

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL CON FINES DE PROPUESTA DE
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO SÍSMICO DEL
HOSPITAL MATERNO INFANTIL DEL CONO SUR DE JULIACA, 2025**

TESIS

Presentada por:

Bach. Alex Ronald Chique Velasquez
ORCID: 0000-0003-4664-1762

Asesor:

Dr. Dennys Geovanni Calderón Paniagua
ORCID: 0000-0002-6569-0634

Para Obtener el Grado Académico de:
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

TACNA - PERÚ

2026

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
ESCUELA DE POSTGRADO
MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS

Tesis

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL CON FINES DE PROPUESTA DE
OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO SÍSMICO DEL
HOSPITAL MATERNO INFANTIL DEL CONO SUR DE JULIACA, 2025**

Presentada por:

Bach. Alex Ronald Chique Velasquez

**Tesis sustentada y aprobada el 25 de junio de 2026; ante el siguiente jurado
examinador:**

PRESIDENTE: Dr. Anibal Juan ESPINOZA ARANCIAGA

SECRETARIO: Dr. Oscar Walther NOVOA CASTILLO

VOCAL: Dr. Diomedes Marcos Martin OYOLA ZAPATA

ASESOR: Dr. Dennys Geovanni CALDERÓN PANIAGUA

Declaración jurada de originalidad

Yo, **Alex Ronald Chique Velasquez**, en calidad de **egresado** de la **Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras**, de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI N° 42003794.

Soy autor de la tesis titulada:

EVALUACIÓN ESTRUCTURAL CON FINES DE PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE AISLAMIENTO SÍSMICO DEL HOSPITAL MATERNO INFANTIL DEL CONO SUR DE JULIACA, 2025 con asesor: Dr. Dennys Geovanni Calderón Paniagua.

DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de **MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber transgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 02% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto original que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran

derivarse de ello en favor de tercero con motivos de acciones, reclamaciones o conflicto derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 25 de junio de 2026.



Alex Ronald Chique Velasquez

DNI N° 42003794

Dedicatoria

La investigación está dedicada a Dios Padre por ser guía permanente en cada etapa de este camino y por concederme fortaleza, sabiduría y perseverancia para alcanzar este logro.

Asimismo, está dedicada a mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y aliento constante, los cuales fueron fundamentales para culminar este logro académico.

Alex Ronald

Agradecimientos

A Dios Padre, por brindarme fortaleza, sabiduría y perseverancia a lo largo de todo el proceso de investigación, permitiéndome culminar satisfactoriamente esta etapa académica.

A la Universidad Privada de Tacna, por la formación académica recibida y por proporcionar los recursos y el entorno necesarios para el desarrollo de la presente investigación.

Al docente asesor, por su orientación académica, acompañamiento constante y valiosos aportes, que contribuyeron significativamente al rigor y calidad del presente trabajo de investigación.

Alex Ronald

Índice de contenidos

	Pág.
Declaración jurada de autenticidad.....	iv
Dedicatoria	vi
Agradecimientos.....	vii
Índice de contenidos	viii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xiii
Índice de apéndices.....	xiv
Resumen	xv
Abstract.....	xvi
 Introducción.....	 01
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	03
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	03
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	06
1.2.1 <i>Problema principal</i>	06
1.2.2 <i>Problemas secundarios</i>	06
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	07
1.4 OBJETIVOS.....	08
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	08
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	08
 CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL	 10
2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	10
2.1.1 <i>Antecedentes internacionales</i>	10
2.1.2 <i>Antecedentes nacionales</i>	13
2.2 NORMATIVA VIGENTE	15
2.2.1 <i>Normativa Nacional</i>	15

2.2.2 Normativa Internacional.....	17
2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS.....	17
2.3.1 Diseño estructural.....	17
2.3.2 Cumplimiento normativo del diseño estructural	21
 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO	25
3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA.....	25
3.1.1 Tipo de investigación	25
3.1.2 Nivel de investigación	25
3.1.3 Justificación del enfoque aplicado	26
3.2 DISEÑO DEL PROYECTO.....	26
3.2.1 Etapas del proyecto	26
3.2.2 Herramientas y software utilizados	27
3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD.....	30
3.3.1 Análisis geotécnico	30
3.3.2 Modelado estructural.....	30
3.3.3 Simulación de impacto ambiental.....	31
3.4 PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN	32
3.4.1 Cronograma de actividades.....	32
3.4.2 Asignación de recursos	33
3.4.3 Costos y financiamiento.....	34
 CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	35
4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN	
DEL DISEÑO.....	35
4.1.1 Evaluación del diseño estructural del hospital antes y después	
de la incorporación del sistema de aislamiento sísmico	35
4.2 ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN	
CON CASOS SIMILARES.....	71
4.2.1 Impacto en diseño estructural.....	71
4.2.2 Beneficios y aportes de estudio.....	72

4.2.3 Comparación con casos similares	72
4.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS.....	73
4.4 DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN	75
4.5 EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO	78
CONCLUSIONES.....	80
RECOMENDACIONES	82
REFERENCIAS	84
APÉNDICE	88

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Plan de ejecución del proyecto</i>	32
Tabla 2. <i>Costo estimado para la investigación</i>	34
Tabla 3. <i>Comparación del factor de zona considerado en el análisis estructural</i>	40
Tabla 4. <i>Comparación del diseño del sistema estructural y factor de reducción sísmica antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico</i>	41
Tabla 5. <i>Comparación de desplazamientos máximos del bloque 01 en los ejes X y Y</i>	42
Tabla 6. <i>Comparación de desplazamientos máximos del bloque 03 en los ejes X y Y</i>	44
Tabla 7. <i>Comparación de desplazamientos máximos del bloque 04 en los ejes X y Y</i>	46
Tabla 8. <i>Comparación de desplazamientos máximos del bloque 05 en los ejes X y Y</i>	48
Tabla 9. <i>Comparación del refuerzo de losas antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico</i>	52
Tabla 10. <i>Comparación del refuerzo longitudinal de vigas antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico</i>	55
Tabla 11. <i>Comparación del diseño de columnas antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico</i>	57
Tabla 12. <i>Placas estructurales sin aislamiento sísmico</i>	59
Tabla 13. <i>Cuadro comparativo de platea de cimentación del bloque 3 antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico</i>	62

Tabla 14. <i>Comparación de dispositivos de aislamiento –</i> <i>Bloques 1, 3, 4 y 5</i>	69
---	----

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Distribución en planta de los bloques del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca</i>	37
Figura 2. <i>Modelos del bloque 01</i>	42
Figura 3. <i>Modelos del bloque 03</i>	44
Figura 4. <i>Modelos del bloque 04</i>	46
Figura 5. <i>Modelos del bloque 05</i>	48
Figura 6. <i>Detalles de las losas en los bloques 1, 3, 4 y 5 sin aislamiento y con aislamiento</i>	46
Figura 7. <i>Detalles de la viga del bloque 4 B4/1-2-V7 sin aislamiento y con aislamiento</i>	54
Figura 8. <i>Detalles de las columnas del bloque 3</i>	56
Figura 9. <i>Detalles de las placas del bloque 3, 4 y 5</i>	59
Figura 10. <i>Detalles de la platea de cimentación</i>	62
Figura 11. <i>Registros artificiales utilizados en el análisis</i>	67
Figura 12. <i>Detalles del sistema de aislación de los bloques 1, 3, 4 y 5</i>	69
Figura 13. <i>Verificación en obra del sistema de aislamiento sísmico en los bloques 1, 3, 4 y 5</i>	70
Figura 14. <i>Registro fotográfico de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico en obra</i>	70
Figura 15. <i>Flujo general BIM–análisis–optimización estructural considerando la incorporación de aislamiento sísmico</i>	76
Figura 16. <i>Flujo de evaluación estructural en la comparación de la estructura sin y con aislamiento sísmico</i>	77

Índice de apéndices

	Pág.
Apéndice 01. <i>Matriz de consistencia</i>	89
Apéndice 02. <i>Extracto de la memoria de cálculo del sistema de aislamiento sísmico</i>	90
Apéndice 03. <i>Extractos de los planos estructurales</i>	108

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, con la finalidad de determinar su cumplimiento respecto a la normativa vigente y su nivel de optimización estructural. El estudio se desarrolló mediante el análisis comparativo del expediente técnico original y su modificación con incorporación de aislamiento sísmico, considerando principalmente planos estructurales, cuadros de diseño y parámetros utilizados en el dimensionamiento de los bloques 1, 3, 4 y 5.

Los resultados evidenciaron que la incorporación del sistema de aislamiento sísmico generó una modificación del sistema resistente, eliminando la participación de placas estructurales y trasladando la respuesta lateral hacia las columnas; sin embargo, no se identificó un proceso de optimización integral de la superestructura, ya que varios elementos mantuvieron sus dimensiones o incrementaron su cuantía de refuerzo. Asimismo, se detectaron inconsistencias entre memorias de cálculo y planos estructurales, así como el uso de parámetros normativos no actualizados y la aplicación de criterios de análisis basados en información externa sin una adecuada trazabilidad.

Adicionalmente, el análisis de costos evidenció que la implementación del sistema de aislamiento representó un incremento significativo en el proyecto, sin que este se traduzca en una mejora proporcional en la eficiencia estructural. En ese sentido, se concluyó que, si bien el sistema de aislamiento sísmico mejoraría el desempeño estructural frente a eventos sísmicos, su incorporación no fue acompañada por un rediseño integral ni por una adecuada articulación normativa, lo que limitó su eficiencia técnica.

Palabras claves: Aislamiento sísmico, diseño estructural, optimización.

Abstract

This research aimed to evaluate the structural design of the seismic isolation system of the Maternal and Child Hospital of the South Cone of Juliaca, in order to determine its compliance with current regulations and its level of structural optimization. The study was carried out through a comparative analysis of the original technical dossier and its modification incorporating seismic isolation, mainly considering structural drawings, design tables, and parameters used in the dimensioning of blocks 1, 3, 4, and 5.

The results showed that the incorporation of the seismic isolation system led to a modification of the structural resisting system, eliminating the participation of structural walls and transferring the lateral response to the columns. However, no comprehensive optimization of the superstructure was identified, since several structural elements maintained their dimensions or even increased their reinforcement ratio. In addition, inconsistencies between calculation reports and structural drawings were identified, as well as the use of outdated regulatory parameters and the application of analysis criteria based on external information without proper traceability.

Additionally, the cost analysis showed that the implementation of the seismic isolation system represented a significant increase in the overall project cost, without a proportional improvement in structural efficiency. In this regard, it was concluded that, although the seismic isolation system would improve structural performance under seismic events, its implementation was not accompanied by a comprehensive redesign or proper regulatory alignment, which limited its technical efficiency.

Keywords: Seismic isolation, structural design, optimization.

Introducción

La presente investigación tuvo como finalidad evaluar el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico incorporado en el Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, con el propósito de determinar su grado de cumplimiento respecto a la normativa vigente y su nivel de eficiencia estructural. Este análisis se desarrolló a partir de la revisión del expediente técnico original y su modificación, considerando que la incorporación del sistema de aislamiento sísmico generó cambios en el comportamiento estructural de la edificación.

En este contexto, se identificó la necesidad de analizar si dicha incorporación fue realizada de manera coherente con los criterios normativos y si permitió optimizar el diseño estructural de la superestructura. Asimismo, se evaluó la consistencia entre los documentos técnicos del proyecto, tales como memorias de cálculo, planos estructurales y cuadros de diseño, debido a las diferencias observadas durante el proceso de revisión.

El estudio se centró en los bloques 1, 3, 4 y 5, en los cuales se implementó el sistema de aislamiento sísmico, realizando un análisis comparativo del diseño antes y después de su incorporación. Para ello, se priorizó el análisis de los planos estructurales y parámetros de dimensionamiento, al considerarse estos como la representación final del diseño, frente a las inconsistencias identificadas en la memoria de cálculo.

Durante el desarrollo de la investigación, se identificaron aspectos relevantes relacionados con la modificación del sistema resistente, la ausencia de un proceso de optimización estructural tras la incorporación del aislamiento sísmico, el uso de parámetros normativos no actualizados y la aplicación de criterios

de análisis sin una trazabilidad completa. Estos elementos permitieron evaluar no solo el desempeño estructural del sistema, sino también la coherencia del proceso de diseño adoptado.

La investigación se estructuró en cinco capítulos. En el Capítulo I se desarrolló el planteamiento del problema, los objetivos, la justificación y el alcance del estudio. En el Capítulo II se presentó el marco teórico, donde se abordaron los conceptos relacionados con el comportamiento sísmico y los sistemas de aislamiento. En el Capítulo III se describió la metodología empleada para la evaluación estructural.

En el Capítulo IV se presentaron los resultados y la discusión, incluyendo el análisis comparativo del diseño estructural, la evaluación del impacto del sistema de aislamiento sísmico, sus limitaciones, beneficios y costos. Finalmente, en el Capítulo V se expusieron las conclusiones y recomendaciones derivadas del estudio.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel internacional, según Kaatsiz (2025) analizó el rendimiento sísmico de cinco hospitales que implementaron sistemas de aislamiento de base, evaluando parámetros como la reducción de desplazamientos laterales, la disminución de aceleraciones en la superestructura y la mejora en la funcionalidad post-sismo. Los resultados evidencian que la implementación del aislamiento sísmico contribuye significativamente a mantener la operatividad estructural y funcional de los hospitales durante y después de un evento sísmico, aspecto fundamental para garantizar la continuidad de la atención médica en situaciones de emergencia.

