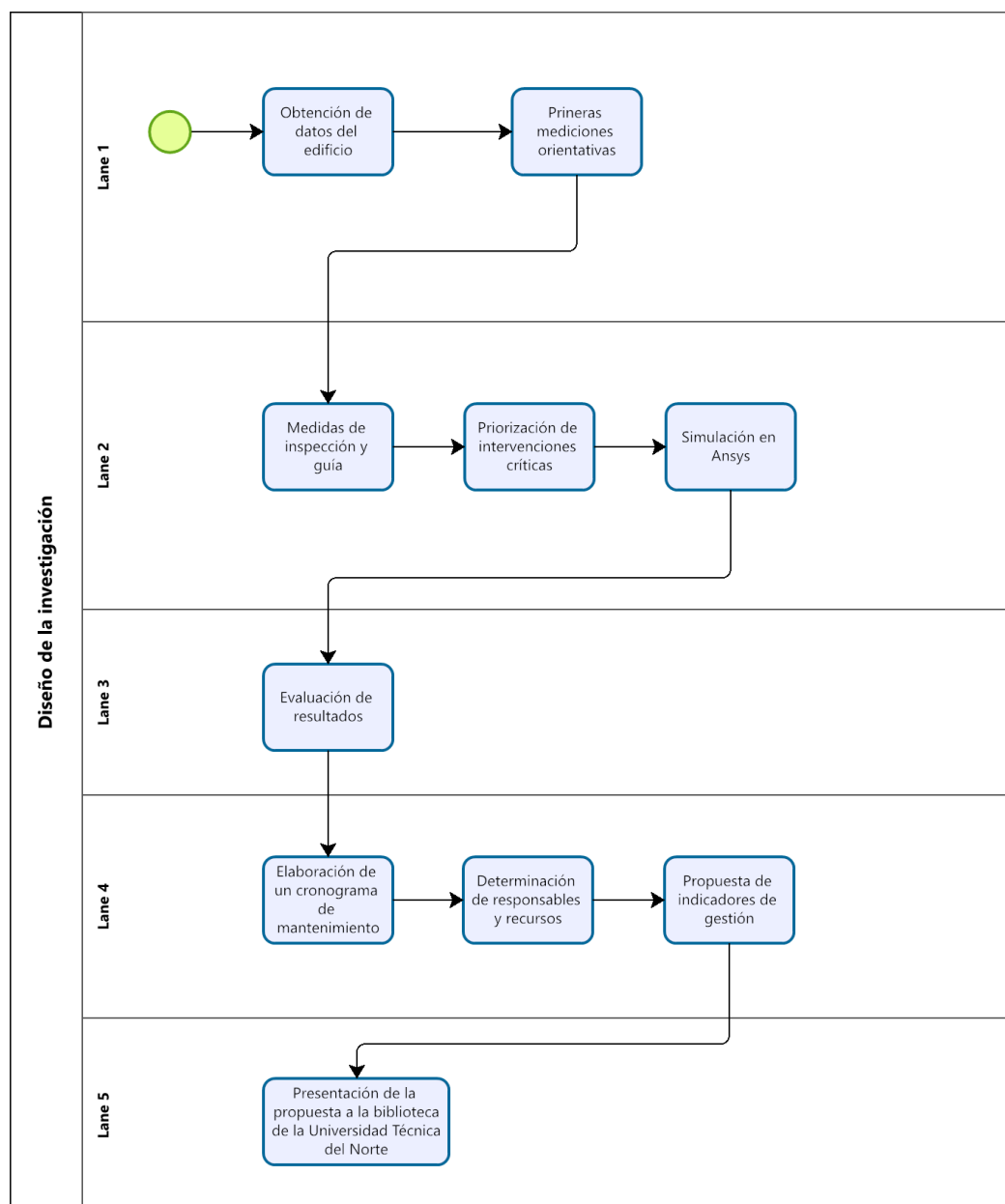


Figura 2.

Flujograma del diseño de la investigación

Fase 1 — Diagnóstico preliminar (Lane 1)

- **Obtención de datos del edificio:** Se centra en recopilar planos arquitectónicos, documentos técnicos históricos, registros de mantenimientos pasados y cualquier información administrativa existente que sirva como línea base para entender la configuración

original del inmueble.

- **Primeras mediciones orientativas:** Consiste en la captura de datos físicos básicos in situ (como niveles generales de deterioro o condiciones visuales evidentes) para establecer un panorama inicial del estado actual de la infraestructura antes de profundizar en los análisis técnicos.

Fase 2 — Inspección y simulación (Lane 2)

- **Medidas de inspección y guía:** Se ejecutan protocolos técnicos estructurados para observar detalladamente las instalaciones y registrando el estado físico de los elementos constructivos de manera ordenada.
- **Priorización de intervenciones críticas:** Clasificarse los daños o desgastes detectados de acuerdo con su gravedad y urgencia, centrándose los esfuerzos en aquellos problemas que afectan la seguridad inmediata o la estabilidad estructural, para que sean atendidos prioritariamente.
- **Simulación en Ansys:** Los elementos estructurales identificados como críticos se modelan digitalmente para analizar el comportamiento físico-mecánico bajo cargas y deformaciones de manera válida en términos de capacidad de resistencia y estado de conservación.

Fase 3 — Análisis (Lane 3)

- **Evaluación de resultados:** Se integran y comparan los datos recabados durante la investigación de campo de inspección física con los datos recabados a través de la simulación computacional, lo cual permite emitir un diagnóstico técnico preciso de la infraestructura.

Fase 4 — Planificación operativa (Lane 4)

- **Elaboración de un cronograma de mantenimiento:** Se organiza la temporalidad de las intervenciones, definiendo rutinas preventivas diarias, semanales, mensuales o anuales para asegurar la conservación continua de los activos.
- **Determinación de responsables y recursos:** Se asignan roles específicos, como quien ejecuta la tarea y quien la supervisa, y se asignan los recursos requeridos como: herramientas, equipos, y personal cualificado.
- **Propuesta de indicadores de gestión:** Se establecen para evaluar la eficacia del plan propuesto y el retorno de la inversión en términos de reducción de paradas no programadas.

Fase 5 — Socialización (Lane 5)

- **Presentación de la propuesta a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte:**
Es el paso final donde se entrega y se expone el plan de mantenimiento estructurado a las autoridades universitarias, donde se valide la estrategia para su futura implementación y mejora de la gestión de la infraestructura.

3.2 Caracterización de la infraestructura

Ubicación exacta dentro del campus

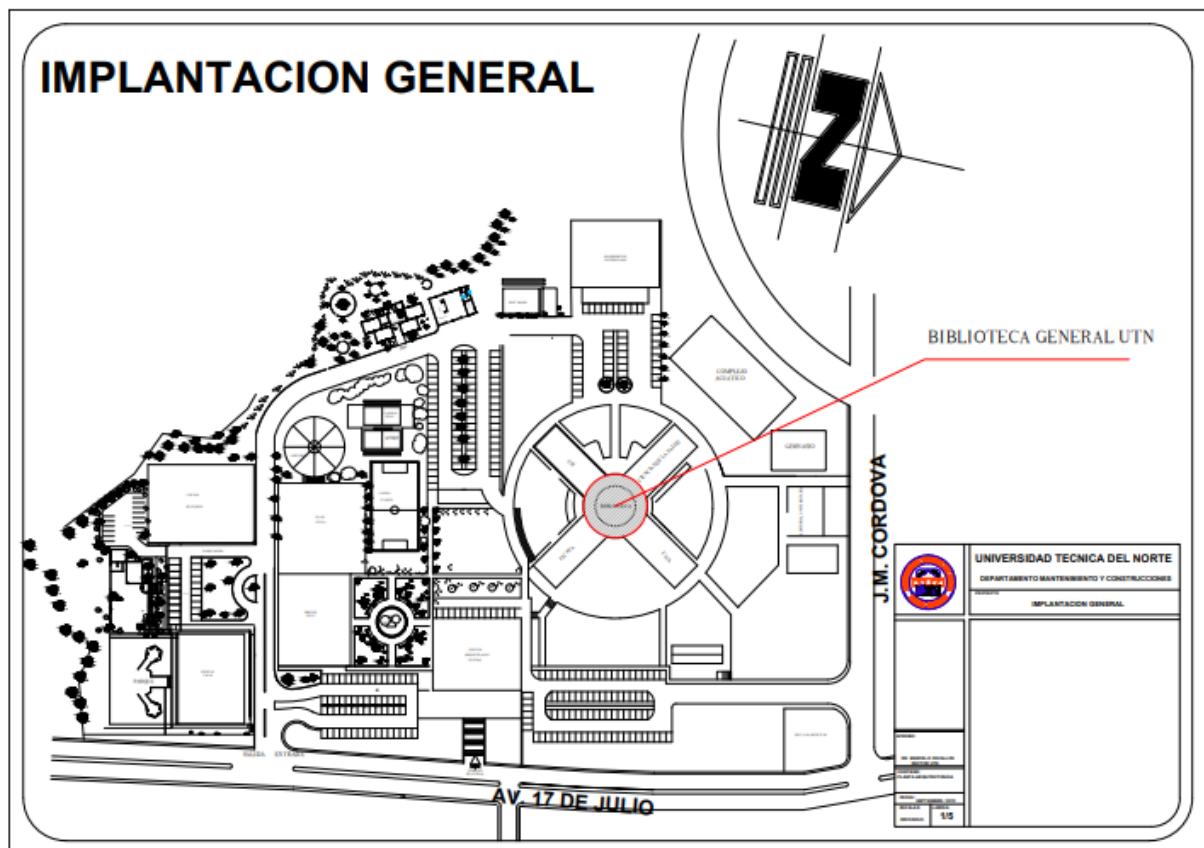


Figura 3.
Ubicación de la biblioteca

Dimensiones generales: área, número de pisos, aulas/salas

La Biblioteca General de la Universidad Técnica del Norte cuenta con un área de construcción de **1.510,91 m²**, distribuidos en **4 pisos**, con un total de **12 áreas funcionales** destinadas a la lectura, estudio y servicios de información,

Distribución por niveles

■ Planta baja:

- Sala de lectura principal
- Área para usuarios no videntes

■ Primer piso:

- Sala de lectura

- Hemeroteca
 - Área virtual de hemeroteca
 - Mesas de hemeroteca
 - Sala de revisión
- **Segundo piso:**
- Sala de lectura
 - Área de audio y video
 - Videoteca
 - Aula virtual
 - Biblioteca infantil

Normativas aplicables

Normas INEN (Ecuador)

- **INEN 2 120:2015** – Accesibilidad de las personas al medio físico. Condiciones para edificios y espacios urbanos.
- **INEN 2 254:2002** – Accesibilidad al medio físico. Señalización.
- **INEN 439:2011** – Seguridad contra incendios en edificaciones.
- **Normas INEN de materiales de construcción** (bloques, hormigón, acero estructural, tuberías, pintura, etc.) para garantizar calidad y seguridad en los acabados y sistemas constructivos.

Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)

- **NEC-SE-DS** – Diseño sísmico, fundamental por la ubicación del país en zona sísmica.

- **NEC-HS** – Requisitos de habitabilidad y salubridad en edificaciones.
- **NEC-SE-CI** – Seguridad contra incendios, aplicable a edificios de concentración pública como las bibliotecas.
- **NEC-IE** – Instalaciones eléctricas, eficiencia energética y seguridad.

Normas Internacionales de referencia

- **ISO 15686 – Service Life Planning:** Establece lineamientos para la planificación de la vida útil de los edificios, muy importante en bibliotecas universitarias por su uso intensivo y necesidad de durabilidad.
- **ISO 9001** (Gestión de calidad en procesos constructivos y de mantenimiento).
- **ISO 14001** (Gestión ambiental, relevante en campus universitarios sostenibles).
- **ISO 45001** (Seguridad y salud ocupacional en obra).

Estructura y medidas

La Biblioteca General de la Universidad Técnica del Norte presenta una estructura resistente y adecuada para su funcionalidad:

- **Columnas:** Con sección de 70 cm x 70 cm, garantizando estabilidad y soporte estructural del edificio.
- **Vigas:** Con sección de 60 cm x 60 cm, distribuyendo las cargas de los pisos y cubiertas de manera eficiente.
- **Paredes:** Con paredes de 20 cm de espesor, construidas para proporcionar aislamiento térmico y acústico adecuado, además de resistencia estructural.
- **Techos:** Está conformados por 437,34 m² de policarbonato en la parte central para iluminación natural, y 1.073,57 m² de losa de hormigón armado en el resto de la cubierta, asegurando solidez, durabilidad y resistencia a las cargas.

Acabados

- **Pisos:** Se utilizan acabados con porcelanato, cerámica, y mármol, que brindan durabilidad, resistencia al tráfico, y facilitan su mantenimiento en todas las zonas de la biblioteca.
- **Pintura:** La edificación cuenta con pintura para uso exterior e interior. En cambio, la pintura es utilizada para acabados blancos y rojos. En la edificación se utiliza pintura común para acabados lisos para paredes interiores, pintura anticorrosiva para superficies metálicas expuestas, y pintura esmalte para elementos que demandan mayor resistencia y durabilidad.
- **Revestimientos:** En la Biblioteca la Biblioteca General de la UTN utiliza revestimientos que cumplen con la función estética, funcional, y de protección. En cuanto a pisos se utilizan revestimientos con mármol, porcelanato, cerámica. En cambio, para las paredes y techos se utiliza pintura con colores institucionales, brindando buena iluminación. En la edificación se utilizan pinturas impermeables anticorrosivas, así como acabados cerámica o pétreo para la imagen institucional, brindando protección a la edificación frente a la intemperie.

CUBIERTA Y DRENAJES

La Biblioteca General de la UTN cuenta con un sistema de cubierta y drenaje pluvial diseñado para brindar protección y funcionalidad a la edificación.

- **Tejados:** la parte central se encuentra cubierta con **paneles de polycarbonato traslúcido**, lo que permite el aprovechamiento de luz natural en los espacios interiores; mientras que el resto de la cubierta está conformado por **losa de hormigón armado**, que aporta solidez, durabilidad y aislamiento térmico-acústico.
- **Canaletas:** dispuestas en los bordes de la cubierta, construidas en **material metálico galvanizado**, con la función de recoger el agua pluvial y conducirla de manera uniforme

hacia los bajantes.

- **Bajantes:** conformados por **tuberías de PVC de alta resistencia**, encargadas de canalizar el agua desde las canaletas hasta el sistema de drenaje a nivel de piso, evitando filtraciones y acumulaciones en la infraestructura.

Instalaciones hidráulicas El sistema hidráulico de la Biblioteca General de la Universidad Técnica del Norte está diseñado para garantizar el adecuado suministro y evacuación de agua en las diferentes áreas de servicio.

- **Baños:** equipados con **24 inodoros** distribuidos en las baterías sanitarias para uso de estudiantes, docentes y personal administrativo.
- **Grifería:** cuenta con **24 lavamanos** provistos de grifería cromada de accionamiento eficiente, además de **12 urinarios** instalados en las áreas correspondientes, asegurando funcionalidad y cobertura para la afluencia de usuarios.
- **Tuberías:** la red de conducción se encuentra instalada con **tuberías de PVC de presión**, resistentes a la corrosión y de fácil mantenimiento, utilizadas tanto para la distribución de agua potable como para el sistema de desagüe sanitario.
- **Tuberías:** la red de conducción se encuentra instalada con **tuberías de PVC de presión**, resistentes a la corrosión y de fácil mantenimiento, utilizadas tanto para la distribución de agua potable como para el sistema de desagüe sanitario.
- **Cisterna:** la edificación dispone de una **cisterna de almacenamiento de agua potable**, que garantiza el abastecimiento continuo y confiable del sistema hidráulico, incluso en casos de interrupción del suministro externo.

INSTALACIONES ELÉCTRICAS

El sistema eléctrico de la Biblioteca General de la Universidad Técnica del Norte está diseñado para garantizar un suministro seguro y confiable de energía, cumpliendo con la normativa vigente.

- **Tableros eléctricos:** se encuentran instalados **6 tableros** para la distribución eficiente de energía en las diferentes áreas de la biblioteca, con protección mediante **interruptores termomagnéticos y diferenciales**, asegurando la seguridad de los usuarios y equipos.
- **Cableado y tomacorrientes:** la red eléctrica utiliza **cables de cobre calibre 12** en los tomacorrientes y **calibre 14** en las conexiones de las lámparas, todos empotrados en canalizaciones y tuberías para protección y orden. Con tubería flexible donde se requiere mayor adaptabilidad.
- **Iluminación:** el edificio cuenta con aproximadamente **120 lámparas LED de bajo consumo**, estratégicamente ubicadas para proporcionar uniformidad, confort visual y eficiencia energética en todos los espacios, incluyendo áreas de lectura, pasillos y zonas administrativas.