Asimismo, Haciemiroğlu et al. (2025) realizó un estudio exhaustivo sobre el diseño del sistema de aislamiento sísmico del Hospital de la Ciudad de Eskişehir, en Turquía, el cual cuenta con una capacidad de 1 081 camas. En el estudio se desarrollaron análisis de peligrosidad sísmica específicos del sitio, así como el diseño detallado del sistema de aislamiento y de la superestructura, considerando criterios de desempeño estructural y funcionalidad continua, aunado a ello, el enfoque adoptado permitió garantizar que el hospital mantenga su operatividad durante y después de un evento sísmico, asegurando la protección de pacientes, personal médico y equipos críticos frente a posibles daños estructurales o interrupciones del servicio.

A nivel regional, en Chile, se observó que el autor Bastías (2021) desarrolló el análisis del desempeño estructural de marcos sísmicos de concreto armado, diferenciando entre detallamientos especiales e intermedios, en el contexto de diversos sistemas de aislamiento sísmico. Sumado a ello, la investigación destaca la importancia de estos sistemas en la protección de infraestructuras hospitalarias, especialmente tras el terremoto de 2010 en Chile, evento que impulsó la adopción de normativas estructurales más rigurosas, empleando modelos de análisis no lineales, mediante el software OpenSees y evaluando cómo distintas configuraciones y sistemas de aislamiento influyen en el comportamiento estructural y el desempeño sísmico.

A través de un enfoque comparativo, se establece que los marcos con aislación bien diseñados pueden disminuir considerablemente las aceleraciones y el desplazamiento lateral, contribuyendo a una mayor seguridad en estructuras críticas. Al integrar factores de modificación de propiedades, como los propuestos por las normativas ACI (2019) y ASCE (2017), la investigación proporciona un marco para optimizar el diseño estructural y avanzar en el estado del arte en protección sísmica en el país, sirviendo como fundamento para futuras investigaciones en este ámbito.

A nivel nacional, Calderón (2018) desarrolló una investigación enfocada en la evaluación y optimización del comportamiento estructural de un pabellón hospitalario en la ciudad de Lima, mediante la implementación de aisladores sísmicos, en este aspecto se destaca que su objetivo fue diseñar y analizar estructuralmente la edificación para garantizar su seguridad frente a eventos sísmicos, considerando que el área de estudio se encuentra dentro de una zona de alto riesgo sísmico.

El mencionado autor, aplicó métodos de análisis estático y dinámico, verificando la eficacia del sistema de aislamiento en la reducción de fuerzas laterales y desplazamientos. Además, fundamentó su trabajo en las normas

peruanas de diseño sismorresistente y en criterios internacionales para edificaciones esenciales, como los hospitales. Los resultados demostraron que el uso de aisladores sísmicos mejora significativamente el desempeño estructural, disminuye la demanda sísmica sobre la superestructura y permite un diseño más eficiente y económico, al optimizar las dimensiones de los elementos estructurales.

Además, Yucra (2018) destacó respecto al desempeño sísmico de una estructura hospitalaria de concreto armado equipada con un sistema de aislamiento de base, que aplicando métodos de análisis dinámico, incluyendo el análisis dinámico incremental (IDA), para obtener curvas de demanda y comparar parámetros como derivas y aceleraciones bajo diferentes niveles de intensidad sísmica, logró alcanzar como resultados que el aislamiento de base reduce significativamente las demandas en la superestructura y mejora la funcionalidad post-sismo, aportando información cuantitativa sobre los límites de desplazamiento y los niveles de daño esperados.

A nivel local, mediante el Decreto Supremo N.º 030-2019-VIVIENDA, se aprobó la Norma Técnica E.031 “Aislamiento Sísmico” del Reglamento Nacional de Edificaciones, publicada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en el año 2019, esta norma representa un avance normativo fundamental en el diseño estructural peruano, al incorporar de manera oficial los criterios técnicos que regulan el uso de sistemas de aislamiento sísmico en edificaciones esenciales y estratégicas, como hospitales, centros de emergencia, estaciones de bomberos, centrales operativas, entre otros.

El citado decreto detalla los procedimientos para la evaluación del comportamiento sísmico, el modelamiento estructural de los aisladores, las propiedades mecánicas de los materiales, así como los ensayos experimentales que deben realizarse para certificar el desempeño del sistema. Además, enfatiza la importancia de que los sistemas sean verificados con normas internacionales de

referencia, como la ASCE (2017) y FEMA (2000), para asegurar la confiabilidad del diseño frente a movimientos sísmicos de gran magnitud.

Es en este escenario, que la presente investigación en una primera instancia busca evaluar el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, con el propósito de verificar su conformidad con las disposiciones establecidas en la Norma Técnica E.031 “Aislamiento Sísmico” y las normas internacionales aplicables. Este análisis permitirá identificar posibles deficiencias o aspectos susceptibles de optimización, contribuyendo así al fortalecimiento del diseño estructural de edificaciones esenciales en zonas de alta sismicidad y a la mejora de la seguridad y operatividad hospitalaria ante eventos sísmicos.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Problema principal

¿De qué manera evaluar el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico permitiría determinar su cumplimiento conforme a las disposiciones y normativas aplicables vigentes para el Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025?

1.2.2 Problemas secundarios

- a) ¿Qué criterios y parámetros estructurales se consideraron en el diseño original del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025?
- b) ¿De qué forma determinar el grado de cumplimiento del diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico, conforme a la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y normas internacionales, permitirá evaluar el Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025?

- c) ¿Qué observaciones o aspectos del diseño estructural podrían requerir mejoras orientadas a optimizar el desempeño del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025?
- d) ¿Cómo el planteamiento una propuesta de optimización podría mejorar las necesidades del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025?

1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La justificación social de esta investigación se sustenta porque debido a que el Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca es un centro de salud para madres y recién nacidos y al evaluar el diseño de sistema de aislamiento sísmico permite garantizar la seguridad de las personas y el funcionamiento de la infraestructura ante eventos sísmicos. Los resultados del estudio pueden servir como referencia para otros hospitales o edificaciones críticas en el departamento, contribuyendo a proteger vidas humanas.

Además, la presente investigación contribuye directamente con el objetivo 11 denominado ciudades y comunidades sostenibles de los Objetivos de Desarrollo Sostenibles, específicamente con el sub objetivo 11.5, orientada a reducir significativamente el número de muertes y personas afectadas, así como las pérdidas económicas directas ocasionadas por los desastres y a disminuir de manera considerable los daños derivados de dichos eventos.

Por otra parte, la justificación técnica se fundamenta en demostrar teorías y principios de la ingeniería estructural y del diseño sísmico, incluyendo normas nacionales (E.030, E.031) e internacionales ASCE (2017), para evaluar el cumplimiento del diseño y validar los criterios adoptados en la práctica profesional, así como ampliar el conocimiento sobre el desempeño de sistemas de aislamiento sísmico de hospitales, aportando evidencia científica que respalde el diseño de futuros hospitales.

Finalmente, la justificación metodológica para el trabajo de investigación encuentra sustento en la aplicación de un enfoque cuantitativo y cuasi experimental para evaluar el desempeño del diseño estructural de un hospital existente, siguiendo procedimientos sistemáticos y replicables propios de este tipo de investigaciones Sampieri (2014). La recopilación, selección y análisis de datos del expediente técnico, junto con el modelado estructural y la verificación del cumplimiento normativo, establecen procedimientos claros y replicables para evaluar sistemas de aislamiento sísmico en otros hospitales, fortaleciendo la metodología de análisis estructural en contextos similares.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico con el fin de determinar su cumplimiento conforme a las disposiciones y normativas aplicables vigentes para el Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025.

1.4.2 Objetivos específicos

- a) Identificar los criterios y parámetros estructurales considerados en el diseño original del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025.
- b) Determinar el grado de cumplimiento del diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico, conforme a la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y normas internacionales, del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025.
- c) Analizar las observaciones del diseño estructural y las posibles mejoras orientadas a optimizar el desempeño del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025.

- d) Plantear una propuesta de optimización que sea adecuada a las necesidades del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

En relación al desarrollo de este capítulo, se ha considerado detallar lo relacionado a los antecedentes de proyectos similares, así como las normativas aplicables y finalmente lo concerniente a los conceptos claves vinculados con las variables de estudio:

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

A continuación, se procede a mencionar aquellos antecedentes seleccionados para comprender las variables de estudio:

2.1.1 *Antecedentes internacionales*

a) Tesis y artículos de investigación

- ✓ En la investigación titulada “Control híbrido de vibraciones en edificios hospitalarios frente a excitaciones sísmicas mediante aislador elastomérico reforzado con fibra no adherida y amortiguador de masa sintonizado”, de Banerjee et al. (2023), publicada en la Revista Buildings, se buscó minimizar las vibraciones en hospitales durante sismos mediante el uso combinado de aisladores elastoméricos flexibles reforzados con fibra (UFREI) y amortiguadores de masa sintonizados (TMD). El estudio adoptó un enfoque cuantitativo, desarrollando modelos estructurales

numéricos y realizando análisis dinámicos no lineales del tipo “time-history”, considerando diversos escenarios sísmicos para evaluar el desempeño del sistema híbrido.

Se obtuvo como resultado que la combinación del aislador UFREI con el TMD redujo significativamente los desplazamientos en el nivel de aislación, logrando entre un 9% y 27% de disminución en el desplazamiento del aislador, sin comprometer el desempeño global del sistema. Además, el modelo híbrido permitió una mayor estabilidad estructural y una reducción sustancial en el corte basal, demostrando su eficacia para mantener la operatividad y seguridad de los hospitales ante eventos sísmicos severos. Concluyendo que es posible diseñar sistemas de aislamiento altamente flexibles (UFREI) para hospitales, siempre que se consideren condiciones específicas de diseño y comportamiento dinámico. Lo antes expuesto denota la relevancia de estos sistemas para garantizar la funcionalidad de los hospitales durante sismos severos, ya que los resultados evidenciaron reducciones superiores al 90% en el corte basal y en otros parámetros de demanda estructural.

- ✓ En la tesis denominada “Estudio comparativo de estructuras con aislamiento sísmico de base con diferentes factores de modificación de respuesta”, presentada por Özkuzucu (2023) para optar el grado de Maestro en Ciencias en Estudios Sísmicos en la Universidad Técnica de Oriente Medio, se tuvo como objetivo comparar el diseño de columnas en un hospital de ocho pisos con sistema de aislamiento de base, bajo la normativa turca TSC (2018), empleando factores de modificación de respuesta reducidos y no reducidos para cargas sísmicas. El método seleccionado fue cuantitativo y de tipo aplicado, con un diseño cuasi experimental de carácter comparativo, ya que analizó mediante modelamiento estructural el comportamiento de un

hospital, controlando las variables del entorno dentro de un modelo computacional.

Se encontró como resultado que, al diseñar sin aplicar la reducción de carga sísmica, el volumen de refuerzo longitudinal de las columnas aumentó aproximadamente en 4.8%; asimismo, el volumen de concreto de las columnas se incrementó en 2.0%, y el volumen total de concreto del edificio en 0.26%. Concluyendo que el uso de aislamiento de base con cargas no reducidas puede contribuir a minimizar los daños estructurales ante terremotos severos. Lo antes descrito evidencia la relevancia de evaluar los sistemas de aislamiento sísmico, mediante un análisis cuantitativo y el cumplimiento de criterios técnicos de diseño estructural.

b) Proyectos similares

En el proyecto denominado: “Waipapa Christchurch Hospital - Acute Services Building” (Christchurch, Nueva Zelanda) consistió en la construcción de un nuevo edificio de servicios agudos para el complejo hospitalario de Christchurch, con el objetivo de garantizar la continuidad operativa y la prestación de servicios médicos críticos tras eventos sísmicos. El diseño se basó en criterios de alta resiliencia (Importance Level 4) y consideró análisis sísmicos avanzados y modelamiento estructural para asegurar el desempeño funcional del edificio en condiciones extremas. Como resultado del proyecto, el edificio fue dotado de 129 aisladores de base distribuidos en la planta de aislamiento y se proyectó como una instalación de gran escala (aprox. 62 000 m², 400 camas, 12 quirófanos), con un presupuesto en torno a USD 480–500 millones. Se concluye que la aplicación del aislamiento de base en este proyecto permitió priorizar la seguridad estructural y la operatividad post-sismo de un hospital.

2.1.2 Antecedentes nacionales

a) Tesis y artículos de investigación

- ✓ En la investigación titulada “Aplicación de Aisladores Sísmicos en Modelos de Edificaciones Hospitalarias”, presentada por Blas et al. (2024) y publicada en la Revista Científica Emprendimiento Científico Tecnológico, se analizó la incidencia del sistema de aislamiento sísmico basal, comparando el comportamiento estructural entre un sistema con base aislada y una estructura convencional (de base fija). El estudio adoptó un enfoque descriptivo y longitudinal, con un diseño cuasi experimental, empleando la prueba estadística de análisis Chi-cuadrado con el propósito de contrastar la hipótesis planteada.

Se obtuvo como resultado que el control de las derivas es uno de los factores más relevantes, ya que se encuentra directamente relacionado con los posibles daños estructurales de los modelos analizados. Las máximas derivas en las infraestructuras hospitalarias se presentan en la dirección Y, obteniéndose valores inferiores a 0.007, límite establecido por la Norma Técnica Peruana E.030 (2018). Se concluye que la aplicación de aisladores sísmicos en edificaciones hospitalarias influye favorablemente en su comportamiento estructural, al reducir las derivas, la demanda sobre los elementos resistentes y, en consecuencia, los costos de construcción.