Áreas exteriores

La Biblioteca General de la Universidad Técnica del Norte cuenta con áreas exteriores diseñadas para facilitar el acceso, la movilidad y el esparcimiento de los usuarios.

- **Accesos:** dispone de **dos entradas**, una principal para el ingreso general y una secundaria destinada a casos de emergencia, garantizando seguridad y orden en la circulación de personas.
- **Rampas y movilidad:** aunque no cuenta con rampas, la edificación dispone de **ascensor** que facilita el acceso a los diferentes niveles del edificio, asegurando movilidad universal.
- **Jardinería y áreas de descanso:** las zonas exteriores incluyen **plazas y jardines con árboles**, así como **áreas de descanso** equipadas con **sillas de madera bajo cubierta**, ofreciendo espacios agradables para la lectura, estudio o recreación de los usuarios.

3.2.1 Inspección visual de la infraestructura

Criterio de condición visual

La condición visual se determina exclusivamente mediante inspección a simple vista y registro fotográfico, considerando únicamente daños observables sin instrumentación técnica. Este criterio permite clasificar el estado físico aparente de los elementos estructurales y no estructurales de la edificación, siendo una práctica común en evaluaciones preliminares de infraestructura existente según metodologías de inspección visual reconocidas [19], [20].

Tabla 2.

Criterio de condición visual de los elementos inspeccionados

Condición visual (CE)	Descripción
CE1 – Buena	El elemento no presenta daños visibles, su estado es coherente con el diseño original y no se observan fisuras, desprendimientos, deformaciones ni deterioro superficial
CE2 – Regular	Se observan daños leves o superficiales como manchas, desgaste estético, fisuras finas o irregularidades menores que no afectan la funcionalidad
CE3 – Mala	Presencia de daños visibles moderados como fisuras abiertas, desprendimientos parciales, erosión superficial o deterioro localizado
CE4 – Severa	Daños claramente visibles que comprometen la seguridad, estabilidad o uso del elemento, tales como desprendimientos extensos, fisuras severas o pérdida de material

Criterio de nivel de prioridad de intervención

El nivel de prioridad se establece a partir de la condición visual identificada, con el obje-

tivo de jerarquizar las acciones de mantenimiento y orientar la toma de decisiones dentro del plan de mantenimiento preventivo. Este enfoque es utilizado en evaluaciones de edificaciones existentes para optimizar recursos y atender primero los elementos con mayor impacto en la seguridad y funcionalidad [19], [21].

Tabla 3.

Nivel de prioridad de intervención

Nivel de prioridad	Criterio de intervención
Baja	No requiere intervención inmediata, se recomienda seguimiento visual y mantenimiento preventivo rutinario
Media	Requiere mantenimiento preventivo programado para evitar la progresión del deterioro
Alta	Requiere intervención correctiva a corto plazo debido al deterioro visible
Muy alta	Requiere intervención inmediata por riesgo potencial para la seguridad o funcionalidad del elemento

Inspección visual de la infraestructura del pilar

Tabla 4.

Registro de inspección visual basada en evidencia fotográfica

INSPECCIÓN VISUAL	
Elemento inspeccionado	Pilar
Ubicación	Área interior del edificio
Código de fotografía	Anexo A.1
Daño observado	Abertura no sellada en el elemento
Descripción visual	Se observa una apertura rectangular en la parte superior del pilar, con ausencia de recubrimiento superficial y discontinuidad del acabado, evidenciando una intervención previa
Extensión visible	Puntual
Condición visual	Regular
Nivel de prioridad	Recall (Mejora necesaria)
Observaciones	La condición observada no permite evaluar daño estructural, pero requiere corrección del acabado y sellado para preservar la integridad superficial del elemento

Inspección visual de la infraestructura de la cúpula

Tabla 5.

Registro de inspección visual basada en evidencia fotográfica – Cúpula

INSPECCIÓN VISUAL	
Elemento inspeccionado	Cúpula
Ubicación	Cubierta superior del edificio
Código de fotografía	Anexo A.2
Daño observado	Perforaciones visibles en el material de cubierta
Descripción visual	A simple vista se observan pequeños orificios puntuales distribuidos en la superficie translúcida de la cúpula, sin evidencia de fracturas extensas ni deformaciones estructurales en la geometría general
Extensión visible	Parcial
Condición visual	Regular
Nivel de prioridad	Media
Observaciones	Los orificios visibles podrían favorecer filtraciones de agua o pérdida de estanqueidad, por lo que se recomienda una revisión preventiva y sellado localizado para evitar deterioros progresivos

Inspección visual de la infraestructura de la baldosa

Tabla 6.

Registro de inspección visual basada en evidencia fotográfica – Baldosa

INSPECCIÓN VISUAL A SIMPLE VISTA	
Elemento inspeccionado	Baldosa (piso)
Ubicación	Área de circulación interna, sector estanterías
Código de fotografía	Anexo A.3
Condición observada	Conforme
Descripción visual	El patrón de separación entre baldosas corresponde al diseño arquitectónico original del piso, manteniéndose uniforme y sin evidencias de fisuras, desprendimientos o levantamientos
Daño visible	No se evidencian daños
Extensión	No aplica
Condición de visual	Buena
Nivel de prioridad	Baja
Observaciones	La separación visible forma parte del diseño del revestimiento del piso, no representando riesgo estructural ni funcional en el estado actual

3.2.2 Registro de mobiliario de la biblioteca

El levantamiento de carga viva de la biblioteca se realizó en los niveles Bajo, 1 y 2, cuantificando el peso combinado del mobiliario y el aforo de personas para establecer las condiciones de servicio reales en el análisis estructural, se identifica que el Piso Bajo se identificó como la zona crítica, soportando la mayor fuerza de 184.85 kN (18,843 kg) debido a una

alta densidad de ocupación y equipos pesados; le siguen el Piso 1 con una carga intermedia de 93.80 kN y el Piso 2 con 88.38 kN, caracterizado este último por mobiliario más ligero y modular.

Análisis de Cargas - Piso Bajo

Piso	Muebles	Peso (kg)	Nº	Peso*N
Bajo	Modulo de trabajo	36	16	576
	Silla sensa	4	195	780
	Mesa de lectura	20	65	1300
	Estanteria Metalica	20	81	1620
	Cancel Metálico	156	1	156
	Exhibidor de revistas	30	1	30
	Florero rectangular	30	2	60
	Modulo atencion counter	32	2	64
	Bienes sujetas a control mesa de compu- tadora	15	7	105
	Anaquel mixto, puertas, vidrios, blancos	20	1	20
	Armario medico	20	1	20
	Modular dos puentes	25	1	25
	Estacion de trabajo	20	1	20
	Carritos de libro frontal	15	1	15
	Mesa Trapezoidal	10	1	10
	Counter de atencion curvo	80	1	80
	Personas	71.6	195	13962
Total de peso				18843
Fuerza (N)				184849.83

Tabla 7.

Cálculo de Cargas y Pesos - Piso Bajo

Análisis de Cargas - Piso 1

Piso	Muebles	Peso (kg)	Nº	Peso*N
1	Modulo de trabajo	36	8	288
	Silla sensa	4	92	368
	Mesa de lectura	20	23	460
	Estanteria Metalica	20	61	1220
	Counter de atencion	80	1	80
	Exhibidor de revista	30	3	90
	Mueble modular	20	5	100
	Sillas de espera tres puestos	14	1	14
	Escritorio	15	1	15
	Anaquele modular abierto	20	1	20
	Modulo en fibra	60	1	60
	Modular tipo u plegable	10	2	20
	Mesa reunion modular	40	1	40
	Sillon ejecutivo piloto	7	16	112
	Archivador aéreo	15	1	15
	Estacion de trabajo	20	1	20
	Sofa bipersonal	10	3	30
	Mesa centro	10	1	10
	Sillas con brazos	6	2	12
	Personas	71.6	92	6587.2
Total				9561.2
Fuerza (N)				93795.37

Tabla 8.

Cálculo de Cargas y Pesos - Piso 1

Análisis de Cargas - Piso 2 (Tabla Larga)

Piso	Muebles	Peso (kg)	Nº	Peso*N
2	Modulo de trabajo	36	16	576
	Silla sensa	4	78	312
	Mesa de lectura	20	14	280
	Estantería Metálica	20	7	140
	Counter de atención curvo	80	1	80
	Exhibidor de revistas	30	3	90
	Mueble modular	20	5	100
	Sillas de espera tres puestos	10	1	10
	Modulo para internet	36	7	252
	Mueble modular para libros	20	1	20
	Mueble modular para cds	20	2	40
	Mesa multiuso	10	1	10
	Estación de trabajo	15	6	90
	Modular Camster	15	2	30
	Escritorio	15	5	75
	Carritos de libro frontal	15	4	60
	Anaquele librería modular	20	1	20
	Mesa Trapezoidal	10	1	10
	Librería modular	20	1	20
	Anaquele librería en melamínico	20	2	40
	Anaquele librero tipo librero	20	3	60
	Anaquele librero mixto	20	1	20
	Sillón giratorio Qhapor	10	3	30
	Escritorio modular	15	3	45
	Modulo en fibra madera	60	1	60
	Modular-comters	10	1	10
Continúa en la siguiente página...				

Cuadro 9 – continuación de la página anterior

Piso	Muebles	Peso (kg)	Nº	Peso*N
	Mueble cajón zapatero	16	1	16
	Sofá tipo poltrona	20	2	40
	Mesa central	15	1	15
	Perchero infantil	5	1	5
	Taburete cilíndrico	5	20	100
	Mesa de madera para niño	7	8	56
	Silla de madera pequeña	5	24	120
	Adorno árbol central	40	1	40
	Estantería para libros	20	1	20
	Mesa modular	10	2	20
	Anaquele modular tipo librero	20	1	20
	Estantería de madera circular	15	11	165
	Estantería de madera pequeña	10	4	40
	Puff gardner redondo	5	1	5
	Asiento individual al piso	4	31	124
	Estantería de madera	15	1	15
	Coche de reubicación de libro	8	1	8
	Coche para libros	10	1	10
	Poltrona de madera	15	1	15
	Pizarra	15	1	15
	Mesa de madera	15	1	15
	Taburete de madera	5	8	40
	Anaquele modular Audio, video	20	1	20
	Estantería de madera 3 comp	10	2	20
	Personas	71.6	78	5584.8
Total de peso				9008.8
Continúa en la siguiente página...				

Cuadro 9 – continuación de la página anterior

Piso	Muebles	Peso (kg)	Nº	Peso*N
Fuerza (N)				88376.32

Tabla 9.

Cálculo de Cargas y Pesos - Piso 2

Características Geométricas y Distribución de Cargas en los Pilares de la Planta Baja

En la planta baja se identificaron un total de 28 pilares de sección circular que conforman el sistema de soporte principal de la estructura. Cada elemento presenta dimensiones robustas, con un diámetro de 0.80 m y una longitud efectiva de 3.13 m. El análisis de cargas estáticas determinó una fuerza vertical total de 225,152.52 N actuando sobre este nivel; asumiendo una distribución equitativa de las cargas, cada pilar soporta una fuerza axial de servicio aproximada de 8,041 N, dato que servirá como condición de frontera para la evaluación de esfuerzos de compresión en la simulación.

Planta	Pilares	Peso Total (N)	Peso por Pilar (N)	Longitud (m)	Diámetro (m)
Baja	28	225,152.52	8,041.00	3.13	0.80

Tabla 10.

Características Geométricas y Distribución de Cargas en los Pilares de Planta Baja

3.2.3 Relación Fuerza-Deformación Axial en Pilar Crítico de Planta Baja bajo Cargas Incrementales

Resultados de Simulación: Fuerza vs Deformación En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis estático estructural mediante el método de elementos finitos (ANSYS), con el objetivo de validar el comportamiento elástico de los elementos portantes críticos bajo diferentes escenarios de carga, se realizará tres ensayos de simulación incremental para caracterizar la relación Fuerza-Deformación y verificar la rigidez de la estructura.

Ensayo A

En el **Ensayo A** (Tabla 11), al someter el elemento a un rango de carga alta desde 1000N hasta 20,000 N, el comportamiento del material se mantiene perfectamente lineal, cabe destacar que, bajo la carga de servicio estimada de 8,041 N correspondiente al peso distribuido de la planta baja, la deformación total es de apenas $1,70 \times 10^{-6}$ m ($1.68 \mu\text{m}$) tal como se puede observar en la siguiente imagen **Anexo A.4**.

Deformation (mm)	Force (N)
0.0002	1,000
0.001	5,000
0.0017	8,041
0.002	10,000
0.003	15,000
0.004	20,000

Tabla 11.
Deformación Total bajo Cargas de Servicio

Ensayo B

El **Ensayo B** (Tabla 12) valida el comportamiento en un rango intermedio, arrojando puntos de control adicionales como el de 4,691 N con una deformación de $9,85 \times 10^{-7}$ m, manteniendo la consistencia en la pendiente de rigidez observada en el primer ensayo **Anexo A.5**.

Deformation (mm)	Force (N)
0.0002	1,000
0.0004	2,000
0.0009	4,691
0.0016	8,000
0.0024	12,000
0.0031	15,000

Tabla 12.
Resultados de Simulación: Ensayo Intermedio

Ensayo C

El **Ensayo C** (Tabla 13) se enfoca en la sensibilidad de la estructura ante cargas menores, asociadas a componentes ligeros como la estructura de la cúpula, respecto a la fuerza de 1.535 N tiene una deformación de $3,10 \times 10^{-7}$ **Anexo A.6.**

Deformation (mm)	Force (N)
0.0000517	250
0.00015	750
0.00031	1,535
0.00046	2,250
0.00062	3,000
0.001	5,000

Tabla 13.
Deformación respecto a la cúpula

3.2.3.1 Resultados de Simulación: Fuerza vs Tensión (Pilar)

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis estático estructural mediante el método de elementos finitos (ANSYS), con el objetivo de validar el comportamiento elástico de los elementos portantes críticos bajo diferentes escenarios de carga, se realizará tres ensayos de simulación incremental para caracterizar la relación Fuerza-Tension y verificar la elasticidad de la estructura.

Ensayo A: Carga de Servicio

En este ensayo (Tabla 14) se simuló el comportamiento del pilar hasta una carga máxima de 20,000 N. El dato crítico observado es la respuesta ante la fuerza de 8,041 N (carga calculada en el inventario de Planta Baja). Las imagenes de resultados obtenidos con ANSYS se reflejan en el **Anexo A.7**.

Tensión (m)	Force (N)
0.002	1,000
0.013	5,000
0.021	8,041
0.027	10,000
0.040	15,000
0.053	20,000

Tabla 14.

Ensayo A: Tensión bajo carga de servicio

Ensayo B: Carga Intermedia

El segundo escenario (Tabla 15) evalúa puntos intermedios de carga, donde destaca la aplicación de una fuerza de 4,691 N, la cual genera una deformación de $4,57 \times 10^{-7}$ m, el ensayo verifica la precisión del modelo bajo cargas medias entre 2 kN y 8 kN, esto mantiene la coherencia con los resultados del primer ensayo **Anexo A.8**.

Tensión (m)	Force (N)
0.002	1,000
0.005	2,000
0.012	4,691
0.021	8,000
0.032	12,000
0.040	15,000

Tabla 15.

Ensayo B: Tensión de carga intermedia

Ensayo C: Carga Baja

El tercer ensayo (Tabla 16) se enfoca en cargas menores (hasta 5,000 N), representativas de elementos más ligeros como la estructura de la cúpula. Se observa que incluso con cargas de 1,535 N, la deformación es mínima ($1,49 \times 10^{-7}$ m), garantizando la estabilidad estructural ante cargas de peso propio de la cubierta **Anexo A.9**.

Tensión (m)	Force (N)
0.0006	250
0.002	750
0.004	1,535
0.006	2,250
0.008	3,000
0.013	5,000

Tabla 16.

Ensayo C: Tensión carga baja

3.2.4 Relación Fuerza-Deformación Axial en la Cúpula Cargas Incrementales

Resultados de Simulación: Fuerza vs Deformación

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis estático estructural mediante el método de elementos finitos (ANSYS), con el objetivo de validar el comportamiento elástico de los elementos portantes críticos bajo diferentes escenarios de carga para caracterizar la relación Fuerza-Deformación y verificar la rigidez de la estructura de la cúpula mediante fuerza.

3.2.5 Análisis de cargas de viento en la cúpula

Con el propósito de evaluar la influencia del viento sobre la cúpula de la biblioteca universitaria, se consideran los datos climáticos correspondientes a la ciudad de Ibarra para los meses de octubre, noviembre y diciembre [22], [23].