- ✓ En la tesis denominada “Factibilidad técnica y económica de utilizar aislamiento sísmico en hospitales peruanos existentes”, presentada por Pino et al. (2018) para optar el grado de Magíster en Ingeniería

Civil con mención en Estructuras en la Pontificia Universidad Católica del Perú, se tuvo como objetivo evaluar la factibilidad técnica y económica del uso de sistemas de aislamiento sísmico en el Hospital Edgardo Rebagliati Martins de Lima. El método seleccionado fue cuantitativo y aplicado, pues el estudio se basa en análisis técnico-económicos de ingeniería estructural, en el que se propusieron tres tipos de dispositivos de aislamiento sísmico, los cuales fueron dimensionados para el hospital considerando la instalación de la interfaz de aislamiento en el nivel del sótano, con el fin de minimizar las interrupciones operativas.

Se encontró como resultado que es factible implementar sistemas de aislamiento sísmico en hospitales existentes en el Perú, tanto desde el punto de vista técnico como económico. No obstante, se concluye que se requiere la participación de empresas especializadas con experiencia en aislamiento sísmico. Lo antes descrito evidencia la necesidad de adoptar tecnologías de aislamiento en edificaciones críticas para mejorar la resiliencia y la operatividad post-sismo.

b) Proyectos similares

- ✓ El proyecto denominado “Mejoramiento de los servicios de salud del Hospital Hipólito Unanue de Tacna, distrito de Tacna, provincia de Tacna – región Tacna”, con CUI N° 2192844, ejecutado por el Gobierno Regional de Tacna (2017), se ubica en la intersección de la Av. Industrial con la calle Hipólito Unanue, en la zona urbana del distrito de Tacna, región Tacna. Su objetivo fue mejorar el acceso de la población del ámbito de influencia del Hospital Hipólito Unanue de Tacna a servicios de salud de mediana y alta complejidad, empleando la metodología de modelo no lineal del sistema de aislamiento (MNL), que considera el cálculo y la determinación de

las relaciones constitutivas fuerza–deformación de cada uno de los aisladores presentes en la estructura.

Del que se obtuvo como resultado la implementación de 135 aisladores elastoméricos de tipo AS y 35 deslizadores de tipo SL, los cuales forman parte del diseño del sistema de aislamiento del edificio principal, permitiendo absorber adecuadamente la demanda de carga y deformación a la que será sometido. Se concluyó que el diseño del sistema de aislamiento sísmico propuesto reduce la cortante de diseño hasta alcanzar el valor mínimo exigido por la Norma E.030, incorporando además ventajas en términos de seguridad estructural y protección de contenido, con una inversión total de S/ 281 163 682.00. Lo antes expuesto resalta la relevancia de implementar sistemas de aislamiento sísmico en hospitales, especialmente en regiones con alta peligrosidad sísmica, como una medida efectiva para garantizar la operatividad y seguridad de las infraestructuras esenciales.

2.2 NORMATIVA VIGENTE

2.2.1 *Normativa Nacional*

Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobado mediante Decreto Supremo N° 001-2006-VIVIENDA (5 de mayo de 2006)

Se considera el Reglamento Nacional de Edificaciones como el marco normativo principal que regula el diseño y la construcción de edificaciones en el Perú.

Ahora bien, en el caso de las edificaciones hospitalarias con sistemas de aislamiento sísmico, se aplican las Normas Técnicas que establecen los criterios de diseño, análisis y construcción, entre las cuales tenemos:

a) Norma Técnica A.010 – Generalidades (2006)

Regula los principios generales del diseño y ejecución de edificaciones, incluyendo la clasificación de edificaciones esenciales, como los hospitales, que deben mantener su operatividad después de un evento sísmico.

b) Norma Técnica E.020 – Cargas (2006)

Establece las cargas estáticas y dinámicas que deben considerarse en el diseño estructural, incluyendo las combinaciones de carga que afectan directamente al comportamiento de los sistemas de aislamiento sísmico y su interacción con la superestructura

c) Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente (2018)

Establece los requisitos mínimos para el diseño de estructuras capaces de resistir sismos de intensidad severa sin colapso, protegiendo la vida de los ocupantes y garantizando el funcionamiento de edificaciones esenciales como hospitales. Regula los parámetros sísmicos, factores de reducción, zonificación y niveles de desempeño estructural

d) Norma Técnica E.031 – Aislamiento Sísmico (2019)

Define los criterios específicos para el análisis y diseño de sistemas de aislamiento sísmico aplicados a edificaciones hospitalarias. Regula los tipos de aisladores, desplazamientos máximos admisibles, fuerzas de restauración y requerimientos de diseño para garantizar el comportamiento estable del sistema durante eventos sísmicos.

2.2.2 *Normativa Internacional*

Norma ASCE/SEI 7 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (Cargas Mínimas de Diseño y Criterios Asociados para Edificaciones y Otras Estructuras)

La norma ASCE/SEI 7, publicada por la American Society of Civil Engineers (ASCE) y el Structural Engineering Institute (SEI), establece los criterios mínimos para el diseño de edificaciones hospitalarias considerando las cargas sísmicas, de viento y otras solicitaciones:

a) Capítulo 17 – Sistemas de Aislamiento Sísmico (Seismic Isolation Systems)

Establece los requisitos mínimos para el análisis, diseño y verificación de estructuras equipadas con sistemas de aislamiento sísmico. Esta norma define los criterios para el comportamiento dinámico, propiedades mecánicas y límites de desplazamiento de los aisladores, así como los factores de seguridad asociados. Su aplicación permite reducir la demanda sísmica sobre la superestructura, garantizando un desempeño adecuado y continuidad operativa en edificaciones esenciales como hospitales, instalaciones de emergencia y centros de mando.

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS

2.3.1 *Diseño estructural*

2.3.1.1 Definición de diseño estructural

El diseño estructural se entiende como el proceso técnico mediante el cual se determinan las dimensiones, materiales, configuraciones y disposiciones de los elementos estructurales que conforman una edificación hospitalaria, con el propósito de garantizar su estabilidad, resistencia y seguridad frente a las cargas actuantes, incluyendo las sísmicas. En el caso de edificaciones esenciales como hospitales, este diseño debe asegurar la continuidad operativa y la protección de vidas humanas incluso ante movimientos telúricos severos.

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones – Norma E.030 (2018), el diseño estructural debe cumplir con principios de comportamiento sísmico controlado, de modo que los sistemas de aislamiento se empleen para reducir las demandas en la superestructura y aumentar la capacidad funcional post-sismo. Así, el diseño no solo busca resistir cargas, sino también controlar desplazamientos y deformaciones dentro de límites normativos que aseguren un desempeño estructural aceptable.

En el contexto hospitalario, el diseño estructural con aislamiento sísmico se convierte en un instrumento de mitigación de riesgos, dado que involucra la selección y dimensionamiento de aisladores, la verificación del sistema estructural superior e inferior, y la evaluación de la respuesta dinámica global. Por ello, su estudio permite determinar si las decisiones de ingeniería adoptadas garantizan la seguridad, durabilidad y eficiencia del sistema estructural.

2.3.1.2 Definición de evaluación estructural

La evaluación estructural es el proceso técnico mediante el cual se analiza el comportamiento y la capacidad de una edificación para resistir las acciones que podrían afectarla durante su vida útil, tales como cargas gravitacionales, cargas laterales por viento o sismo, y condiciones especiales según su funcionalidad ASCE (2017), en el contexto de edificaciones esenciales como hospitales, esta evaluación incorpora la revisión detallada del diseño estructural, el análisis del desempeño esperado y la verificación del cumplimiento con criterios normativos vigentes. La evaluación estructural permite determinar si los elementos y sistemas estructurales responden adecuadamente frente a las demandas sísmicas, garantizando seguridad, funcionalidad y continuidad operativa.

En el marco específico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, la evaluación estructural se orienta a revisar el modelo, parámetros y criterios utilizados en el diseño del sistema de aislamiento sísmico, contrastándolos con los requerimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones y con estándares internacionales de referencia.

2.3.1.3 Definición de las dimensiones del diseño estructural

De acuerdo con la definición de la variable diseño estructural, se han establecido tres dimensiones a través de las cuales es posible analizar dicha variable, las que se definen a continuación:

a) Criterios de diseño

Los criterios de diseño estructural constituyen el conjunto de principios, parámetros y lineamientos que orientan la concepción y desarrollo de una estructura segura y funcional frente a las diversas acciones que puede experimentar, tales como cargas gravitacionales, viento y sismo. En el contexto de edificaciones

esenciales como los hospitales, estos criterios buscan garantizar el comportamiento estructural durante y después de un evento sísmico, preservando la operatividad de la infraestructura y la seguridad de sus ocupantes. Dichos criterios se establecen en función de normativas nacionales e internacionales, las cuales definen los límites de deformación, derivas y niveles de desempeño que debe cumplir una estructura Chopra (2017).

Asimismo, los criterios de diseño orientan las decisiones iniciales sobre la selección del sistema estructural, materiales y mecanismos de disipación de energía, como los sistemas de aislamiento sísmico. Estos criterios deben considerar tanto la resistencia como la ductilidad del conjunto estructural, permitiendo una respuesta controlada ante sollicitaciones dinámicas. En consecuencia, el cumplimiento riguroso de estos lineamientos garantiza que la estructura logre el equilibrio entre eficiencia técnica, seguridad y economía, principios fundamentales del diseño estructural moderno Clough et al. (1993).

b) Análisis y modelamiento

El análisis y modelamiento estructural constituyen etapas esenciales del proceso de diseño, ya que permiten representar el comportamiento real de una edificación frente a diferentes tipos de carga. Mediante el uso de modelos matemáticos y herramientas de simulación numérica, se evalúan parámetros como desplazamientos, fuerzas internas, derivas y periodos naturales de vibración. En edificaciones hospitalarias con aislamiento sísmico, el modelamiento debe incluir la representación precisa del sistema de aisladores y sus propiedades no lineales, con el fin de predecir la respuesta dinámica global del edificio Mokhtar et al. (2019).

Por otro lado, el análisis estructural, ya sea estático o dinámico, lineal o no lineal, permite validar si el diseño cumple con las exigencias establecidas en las normas técnicas. A través de este proceso se identifican los puntos críticos de la estructura, se verifican las hipótesis de diseño y se optimizan los elementos

estructurales para lograr un desempeño adecuado. En la actualidad, las herramientas computacionales como ETABS o SAP2000 facilitan el modelamiento tridimensional detallado, lo cual contribuye a una evaluación más confiable y precisa del comportamiento estructural bajo excitaciones sísmicas Chopra (2017).

c) Dimensionamiento y verificación

El dimensionamiento y verificación estructural comprenden el proceso mediante el cual se determinan las dimensiones, refuerzos y propiedades de los elementos que conforman la estructura, garantizando que puedan resistir las solicitaciones obtenidas del análisis estructural. Este procedimiento debe realizarse conforme a las normativas vigentes, asegurando que los elementos presenten la resistencia y rigidez necesarias para soportar las cargas sin fallar. En edificaciones hospitalarias con sistemas de aislamiento, el dimensionamiento debe considerar no solo la reducción de fuerzas sísmicas transmitidas a la superestructura, sino también la estabilidad de los aisladores y su capacidad de deformación Priestley et al. (2007).

La verificación, en cambio, consiste en comparar los resultados del diseño con los límites y requisitos normativos de resistencia, derivas y desempeño estructural. Este proceso asegura que la edificación cumpla con las condiciones de seguridad y funcionalidad establecidas, especialmente para edificaciones críticas donde la continuidad operativa es prioritaria. Por tanto, el dimensionamiento y verificación son etapas complementarias que garantizan la calidad técnica del diseño estructural, asegurando que las soluciones adoptadas sean coherentes, eficientes y confiables frente a eventos sísmicos severos Moehle (2014).

2.3.2 Cumplimiento normativo del diseño estructural

2.3.2.1 Definición de cumplimiento normativo del diseño estructural

El cumplimiento normativo del diseño estructural se refiere al grado en que el proyecto estructural satisface los requisitos técnicos y legales establecidos por las normas nacionales e internacionales aplicables al diseño sismorresistente. En el Perú, el cumplimiento se evalúa principalmente en función del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), mientras que normas como ASCE/SEI 7-16 o FEMA 356 pueden servir como guías de referencia para verificar parámetros de desempeño o criterios de análisis no lineal.

Este cumplimiento implica que el diseño haya sido desarrollado conforme a los procedimientos, metodologías y factores de seguridad establecidos en las disposiciones normativas vigentes. De esta forma, se garantiza que los materiales, métodos de cálculo y verificaciones estructurales sean coherentes con las exigencias reglamentarias, asegurando así la integridad estructural y funcionalidad del hospital durante y después de un sismo.

La verificación del cumplimiento normativo es esencial en proyectos de infraestructura hospitalaria, ya que permite determinar si el diseño propuesto cumple con los niveles mínimos de seguridad estructural y desempeño funcional exigidos por las normas. Además, contribuye a la transparencia técnica y a la adecuada fiscalización de la ingeniería aplicada en edificaciones esenciales.

2.3.2.2 Definición de diseño de sistema de aislamiento sísmico

El sistema de aislamiento sísmico es una tecnología de protección estructural que busca desacoplar el movimiento del terreno respecto al edificio durante un sismo mediante dispositivos especiales instalados generalmente en la base o en un nivel intermedio de la edificación, Naeim et al. (1999); estos

dispositivos incrementan el periodo fundamental de la estructura y reducen la energía sísmica que ingresa al edificio, disminuyendo desplazamientos, aceleraciones y demandas internas en los elementos estructurales.

Para el hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, el sistema de aislamiento sísmico adquiere relevancia especial al permitir que los servicios de salud se mantengan operativos incluso después de un sismo severo. La implementación del aislamiento implica un diseño estructural específico, análisis dinámicos detallados y controles normativos rigurosos que aseguren su adecuado desempeño; en la presente investigación, el sistema de aislamiento se analiza en términos de sus parámetros técnicos, configuración, modelamiento estructural y grado de cumplimiento con las normas vigentes, constituyendo uno de los ejes principales para evaluar la seguridad y eficiencia del edificio ante eventos sísmicos.