Velocidades promedio del viento

Tabla 17.

Velocidad promedio del viento en Ibarra (Octubre–Diciembre)

Año	Mes	Velocidad promedio (km/h)	Velocidad promedio (m/s)
2025	Noviembre	5.0	1.39
2025	Diciembre	5.0	1.39
2026	Enero	6.0	1.67

Modelo matemático de presión de viento

La presión dinámica del viento se determina mediante la expresión [24]:

$$q = \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (3.1)$$

donde:

- q = presión dinámica del viento (N/m²)
- ρ = densidad del aire (1.225 kg/m³)
- V = velocidad del viento (m/s)

La fuerza total actuante sobre la superficie proyectada de la cúpula se calcula como [25]:

$$F = q \cdot A \quad (3.2)$$

donde:

- q = presión dinámica del viento (N/m²)
- A = área proyectada.

El área proyectada se representa mediante la siguiente expresión [26]:

$$A = h \cdot D \quad (3.3)$$

- h = altura de la cúpula
- D = Diámetro de la cúpula

$$q = 6m \times 12m = 60 \text{ m}^2 \quad (3.4)$$

Para el análisis se considera un área aproximada de 60 m².

Desarrollo de los ensayos

Ensayo 1 – Noviembre

$$q = 0,5 \times 1,225 \times (1,39)^2 = 1,18 \text{ N/m}^2 \quad (3.5)$$

$$F = 1,18 \times 60 = 70,8 \text{ N} \quad (3.6)$$

Ensayo 2 – Diciembre

$$q = 0,5 \times 1,225 \times (1,39)^2 = 1,18 \text{ N/m}^2 \quad (3.7)$$

$$F = 1,18 \times 60 = 70,8 \text{ N} \quad (3.8)$$

Ensayo 3 – Enero 2026

$$q = 0,5 \times 1,225 \times (1,67)^2 = 1,71 \text{ N/m}^2 \quad (3.9)$$

$$F = 1,71 \times 60 = 102,6 \text{ N} \quad (3.10)$$

Resumen de fuerzas estimadas

Tabla 18.

Fuerza estimada del viento sobre la cúpula (Nov 2025 – Ene 2026)

Año	Mes	Velocidad (m/s)	Presión q (N/m ²)	Fuerza F (N)
2025	Noviembre	1.39	1.18	70.8
2025	Diciembre	1.39	1.18	70.8
2026	Enero	1.67	1.71	102.6

Los resultados muestran que las cargas de viento promedio en la ciudad de Ibarra presentan valores moderados, generando fuerzas relativamente bajas sobre la cúpula bajo condiciones medias mensuales.

Ensayo A (Fuerza vs Deformación) En este ensayo, presentado en la Tabla 12, se simuló el comportamiento estructural de la cúpula mediante la aplicación de ocho fuerzas distribuidas, representativas de la fuerza de carga de viento en la ciudad de Ibarra que actúan sobre la estructura **Anexo A.10**.

Año	Mes	Deformation (mm)	Force (N)
2025	Noviembre	1.70	70.8
2025	Diciembre	1.70	70.8
2026	Enero	2.46	102.6

Tabla 19.

Ensayo A: Deformación bajo carga de servicio

Resultados de Simulación: Fuerza vs Tensión

Ensayo A (Fuerza vs Tensión) En este ensayo, presentado en la Tabla 14, se simuló el comportamiento estructural de la cúpula mediante la aplicación de ocho fuerzas distribuidas,

representativas de las condiciones reales de carga que actúan sobre la estructura, la simulación se desarrolló de forma progresiva con el objetivo de evaluar la relación entre la fuerza aplicada y la tensión generada en los elementos estructurales **Anexo A.11**.

Año	Mes	Tensión (m)	Force (N)
2025	Noviembre	2.23	70.8
2025	Diciembre	2.23	70.8
2026	Enero	3.23	102.6

Tabla 20.

Ensayo A: Deformación bajo carga de servicio

3.2.5.1 Registro de eventos naturales

Durante la revisión del Registro de Eventos Naturales a nivel nacional, no se identificaron fichas ni reportes que evidencien la ocurrencia de eventos naturales que hayan provocado daños estructurales en el edificio de la biblioteca universitaria, la inexistencia de estos registros se debe a que, hasta la fecha de evaluación, la edificación no ha sido afectada por fenómenos naturales de magnitud significativa que comprometan su integridad estructural, por lo cual no se cuenta con antecedentes documentados en este registro.

3.2.5.2 Registro de Catástrofes

En el análisis del Registro de Catástrofes no se encontraron fichas técnicas asociadas a daños estructurales en la infraestructura de la biblioteca universitaria, esto indica que el edificio no ha sido objeto de eventos catastróficos que hayan generado afectaciones estructurales registradas oficialmente, razón por la cual no existen documentos históricos que evidencien intervenciones correctivas derivadas de este tipo de eventos.

3.2.5.3 Registro de cortes eléctricos

Del análisis del Plan de Mantenimiento de Instalaciones Eléctricas de Fuerza e Iluminación de la Biblioteca Universitaria, elaborado por la Dirección de Mantenimiento y Construcciones de la Universidad Técnica del Norte, se evidencia la existencia de cortes e interrupciones en el suministro eléctrico asociadas al envejecimiento de las instalaciones, al desgaste de los componentes eléctricos y a la operación continua de los sistemas de iluminación y fuerza, esta situación se sustenta en la necesidad documentada de ejecutar actividades periódicas de inspección, medición de cargas y tensiones, ajuste de conexiones, verificación de protecciones, mantenimiento de tableros eléctricos, revisión de circuitos y pruebas de sistemas de iluminación de emergencia, las cuales se encuentran establecidas de manera formal en dicho plan institucional.

Estos registros y las actividades reflejan que los cortes eléctricos no fueron ocasionados por daños estructurales en la infraestructura de la biblioteca, pero sí han generado interrupciones que justifican en implementar y fortalecer un mantenimiento preventivo que está orientado en garantizar la continuidad del servicio eléctrico, la seguridad de los usuarios y la protección de los equipos eléctricos y electrónicos de la biblioteca universitaria.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Especificaciones del sistema a diseñar

Normativa estructural aplicable

La evaluación y el diseño de edificaciones requieren un marco normativo técnico que establezca criterios claros para garantizar la seguridad, funcionalidad y desempeño estructural a lo largo del tiempo, estas normativas estructurales constituyen el fundamento técnico que define las cargas de diseño, los límites admisibles de deformación y desplazamiento, los estados límite de servicio y resistencia, así como los parámetros para el análisis ante acciones sísmicas y condiciones de uso reales.

En el contexto de edificaciones en servicio, estas disposiciones no solo orientan el diseño inicial, sino que también proporcionan umbrales de comparación fundamentales para la evaluación estructural mediante métodos analíticos y simulaciones numéricas, que será a través de estos límites técnicos es posible determinar si el comportamiento estructural se mantiene dentro de rangos aceptables, incluso cuando no existen manifestaciones visibles de daño.

Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción, en su capítulo estructural (NEC-SE), constituye el principal marco normativo nacional para el diseño, evaluación y control de edificaciones, esta normativa establece los criterios fundamentales para la determinación de cargas permanentes y variables, así como los límites admisibles de deformación y desplazamiento en elementos estructurales [16]

Dentro del sistema de mantenimiento preventivo propuesto, la NEC-SE cumple un rol esencial

al definir los valores máximos permisibles de respuesta estructural que sirven como umbrales de comparación frente a los resultados obtenidos mediante simulación numérica, estos límites permiten identificar condiciones de servicio inadecuadas, incluso cuando no se evidencian fallas visibles en la estructura [16]

La aplicación de la NEC-SE garantiza que la evaluación estructural se realice bajo parámetros compatibles con las condiciones reales de uso de la edificación, asegurando la funcionalidad y seguridad de la biblioteca universitaria [16]

NEC-SE-DS (Diseño Sismo resistente)

La NEC-SE-DS establece los criterios específicos para el diseño y evaluación sismorresistente de edificaciones en el territorio ecuatoriano, esta normativa define las derivas máximas admisibles, clasifica las zonas sísmicas y determina los niveles de desempeño estructural esperados ante eventos sísmicos [17].

En el contexto del sistema diseñado, la NEC-SE-DS permite evaluar la respuesta estructural ante acciones sísmicas normativas, proporcionando límites claros para la interpretación de desplazamientos relativos entre niveles, estos límites son fundamentales para estimar el nivel de vulnerabilidad sísmica y para establecer acciones preventivas orientadas a minimizar daños estructurales y no estructurales [17].

La incorporación de esta normativa dentro del sistema de mantenimiento preventivo permite anticipar posibles escenarios de afectación sísmica y planificar intervenciones que reduzcan riesgos operativos y costos asociados a reparaciones correctivas posteriores [17].

ACI 318 – Concreto estructural

El reglamento ACI 318 menciona los requisitos técnicos para el diseño, análisis y la evaluación de elementos de concreto estructural, esto incluye algunos criterios relacionados con control de fisuración, estados límite de servicio y el comportamiento del material a largo plazo.

Dentro del sistema propuesto, el ACI 318 se utiliza como referencia para la definición de esfuerzos admisibles y para la evaluación de los efectos acumulativos de deformación y fisuración en elementos estructurales, este enfoque resulta especialmente relevante en edificaciones existentes, donde los daños pueden desarrollarse de manera progresiva sin manifestaciones

inmediatas[18].

La aplicación del ACI 318 justifica la implementación de un mantenimiento preventivo basado en el control de condiciones de servicio, incluso cuando los elementos estructurales no presentan fallas visibles, contribuyendo a la conservación de la capacidad resistente y la vida útil de la infraestructura[18].

ISO 13822 – Evaluación de estructuras existentes

La norma ISO 13822 proporciona lineamientos para la evaluación de estructuras existentes, considerando aspectos relacionados con envejecimiento estructural, vida útil y criterios de evaluación preventiva, esta norma resulta especialmente aplicable en edificaciones en servicio que requieren estrategias de mantenimiento orientadas a la prevención y gestión del deterioro [19].

En el sistema diseñado, la ISO 13822 respalda la necesidad de realizar evaluaciones periódicas basadas en indicadores técnicos y monitoreo estructural, permitiendo identificar oportunamente condiciones que puedan comprometer el desempeño de la edificación [19].

La incorporación de esta normativa fundamenta técnicamente la implementación de un plan de mantenimiento preventivo basado en indicadores, alineado con una gestión planificada y eficiente de la infraestructura de la biblioteca universitaria [19].

4.1.1 Planteamiento de alternativas de solución

Alternativa 1: Mantenimiento correctivo reactivo

El mantenimiento correctivo reactivo corresponde a un enfoque de intervención en el cual las acciones de mantenimiento se ejecutan únicamente después de que se manifiesta una falla visible, un daño funcional o una interrupción del servicio del elemento constructivo, este tipo de mantenimiento se apoya principalmente en la observación directa y en la atención inmediata de eventos que afectan la operatividad del edificio [27].

Normativas consideradas

Este enfoque está relacionado con marcos generales de gestión de seguridad y operación, como la ISO 45001:2018, donde establece los lineamientos para el control de riesgos en entornos de trabajo y la respuesta en condiciones inseguras, su aplicación puede orientar el proceso de actuación frente a incidentes que comprometan la seguridad de los usuarios del edificio [28].

Análisis costo–beneficio

En términos de costo–beneficio, este enfoque concentra los recursos económicos en intervenciones no programadas que se originan a partir de la ocurrencia de fallas, la asignación presupuestaria se realiza de manera reactiva, lo que implica variaciones en los costos operativos y dependencia de la frecuencia e intensidad de los eventos que afectan a la infraestructura, situación analizada en estudios recientes sobre gestión de mantenimiento correctivo en edificaciones existentes [29].

Alternativa 2: Mantenimiento preventivo tradicional

El mantenimiento preventivo tradicional se fundamenta en la ejecución de inspecciones periódicas y actividades programadas con el objetivo de conservar las condiciones funcionales del edificio, estas acciones se estructuran mediante planes de mantenimiento basados en calendarios de intervención, inspecciones visuales y revisiones generales de los elementos constructivos, sin integrar necesariamente indicadores estructurales cuantitativos ni simulaciones numéricas avanzadas [29].

Normativas consideradas

Este enfoque puede vincularse con sistemas de gestión de la calidad como la ISO 9001:2015, que promueve la planificación, documentación y control de procesos organizacionales, incluyendo actividades de mantenimiento, puede apoyarse en normativas nacionales de construcción para inspección general y conservación de edificaciones, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en sus disposiciones generales sobre seguridad y servicio de las estructuras [29].

Análisis costo–beneficio

Desde el punto de vista económico, este enfoque permite una distribución planificada de

los costos asociados al mantenimiento mediante intervenciones periódicas previamente establecidas. La programación facilita la asignación de recursos humanos y materiales dentro de presupuestos anuales, reduciendo la incertidumbre financiera asociada a fallas inesperadas, aspecto documentado en literatura reciente sobre mantenimiento preventivo en infraestructura civil [29].

Alternativa 3: Mantenimiento preventivo basado en indicadores estructurales

El mantenimiento preventivo basado en indicadores estructurales integra información cuantitativa obtenida a partir del análisis estructural del edificio, incluyendo resultados de simulaciones por elementos finitos, medición de deformaciones, esfuerzos y respuesta sísmica. Este enfoque utiliza indicadores técnicos que permiten caracterizar el comportamiento real de los elementos estructurales y apoyar la planificación del mantenimiento sobre bases analíticas verificables [30].

Normativas consideradas

Este enfoque se sustenta en normativas técnicas específicas, como la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC, particularmente el capítulo NEC-SE-DS: Diseño sismorresistente, que establece límites de deriva y criterios de desempeño estructural ante acciones sísmicas. De manera complementaria, se consideran normativas internacionales como ACI 318 para el diseño y evaluación de elementos de concreto estructural, así como ISO 13822, orientada a la evaluación de estructuras existentes, las cuales proporcionan marcos técnicos para la interpretación de resultados estructurales y la toma de decisiones de mantenimiento [30].

Análisis costo–beneficio

El análisis costo–beneficio en este enfoque relaciona la inversión inicial en análisis técnico y modelación estructural con la planificación de intervenciones fundamentadas en indicadores medibles. La asignación de recursos se estructura en función del desempeño estructural y del nivel de sollicitación de los elementos, permitiendo una gestión económica alineada con el ciclo de vida del activo y con criterios de optimización de recursos, aspecto ampliamente

abordado en estudios recientes de mantenimiento basado en condición en edificaciones [30].

4.1.2 Selección de la mejor solución

4.1.3 Criterios de evaluación y ponderación

Criterio	Descripción	Peso (%)
Seguridad estructural	Control de tensiones y deformaciones obtenidas del análisis estructural numérico, orientado a preservar la integridad resistente y prolongar la vida útil del edificio, conforme a criterios de evaluación de estructuras existentes [31]	30
Cumplimiento normativo	Alineación con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE y NEC-SE-DS), ACI 318 para concreto estructural y la normas ISO 13822, garantizando respaldo técnico y legal para edificaciones existentes [16], [18], [19]	25
Riesgo sísmico	Evaluación de la vulnerabilidad estructural ante acciones sísmicas mediante el control de derivas y desplazamientos, considerando el desempeño estructural frente a cargas dinámicas [31]	20
Viabilidad técnica	Factibilidad de implementación del sistema de mantenimiento considerando disponibilidad de información, herramientas de análisis y recursos técnicos institucionales [32]	15
Impacto operativo	Capacidad del sistema de mantenimiento para asegurar la continuidad del servicio y minimizar interrupciones en las actividades académicas durante las intervenciones [19]	10
Total		100

Tabla 21.

Matriz de criterios de evaluación para la selección de la alternativa de mantenimiento

Con el propósito de seleccionar la alternativa de solución más adecuada para el mantenimiento preventivo de la infraestructura de la biblioteca universitaria, se establecieron criterios de evaluación orientados a valorar de manera objetiva el desempeño técnico, normativo y operativo de cada enfoque planteado. Según Mobley, la definición de criterios claros y ponderados permite estructurar procesos de decisión más confiables en la gestión de activos físicos, alineados con los objetivos del estudio y con las condiciones reales de operación de la edificación, garantizando evaluaciones integrales y técnicamente coherentes [32].

La seguridad estructural representa una ponderación del 30 %, donde constituye el factor de mayor impacto que está dentro del proceso de evaluación. Según Chopra [31], el control de las tensiones y deformaciones obtenidas a partir del análisis estructural numérico permite verificar que los esfuerzos y desplazamientos sometidos por las cargas aplicadas se mantengan dentro de los límites admisibles, además para preservar la integridad estructural y prolongar la vida útil de los elementos constructivos, por consiguiente, el uso de herramientas de simulación como ANSYS puede desarrollar el proceso de la evaluación del comportamiento resistente de la estructura bajo diferentes escenarios de carga.