2.3.2.3 Definición de las dimensiones de cumplimiento normativo del diseño estructural.

Considerando la definición de la variable cumplimiento normativo del diseño estructural, se han establecido tres dimensiones mediante las cuales es posible analizar dicha variable, las que se definen a continuación:

a) Normativa Nacional

La normativa nacional constituye el marco legal y técnico obligatorio que regula el diseño, análisis y construcción de edificaciones en el territorio peruano. En el caso del aislamiento sísmico, esta se encuentra principalmente representada por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), que establece las disposiciones mínimas de seguridad estructural y funcionalidad frente a eventos sísmicos. El cumplimiento de esta normativa garantiza que las estructuras diseñadas respondan adecuadamente a las exigencias locales de amenaza sísmica, suelos y

materiales, promoviendo la protección de vidas humanas y la continuidad operativa de edificaciones esenciales como los hospitales.

b) Normativa Internacional

La normativa internacional actúa como referencia técnica complementaria que permite comparar y fortalecer los criterios nacionales de diseño estructural. En este contexto, destacan normas como la ASCE/SEI 7-22 de los Estados Unidos o los lineamientos de la FEMA y la ISO 3010, las cuales proporcionan metodologías avanzadas para el análisis y diseño de sistemas de aislamiento sísmico. Su aplicación, aunque no es de cumplimiento obligatorio en el Perú, ofrece criterios de actualización tecnológica y precisión en el modelamiento estructural, fomentando la adopción de estándares de desempeño sísmico de nivel internacional para edificaciones críticas.

c) Criterios técnicos de diseño estructural

Los criterios técnicos de diseño estructural comprenden el conjunto de procedimientos, parámetros y verificaciones que permiten asegurar que el proyecto cumpla con las disposiciones normativas nacionales e internacionales. Incluyen la adecuada selección de materiales, la verificación de derivas, la determinación de periodos fundamentales, el control de deformaciones y la revisión de las demandas sísmicas en los dispositivos de aislamiento. El cumplimiento de estos criterios refleja la aplicación rigurosa del conocimiento de ingeniería y de las buenas prácticas de diseño, garantizando que la estructura analizada mantenga un nivel óptimo de seguridad, funcionalidad y eficiencia constructiva ante solicitaciones sísmicas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN APLICADA

3.1.1. *Tipo de investigación*

El estudio se enmarca dentro del tipo de investigación aplicada Hernández (2022), dado que emplea fundamentos teóricos y normativos del diseño estructural y del aislamiento sísmico del Hospital Materno infantil del Cono Sur de Juliaca, con el propósito de evaluar su desempeño y, de ser el caso, plantear una propuesta de optimización; además, cabe destacar que la investigación adopta un método cuantitativo, debido a que se fundamenta en el análisis de datos numéricos, modelamientos y verificaciones técnicas objetivas que permiten medir y evaluar el cumplimiento estructural.

3.1.2. *Nivel de investigación*

El nivel de la investigación es explicativo, dado que se identificará y explicará la relación entre el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico y su grado de cumplimiento estructural conforme a las normas nacionales e internacionales Sampieri (2014). Por otro lado, el estudio se desarrolla bajo un corte transversal, dado que el análisis se efectúa en un único momento temporal, evaluando el estado actual del diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico y su grado de cumplimiento normativo.

3.1.3. *Justificación del enfoque aplicado*

La investigación se desarrolló bajo un diseño cuasi experimental Hernández (2022), ya que no se realizará manipulación de las variables de estudio, pero sí se

evaluará la relación entre el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico y su cumplimiento técnico-normativo.

3.2 DISEÑO DEL PROYECTO

3.2.1 *Etapas del proyecto*

Para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto, se ha considerado abordarlo mediante las siguientes etapas:

a) **Primero:**

Se recopilarán los datos del expediente técnico, para revisar y analizar la documentación existente del diseño estructural del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, incluyendo la memoria de cálculo, planos, especificaciones de materiales, normativas aplicadas y demás documentos técnicos necesarios para comprender el sistema de aislamiento sísmico implementado.

b) **Segundo:**

Se seleccionarán y organizarán los datos relevantes, identificando los elementos y parámetros esenciales para el análisis estructural, tales como: características de los aisladores, cargas, dimensiones de elementos, propiedades del suelo y criterios de diseño adoptados.

c) **Tercero:**

Con los datos organizados, se evaluará el modelo estructural del sistema de aislamiento sísmico, elaborado mediante software especializado (ETABS y Revit),

realizando análisis estáticos y dinámicos que permitieron simular la respuesta de la estructura frente a diferentes escenarios sísmicos, conforme a las normas aplicables.

d) Cuarto:

Finalmente, se analizarán los resultados del modelamiento y la verificación normativa, evaluando la consistencia del diseño original y su desempeño estructural, a partir de ello, se elaborarán conclusiones técnicas y recomendaciones orientadas a optimizar el sistema de aislamiento sísmico.

3.2.2 *Herramientas y Software utilizados*

A continuación, se presenta la relación de herramientas y softwares empleados para el desarrollo del presente trabajo, los cuales se detallan a continuación:

3.2.2.1 *Herramientas utilizadas*

a) Expediente técnico del proyecto estructural

El expediente técnico constituye la herramienta principal de análisis, ya que contiene toda la información técnica necesaria para evaluar el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico, incluyendo planos estructurales, memorias de cálculo, especificaciones técnicas y metrados. A partir de este documento se extraerán los parámetros fundamentales de diseño, como las propiedades de los materiales, las características de los aisladores sísmicos y las cargas de diseño consideradas. Su revisión permite verificar la coherencia entre los criterios empleados y las disposiciones establecidas en las normas nacionales e internacionales aplicables.

b) Normativa técnica vigente

La normativa constituye una herramienta esencial de referencia, que orienta el proceso de evaluación y verificación del diseño estructural. En particular, se emplearán la Norma Técnica Peruana E.030 “Diseño Sismorresistente” y la Norma E.031 “Aislamiento Sísmico”, además de la norma internacional ASCE/SEI 7-16, como documento complementario de referencia técnica. Estas normas establecen los criterios de diseño, los procedimientos de cálculo y los límites de desempeño que deben cumplir las edificaciones esenciales, garantizando la seguridad estructural y funcionalidad de los hospitales ante eventos sísmicos.

c) Modelamiento estructural computacional

El modelamiento estructural computacional constituye una herramienta fundamental para el análisis y la verificación técnica del sistema de aislamiento sísmico. A través de software especializado, como ETABS, se analizará el modelo tridimensional del hospital que simulará el comportamiento dinámico de la estructura frente a acciones sísmicas. Esta herramienta permite obtener parámetros como desplazamientos, derivas, fuerzas internas y cortes basales, los cuales serán comparados con los valores límite establecidos por la normativa. De esta forma, se podrá evaluar cuantitativamente el desempeño estructural y el cumplimiento normativo del diseño analizado.

3.2.2.2 Softwares utilizados

a) Etabs

El software ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) será la principal herramienta de análisis estructural en esta investigación. Su capacidad para modelar estructuras complejas en tres dimensiones y realizar análisis dinámicos lineales y no lineales lo convierte en un instrumento adecuado

para el estudio del comportamiento de edificaciones con sistemas de aislamiento sísmico. A través de ETABS se simulará el comportamiento estructural del hospital ante acciones sísmicas, permitiendo obtener parámetros relevantes como derivas, desplazamientos y esfuerzos internos, que serán comparados con los límites normativos establecidos en las normas E.030 y E.031 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

b) Revit

Revit es una herramienta de modelado BIM (Building Information Modeling) desarrollada por Autodesk, que permite crear representaciones digitales tridimensionales precisas de edificaciones. En el contexto estructural, facilitará la elaboración del modelo arquitectónico y estructural, integrando información sobre materiales, dimensiones, niveles y elementos de aislamiento sísmico. Su uso permite una mejor coordinación entre las disciplinas de arquitectura e ingeniería, además de generar planos, vistas y detalles constructivos con alto nivel de precisión. En esta investigación, Revit se considerará para representar gráficamente el sistema estructural y servir como base geométrica para el análisis técnico posterior en programas especializados.

c) Microsoft Excel

Microsoft Excel será empleado como herramienta de procesamiento, sistematización y presentación de resultados numéricos. Este programa permitirá organizar la información proveniente del expediente técnico y los datos obtenidos de los modelos estructurales, facilitando el cálculo de indicadores, la comparación de valores normativos y la elaboración de gráficos de desempeño estructural. Su uso contribuirá al tratamiento ordenado y transparente de la información técnica, apoyando la interpretación de los resultados y la elaboración de cuadros y figuras para la presentación final del estudio.

3.3 EVALUACIÓN TÉCNICA Y FACTIBILIDAD

3.3.1 *Análisis geotécnico*

Dado que la edificación objeto de estudio contó con un estudio geotécnico aprobado como parte de su expediente técnico, los parámetros geotécnicos empleados en la presente investigación fueron tomados de dicho estudio, considerándose representativos de las condiciones del emplazamiento. Estos parámetros fueron utilizados como información base para la evaluación estructural, sin que ello implicara la modificación de las conclusiones del estudio de suelos original. Entre los principales parámetros considerados se incluyeron el tipo de cimentación armada conectada, la clasificación del suelo tipo III, el período característico del suelo $T_p = 0,90$ s y el factor de suelo $S = 1,4$; entre otros.

3.3.2 *Modelado estructural*

El modelo estructural del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca fue desarrollado mediante el uso de un software de análisis estructural. En dicho modelo, las columnas y vigas fueron representadas como elementos tipo línea, las losas como elementos tipo cáscara, y los dispositivos de aislamiento sísmico fueron idealizados mediante elementos tipo resorte.

El sistema estructural de entrepiso estuvo conformado por vigas peraltadas, columnas de sección cuadrada y rectangular, y losas macizas. La tabiquería estuvo constituida por muros de albañilería de ladrillo tipo King Kong, confinados mediante columnetas y vigas de amarre; asimismo, la tabiquería se encontró desacoplada de la estructura principal mediante juntas de poliestireno expandido, con la finalidad de evitar la interacción estructural durante la ocurrencia de eventos sísmicos.

Los parámetros correspondientes a las condiciones de carga y a los criterios de diseño sismorresistente fueron considerados en concordancia con lo establecido en la Norma Técnica E.020 – Cargas, así como en las Normas Técnicas E.030 – Diseño Sismorresistente y E.031 – Aislamiento Sísmico, según correspondió.

3.3.3 Simulación de impacto ambiental

La ejecución de la investigación, no generó impacto social negativo tanto en el entorno social como ambiental, todo lo contrario, puesto que presentan los siguientes beneficios:

- a) Beneficios sociales relacionados con la evaluación y optimización del diseño estructural con aislamiento sísmico en hospitales radica en la preservación de la infraestructura sanitaria esencial, los hospitales con sistemas de aislamiento bien diseñados mantienen su operatividad incluso después de sismos severos, evitando el colapso de servicios críticos como emergencias, cuidados intensivos o salas de parto. Esto garantiza la continuidad de la atención médica para la población y reduce el impacto social asociado a la pérdida temporal o permanente de centros asistenciales, que en muchas regiones constituye la única alternativa de atención pública disponible.
- b) La incorporación del aislamiento sísmico promueve la mejora continua en los sistemas constructivos empleados en edificaciones de alta importancia, la necesidad de modelar, verificar y validar estos sistemas obliga a adoptar prácticas de ingeniería más avanzadas, precisas y alineadas con estándares internacionales, lo cual eleva la calidad de los proyectos estructurales.
- c) Desde un enfoque ambiental y de sostenibilidad, el aislamiento sísmico aporta un beneficio relevante al extender la vida útil de las edificaciones y reducir la generación de residuos, al disminuir significativamente los

3.4.1 Cronograma de actividades

Tabla 1

[illegible]

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Elaboración de conclusiones e informe final del trabajo de tesis

REFERENCIAS Y PRESENTACIÓN DE INFORME

- Revisión de estilos y verificación de incorporar la totalidad de referencias empeladas en el trabajo

REVISIÓN Y SUSTENTACIÓN DE TESIS

- Observaciones de jurado calificador al informe final de tesis
- Levantamiento de observaciones de jurado calificador
- Entrega del informe final de tesis mediante sistema para programar fecha y hora de sustentación.

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 *Asignación de recursos*

En relación a la asignación de recursos, seguidamente se detallan la cantidad de recursos humanos y materiales para el desarrollo de la investigación:

Recursos humanos:

- 01 tesista, a cargo de la investigación.
- 01 asesor de tesis.