El cumplimiento normativo, ponderado con un 25 %, evalúa el grado de alineación de cada alternativa con las disposiciones técnicas establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE y NEC-SE-DS), el reglamento ACI 318 para concreto estructural y la norma ISO 13822 para la evaluación de estructuras existentes. Según el American Concrete Institute, el cumplimiento de criterios normativos garantiza que las estructuras mantengan niveles adecuados de seguridad y desempeño durante su vida útil, proporcionando respaldo técnico y legal indispensable para edificaciones de uso público y académico [16], [18], [19].

El criterio de riesgo sísmico, con un peso del 20 %, considera la vulnerabilidad de la estructura ante eventos sísmicos, tomando como referencia los resultados de derivas y desplazamientos obtenidos del análisis estructural. Según Chopra, la evaluación del desempeño sísmico permite identificar el comportamiento global del sistema estructural frente a acciones dinámicas y su incidencia en la generación de daños estructurales y no estructurales, los cuales pueden comprometer tanto la seguridad de los usuarios como la funcionalidad del edificio

[31].

La viabilidad técnica, asignada con un 15 %, analiza la factibilidad de implementar cada alternativa desde el punto de vista operativo y técnico. Según Mobley, un sistema de mantenimiento resulta efectivo únicamente cuando existen recursos técnicos, información confiable, herramientas de análisis adecuadas y personal capacitado, asegurando que la solución propuesta pueda ejecutarse dentro del contexto institucional sin comprometer su sostenibilidad operativa [32].

El impacto operativo con una ponderación del 10 %, evaluará la influencia de cada alternativa sobre la continuidad del servicio de la biblioteca universitaria. Según la ISO 13822, la planificación de intervenciones en estructuras existentes se debe orientarse a minimizar la interrupción de todas las actividades del edificio, para garantizar la seguridad de los usuarios y el funcionamiento de los espacios durante las labores de mantenimiento [19].

La asignación de ponderaciones, cuyo total equivale al 100 %, permite jerarquizar los criterios en función de su importancia relativa, estableciendo una base técnica sólida para la selección de la alternativa más adecuada en el subcapítulo siguiente, conforme a enfoques de toma de decisiones multicriterio aplicados a la gestión del mantenimiento en edificaciones [32].

4.1.4 Tabla meta de selección

A partir de la aplicación de los criterios de evaluación y ponderación definidos, se procedió a analizar el desempeño de cada alternativa de mantenimiento considerando su respuesta frente a la seguridad estructural, el cumplimiento normativo, el riesgo sísmico, la viabilidad técnica y el impacto operativo, el resultado de esta evaluación permitió asignar un puntaje global y un nivel de selección para cada enfoque de mantenimiento.

Alternativa	Puntaje total	Nivel
Correctivo	Bajo	No seleccionada
Preventivo tradicional	Medio	Parcial
Preventivo basado en indicadores	Alto	Seleccionada

Tabla 22.

Selección de la alternativa de mantenimiento

Alternativa de mantenimiento correctivo

La alternativa de mantenimiento correctivo obtuvo un puntaje total bajo, lo que determinó su clasificación como no seleccionada, según Moubray [33], este tipo de mantenimiento se caracteriza por una intervención reactiva, ejecutada únicamente después de que la falla se manifiesta, lo que impide un control sistemático de tensiones y deformaciones y aumenta el riesgo de daños acumulativos en los elementos estructurales. Desde el punto de vista del cumplimiento normativo, aunque puede resolver fallas puntuales, este enfoque no garantiza una alineación integral con los criterios de desempeño estructural establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción ni con los principios de diseño del ACI 318, orientados a la seguridad y durabilidad de las estructuras [16], [18]. En relación con el riesgo sísmico, según Chopra [31], la ausencia de evaluaciones previas de derivas y de análisis del comportamiento dinámico limita la capacidad de anticipación ante eventos sísmicos. Si bien su viabilidad técnica es alta por su simplicidad operativa, Dhillon [34] señala que el impacto operativo suele ser significativo, debido a interrupciones no planificadas que afectan la continuidad del servicio en edificaciones de uso público, como bibliotecas universitarias.

Alternativa de mantenimiento preventivo tradicional

La alternativa de mantenimiento preventivo tradicional alcanzó un puntaje total medio, clasificándose con un nivel parcial, según Wireman [35], este enfoque se basa principalmente en inspecciones periódicas y actividades programadas que permiten identificar deterioros visibles, aunque sin un análisis detallado del estado tensional de los elementos estructurales.

En términos de cumplimiento normativo, puede apoyarse de forma general en los lineamientos de la NEC y en criterios básicos de mantenimiento, sin integrar de manera explícita metodologías avanzadas de evaluación estructural recomendadas para edificaciones existentes [16]. Respecto al riesgo sísmico, Chopra [31] indica que los análisis cualitativos, no sustentados en modelos numéricos, resultan insuficientes para caracterizar el comportamiento estructural ante acciones sísmicas. Desde la viabilidad técnica, su implementación es factible dentro del contexto institucional; sin embargo, según Mobley [32], la falta de indicadores cuantitativos limita la priorización objetiva de elementos críticos, afectando la optimización de recursos y la efectividad global del plan de mantenimiento.

Alternativa de mantenimiento preventivo basado en indicadores estructurales

La alternativa de mantenimiento preventivo basado en indicadores estructurales obtuvo un puntaje total alto, siendo clasificada como seleccionada, según Moubray [33], los sistemas de mantenimiento fundamentados en indicadores permiten una gestión proactiva del desempeño estructural y contribuyen directamente a la extensión de la vida útil de los activos. En términos de seguridad estructural, este enfoque posibilita el control cuantitativo de tensiones, deformaciones y derivas mediante resultados de simulación numérica, asegurando que el comportamiento estructural se mantenga dentro de los límites admisibles establecidos por la normativa vigente [18]. En cuanto al cumplimiento normativo, la integración explícita de la NEC, el ACI 318 y la norma ISO 13822 proporciona un respaldo técnico y legal sólido para la toma de decisiones en edificaciones existentes [16], [18], [19]. Respecto al riesgo sísmico, Chopra [31] destaca que el uso de indicadores derivados de análisis estructurales permite evaluar de forma anticipada la respuesta sísmica y reducir la probabilidad de daños severos. Finalmente, desde el punto de vista operativo, Dhillon [34] señala que este enfoque facilita la programación eficiente de intervenciones, minimizando interrupciones inesperadas y garantizando la continuidad del servicio en infraestructuras académicas.

4.1.5 Especificaciones del sistema diseñado

El sistema de mantenimiento preventivo diseñado se fundamenta en la integración de indicadores técnicos cuantificables que permiten evaluar de manera objetiva el estado estructural y operativo de la infraestructura de la biblioteca universitaria, estos indicadores fueron seleccionados en función de su relevancia para la seguridad estructural, el cumplimiento normativo, la respuesta sísmica y la continuidad del servicio, así como por su capacidad para ser obtenidos mediante herramientas de análisis numérico y criterios técnicos reconocidos, cada indicador aporta información específica sobre el comportamiento de los elementos estructurales ante las cargas de servicio y acciones sísmicas, permitiendo identificar condiciones críticas, priorizar intervenciones y sustentar la toma de decisiones dentro del plan de mantenimiento preventivo.

Datos de entrada del sistema Tensiones Estructurales

Componente	Detalle
Dato	Tensiones estructurales
Origen	Resultados del análisis numérico en ANSYS (criterio de von Mises)
Qué representan	Nivel de esfuerzo interno desarrollado en los elementos estructurales
Uso	Evaluar la proximidad de las tensiones obtenidas respecto a los límites admisibles del material
Relación normativa	ACI 318: verificación de esfuerzos admisibles en elementos de concreto estructural

Tabla 23.

Descripción del indicador estructural: Tensiones

Las tensiones estructurales constituyen uno de los principales datos de entrada del sistema de mantenimiento preventivo propuesto, debido a su relación directa con la seguridad y el desempeño de los elementos que conforman la infraestructura de la biblioteca universitaria,

según Hibbeler, el estado tensional de una estructura permite evaluar su comportamiento mecánico y su capacidad para resistir las acciones aplicadas sin comprometer su integridad estructural [36], para este estudio, la variable considerada corresponde a la tensión equivalente de von Mises, obtenida a partir de los resultados del análisis numérico realizado en el software ANSYS [37].

El dato utilizado, identificado como ANSYS, representa el nivel de esfuerzo interno desarrollado en los elementos estructurales cuando estos son sometidos a las cargas definidas en el modelo, de acuerdo con Cook et al., la tensión equivalente de von Mises integra los diferentes componentes del estado de esfuerzos en un único valor representativo, lo que facilita la evaluación del comportamiento del material bajo condiciones de carga combinada [38].

El origen de esta información proviene directamente de los resultados del módulo de análisis estructural de ANSYS, específicamente del resultado denominado Stress – Equivalent (von Mises), el cual, según el manual técnico del software, es ampliamente utilizado en la evaluación estructural debido a su capacidad para identificar zonas críticas de concentración de esfuerzos y posibles fallas locales [37].

El uso principal de este dato dentro del sistema de mantenimiento preventivo es evaluar la proximidad del esfuerzo actuante respecto al límite admisible del material, permitiendo identificar elementos que operan cerca de su capacidad resistente, según Nowak y Collins, la comparación entre esfuerzos actuantes y esfuerzos admisibles es fundamental para anticipar procesos de deterioro, fisuración o pérdida de capacidad estructural, incluso en ausencia de daños visibles [39].

Desde el punto de vista normativo, la interpretación de las tensiones estructurales se encuentra directamente relacionada con lo establecido en el ACI 318, el cual define los esfuerzos admisibles y los estados límite de servicio del concreto estructural, según el American Concrete Institute, la verificación del cumplimiento de estos límites permite garantizar un desempeño adecuado de los elementos estructurales durante su vida útil, al contrastar los valores obtenidos en ANSYS con los límites normativos, es posible determinar la necesidad de acciones preventivas dentro del plan de mantenimiento propuesto [18].

Deformaciones

Componente	Detalle
Dato	δ (Deformación total)
Origen	ANSYS (Total Deformation)
Qué representan	Cambio de forma del elemento estructural bajo la acción de cargas
Importancia	Deformaciones repetidas pueden generar fisuración, pérdida de rigidez y desgaste progresivo
Relación normativa	NEC-SE $\rightarrow$ límites admisibles de deformación (L/360)

Tabla 24.

Descripción del indicador: Deformaciones

Las deformaciones estructurales constituyen un dato fundamental dentro del sistema de mantenimiento preventivo propuesto, ya que permiten evaluar el comportamiento real de los elementos estructurales frente a las cargas aplicadas y su evolución en el tiempo, según Hernández-Montes y Aschheim [40], el control de desplazamientos es un criterio clave de desempeño en estructuras existentes, especialmente para garantizar condiciones adecuadas de servicio y seguridad funcional [40]. En este estudio, la variable considerada corresponde a la deformación total, obtenida a partir de los resultados del análisis numérico realizado en el software ANSYS, herramienta ampliamente empleada para evaluar el comportamiento deformacional de sistemas estructurales [37].

El dato utilizado, identificado como Δ_{ANSYS} , representa el desplazamiento máximo o cambio de forma que experimenta un elemento estructural como consecuencia de la aplicación de cargas, de acuerdo con Hibbeler, los desplazamientos permiten identificar la respuesta global y local de una estructura, así como posibles concentraciones de flexión o efectos de servicio no deseados [36]. Este parámetro resulta especialmente útil para detectar zonas críticas donde los desplazamientos pueden afectar el desempeño estructural y la funcionalidad

del sistema.

El origen de esta información proviene del resultado denominado Total Deformation del software ANSYS, el cual integra los desplazamientos en las direcciones principales, proporcionando una medida representativa del comportamiento deformacional del sistema estructural bajo las condiciones de carga analizadas, según la documentación técnica de ANSYS, este resultado es apropiado para la evaluación de estados límite de servicio en modelos estructurales [37].

La importancia del análisis de deformaciones se menciona en que, incluso cuando los esfuerzos no superen la capacidad y la resistencia del material, las deformaciones repetitivas o acumulativas pueden generar fisuración, pérdida de rigidez y deterioro progresivo, según Calavera y González-Valle, quienes destacan que el control de deformaciones es esencial para prevenir daños funcionales [41].

Desde el punto de vista normativo, la evaluación de las deformaciones se realiza conforme a los límites establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE), la cual define valores máximos admisibles de deformación para estados límite de servicio, comúnmente expresados como una relación entre la luz del elemento y el desplazamiento permitido, siendo el criterio $L/360$ uno de los más utilizados, este enfoque es coherente con lo indicado por normas internacionales de diseño estructural en servicio [16]. La comparación de los valores de Δ_{ANSYS} con estos límites permite identificar elementos que requieren monitoreo, inspección o intervención preventiva dentro del plan de mantenimiento propuesto.

Indicadores estructurales del sistema

Con el fin de evaluar el comportamiento estructural del pilar y de la cúpula ante las cargas aplicadas, se emplearán indicadores de desempeño estructural que permitan analizar el nivel de seguridad, servicio y estabilidad del sistema.

4.1.6 Indicador de Utilización Estructural (IU)

Qué mide el Indicador de Utilización estructural

El Indicador de Utilización Estructural (IU) mide el grado de aprovechamiento de la capacidad resistente de un elemento estructural de concreto, a partir de la relación entre la tensión actuante generada por las cargas de servicio y la tensión admisible definida por la normativa técnica vigente. Según Nilson, Darwin y Dolan, la evaluación de la relación esfuerzo–capacidad en elementos de concreto permite determinar si el comportamiento estructural se mantiene dentro de condiciones aceptables de servicio y seguridad [42].

Este indicador puede cuantificar el nivel de exigencia mecánica al que se encuentra sometido los elementos estructurales para identificar componentes que operan próximos a sus límites admisibles, incluso cuando no presenten manifestaciones visibles de daño. De acuerdo con Calavera, este tipo de evaluación es fundamental en planes de mantenimiento preventivo, ya que permite anticipar procesos de deterioro antes de que se produzcan fallas evidentes [43].

Tensión máxima von Mises

(σ_{ANSYS}) La variable principal empleada para el cálculo del IU corresponde a la tensión equivalente de von Mises, denotada como σ_{ANSYS} , obtenida a partir del análisis estructural desarrollado en el software ANSYS. Esta tensión representa un valor equivalente que integra los efectos combinados de los esfuerzos normales y cortantes presentes en un estado tridimensional de carga. Según Hibbeler, la tensión de von Mises es un criterio ampliamente utilizado para evaluar el estado tensional de materiales sometidos a solicitaciones complejas, permitiendo identificar zonas críticas de concentración de esfuerzos [36].

En estructuras de material concreto, este parámetro resulta útil para contrastar los esfuerzos obtenidos numéricamente con los límites admisibles establecidos por la normativa para la evaluación del desempeño estructural.

Origen del dato

El valor de σ_{ANSYS} proviene del postproceso del análisis estructural realizado en ANSYS, en específico del resultado Equivalent Stress (von Mises), este resultado permite evaluar

de manera global el estado de esfuerzos en los elementos estructurales y es utilizado como referencia para estudios comparativos con los criterios normativos [37].

Este valor constituye el dato de entrada principal para el cálculo del Indicador de Utilización Estructural, ya que permite relacionar el comportamiento numérico de los elementos de concreto con los esfuerzos admisibles definidos por normas como el ACI 318 y la Norma Ecuatoriana de la Construcción, aportando una base técnica sólida para la toma de decisiones dentro del sistema de mantenimiento preventivo propuesto [18]

4.1.7 Esfuerzo admisible del material (σ_{adm})

El esfuerzo admisible del material, denotado como σ_{adm} , corresponde al valor límite de tensión que un elemento estructural puede soportar bajo condiciones normales de servicio, garantizando un comportamiento seguro, estable y duradero, según el American Concrete Institute [18]. Este parámetro se establece conforme a los criterios de diseño y verificación definidos en la normativa ACI 318 – Concreto estructural, la cual regula los estados límite de resistencia y de servicio para estructuras de hormigón armado [18].

El valor de σ_{adm} se obtiene a partir de la resistencia característica del material, considerando factores de reducción, coeficientes de seguridad y efectos de largo plazo, tales como fluencia, retracción y degradación progresiva del concreto, según lo establecido por el American Concrete Institute [18]. De esta manera, se asegura que los esfuerzos reales que actúan sobre la estructura se mantengan dentro de un rango operativo seguro, minimizando la probabilidad de fisuración excesiva, deformaciones permanentes y deterioro prematuro, en concordancia con los criterios de desempeño estructural indicados por Nilson, Darwin y Dolan [44].

Desde el punto de vista funcional, el esfuerzo admisible permite establecer un criterio cuantitativo de control del desempeño estructural, lo cual resulta esencial para el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo basado en indicadores técnicos, según lo expuesto por Park y Paulay en el análisis del comportamiento estructural en servicio [45]. La comparación entre

el esfuerzo real obtenido mediante simulación numérica y el esfuerzo admisible normativo permite evaluar el nivel de exigencia mecánica de cada elemento estructural, conforme a los principios de evaluación estructural establecidos en normativa internacional [18].

Origen del dato

El valor de σ_{adm} proviene de las disposiciones establecidas en la norma ACI 318 – Building Code Requirements for Structural Concrete, publicada por el American Concrete Institute [18], la cual define los criterios para el diseño, evaluación y control del comportamiento estructural de elementos de concreto armado bajo cargas de servicio. Esta normativa constituye una referencia internacional ampliamente aceptada para la evaluación del desempeño estructural en edificaciones existentes.

Datos que intervienen en el cálculo

Para la determinación del Indicador de Utilización Estructural (IU) se emplean los siguientes datos:

Tensión máxima von Mises (σ_{ANSYS}): Representa la tensión equivalente obtenida a partir del análisis estructural numérico desarrollado en el software ANSYS, integrando los esfuerzos normales y cortantes generados por las cargas aplicadas, conforme al criterio de energía de distorsión propuesto por von Mises y ampliamente desarrollado en la teoría de resistencia de materiales [36], [46].

Esfuerzo admisible del material (σ_{adm}): Valor límite normativo que define la máxima tensión permisible en el concreto estructural bajo condiciones de servicio, establecido conforme al ACI 318 [18].

Esfuerzo admisible del concreto [18]:

$$\sigma_{adm} = 0,45 f'_c$$

Resistencia adoptada del concreto (uso académico común) [44]:

$$f'_c = 21 \text{ MPa}$$

Resultado:

$$\sigma_{\text{adm}} = 0,45 \times 21 = 9,45 \text{ MPa}$$

Fórmula del Indicador de Utilización Estructural (IU)

El Indicador de Utilización Estructural se fundamenta en el criterio de comparación entre la demanda estructural obtenida mediante análisis numérico y la capacidad resistente admisible del material, conforme a los principios de verificación por estados límite establecidos en la normativa ACI 318 [18].

$$IU = \frac{\sigma_{\text{ANSYS}}}{\sigma_{\text{adm}}} \quad (4.1)$$

Donde:

- σ_{ANSYS} = tensión equivalente de von Mises obtenida en ANSYS (MPa), basada en el criterio de energía de distorsión para evaluación de esfuerzos equivalentes [36].
- σ_{adm} = esfuerzo admisible del material según ACI 318 (MPa) [18].

Esta relación adimensional permite cuantificar el grado de utilización de la capacidad resistente del elemento estructural, en concordancia con los procedimientos de evaluación estructural y verificación de desempeño indicados en ASCE 41 para estructuras existentes [47], facilitando la comparación directa entre distintos componentes del sistema.

Interpretación del indicador

La clasificación del indicador IU se establece siguiendo criterios de desempeño estructural

y márgenes de seguridad recomendados en literatura técnica y guías de evaluación estructural [48], [47]:

IU bajo ($IU < 0,40$): Indica que el elemento estructural trabaja holgadamente dentro de su capacidad resistente, presentando un margen adecuado de seguridad y bajo riesgo de deterioro mecánico, conforme a criterios de desempeño en servicio [48].

IU medio ($0,40 \leq IU \leq 0,70$): Representa un nivel de utilización moderado, donde el elemento opera en condiciones normales, pero requiere seguimiento periódico para controlar posibles efectos acumulativos, según lineamientos de evaluación estructural [47].

IU alto ($IU > 0,70$): Se menciona una alta proximidad al límite admisible, lo cual aumenta la probabilidad de que suceda una fisuración, degradación progresiva y la pérdida de rigidez, esto justifica la implementación de acciones preventivas prioritarias [48].

Ensayo A – Cálculo del Indicador de Utilización (IU) Pilar

La Tabla 25 presenta los resultados del Indicador de Utilización (IU) para el pilar sometido a cargas crecientes entre 1 000 N y 20 000 N. Se observa que los esfuerzos obtenidos mediante ANSYS son extremadamente bajos en comparación con el esfuerzo admisible del concreto (9,45 MPa), generando valores de IU comprendidos entre 0,0002 y 0,0056.

Todos los casos se clasifican dentro del criterio “Bajo”, lo que indica que el elemento estructural trabaja muy por debajo de su capacidad resistente. Esto evidencia un amplio margen de seguridad estructural y una condición estable sin riesgo de sobreesfuerzo ni deterioro mecánico asociado a las cargas evaluadas.

σ_{ANSYS} (MPa)	Fuerza (N)	σ_{adm} (MPa)	IU	Criterio IU
0.002	1 000	9.45	0.0002	Bajo
0.013	5 000	9.45	0.0014	Bajo
0.021	8 041	9.45	0.0022	Bajo
0.027	10 000	9.45	0.0029	Bajo
0.040	15 000	9.45	0.0042	Bajo
0.053	20 000	9.45	0.0056	Bajo

Tabla 25.

Indicador de Utilización Estructural (IU) – Ensayo A

Ensayo B – Cálculo del Indicador de Utilización (IU) Pilar

En la Tabla 26 se muestran los resultados del Ensayo B aplicado al pilar, considerando un rango de cargas entre 1 000 N y 15 000 N. Los valores de tensión equivalente obtenidos en ANSYS mantienen una relación proporcional con la carga aplicada; sin embargo, el IU permanece en un rango muy bajo (0,0002 a 0,0042).

El comportamiento observado confirma que el pilar presenta una demanda estructural mínima frente a la capacidad resistente del material.

σ_{ANSYS} (MPa)	Fuerza (N)	σ_{adm} (MPa)	IU	Criterio IU
0.002	1 000	9.45	0.0002	Bajo
0.005	2 000	9.45	0.0005	Bajo
0.012	4 691	9.45	0.0013	Bajo
0.021	8 000	9.45	0.0022	Bajo
0.032	12 000	9.45	0.0034	Bajo
0.040	15 000	9.45	0.0042	Bajo

Tabla 26.

Indicador de Utilización Estructural (IU) – Ensayo B

Ensayo C – Cálculo del Indicador de Utilización (IU) Pilar

La Tabla 27 corresponde al Ensayo C, donde se evaluaron cargas de menor magnitud (250 N a 5 000 N). Los esfuerzos obtenidos son aún más reducidos que en los ensayos anteriores, reflejándose en valores de IU inferiores a 0,002 en la mayoría de los casos.

El criterio Bajo se mantiene en todas las simulaciones, lo que afirma que el pilar en el ensayo C no presenta niveles de utilización estructural destacadas bajo estas condiciones de carga.

σ_{ANSYS} (MPa)	Fuerza (N)	σ_{adm} (MPa)	IU	Criterio IU
0.0006	250	9.45	0.00006	Bajo
0.0020	750	9.45	0.00021	Bajo
0.0040	1 535	9.45	0.00042	Bajo
0.0060	2 250	9.45	0.00063	Bajo
0.0080	3 000	9.45	0.00085	Bajo
0.0130	5 000	9.45	0.00138	Bajo

Tabla 27.
Indicador de Utilización Estructural (IU) – Ensayo C

Ensayo A – Cálculo del Indicador de Utilización (IU) Cúpula

La Tabla 28 presenta el cálculo del IU para la cúpula bajo cargas reales de viento correspondientes a noviembre y diciembre de 2025, y enero de 2026.

Los valores de IU están variando entre los 0,44 y 0,64, esto se clasifica dentro del criterio Medio. Esto señala que la cúpula está en un rango de utilización moderado, esto se mantiene dentro de los límites admisibles establecidos por la normativa.

Año	Mes	σ_{ANSYS} (MPa)	Fuerza (N)	IU	Criterio IU
2025	Noviembre	4.15	70.8	0.44	Medio
2025	Diciembre	4.15	70.8	0.44	Medio
2026	Enero	6.01	102.6	0.64	Medio

Tabla 28.
Indicador de Utilización Estructural (IU) bajo cargas reales de viento 2025–2026

4.1.8 Indicador de Deformación Relativa (IDR)

Qué mide el Indicador de Deformación Relativa

El Indicador de Deformación Relativa (IDR) cuantifica la relación existente entre la deformación real que experimenta un elemento estructural y el límite máximo de deformación permitido por la normativa vigente, permitiendo evaluar el comportamiento del elemento bajo condiciones de servicio, conforme a los criterios de control de flechas y estados límite de servicio establecidos en ACI 318 [18] y ASCE 7 [49].

Este indicador no se enfoca en la resistencia última del material, sino en el estado de servicio, siendo fundamental para analizar aspectos relacionados con la funcionalidad, el confort estructural y la durabilidad de la edificación, tal como lo establecen los lineamientos de desempeño estructural para edificaciones existentes [47]. Un valor elevado de IDR evidencia que el elemento se aproxima o supera los límites aceptables de deformación, aun cuando no se observe un colapso estructural, situación que puede comprometer el desempeño en servicio según ACI 562 [48].

Deformación máxima (Δ_{ANSYS})

La deformación máxima, representada como Δ_{ANSYS} , corresponde al desplazamiento total del elemento estructural obtenido a partir del análisis numérico realizado en el software ANSYS, este valor es el resultado de la aplicación combinada de cargas permanentes y variables que actúan sobre el sistema estructural durante las condiciones normales de operación, conforme a los procedimientos de análisis estructural por elementos finitos descritos en literatura especializada [50], [36].

Desde el punto de vista físico, Δ_{ANSYS} representa el cambio de forma del elemento, reflejando su capacidad de rigidez frente a las acciones aplicadas. Las deformaciones elevadas pueden generar efectos negativos como fisuración, desprendimiento de acabados y pérdida de alineación de elementos no estructurales, de acuerdo con los criterios de control de defor-

maciones en estructuras de concreto establecidos en ACI 318 [18].

Origen del dato

Resultados directos del análisis de deformaciones (Total Deformation) en ANSYS, obtenidos mediante modelación numérica basada en el método de los elementos finitos [50].

Longitud del elemento (L)

La longitud del elemento estructural (L) corresponde a la dimensión real del componente evaluado, medida entre apoyos o puntos de restricción estructural, conforme a los criterios geométricos definidos en normativa de diseño estructural [49]. Este parámetro geométrico es indispensable para contextualizar la magnitud de la deformación, ya que una misma deformación absoluta puede ser admisible o no dependiendo de la longitud del elemento, según los límites de flecha relativa establecidos en ACI 318 [18].

La incorporación de la longitud permite expresar la deformación de forma relativa, facilitando la comparación con los límites normativos y garantizando una evaluación coherente entre distintos elementos estructurales de la edificación, en concordancia con los principios de verificación por estados límite de servicio [47].

Origen del dato

Se tiene en cuenta los planos estructurales y levantamiento geométrico, conforme a los procedimientos de evaluación estructural en ACI 562 [48].

Límite normativo de deformación

El límite de deformación admisible es establecido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE) [16], la cual define como criterio general para elementos sometidos a cargas de servicio una relación máxima de deformación igual a $L/360$, criterio alineado con estándares internacionales como ACI 318 [18] y ASCE 7 [49].

El límite normativo puede expresarse como:

$$\Delta_{adm} = \frac{L}{360} [16], [18] \quad (4.2)$$

Este límite normativo tiene como objetivo principal prevenir efectos perjudiciales asociados a deformaciones excesivas, tales como lo establecido en los criterios de estado límite de servicio [18], [49]:

- Daños en acabados arquitectónicos.
- Fisuración en elementos estructurales y no estructurales.
- Problemas de funcionalidad y confort para los usuarios.
- Aumento en los costos de mantenimiento correctivo.

Normativa NEC-SE [16].

Datos que intervienen en el cálculo del IDR

Los parámetros considerados en el cálculo del Indicador de Deformación Relativa se fundamentan en los criterios de verificación por estados límite de servicio establecidos en normativa estructural vigente [18], [47]:

- Deformación máxima obtenida en ANSYS (Δ_{ANSYS}), derivada del análisis numérico mediante método de elementos finitos [50].
- Longitud real del elemento de forma estructural (L), determinada a partir de planos estructurales y criterios geométricos normativos [49].
- Límite normativo de deformación definido por la NEC ($L/360$) [16].

Fórmula del Indicador de Deformación Relativa

El Indicador de Deformación Relativa se define como la relación entre la deformación real obtenida y el límite admisible normativo, conforme a los principios de evaluación de desempeño estructural en servicio [18]:

$$IDR = \frac{\Delta_{ANSYS}}{L/360} [16], [18] \quad (4.3)$$

Donde:

- Δ_{ANSYS} es la deformación máxima obtenida en el análisis numérico.
- L es la longitud del elemento estructural.
- $L/360$ representa el límite máximo de deformación permitido por la normativa.

Importancia del IDR en el mantenimiento preventivo

Aunque una deformación pueda considerarse pequeña en términos absolutos, su repetición en el tiempo, producto de cargas cíclicas, vibraciones o eventos sísmicos menores, puede generar daño acumulativo en la estructura, este daño se manifiesta progresivamente mediante fisuras, pérdida de rigidez y deterioro de elementos secundarios.

El IDR se convierte así en un indicador clave para la gestión del mantenimiento preventivo, ya que permite identificar elementos que, aun siendo resistentes, presentan comportamientos que comprometen su desempeño a largo plazo, los valores elevados de IDR justifican la implementación de inspecciones más frecuentes, intervenciones tempranas y acciones correctivas orientadas a preservar la funcionalidad y seguridad de la edificación.

Paso previo: cálculo del límite normativo

De acuerdo con la NEC-SE, el límite de deformación que se aplica al pilar es:

$$\frac{L}{360} = \frac{3,13}{360} = 0,00869 \text{ m}$$

Este valor será el denominador fijo para todos los ensayos. Por lo tanto, la fórmula del indicador queda definida como:

$$IDR = \frac{\Delta_{ANSYS}}{0,00869}$$

Criterio usado: Para la evaluación de los resultados se establecen los siguientes rangos:

- $IDR < 0,40 \rightarrow$ Bajo
- $0,40 \leq IDR \leq 0,70 \rightarrow$ Medio
- $IDR > 0,70 \rightarrow$ Alto

Ensayo A: Rango de Carga Alta (Hasta 20 kN)

La Tabla 29 presenta el comportamiento del Indicador de Deformación Relativa (IDR) para el elemento estructural sometido a un rango de carga alta de hasta 20 kN, se observa una relación directamente proporcional entre la fuerza aplicada y la deformación obtenida en el análisis numérico, evidenciando un comportamiento estructural lineal elástico.

Los valores de IDR oscilan entre 0,00002 y 0,00046, manteniéndose considerablemente por debajo del límite normativo establecido por la relación $L/360$.

Deformación (mm)	Fuerza (N)	IDR	Criterio
0,0002	1 000	0,00002	Bajo
0,0010	5 000	0,00012	Bajo
0,0017	8 041	0,00020	Bajo
0,0020	10 000	0,00023	Bajo
0,0030	15 000	0,00035	Bajo
0,0040	20 000	0,00046	Bajo

Tabla 29.

IDR – Ensayo A: Carga Alta (deformaciones en mm)

Ensayo B: Rango de Carga Intermedia (Hasta 15 kN)

La Tabla 30 muestra los resultados del IDR bajo un rango de carga intermedia de hasta 15 kN, el incremento progresivo de la fuerza produce un aumento proporcional en la deformación, manteniendo coherencia con el comportamiento estructural esperado para elementos dentro del rango elástico.

Los valores del IDR están variando entre los 0,00002 y 0,00036, clasificados dentro del criterio Bajo, estos resultados se confirma que el elemento opera de forma amplia dentro del estado límite de servicio.

Deformación (mm)	Fuerza (N)	IDR	Criterio
0,0002	1 000	0,00002	Bajo
0,0004	2 000	0,00005	Bajo
0,0009	4 691	0,00010	Bajo
0,0016	8 000	0,00018	Bajo
0,0024	12 000	0,00028	Bajo
0,0031	15 000	0,00036	Bajo

Tabla 30.

IDR – Ensayo B: Carga Intermedia (deformaciones en mm)

Ensayo C: Rango de Carga Baja (Hasta 5 kN)

La Tabla 31 corresponde al análisis del IDR bajo cargas bajas de hasta 5 kN. Las deformaciones registradas son extremadamente reducidas, alcanzando valores máximos de 0,0010 mm en el caso de mayor carga.