Recursos materiales:

- 01 laptop i9.
- Útiles de escritorio.
- 01 dispositivo de almacenamiento digital.
- 01 impresora multifuncional.
- Software Etabs – versión académica
- Software Revit – versión académica

Por su parte, respecto a los costos estimados en el proceso de investigación, estos se encuentran detallados en la siguiente tabla:

Tabla 2*Costo estimado para la investigación*

Ítem	Actividad	Costo
1	Recopilación de datos para la investigación	S/ 400.00
2	Procedimiento para la obtención del grado académico	S/ 1 500.00
3	Generación de instrumentos para ser aplicados a la muestra de estudio	S/ 550.00
4	Proceso de validación de instrumentos	S/ 400.00
5	Aplicación de instrumentos a la muestra seleccionada de la investigación	S/ 550.00
6	Desarrollo de la discusión de la investigación	S/ 650.00
7	Elaboración y formato del informe final	S/ 300.00
8	Revisión de Estilos	S/ 1 000.00
Presupuesto total		S/ 5 350.00

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 Costos y financiamiento

Cabe mencionar que el financiamiento de la presente investigación fue efectuado íntegramente con recursos propios del investigador, sin contar con aportes económicos de entidades públicas, privadas ni de terceros. En ese sentido, todos los gastos asociados al desarrollo del estudio, tales como la adquisición de bibliografía especializada, el procesamiento de la información y la elaboración del documento final, fueron asumidos directamente por el investigador.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DESARROLLO DEL PROYECTO Y VALIDACIÓN DEL DISEÑO

4.1.1 Evaluación del diseño estructural del hospital antes y después de la incorporación del sistema de aislamiento sísmico

El diseño estructural del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca fue desarrollado inicialmente considerando los criterios de diseño estructural vigentes al momento de su formulación, proceso que se llevó a cabo aproximadamente durante el año 2013; en dicho periodo, el diseño estructural de edificaciones hospitalarias se regía por las disposiciones establecidas en la Norma Técnica de Edificación E.030 “Diseño Sismorresistente”, la cual forma parte del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y establece los criterios generales para el análisis y diseño de estructuras sometidas a acciones sísmicas en el territorio nacional.

No obstante, durante el proceso de elaboración del expediente técnico y antes de su aprobación final, se produjo una modificación importante en el marco normativo aplicable al diseño estructural de edificaciones esenciales; en efecto, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento dispuso, mediante el Decreto Supremo N.º 002-2014-VIVIENDA, publicado el 14 de marzo de 2014, la incorporación del Anexo 3 denominado “Sistemas de protección sísmica, específico

para el caso de establecimientos de salud” a la Norma Técnica de Edificación E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE.

La incorporación de este anexo tuvo como finalidad establecer disposiciones técnicas orientadas a mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones destinadas a la prestación de servicios de salud, promoviendo la implementación de sistemas de protección sísmica, tales como los sistemas de aislamiento sísmico en la base o sistemas de disipación de energía, con el objetivo de reducir las demandas sísmicas que actúan sobre la estructura y garantizar la continuidad operativa de los establecimientos de salud después de la ocurrencia de un evento sísmico significativo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014).

En este contexto normativo, los proyectos de infraestructura hospitalaria en proceso de formulación debieron adecuar sus criterios de diseño estructural a las nuevas disposiciones establecidas por la normativa vigente; como consecuencia de ello, el diseño estructural del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca requirió la incorporación de un sistema de protección sísmica mediante dispositivos de aislamiento sísmico, lo cual motivó la elaboración de un adicional destinado a actualizar el diseño estructural originalmente planteado conforme a los nuevos requerimientos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

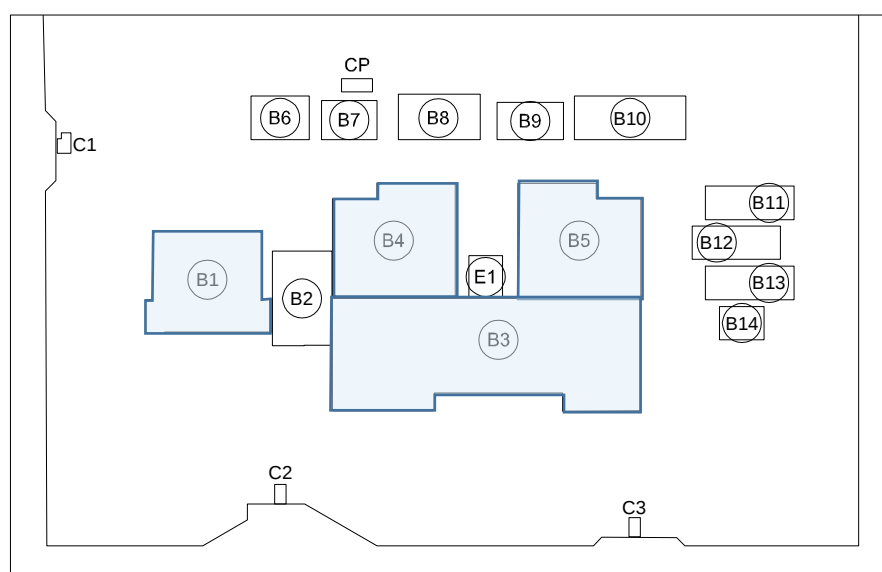
Cabe señalar que, al momento de la incorporación del Anexo 3 a la Norma Técnica de Edificación E.030, el Reglamento Nacional de Edificaciones aún no contaba con un procedimiento técnico detallado para el diseño estructural de sistemas de protección sísmica, particularmente para el caso de sistemas de aislamiento sísmico en la base; en ese contexto, el propio anexo estableció que el análisis y diseño de estos sistemas debía realizarse tomando como referencia estándares internacionales reconocidos, señalando expresamente la aplicación del estándar ASCE/SEI 7 “Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures” en su última edición vigente.

En consecuencia, durante el periodo en que se produjo la modificación normativa, el diseño de sistemas de aislamiento sísmico en edificaciones hospitalarias en el Perú se sustentó principalmente en criterios y procedimientos establecidos en dicha normativa internacional, debido a la ausencia de una norma técnica nacional específica que desarrollara de manera detallada los métodos de análisis y diseño para este tipo de sistemas estructurales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2014; ASCE, 2010).

Asimismo, es importante precisar que la infraestructura del hospital se encuentra subdividida estructuralmente en catorce bloques independientes; no obstante, la incorporación del sistema de aislamiento sísmico mediante aisladores y deslizadores se realizó únicamente en los bloques 1, 3, 4 y 5. En ese sentido, la presente evaluación se concentra en dichos bloques, en los cuales se produjo la modificación del sistema estructural respecto al diseño primigenio; los mismos que se presentan de manera detallada en los Apéndices 2, 3 y 4.

Figura 1

Distribución en planta de los bloques del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca.



Fuente: Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca (2013); adaptación propia.

4.1.1.1 Análisis sísmico del hospital

El modelo de análisis estructural adoptado correspondió inicialmente a un esquema de estructura convencional con base fija, lo que indica que el sistema de aislamiento sísmico no formó parte del planteamiento original del diseño. No obstante, el mismo procedimiento de análisis estructural fue empleado tanto para el modelo sin sistema de aislamiento sísmico como para el modelo modificado con la incorporación de dicho sistema, con el fin de garantizar la comparabilidad de los resultados obtenidos.

El comportamiento estructural fue evaluado mediante un análisis dinámico modal elástico, considerando un amortiguamiento del 5% y el uso de factores de reducción sísmica, procedimiento característico del diseño sismorresistente de edificaciones convencionales.

La masa sísmica se determinó considerando el 100% de la carga muerta y el 50% de la carga viva correspondiente a edificaciones hospitalarias, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente (2013), el modelo estructural fue representado mediante un sistema espacial con diafragmas rígidos en cada nivel, considerando seis grados de libertad por nudo estructural, asociados a tres traslaciones y tres rotaciones.

La respuesta sísmica se evaluó mediante el método de superposición espectral, utilizando como criterio de combinación modal la Combinación Cuadrática Completa (CQC) y considerando la contribución de los diferentes modos de vibración. Los desplazamientos elásticos fueron obtenidos a partir del análisis modal, mientras que los desplazamientos inelásticos se estimaron mediante la aplicación de los factores de reducción correspondientes al sistema estructural adoptado.

4.1.1.2 Parámetros sísmicos utilizados

Los parámetros sísmicos utilizados para el análisis estructural de los bloques evaluados fueron los mismos tanto para el modelo sin sistema de aislamiento sísmico como para el modelo con aislamiento, manteniéndose criterios uniformes de evaluación conforme a la Norma Técnica E.030 – Diseño Sismorresistente vigente al momento de la elaboración de la memoria de cálculo.

De acuerdo con la zonificación sísmica considerada en dicho análisis, la edificación se ubicó en la zona sísmica 2, adoptándose un factor de zona $Z=0.30$. No obstante, es importante señalar que mediante la actualización normativa publicada el 20 de enero de 2014, la zonificación sísmica del territorio peruano fue modificada, pasando de tres a cuatro zonas sísmicas. Como parte de esta actualización, el factor de zona correspondiente a la zona 2 se redujo a $Z = 0.25$; sin embargo, el análisis estructural evaluado mantuvo el valor anterior de $Z = 0.30$ correspondiente a la versión previa de la normativa. La utilización de este valor implica que las fuerzas sísmicas de diseño resultaron ligeramente mayores, lo que conduce a un criterio de diseño más conservador en términos de demanda sísmica.

En relación con las condiciones geotécnicas del sitio, el perfil de suelo fue clasificado como suelo flexible tipo S3, adoptándose un período predominante del suelo $T_p = 0.90s$ y un factor de amplificación sísmica $S = 1.40$, parámetros utilizados para la definición del espectro de diseño. Asimismo, debido a que la edificación corresponde a un establecimiento hospitalario, se consideró un factor de uso $U = 1.5$, en concordancia con la categoría de edificaciones esenciales establecida por la normativa de diseño sismorresistente.

Tabla 3

Comparación del factor de zona considerado en el análisis estructural.

Norma E.030	Zonificación sísmica	Factor de zona (Z)
Versión 5 de mayo del 2006	Zona 2	0.30
Versión 20 de enero del 2014	Zona 2	0.25
Valor utilizado en el análisis	Zona 2	0.30

Fuente: Elaboración propia con base en la Norma Técnica E.030.

4.1.1.3 Sistema estructural y factor de reducción sísmica (R)

La comparación del diseño del sistema estructural antes y después de la incorporación del sistema de aislamiento sísmico evidencia que, en la condición original sin aislamiento sísmico, la resistencia lateral de la estructura se basó principalmente en muros estructurales de concreto armado con una resistencia a la compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, adoptándose un factor de reducción sísmica $R = 6$, característico de sistemas de muros estructurales con comportamiento dúctil. En contraste, en el modelo con aislamiento sísmico la superestructura es considerada como un sistema de pórticos de concreto armado apoyado sobre dispositivos de aislamiento, en el cual la resistencia del concreto se reduce a $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y se adopta un factor de reducción sísmica $R = 2$. Esta modificación responde a la filosofía del diseño con aislamiento sísmico, en la cual la disipación de energía se concentra principalmente en los dispositivos aisladores, reduciendo la demanda sísmica transmitida a la superestructura, tal como se detalla a continuación.

Tabla 4

Comparación del diseño del sistema estructural y factor de reducción sísmica antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico.

Pabellón	Sistema estructural sin aislamiento	Factor de reducción R (sin aislamiento)	Sistema estructural con aislamiento	Factor de reducción R (con aislamiento)
Todos los bloques	Predominio de muros estructurales de concreto armado ($f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$)	($R_x = R_y$)	Predominio de muros estructurales de concreto armado ($f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$)	($R_x = R_y$)
Block 01	Muros de concreto armado (espesor 30 cm)	($R_x = 6.00$) ($R_y = 6.00$)	Pórticos de concreto armado con sistema de aislación	($R_x = 2.00$) ($R_y = 2.00$)
Block 03	Muros de concreto armado (espesor 30 cm)	($R_x = 6.00$) ($R_y = 6.00$)	Pórticos de concreto armado con sistema de aislación	($R_x = 2.00$) ($R_y = 2.00$)
Block 04	Muros de concreto armado (espesor 30 cm)	($R_x = 6.00$) ($R_y = 6.00$)	Pórticos de concreto armado con sistema de aislación	($R_x = 2.00$) ($R_y = 2.00$)
Block 05	Muros de concreto armado (espesor 30 cm)	($R_x = 6.00$) ($R_y = 6.00$)	Pórticos de concreto armado con sistema de aislación	($R_x = 2.00$) ($R_y = 2.00$)

Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

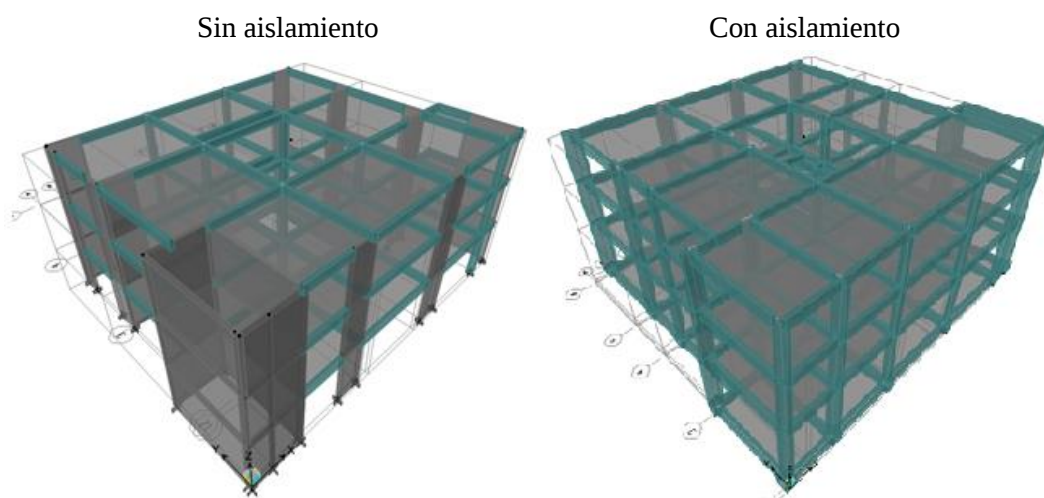
4.1.1.4 Resultados de desplazamientos

Se advirtió que la descripción del análisis de desplazamientos consignada en las memorias de cálculo del modelo sin aislamiento sísmico y del modelo con aislamiento sísmico resultó similar, manteniéndose referencias a un amortiguamiento del 5 % y a un procedimiento convencional de análisis modal espectral; esta situación evidenció que la memoria de cálculo no reflejó de manera explícita las particularidades esperadas en un modelo estructural con aislamiento sísmico, tales como la modificación del período estructural, el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento y el comportamiento diferencial de los desplazamientos.