Los valores de IDR se mantienen en un rango entre 0,00001 y 0,00012, confirmando una utilización estructural prácticamente insignificante desde el punto de vista de deformaciones relativas.

Deformación (mm)	Fuerza (N)	IDR	Criterio
0,0000517	250	0,00001	Bajo
0,00015	750	0,00002	Bajo
0,00031	1 535	0,00004	Bajo
0,00046	2 250	0,00005	Bajo
0,00062	3 000	0,00007	Bajo
0,0010	5 000	0,00012	Bajo

Tabla 31.

IDR – Ensayo C: Carga Baja (deformaciones en mm)

Parámetro normativo para la cúpula

Longitud característica de la cúpula:

$$L = 37,69 \text{ m}$$

Límite normativo de deformación en servicio (NEC-SE):

$$\frac{L}{360} = \frac{37,69}{360} = 0,1047 \text{ m}$$

Fórmula aplicada en todos los ensayos:

$$IDR = \frac{\Delta_{ANSYS}}{L/360} = \frac{\Delta_{ANSYS}}{0,1047}$$

Criterio de interpretación del IDR:

- $IDR < 0,40 \rightarrow$ Bajo

- $0,40 \leq IDR \leq 0,70 \rightarrow$ Medio
- $IDR > 0,70 \rightarrow$ Alto

Ensayo A – Cúpula

La Tabla 32 presenta el comportamiento del Índice de Deformación Relativa (IDR) de la cúpula sometida a las cargas reales de viento correspondientes al periodo 2025–2026, las fuerzas aplicadas, de 70,8 N y 102,6 N, generan deformaciones máximas muy reducidas, del orden de centésimas y milésimas de milímetro.

Los valores obtenidos de IDR, comprendidos entre 0,000072 y 0,00017, se encuentran extremadamente por debajo del límite normativo establecido por la relación $L/360$, lo que ubica todos los casos dentro del criterio “Bajo”, esto indica que la deformación real representa una fracción mínima respecto a la deformación admisible.

Deformación (mm)	Fuerza (N)	IDR	Criterio
0,018	70,8	0,00017	Bajo
0,0075	70,8	0,000072	Bajo
0,0075	102,6	0,000072	Bajo

Tabla 32.
Índice de Deformación Relativa (IDR) – Cúpula bajo cargas reales de viento

4.1.9 Integración de indicadores y priorización

Índice Global de Prioridad (IP)

El Índice Global de Prioridad (IP) es un parámetro integral que permite consolidar los resultados obtenidos a partir de indicadores estructurales cuantificables, con el fin de jerarquizar los elementos de la infraestructura según su nivel de criticidad y definir la urgencia de intervención dentro del plan de mantenimiento preventivo, conforme a los principios de

evaluación estructural establecidos para edificaciones existentes [47], [19].

Este índice se construye a partir de indicadores obtenidos que se realizó mediante análisis numérico por elementos finitos y criterios con normas de verificación por estados límite [18], esto garantiza una evaluación objetiva, reproducible y basada en desempeño estructural.

Datos que intervienen en el IP

Para el desarrollo del presente estudio, el IP se integra a partir de los siguientes indicadores estructurales:

Indicador de Utilización Estructural (IU): Representa el nivel de exigencia mecánica del elemento estructural, obtenido mediante la relación entre la tensión equivalente de von Mises y el esfuerzo admisible del material, conforme a los criterios de diseño por estados límite de resistencia [18].

Indicador de Deformación Relativa (IDR): Permite evaluar la proximidad de la deformación real del elemento con respecto al límite máximo que está permitido por la normativa, en relación con los criterios de estado límite de servicio [49].

Nota técnica

Aunque el esquema general del sistema contempla la inclusión del Indicador de Vulnerabilidad Sísmica (IVS) y de factores ambientales (F_{amb}), en esta etapa del análisis el IP se calcula únicamente con los indicadores IU e IDR, debido a que estos representan los parámetros directamente evaluados mediante los ensayos estructurales realizados, siguiendo metodologías de priorización basadas en desempeño estructural [19].

Fórmula integrada

Considerando los indicadores disponibles, la expresión del Índice Global de Prioridad se formula como un modelo ponderado lineal, [19]:

$$IP = 0,55 \cdot IU + 0,45 \cdot IDR[51] \quad (4.4)$$

Donde:

- *IU* refleja el estado resistente del elemento (estado límite último).
- *IDR* representa el comportamiento en términos de deformación en servicio.

La asignación de ponderaciones responde a la mayor incidencia del estado tensional en la seguridad estructural, sin descuidar los efectos asociados al desempeño en servicio, en concordancia con enfoques de evaluación estructural basados en riesgo y criticidad [47].

Semaforización del sistema

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados y su aplicación práctica dentro del plan de mantenimiento preventivo, los valores del Índice Global de Prioridad se traducen en un sistema de semaforización.

La utilización de esquemas visuales de clasificación por niveles de criticidad es ampliamente empleada en gestión de activos y mantenimiento basado en riesgo, permitiendo transformar indicadores cuantitativos en criterios operativos de decisión [52].

Tabla 33.

Semaforización de Acciones de Mantenimiento

Color	Acción
Verde	Monitoreo
Amarillo	Inspección
Rojo	Intervención preventiva

Descripción operativa

La clasificación por colores responde a principios de priorización de activos según nivel de criticidad y riesgo operacional, práctica común en sistemas de gestión de mantenimiento estructural [53].

Verde (IP bajo): Indica que el elemento estructural presenta un comportamiento en buenas condiciones.

Amarillo (IP medio): Señala la necesidad realizar inspecciones técnicas detalladas, para controlar la evolución de deformaciones y tensiones en el transcurso del tiempo.

Rojo (IP alto): Representa una condición crítica en la que el elemento debe ser priorizado en el plan de mantenimiento preventivo, incluyendo medidas correctivas, refuerzos estructurales, o limitaciones de uso.

Índice Global de Prioridad – Ensayo A (Carga alta)

La Tabla 34 presenta la evolución del Índice Global de Prioridad (IP) del pilar sometido a un rango de carga alta, hasta 20 kN, se observa un incremento progresivo del Indicador de Utilización (IU) conforme aumenta la fuerza aplicada, pasando de 0,13 a 1,00, lo que evidencia una aproximación al límite resistente del elemento.

El Indicador de Deformación Relativa (IDR) mantiene valores considerablemente bajos en todos los casos, indicando que el desempeño en servicio no constituye un factor crítico dentro del rango evaluado, como resultado de la ponderación adoptada, el IP evoluciona desde 0,072 hasta 0,550.

Deformación (mm)	Fuerza (N)	IDR	IU	IP	Prioridad
0,0002	1 000	0,00002	0,13	0,072	Baja
0,0010	5 000	0,00012	0,37	0,204	Baja
0,0017	8 041	0,00020	0,60	0,330	Baja
0,0020	10 000	0,00023	0,72	0,396	Baja
0,0030	15 000	0,00035	0,87	0,479	Media
0,0040	20 000	0,00046	1,00	0,550	Media

Tabla 34.

Índice Global de Prioridad (IP) – Ensayo A, Pilar

Índice Global de Prioridad – Ensayo B (Carga intermedia)

La Tabla 35 muestra el comportamiento del Índice Global de Prioridad (IP) bajo un rango de carga intermedia, hasta 15 kN, el IU incrementa progresivamente desde 0,11 hasta 1,00, reflejando una exigencia mecánica creciente del elemento estructural.

El IDR mantiene valores reducidos durante todo el ensayo, confirmando que las deformaciones permanecen dentro de un margen ampliamente seguro respecto al límite admisible, el IP varía entre 0,061 y 0,550, manteniendo prioridad baja en los primeros cuatro niveles de carga.

Deformación (mm)	Fuerza (N)	IDR	IU	IP	Prioridad
0,0002	1 000	0,00002	0,11	0,061	Baja
0,0004	2 000	0,00005	0,26	0,143	Baja
0,0009	4 691	0,00010	0,51	0,281	Baja
0,0016	8 000	0,00018	0,70	0,385	Baja
0,0024	12 000	0,00028	0,86	0,473	Media
0,0031	15 000	0,00036	1,00	0,550	Media

Tabla 35.

Índice Global de Prioridad (IP) – Ensayo B, Pilar

Índice Global de Prioridad – Ensayo C (Carga baja)

La Tabla 36 presenta el Índice Global de Prioridad (IP) correspondiente al rango de carga baja, hasta 5 kN, en este escenario, tanto el IU como el IDR mantienen valores significativamente reducidos, evidenciando un comportamiento estructural holgado frente a las solicitaciones aplicadas.

El IP oscila entre 0,033 y 0,385, permaneciendo en todos los casos dentro de la categoría de prioridad baja. Incluso en el nivel máximo de carga del ensayo, el elemento no alcanza el umbral de prioridad media.

Deformación (mm)	Fuerza (N)	IDR	IU	IP	Prioridad
0,0000517	250	0,00001	0,06	0,033	Baja
0,00015	750	0,00002	0,13	0,072	Baja
0,00031	1 535	0,00004	0,25	0,138	Baja
0,00046	2 250	0,00005	0,40	0,220	Baja
0,00062	3 000	0,00007	0,55	0,303	Baja
0,00100	5 000	0,00012	0,70	0,385	Baja

Tabla 36.

Índice Global de Prioridad (IP) – Ensayo C, Pilar

Índice Global de Prioridad – Cúpula (Cargas reales de viento)

La Tabla 37 presenta el Índice Global de Prioridad (IP) correspondiente a la cúpula bajo condiciones reales de carga de viento para el periodo evaluado 2025–2026.

La integración ponderada, el IP varía entre 0,242 y 0,352, permaneciendo en todos los escenarios dentro del rango de prioridad baja, esto confirma que, bajo las condiciones reales de viento analizadas, la cúpula presenta un comportamiento estructural adecuado tanto en términos de resistencia.

Deformación (mm)	Fuerza (N)	IDR	IU	IP	Prioridad
0,018	70,8	0,00017	0,44	0,242	Baja
0,0075	70,8	0,000072	0,44	0,242	Baja
0,0075	102,6	0,000072	0,64	0,352	Baja

Tabla 37.

Índice Global de Prioridad (IP) – Cúpula bajo cargas reales de viento

4.1.10 Propuesta de plan de mantenimiento preventivo

Relación indicadores – mantenimiento

La Tabla de acciones de mantenimiento según el nivel de alerta establece la correspondencia directa entre el estado estructural evaluado mediante indicadores y las acciones de mantenimiento que deben aplicarse, en concordancia con los principios de gestión de activos y mantenimiento basado en riesgo [53], [19], [51].

Tabla 38.

Acciones de mantenimiento según el nivel de alerta

Nivel	Acción
Verde	Monitoreo anual
Amarillo	Inspección semestral
Rojo	Intervención preventiva

El nivel Verde representa una condición estructural favorable, en la cual los indicadores se mantienen dentro de rangos aceptables, por lo que se establece una estrategia de monitoreo periódico, consistente con los enfoques de mantenimiento basado en condición [51].

El nivel Amarillo corresponde a una condición de alerta intermedia que requiere incremento en la frecuencia de inspección, práctica alineada con los esquemas de priorización por criticidad recomendados en evaluación estructural [19].

El nivel Rojo indica una condición crítica, asociada a intervención preventiva prioritaria para reducir el riesgo estructural, conforme a los principios de gestión del riesgo en infraestructura [53].

Cronograma de mantenimiento preventivo - Nivel verde

Tabla 39.

Cronograma anual de mantenimiento preventivo – Nivel Verde

Mes	Actividad de mantenimiento	Responsable	Recursos (equipos)
Mes 1	Revisión de documentación técnica y registros estructurales existentes	Departamento de Construcciones	Computador, software de ofimática
Mes 2	Inspección visual general de pilares y elementos verticales	Departamento de Construcciones	Linterna, cinta métrica, EPP básico
Mes 3	Inspección visual de vigas, trabes y conexiones estructurales	Departamento de Construcciones	Linterna, cámara fotográfica, EPP
Mes 4	Observación del estado superficial de la cúpula y cubiertas	Departamento de Construcciones	Binoculares, cámara fotográfica
Mes 5	Registro fotográfico de fisuras, corrosión o deformaciones visibles	Departamento de Construcciones	Cámara fotográfica, libreta de registro
Mes 6	Verificación de condiciones ambientales y drenajes cercanos a la estructura	Departamento de Construcciones	Linterna, cinta métrica, nivel manual
Mes 7	Comparación del estado actual con inspecciones estructurales previas	Departamento de Construcciones	Computador, registros históricos
Mes 8	Revisión puntual de zonas con antecedentes de intervención o refuerzo	Departamento de Construcciones	Linterna, cámara fotográfica, planos
Mes 9	Actualización de indicadores estructurales de monitoreo (IU, IDR)	Departamento de Construcciones	Computador, software de cálculo
Mes 10	Inspección general de seguridad estructural sin intervención directa	Departamento de Construcciones	EPP, linterna, lista de verificación
Mes 11	Elaboración del informe técnico anual de monitoreo estructural	Departamento de Construcciones	Computador, software de redacción
Mes 12	Planificación preventiva del siguiente ciclo anual de mantenimiento	Departamento de Construcciones	Computador, base de datos técnica

Cronograma de mantenimiento preventivo- Nivel amarillo

Tabla 40.

Cronograma semestral de mantenimiento preventivo – Nivel Amarillo

Mes	Actividad de mantenimiento	Responsable	Recursos (equipos)
Mes 1	Inspección visual detallada de elementos estructurales con registros comparativos	Departamento de Construcciones	Linterna, cámara fotográfica, EPP
Mes 2	Medición puntual de fisuras y deformaciones visibles en pilares y vigas	Departamento de Construcciones	Calibrador de fisuras, cinta métrica
Mes 3	Evaluación de deformaciones mediante instrumentos manuales de control	Departamento de Construcciones	Nivel óptico, regla metálica
Mes 4	Análisis técnico de resultados y actualización de indicadores estructurales (IU, IDR)	Departamento de Construcciones	Computador, software de cálculo
Mes 5	Revisión estructural focalizada en zonas con mayor demanda o antecedentes	Departamento de Construcciones	Linterna, cámara fotográfica, planos
Mes 6	Elaboración de informe técnico y definición de acciones preventivas	Departamento de Construcciones	Computador, software de redacción

Cronograma de mantenimiento preventivo-Nivel rojo

Tabla 41.

Cronograma mensual de intervención preventiva – Nivel Rojo

Semana	Actividad de intervención preventiva	Responsable	Recursos (equipos)
Semana 1	Inspección técnica exhaustiva y delimitación de zonas críticas de intervención	Departamento de Construcciones	EPP completo, cámara, planos estructurales
Semana 2	Refuerzo preventivo local en elementos con alta demanda estructural	Departamento de Construcciones	Puntales metálicos, herramientas manuales
Semana 3	Corrección de fisuras, ajuste de anclajes y refuerzo no estructural	Departamento de Construcciones	Resinas epóxicas, taladro, llaves mecánicas
Semana 4	Verificación post-intervención, actualización de indicadores y cierre técnico	Departamento de Construcciones	Instrumentos de medición, computador

CONCLUSIONES

Se evidenció que el mantenimiento se desarrollaba siguiendo un enfoque correctivo y sin una planificación técnica estructurada.

De los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con el software ANSYS y la inclusión de los indicadores estructurales IDR, IU y Índice Global de Prioridad se logran identificar niveles de criticidad diferenciales y demostrar que la mayoría de los elementos analizados se encuentran en condiciones de control, si bien existen aquellos que deben ser supervisados periódicamente de manera que no se genere un deterioro progresivo.

La implementación del modelo de semaforización relacionado con los cronogramas, recursos y responsables permite instaurar una herramienta práctica y sostenible que facilite la toma de decisiones y optimice los recursos institucionales y la gestión del mantenimiento de la biblioteca universitaria.

RECOMENDACIONES

Implementar formalmente el plan de mantenimiento preventivo propuesto, asignando responsables técnicos y garantizando el cumplimiento de los cronogramas establecidos según el nivel de alerta identificado.

Actualizar periódicamente los indicadores estructurales mediante nuevas inspecciones y simulaciones técnicas, con el fin de mantener información confiable para la toma de decisiones y evitar intervenciones tardías.