En consecuencia, se identificó una inconsistencia entre la descripción teórica del análisis consignada en la memoria y el comportamiento dinámico que debía esperarse en una estructura con aislamiento sísmico, lo que limitó la trazabilidad técnica del procedimiento adoptado en el expediente evaluado.

Figura 2

Modelos del bloque 01



Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

Tabla 5

Comparación de desplazamientos máximos del bloque 01 en los ejes X y Y.

Nivel	hi (cm)	Desplazamiento X sin aislamiento (m)	Δ/hi sin aislamiento	Desplazamiento X con aislamiento (m)	Δ/h con aislamiento	Límite
1	425	0.0013	0.00138	0.3088	0.07268	0.007
2	425	0.0039	0.00275	0.3150	0.00146	0.020
3	425	0.0068	0.00307	0.3171	0.00049	0.020
Nivel	hi (cm)	Desplazamiento Y sin aislamiento (m)	Δ/hi sin aislamiento	Desplazamiento Y con aislamiento (m)	Δ/h con aislamiento	Límite
1	425	0.0013	0.00138	0.3220	0.07576	0.007
2	425	0.0038	0.00265	0.3291	0.00167	0.020
3	425	0.0064	0.00275	0.3333	0.00099	0.020

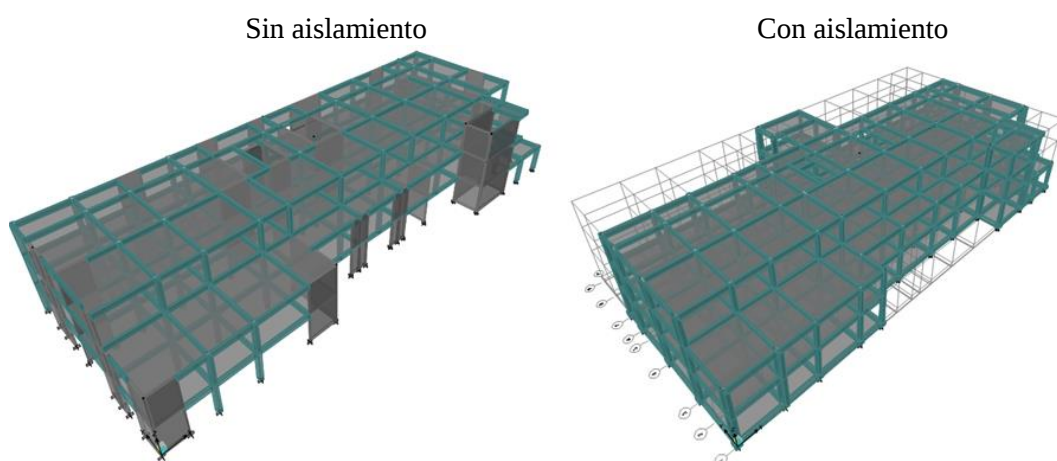
Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

El análisis de desplazamientos del bloque 1 permitió comparar el comportamiento estructural del edificio en las condiciones sin aislamiento sísmico y con aislamiento sísmico; en el modelo sin aislamiento, los desplazamientos laterales aumentaron progresivamente con la altura del edificio, alcanzando valores máximos de 0.0068 m en el eje X y 0.0064 m en el eje Y en el nivel superior. Las derivas de entrepiso se mantuvieron dentro de valores comprendidos entre 0.00138 y 0.00307, cumpliendo en todos los niveles con los límites establecidos por la normativa.

En contraste, al incorporar el sistema de aislamiento sísmico, los desplazamientos totales de la estructura aumentaron significativamente, alcanzando valores del orden de 0.3088 m a 0.3171 m en el eje X y 0.3220 m a 0.3333 m en el eje Y. Este incremento respondió al comportamiento propio de los sistemas aislados, en los cuales el movimiento sísmico se concentra principalmente en el nivel de aislamiento, permitiendo mayores desplazamientos globales del sistema estructural.

No obstante, al analizar las derivas de entrepiso de la superestructura, se observó una reducción significativa en los niveles superiores. En el eje X las derivas disminuyeron hasta valores de 0.00146 y 0.00049 en los niveles 2 y 3, respectivamente, mientras que en el eje Y se registraron valores de 0.00167 y 0.00099. Estos resultados evidenciaron que el sistema de aislamiento sísmico permitió reducir las deformaciones relativas entre pisos, concentrando la mayor deformación en la base de la estructura y mejorando el desempeño sísmico global de la superestructura.

Asimismo, en el nivel 1 se registraron valores elevados de deriva (0.07268 en X y 0.07576 en Y), los cuales superaron los límites establecidos. Sin embargo, dichos valores correspondieron al desplazamiento concentrado en el nivel de aislamiento, por lo que no representaron una deriva de entrepiso convencional de la superestructura, sino el comportamiento esperado del sistema aislado.

Figura 3*Modelos del bloque 03*

Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

Tabla 6*Comparación de desplazamientos máximos del bloque 03 en los ejes X y Y.*

Nivel	hi (cm)	Desplazamiento X sin aislamiento (m)	Δ/hi sin aislamiento	Desplazamiento X con aislamiento (m)	Δ/h con aislamiento	Límite
1	425	0.0007	0.00074	0.33500	0.07882	0.007
2	425	0.0020	0.00138	0.34300	0.00188	0.020
3	425	0.0035	0.00159	0.35520	0.00287	0.020
Nivel	hi (cm)	Desplazamiento Y sin aislamiento (m)	Δ/hi sin aislamiento	Desplazamiento Y con aislamiento (m)	Δ/h con aislamiento	Límite
1	425	0.0007	0.00074	0.33560	0.07896	0.007
2	425	0.0018	0.00116	0.34370	0.00191	0.020
3	425	0.0033	0.00159	0.34180	-0.0045	0.020

Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

En el modelo sin aislamiento sísmico, los desplazamientos laterales aumentaron gradualmente con la altura de la estructura. En el eje X, los desplazamientos totales alcanzaron valores de 0.0007 m, 0.0020 m y 0.0035 m en los niveles 1, 2 y 3 respectivamente. De manera similar, en el eje Y los desplazamientos fueron de 0.0007 m, 0.0018 m y 0.0033 m. Las derivas de

entrepiso se mantuvieron dentro del rango de 0.00074 a 0.00159, valores significativamente menores que los límites normativos establecidos, lo que indicó que la estructura cumplió adecuadamente con los requisitos de control de desplazamientos laterales.

En el modelo con aislamiento sísmico, los desplazamientos totales de la estructura aumentaron considerablemente, registrándose valores del orden de 0.335 m a 0.355 m en el eje X y 0.336 m a 0.344 m en el eje Y. Este incremento respondió al comportamiento característico de las estructuras con aislamiento sísmico, en las cuales el sistema de aisladores introduce mayor flexibilidad en la base, permitiendo desplazamientos globales más elevados durante la acción sísmica.

Sin embargo, al analizar las derivas de entrepiso de la superestructura, se observó que en los niveles superiores los valores se mantuvieron relativamente bajos. En el eje X se registraron derivas de 0.00188 y 0.00287 en los niveles 2 y 3, respectivamente, mientras que en el eje Y los valores fueron de 0.00191 en el nivel 2. Estos resultados indicaron que la mayor parte de la deformación se concentró en el nivel de aislamiento, reduciendo la distorsión relativa entre pisos de la superestructura.

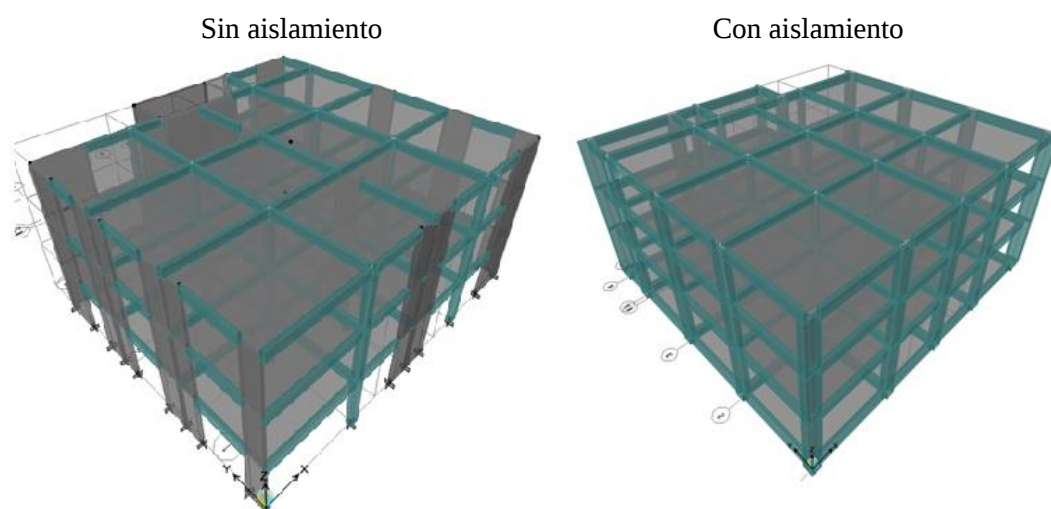
Asimismo, en el nivel 1 se registraron valores elevados de deriva (0.07882 en X y 0.07896 en Y), que superaron los límites establecidos. No obstante, estos valores correspondieron al desplazamiento asociado al nivel de aislamiento, por lo que no representaron una deriva de entrepiso convencional de la superestructura, sino el comportamiento esperado en sistemas estructurales con aislamiento sísmico, donde la mayor deformación se concentra en la base del edificio.

Finalmente, el valor negativo registrado en el nivel 3 del eje Y correspondió a un cambio en la dirección del desplazamiento relativo entre niveles, situación que puede presentarse en el análisis dinámico modal y que no afecta la interpretación global del comportamiento estructural.

En conjunto, los resultados indicaron que la incorporación del sistema de aislamiento sísmico permitió reducir las deformaciones relativas de la superestructura y concentrar la mayor parte del desplazamiento en el nivel de aislamiento, mejorando el desempeño sísmico del bloque evaluado.

Figura 4

Modelos del bloque 04



Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

Tabla 7

Comparación de desplazamientos máximos del bloque 04 en los ejes X y Y.

Nivel	hi (cm)	Desplazamiento X sin aislamiento (m)	Δ/h_i sin aislamiento	Desplazamiento X con aislamiento (m)	Δ/h con aislamiento	Límite
1	425	0.0012	0.00127	0.32780	0.07713	0.007
2	425	0.0034	0.00233	0.33450	0.00158	0.020
3	425	0.0058	0.00254	0.33850	0.00094	0.020
Nivel	hi (cm)	Desplazamiento Y sin aislamiento (m)	Δ/h_i sin aislamiento	Desplazamiento Y con aislamiento (m)	Δ/h con aislamiento	Límite
1	425	0.0012	0.00127	0.33690	0.07927	0.007
2	425	0.0034	0.00233	0.34310	0.00146	0.020
3	425	0.0057	0.00244	0.34700	0.00092	0.020

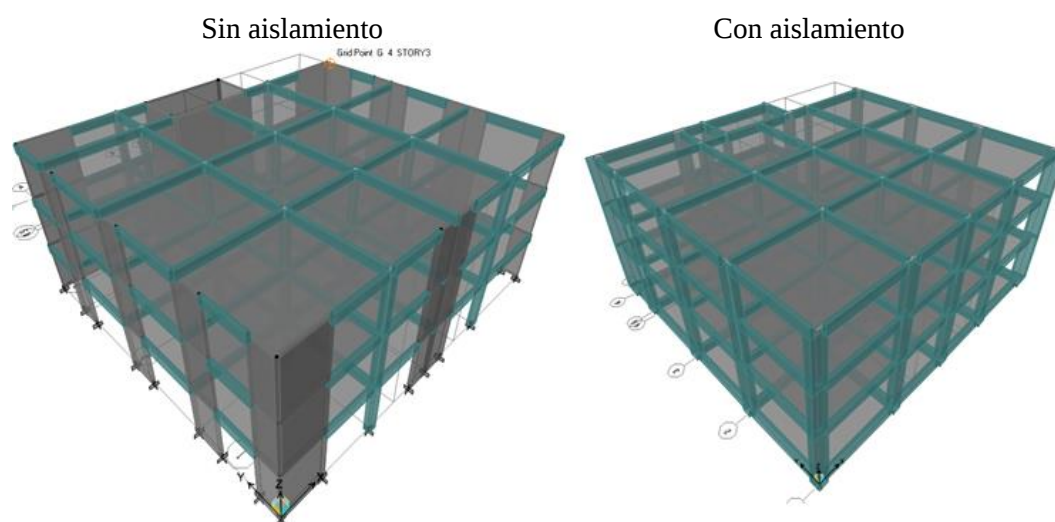
Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

El análisis de desplazamientos del bloque 4 evidenció un comportamiento similar al observado en los bloques previamente evaluados. En el modelo sin aislamiento sísmico, los desplazamientos laterales aumentaron gradualmente con la altura, alcanzando valores máximos de 0.0058 m en el eje X y 0.0057 m en el eje Y en el nivel superior. Las derivas de entrepiso se mantuvieron dentro del rango de 0.00127 a 0.00254, valores que se encontraron por debajo de los límites establecidos por la normativa, indicando un adecuado control de deformaciones laterales en la condición original.

En el modelo con aislamiento sísmico, los desplazamientos totales aumentaron considerablemente, registrándose valores del orden de 0.3278 m a 0.3385 m en el eje X y 0.3369 m a 0.3470 m en el eje Y. Este incremento correspondió al comportamiento característico de los sistemas estructurales aislados, en los cuales el desplazamiento global se concentra principalmente en el nivel de aislamiento.

No obstante, las derivas de entrepiso de la superestructura en los niveles superiores se mantuvieron reducidas, registrándose valores cercanos a 0.00158 y 0.00094 en el eje X, y 0.00146 en el eje Y, lo que evidenció que la incorporación del sistema de aislamiento permitió reducir las deformaciones relativas entre pisos. Los valores elevados de deriva observados en el nivel 1 correspondieron al desplazamiento concentrado en el nivel de aislamiento y no representaron derivas propias de la superestructura.

En general, los resultados confirmaron que el sistema de aislamiento sísmico permitió concentrar la deformación en la base de la estructura y disminuir la distorsión relativa en los niveles superiores, mejorando el desempeño sísmico del bloque analizado.

Figura 5*Modelos del bloque 05*

Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

Tabla 8*Comparación de desplazamientos máximos del bloque 05 en los ejes X y Y.*

Nivel	hi (cm)	Desplazamiento X sin aislamiento (m)	Δ/hi sin aislamiento	Desplazamiento X con aislamiento (m)	Δ/h con aislamiento	Límite
1	425	0.0012	0.00127	0.32780	0.07713	0.007
2	425	0.0031	0.00201	0.33450	0.00158	0.020
3	425	0.0052	0.00222	0.33850	0.00094	0.020
Nivel	hi (cm)	Desplazamiento Y sin aislamiento (m)	Δ/hi sin aislamiento	Desplazamiento Y con aislamiento (m)	Δ/h con aislamiento	Límite
1	425	0.0012	0.00127	0.33690	0.07927	0.007
2	425	0.0032	0.00212	0.34310	0.00146	0.020
3	425	0.0053	0.00222	0.34700	0.00092	0.020

Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

En el bloque 5, el comportamiento de los desplazamientos siguió la misma tendencia observada en los bloques anteriores. En la condición sin aislamiento sísmico, los desplazamientos laterales aumentaron progresivamente con la altura, alcanzando valores máximos de 0.0052 m en el eje X y 0.0053 m en el eje Y, con derivas de entrepiso menores a los límites normativos. En la condición con aislamiento sísmico, los desplazamientos totales se incrementaron significativamente, alcanzando valores del orden de 0.3385 m en X y 0.3470 m en Y; sin embargo, las derivas de entrepiso en los niveles superiores se redujeron a valores cercanos a 0.00158 y 0.00094 en X, y 0.00146 y 0.00092 en Y, evidenciándose nuevamente que la mayor deformación se concentró en el nivel de aislamiento y no en la superestructura.

En términos generales, los bloques 1, 3, 4 y 5 presentaron un comportamiento consistente frente a la incorporación del sistema de aislamiento sísmico. En todos los casos, el modelo sin aislamiento mostró desplazamientos globales reducidos y derivas distribuidas a lo largo de la altura, mientras que el modelo con aislamiento presentó desplazamientos totales considerablemente mayores, concentrados principalmente en la base estructural. No obstante, en los niveles superiores se observó una reducción significativa de las derivas de entrepiso.

4.1.1.5 Diseño de elementos estructurales

a) Losas

La revisión comparativa de las memorias de cálculo permitió identificar que el diseño de las losas de los bloques 1, 3, 4 y 5 se mantuvo prácticamente invariable antes y después de la incorporación del sistema de aislamiento sísmico. En ambos casos se conservaron las mismas características geométricas, empleándose losas sólidas de 17 cm de espesor, así como los mismos criterios generales de diseño por flexión y por corte. Del mismo

modo, se mantuvieron las mismas hipótesis de carga y las mismas verificaciones resistentes, por lo que la configuración básica de estos elementos no presentó modificaciones sustanciales.

En las dos memorias se consideraron las mismas cargas gravitacionales para el diseño de las losas. El peso propio de la losa se calculó a partir de un espesor de 0.17 m y un peso volumétrico de 2.40 ton/m³, obteniéndose 0.408 ton/m²; a ello se sumaron 0.15 ton/m² por acabados y 0.15 ton/m² por tabiquería, adoptándose finalmente una carga muerta de diseño de 0.75 ton/m² por criterio de seguridad. Asimismo, se consideró una carga viva de 0.30 ton/m², además de las disposiciones de distribución alternada de carga viva mediante daderos. Estas condiciones fueron comunes tanto para el caso sin aislamiento sísmico como para el caso con aislamiento sísmico, lo que explicó que las solicitaciones gravitacionales que gobernaban el diseño de las losas permanecieran esencialmente iguales.

Desde el punto de vista normativo, en ambos casos se aplicaron los mismos criterios establecidos en la Norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones para el diseño por flexión, así como la misma verificación de resistencia al corte mediante la relación $V_u \leq \phi V_c$. De igual manera, las cargas vivas fueron definidas conforme a la Norma E.020, manteniéndose el mismo marco normativo en ambas memorias. En consecuencia, no se advirtió una modificación en los parámetros fundamentales de diseño de las losas, sino únicamente en los resultados finales del refuerzo requerido en determinados paños.

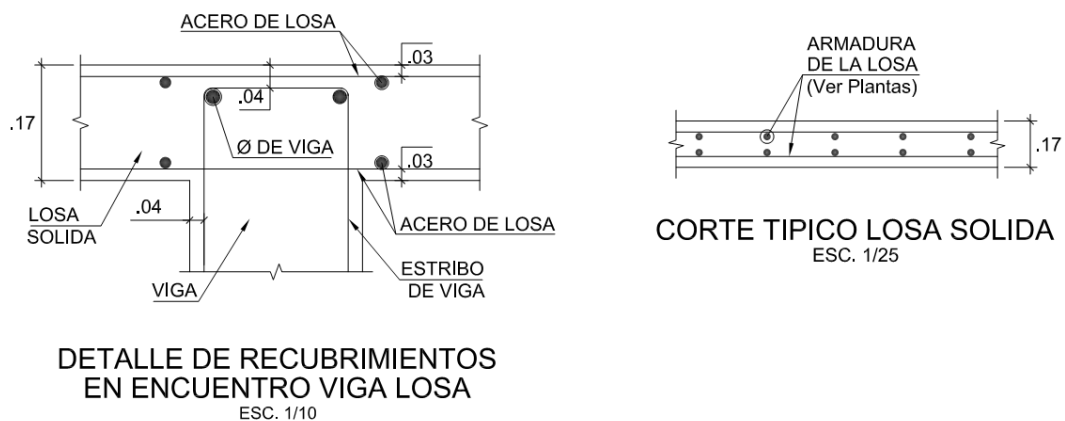
Esta escasa variación se explicó porque el diseño de las losas estuvo gobernado principalmente por las cargas gravitacionales, es decir, por el peso propio, los acabados, la tabiquería y la sobrecarga de uso, y no por la acción sísmica como sollicitación dominante. A diferencia de otros elementos verticales del sistema resistente, las losas no experimentaron una

modificación importante en su demanda estructural por el solo hecho de incorporar aislamiento sísmico, debido a que dicho sistema actuó principalmente reduciendo la transmisión de fuerzas laterales hacia la superestructura. Por ello, mientras las condiciones de carga gravitacional permanecieron constantes, el espesor de las losas y los criterios de diseño también se mantuvieron prácticamente sin cambios.

En ese sentido, las diferencias observadas entre ambas memorias se limitaron esencialmente a variaciones menores en las cuantías de refuerzo, sin que ello implicara una reformulación del diseño de las losas. Este resultado indicó que la incorporación del sistema de aislamiento sísmico no generó una optimización significativa en estos elementos, debido a que su comportamiento estructural continuó estando controlado principalmente por las cargas verticales de servicio y por las exigencias resistentes derivadas de ellas.

Figura 6

Detalles de las losas en los bloques 1, 3, 4 y 5 sin aislamiento y con aislamiento



Fuente: Planos de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

Tabla 9

Comparación del refuerzo de losas antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico.

Bloque	Refuerzo sin aislamiento	Refuerzo con aislamiento	Variación
Block 01	Ø3/8" @0.25 + Ø3/8" @0.25 Ø1/2" @0.25 + Ø1/2" @0.25	Ø3/8" @0.25 + Ø3/8" @0.25 Ø1/2" @0.25 + Ø1/2" @0.25	Sin variación
Block 03	Ø3/8" @0.25 + Ø3/8" @0.25 Ø1/2" @0.25 + Ø1/2" @0.25	Ø3/8" @0.25 + Ø3/8" @0.25 Ø1/2" @0.25 + Ø1/2" @0.25	Sin variación
Block 04	Ø3/8" @0.25 + Ø3/8" @0.25 Ø1/2" @0.25 + Ø1/2" @0.25	Ø3/8" @0.25 + Ø3/8" @0.25 Ø1/2" @0.25 + Ø1/2" @0.25	Sin variación
Block 05	Ø3/8" @0.25 + Ø3/8" @0.25 Ø1/2" @0.25 + Ø1/2" @0.25	Ø3/8" @0.25 + Ø3/8" @0.25 Ø1/2" @0.25 + Ø1/2" @0.25	Sin variación

Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; elaboración propia.

La comparación del refuerzo de las losas entre el modelo sin aislamiento sísmico y el modelo con aislamiento evidenció que no se produjeron modificaciones en la cuantía ni en la disposición del acero de refuerzo en los bloques evaluados. En ambos casos se mantuvo el mismo patrón de refuerzo en las direcciones X-X y Y-Y, empleándose barras de Ø3/8" y Ø1/2" con separaciones de 0.25 m. Este resultado confirmó que la incorporación del sistema de aislamiento sísmico no generó cambios en el diseño resistente de las losas, debido a que estos elementos están gobernados principalmente por cargas gravitacionales y no por las acciones sísmicas laterales.

b) Vigas

El diseño de las vigas de los bloques 1, 3, 4 y 5 se realizó bajo el criterio de diseño a la rotura, mediante el cual se seleccionaron las dimensiones de los elementos de concreto armado y la cuantía de refuerzo necesaria para que la resistencia de la sección resulte suficiente frente a los estados últimos de carga considerados en el análisis estructural.

Para el diseño por flexión, se empleó el procedimiento correspondiente a secciones rectangulares, determinándose el área de acero requerida en función del momento último obtenido del análisis estructural. En el cálculo se consideraron las propiedades mecánicas del material, con una resistencia del concreto de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y un esfuerzo de fluencia del acero de $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, además de los límites de cuantía mínima y máxima establecidos por la normativa. Asimismo, el diseño buscó asegurar un comportamiento dúctil de las vigas, favoreciendo la fluencia del acero antes del aplastamiento del concreto, con el fin de evitar fallas frágiles.

El diseño por corte se efectuó considerando criterios sismorresistentes, de modo que la resistencia al corte sea mayor que la resistencia a flexión, garantizando así un mecanismo de falla dúctil. Para ello, la fuerza cortante última se determinó a partir de la combinación de los momentos nominales en los extremos del elemento y de las cargas gravitacionales, verificándose además los requisitos de confinamiento y espaciamiento de estribos establecidos por la normativa para elementos sometidos a solicitaciones sísmicas.

En los bloques analizados, las vigas presentaron características geométricas similares, con secciones aproximadas de 30 cm de base y 65 cm de altura, y un peralte efectivo cercano a 59 cm. El dimensionamiento del refuerzo se realizó a partir de las envolventes de momentos flectores y fuerzas cortantes obtenidas del análisis estructural, considerando las combinaciones de carga correspondientes a las acciones gravitacionales y sísmicas.

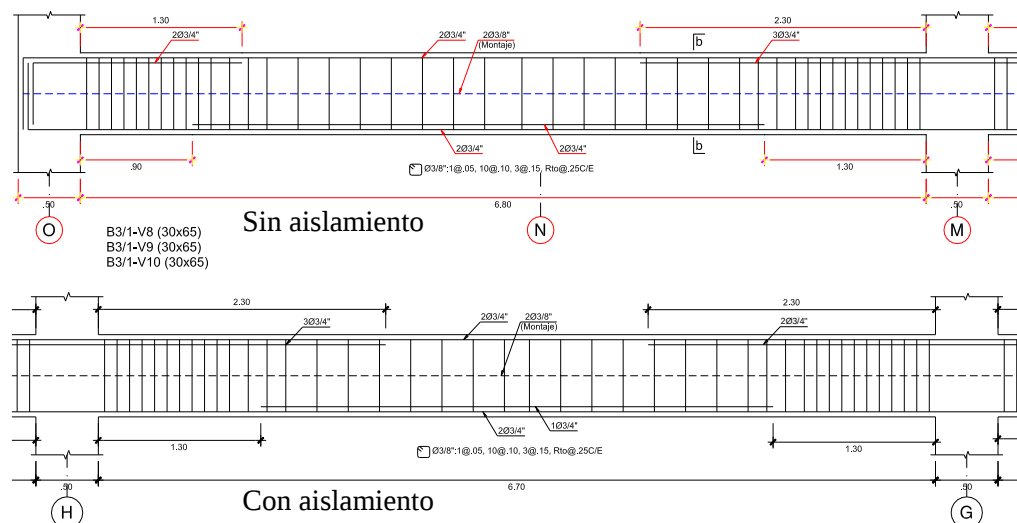
La comparación del diseño estructural de las vigas de los bloques 01, 03, 04 y 05 en las condiciones sin aislamiento sísmico y con aislamiento sísmico evidenció que las dimensiones geométricas de los elementos se mantuvieron constantes, mientras que el refuerzo longitudinal presentó variaciones en algunos elementos considerados críticos. En particular, en los bloques 03,

04 y 05 se observó un incremento del refuerzo negativo, pasando de configuraciones como $2\text{Ø}3/4 + 3\text{Ø}3/4$ a disposiciones mayores como $2\text{Ø}3/4 + 5\text{Ø}3/4$ o $2\text{Ø}3/4 + 4\text{Ø}3/4$, mientras que en el bloque 01 también se registró un ligero aumento del refuerzo positivo.