Destinar un presupuesto anual específico para mantenimiento preventivo, asegurando la disponibilidad de recursos técnicos y humanos que permitan ejecutar las actividades programadas de manera oportuna y eficiente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] U. T. del Norte, “Biblioteca Universitaria,” 2020.
- [2] A. P. L. C. G. C. G. C. J. L. Gijón, “La biblioteca universitaria como apoyo al aprendizaje en el espacio europeo de enseñanza superior,” 2016, págs. 1-19.
- [3] K. E.-R. M. A. M. Alashari, “Optimizing the Planning of Maintenance Activities in Education Buildings,” jul. de 2023, pág. 12.
- [4] S. Musa, “Facility Maintenance Management Plan: A case study of Kashim Ibrahim Library, ABU Zaria,” abr. de 2018, págs. 2-15.
- [5] D. C. T. M. RAMÍREZ, “Plan de Mantenimiento Preventivo, Correctivo y Actualización de la Infraestructura Física y Equipo,” 2024, pág. 13.
- [6] U. T. del Chocó Diego Luis Córdoba, “PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO DE BIBLIOTECA BLOQUE 2 PISO 3 DE LA UTCH INSTALACIONES ELECTRICAS,” 2019.
- [7] D. B. Ugalde, “Plan de mantenimiento preventivo de infraestructura en el Instituto Tecnológico de Costa Rica,” 2017, pág. 36.
- [8] J. Mestre, “Maintenance Plan in the Conservation of the National Library of Portugal,” 2023, págs. 388-402.
- [9] . S. Y. y. T. J. W. A. K. P. J. J., “Comprehensive maintenance dataset of building facilities for planned preventive and unplanned maintenance in North American universities,” 2024, pág. 8.
- [10] L. M. A. Daniel, “DISEÑO DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LA INFRAESTRUCTURA DE LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CONFORME A LA NORMA UNE EN 15331:2012,” 2016.
- [11] E. M. N. Ortiz, “Valoración del campus académico de la Universidad Técnica del Norte ubicado en la Av. 17 de julio,” 2017.
- [12] G. de Gestión Administrativa, “Plan de mantenimiento infraestructura física vehículos y equipos de laboratorio del INS,” 2021.

- [13] ISABU, “PLAN DE MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA,” 2023.
- [14] G. O. T. Alzate, “PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA Y TECNOLÓGICA,” 2023.
- [15] S. E. G. Herrera, “Plan de mantenimiento de infraestructura física calle 39 N° 18-05,” 2023.
- [16] M. de Desarrollo Urbano y Vivienda, “NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC NEC-SE-DS CARGAS SÍSMICAS DISEÑO SISMO RESISTENTE,” 2019, pág. 139.
- [17] N. E. D. L. CONSTRUCCIÓN, “PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE,” dic. de 2014, pág. 47.
- [18] A. C. I. (ACI), “ACI 318-19: Building Code Requirements for Structural Concrete,” 2022.
- [19] ISO, “Bases for design of structures — Assessment of existing structures ,INTERNATIONAL STANDARD ISO 13822,” 2010, pág. 15.
- [20] ASTM E2018-15, “Standard Guide for Property Condition Assessments: Baseline Property Condition Assessment Process,” 2015.
- [21] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, “Norma Ecuatoriana de la Construcción – Evaluación de edificaciones existentes,” 2014.
- [22] Weather-Atlas, “Octubre pronóstico del tiempo – Ibarra, Ecuador.,” 2025.
- [23] Weather-Atlas, “Diciembre pronóstico del tiempo – Ibarra, Ecuador.,” 2025.
- [24] Engineering ToolBox, “Wind Pressure,” 2011.
- [25] Russell C, “Ingeniería Mecánica: Estática,” 2016.
- [26] Robert L. Mott y Joseph Untener, “Mecánica de Fluidos,” 2015.
- [27] O. S. U.S. Department of Labor y H. Administration, “Maintenance and Repair Safety,” 2023.
- [28] International Organization for Standardization, “ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo,” 2018.

- [29] U. N. A. de México, “Análisis del mantenimiento correctivo en edificaciones existentes,” 2023.
- [30] García Márquez, A., Papaelias, M., Segovia, A, “Mantenimiento preventivo y gestión de activos en edificaciones,” jun. de 2022.
- [31] A. K. Chopra, “Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering,” 2012.
- [32] R. K. Mobley, “Maintenance Fundamentals,” 2011.
- [33] J. Moubray, “Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM),” 2004.
- [34] B. S. Dhillon, “Engineering Maintenance: A Modern Approach,” 2002.
- [35] T. Wireman, “Developing Performance Indicators for Managing Maintenance,” 2004.
- [36] R. C. Hibbeler, “Mecánica de Materiales,” 2017.
- [37] ANSYS Inc, “ANSYS Mechanical User’s Guide,” 2023.
- [38] R. D, Cook, D, S, Malkus, M, E, Plesha and R, J, Witt, “Concepts and Applications of Finite Element Analysis,” 2002.
- [39] A, S, Nowak and K, R, Collins, “Reliability of Structures,” 2013.
- [40] J. Hernández-Montes y M. Aschheim, “Evaluación y refuerzo de estructuras existentes,” 2010.
- [41] J. Calavera y A. González-Valle, “Patología y rehabilitación de estructuras de hormigón,” 2005.
- [42] A. H. Nilson, D. Darwin y C. W. Dolan, “Diseño de estructuras de concreto,” 2011.
- [43] J. Calavera, “Proyecto y cálculo de estructuras de concreto,” 2008.
- [44] A. H. Nilson, D. Darwin y C. W. Dolan, “Design of Concrete Structures,” 2010.
- [45] R. Park y T. Paulay, “Reinforced Concrete Structures,” 2009.
- [46] J. M. Gere y B. J. Goodno, “Mechanics of Materials,” 2012.
- [47] American Society of Civil Engineers, “Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-17),” 2017.

- [48] American Concrete Institute, “Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures (ACI 562-21),” 2021.
- [49] American Society of Civil Engineers, “Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-22),” 2022.
- [50] R. D. Cook, D. S. Malkus, M. E. Plesha y R. J. Witt, “Concepts and Applications of Finite Element Analysis,” 2007.
- [51] P. Villalba, A. J. Sánchez-Garrido y V. Yepes, “A review of multi-criteria decision-making methods for building assessment, selection, and retrofit,” 2024.
- [52] S. Ebrahimnejad, M. Aberoumand, and R. M. Goodall, “Multi criteria decision making for structural maintenance planning considering seismic risk,” 2019.
- [53] International Organization for Standardization, “ISO 55000: Asset Management – Overview, Principles and Terminology,” 2014.

ANEXOS



Figura A.1.
Inspección visual del pilar



Figura A.2.
Inspección visual de la cúpula



Figura A.3.
Inspección visual de la baldosa

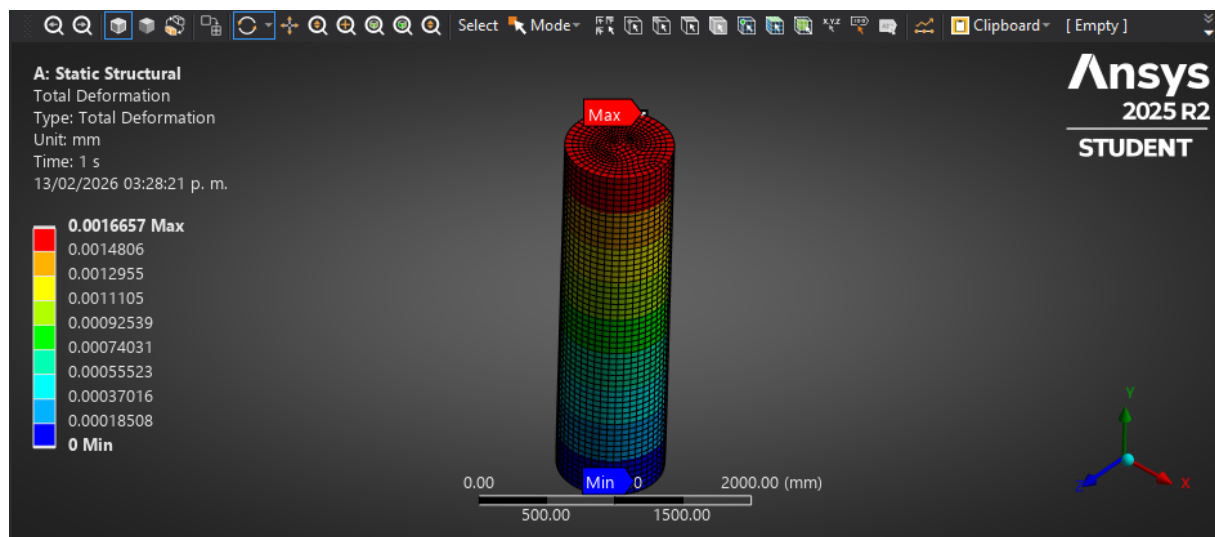


Figura A.4.
 Simulación en Ansys Total Deformation del pilar Ensayo A

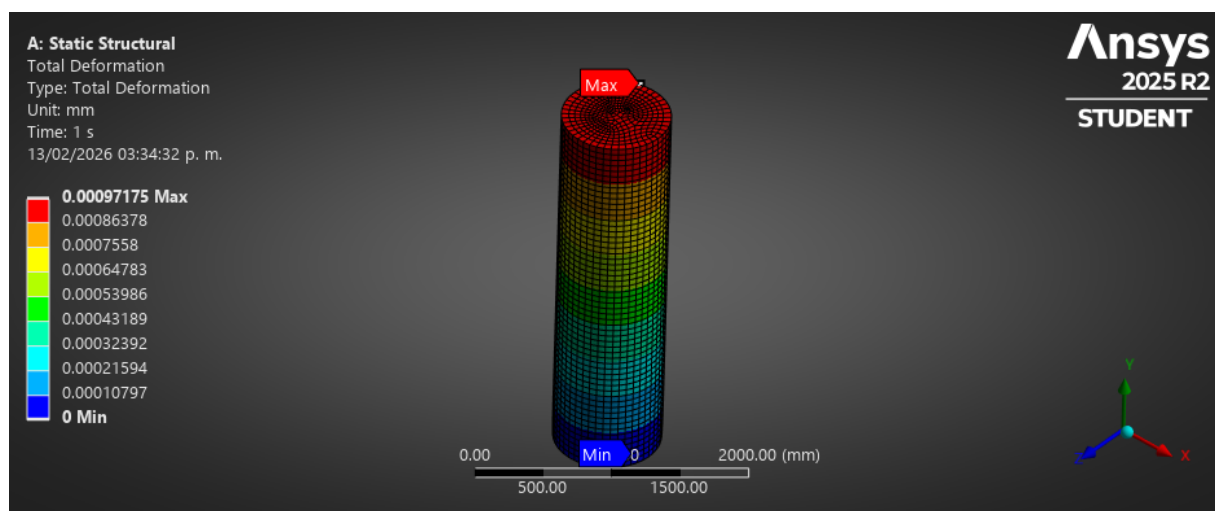


Figura A.5.
 Simulación en Ansys Total Deformation del pilar Ensayo B

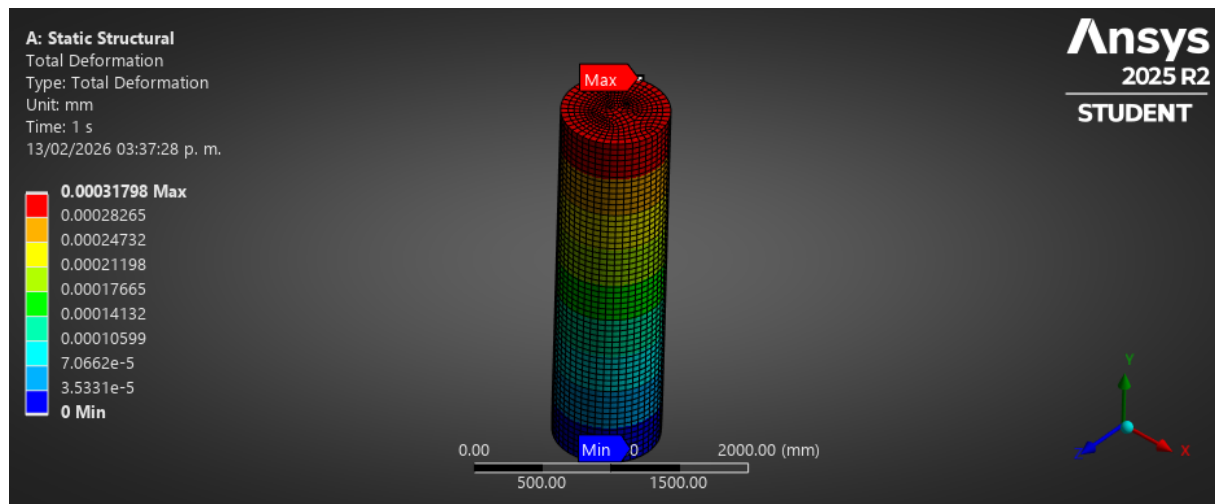


Figura A.6.
 Simulación en Ansys Total Deformation del pilar Ensayo C

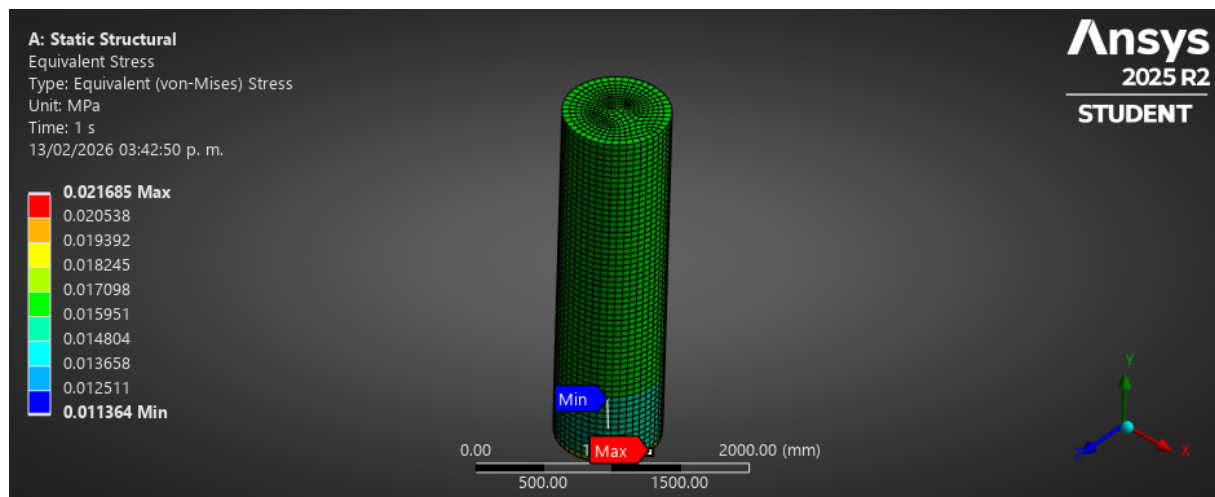


Figura A.7.
 Simulación en Ansys Equivalent Stress del pilar Ensayo A

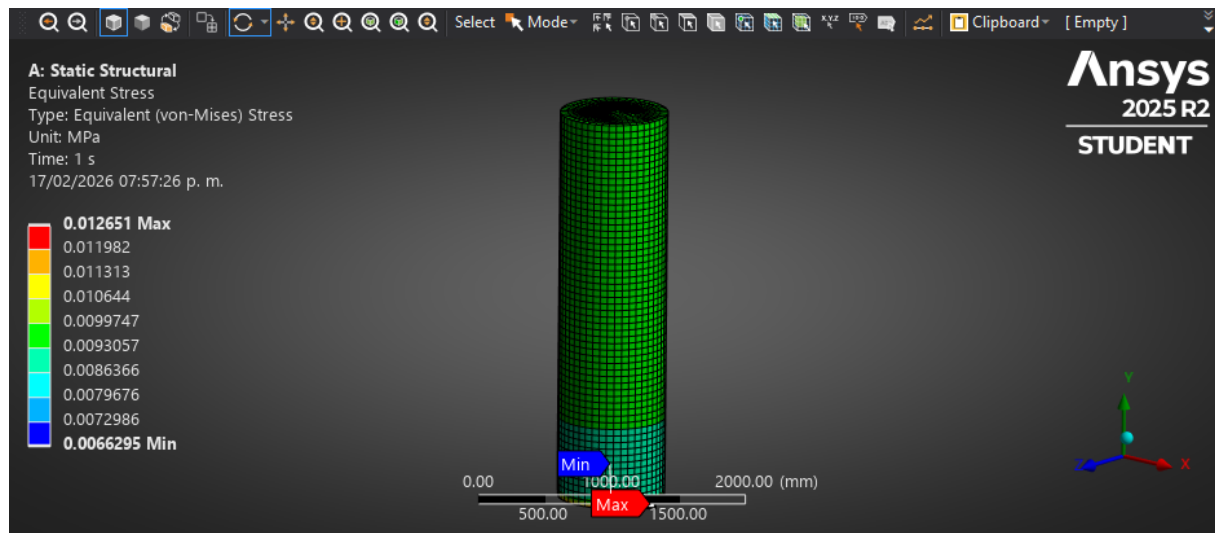


Figura A.8.
 Simulación en Ansys Equivalent Stress del pilar Ensayo B

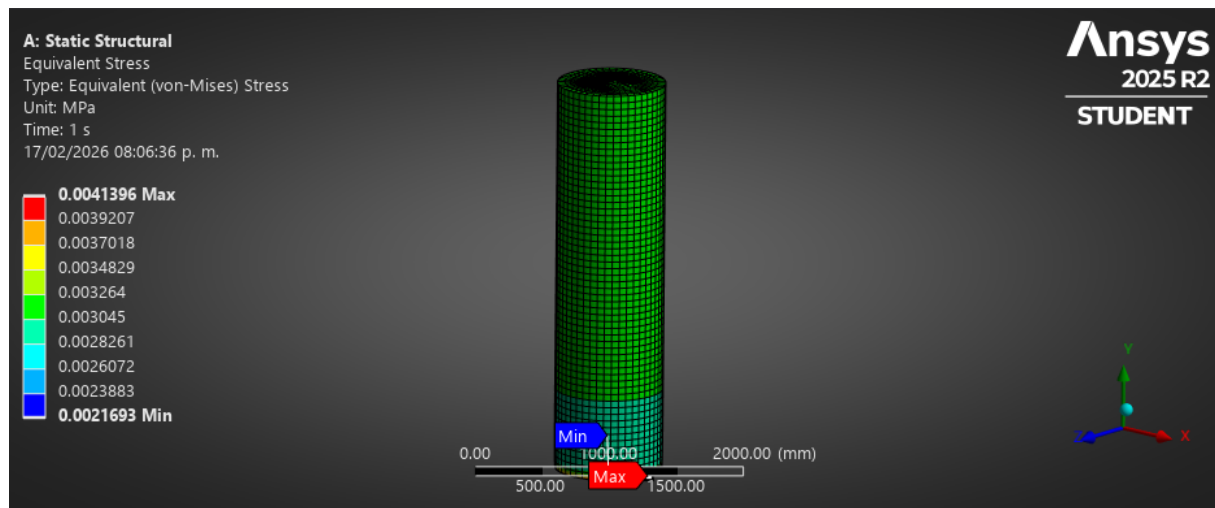


Figura A.9.
 Simulación en Ansys Equivalent Stress del pilar Ensayo C

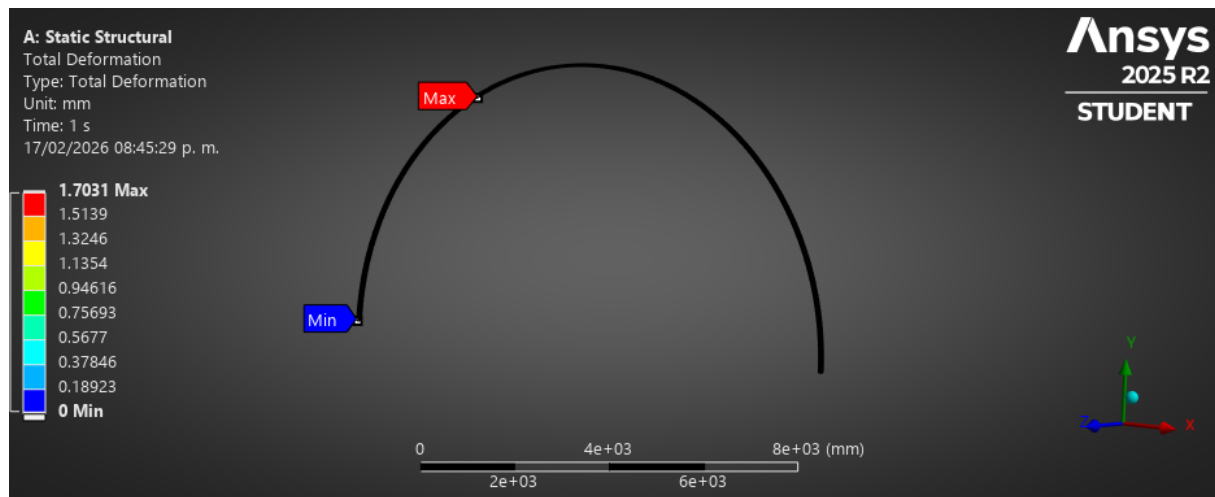


Figura A.10.
 Simulación en Ansys Total Deformation de la cúpula

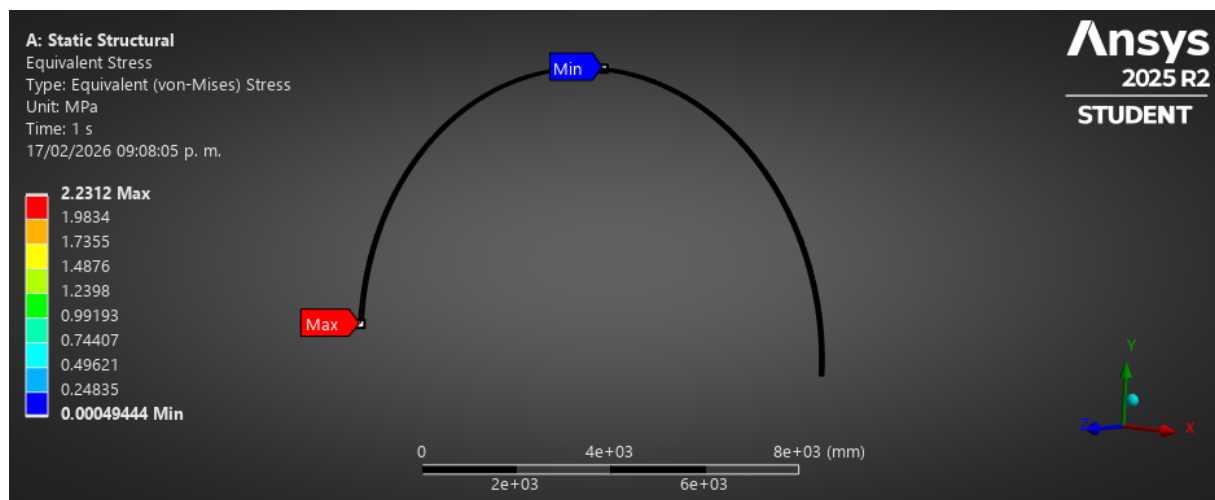


Figura A.11.
 Simulación en Ansys Equivalent Stress de la cúpula

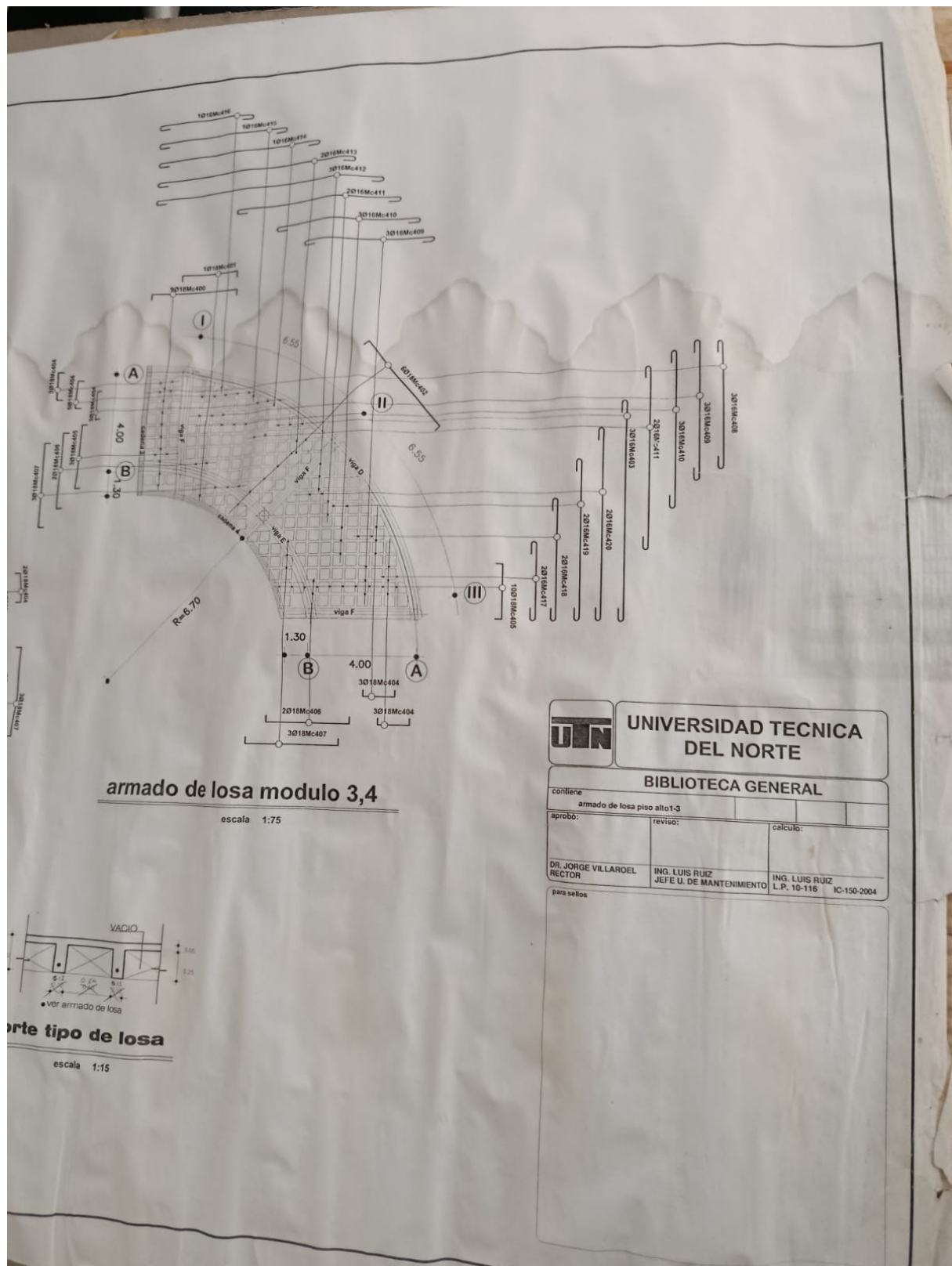


Figura A.12.

Plano original de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte

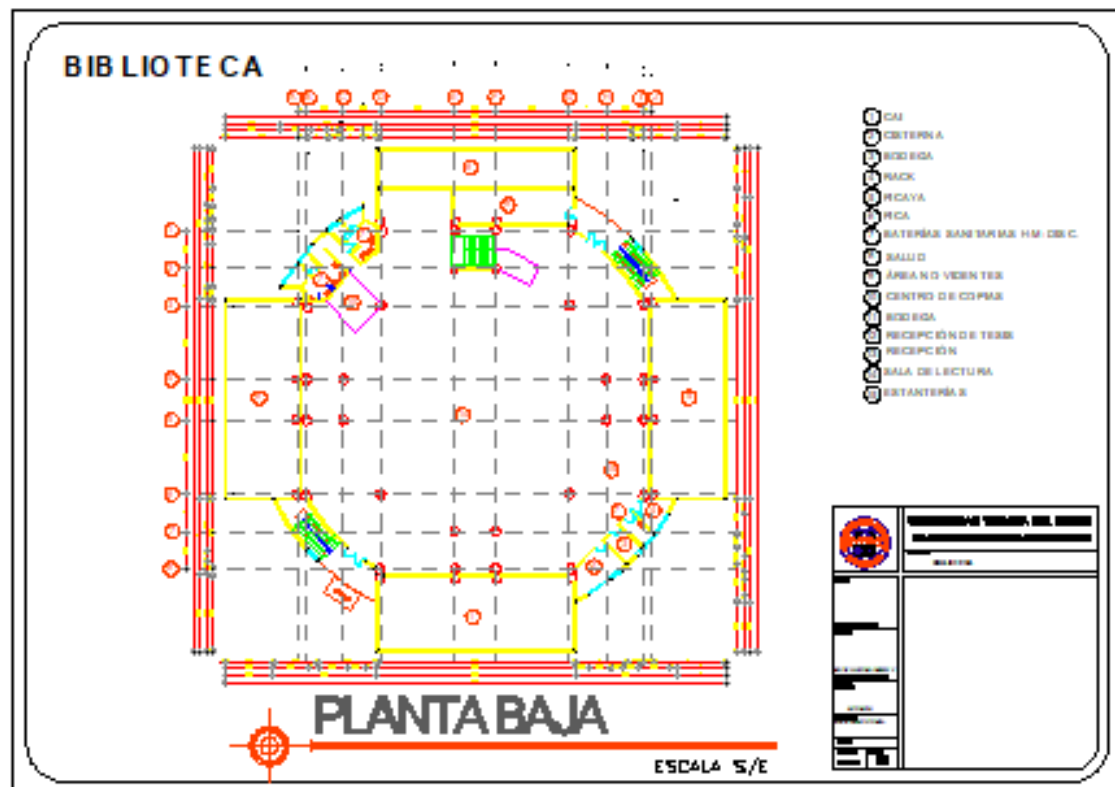


Figura A.13.

Plano en formato autocad de la biblioteca general de la Universidad Técnica del Norte(Planta baja)



Figura A.14.

Plano en formato autocad de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte(Segunda Planta)

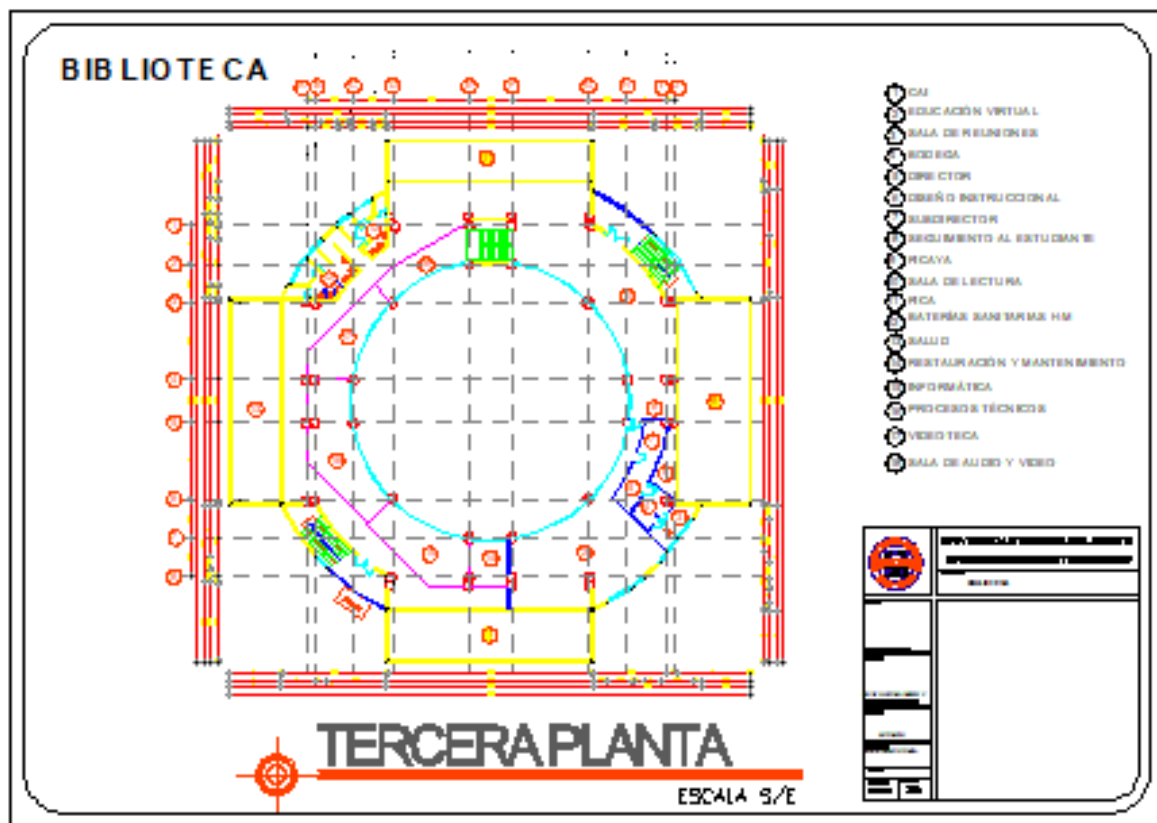


Figura A.15.

Plano en formato autocad de la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte(Tercera Planta)