Aunque el sistema de aislamiento sísmico tiende a reducir las fuerzas sísmicas transmitidas a la superestructura, el análisis del diseño estructural mostró que el refuerzo de algunas vigas no disminuyó, sino que en ciertos casos aumentó. Esta situación se explicó porque el diseño de las vigas estuvo gobernado principalmente por cargas gravitacionales, las cuales permanecieron invariables. Asimismo, la incorporación del sistema de aislamiento modificó la distribución de esfuerzos en la estructura, generando cambios en los tramos considerados críticos y en las combinaciones de carga gobernantes. En consecuencia, la incorporación del aislamiento sísmico no implicó necesariamente una reducción de la cuantía de acero en todos los elementos de la superestructura.

Figura 7

Detalles de la viga del bloque 4 B4/1-2-V7 sin aislamiento y con aislamiento



Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

Tabla 10

Comparación del refuerzo longitudinal de vigas antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico.

Bloque	Viga sin aislamiento	Refuerzo sin aislamiento	Viga con aislamiento	Refuerzo con aislamiento	Variación
Block 01	B1/1-2-V4	Neg.: 2Ø3/4 + 2Ø3/4; Pos.: 2Ø3/4 + 2Ø3/4	B1/1-2-V3	Neg.: 2Ø3/4 + 4Ø3/4 y 2Ø3/4 + 5Ø3/4; Pos.: 2Ø3/4 + 3Ø3/4	Aumentó
Block 03	B3/1-V8	Neg.: 2Ø3/4 + 3Ø3/4; Pos.: 2Ø3/4 + 2Ø3/4	B3/2-V3	Neg.: 2Ø3/4 + 5Ø3/4 y 2Ø3/4 + 4Ø3/4; Pos.: 2Ø3/4 + 2Ø3/4	Aumentó en negativo
Block 04	B4/1-2-V7	Neg.: 2Ø3/4 + 3Ø3/4; Pos.: 2Ø3/4 + 2Ø3/4	B4/1-2-V7	Neg.: 2Ø3/4 + 5Ø3/4 y 2Ø3/4 + 4Ø3/4; Pos.: 2Ø3/4 + 2Ø3/4	Aumentó en negativo
Block 05	B5/1-2-V7	Neg.: 2Ø3/4 + 3Ø3/4; Pos.: 2Ø3/4 + 2Ø3/4	B5/1-2-V7	Neg.: 2Ø3/4 + 5Ø3/4 y 2Ø3/4 + 4Ø3/4; Pos.: 2Ø3/4 + 2Ø3/4	Aumentó en negativo

Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; elaboración propia.

c) Columnas

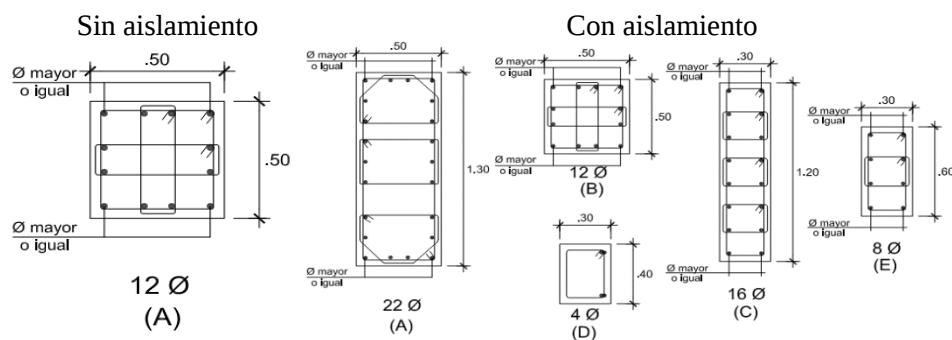
El diseño de las columnas de los bloques 1, 3, 4 y 5 se realizó considerando solicitaciones combinadas de carga axial y momentos flectores, por lo que su dimensionamiento se efectuó bajo el criterio de flexocompresión. Para evaluar la capacidad resistente de las secciones se empleó el diagrama de interacción carga axial–momento, el cual permitió verificar que las solicitaciones obtenidas del análisis estructural se mantuvieran dentro de la capacidad resistente de cada elemento. Asimismo, se verificó la resistencia al corte, determinándose la fuerza cortante en función de los momentos nominales en los extremos de la columna y la altura libre del elemento, considerando la contribución tanto del concreto como del refuerzo transversal.

La comparación del diseño de columnas del bloque 3 evidenció variaciones importantes entre la condición sin aislamiento sísmico y la condición con aislamiento sísmico. En la primera, el diseño mostraba columnas con sección de 50×50 cm y concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, mientras que en la segunda se identificaron nuevas tipologías de columnas con secciones variables, tales como 0.50×1.30 m, 0.50×0.50 m, 0.30×0.40 m y 0.30×0.60 m, además de una resistencia del concreto de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Asimismo, se observaron cambios en la disposición del refuerzo longitudinal y transversal, lo que evidenció una modificación efectiva del diseño de estos elementos.

Desde el punto de vista estructural, esta variación sugirió que, en la condición sin aislamiento, la resistencia lateral del bloque estuvo gobernada principalmente por placas estructurales, mientras que en la condición con aislamiento la configuración resistente de la superestructura cambió, otorgando una mayor participación a las columnas. En ese sentido, los cambios identificados no fueron claramente expuestos en la descripción teórica del diseño, sino que se reconocieron a partir de la revisión directa de los cuadros y planos estructurales, los cuales constituyeron la referencia principal para la presente evaluación.

Figura 8

Detalles de las columnas del bloque 3



Fuente: Planos E-15 (Cimentación) y E-20 (Encofrado sistema de aislación) del bloque 3, Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

Tabla 11

Comparación del diseño de columnas antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico.

Condición	(f'c) (kg/cm ²)	Secciones identificadas	Refuerzo longitudinal	Observación
Sin aislamiento	280	50 × 50 cm	12 Ø 3/4"; 4 Ø 3/4" + 8 Ø 5/8"	Diseño más uniforme
Con aislamiento	210	0.50 × 1.30; 0.50 × 0.50; 0.30 × 0.40; 0.30 × 0.60	Variable según tipología	Diseño modificado y diversificado

Fuente: Planos E-15 (Cimentación) y E-20 (Encofrado sistema de aislación) del bloque 3, Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; elaboración propia.

d) Placas

En los bloques 1, 3, 4 y 5, correspondientes a la configuración estructural sin aislamiento sísmico, se consideró la incorporación de placas estructurales, también denominadas muros de corte, las cuales fueron diseñadas como elementos verticales encargados de resistir tanto cargas axiales provenientes de la gravedad como cargas laterales inducidas por acción sísmica. Debido a su elevada rigidez lateral, estas concentraron una parte importante de las fuerzas sísmicas, generando esfuerzos significativos de corte y momentos flectores, lo que las convirtió en componentes fundamentales del sistema resistente lateral de la edificación. Su comportamiento estructural fue similar al de las columnas; sin embargo, su mayor dimensión en planta les permitió desarrollar una mayor rigidez y capacidad de disipación de energía, por lo que su diseño se realizó considerando la interacción de esfuerzos de compresión y flexión (flexo-compresión), así como la verificación por resistencia al corte.

Asimismo, para el diseño por flexo-compresión, se consideró que las placas debían comportarse como elementos esbeltos, cumpliendo con la relación geométrica altura/longitud ($H/L > 1$). Bajo esta condición, el refuerzo

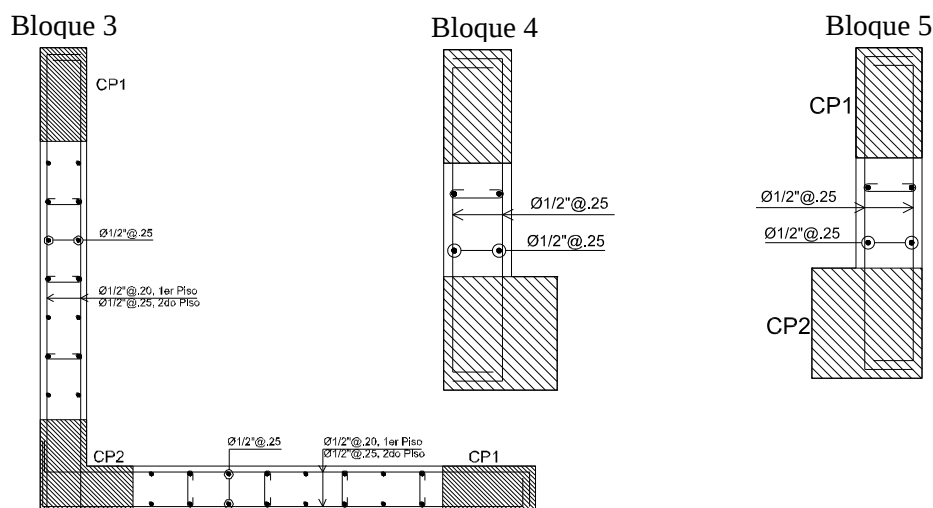
vertical se distribuyó a lo largo del elemento, concentrándose principalmente en los extremos, denominados zonas confinadas, las cuales fueron diseñadas de manera similar a columnas sometidas a esfuerzos combinados de carga axial y momentos flectores. En cuanto al diseño por corte, este se basó en la capacidad resistente conjunta del concreto y del acero de refuerzo, siguiendo criterios similares a los utilizados en vigas y adoptando el enfoque de diseño por capacidad, mediante la amplificación de las fuerzas cortantes, con la finalidad de garantizar un comportamiento dúctil y evitar fallas frágiles.

El análisis realizado a partir del contenido textual del expediente técnico permitió confirmar que, en la estructura sin aislamiento, las placas formaron parte activa del sistema resistente en los bloques 1, 3, 4 y 5. A nivel de detallado, se identificó que los bloques 1 y 3 presentaron un mayor requerimiento de refuerzo, con cuantías correspondientes a barras de 5/8" @ 0.15 m tanto en dirección horizontal como vertical, en las placas PL1X y PL1Y, lo que evidenció una mayor demanda estructural. En contraste, en los bloques 4 y 5 se consideró únicamente la placa PL1Y, con un refuerzo menor de 1/2" @ 0.25 m en ambas direcciones, reflejando una menor exigencia en términos de cuantía de acero.

Finalmente, el análisis permitió establecer que, en la configuración estructural original, las placas tuvieron un rol determinante en la rigidez lateral y en la resistencia sísmica de los bloques evaluados. Sin embargo, al incorporarse el sistema de aislamiento sísmico, dichas placas fueron eliminadas en los bloques 1, 3, 4 y 5, lo que evidenció una modificación sustancial del sistema resistente. Este cambio resultó coherente con la nueva filosofía de diseño introducida por el aislamiento, en la cual se redujo la demanda sísmica transmitida a la superestructura, permitiendo prescindir de elementos altamente rígidos como las placas y redistribuir los esfuerzos hacia otros elementos estructurales, como las columnas.

Figura 9

Detalles de las placas del bloque 3, 4 y 5



Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; adaptación propia.

Tabla 12

Placas estructurales sin aislamiento sísmico

Bloque	Placa	tw (cm)	Lm (cm)	Hm (cm)	f'c (kg/cm ²)	Refuerzo horizontal	Refuerzo vertical
1	PL1X	30	430	1275	280	5/8" @ 0.15 m	5/8" @ 0.15 m
1	PL1Y	30	150	1275	280	5/8" @ 0.15 m	5/8" @ 0.15 m
3	PL1X	30	320	850	280	5/8" @ 0.15 m	5/8" @ 0.15 m
3	PL1Y	30	300	850	280	5/8" @ 0.15 m	5/8" @ 0.15 m
4	PL1Y	30	150	1275	280	1/2" @ 0.25 m	1/2" @ 0.25 m
5	PL1Y	30	150	1275	280	1/2" @ 0.25 m	1/2" @ 0.25 m

Fuente: Memorias de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; elaboración propia.

El análisis de las placas estructurales en la configuración sin aislamiento sísmico permitió evidenciar que estos elementos formaron parte fundamental del sistema resistente lateral en los bloques 1, 3, 4 y 5. Se observó que todas las placas mantuvieron un espesor constante de 30 cm y una resistencia del concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, lo que indicó un criterio

de diseño uniforme en cuanto a material y capacidad resistente. Sin embargo, se presentaron variaciones en las dimensiones en planta (Lm) y altura (Hm), especialmente en el bloque 3, donde las placas mostraron menores dimensiones respecto a los bloques 1, 4 y 5, lo que reflejó una adaptación del diseño a las condiciones geométricas y demandas estructurales de cada bloque.

En términos de cuantía de acero, se identificó una diferenciación clara entre los bloques 1 y 3 frente a los bloques 4 y 5. En los primeros, se utilizó un refuerzo más denso de $5/8'' @ 0.15 \text{ m}$ en ambas direcciones, lo que evidenció una mayor exigencia estructural y una mayor participación de las placas en la resistencia sísmica. Por el contrario, en los bloques 4 y 5 se empleó un refuerzo menor de $1/2'' @ 0.25 \text{ m}$, lo que indicó una menor demanda estructural en estos elementos. Asimismo, se observó que en los bloques 1 y 3 se dispusieron placas en ambas direcciones (PL1X y PL1Y), mientras que en los bloques 4 y 5 solo se consideró la placa en una dirección, lo que también evidenció una menor participación de estos elementos en dichos bloques.

En conjunto, estos resultados permitieron concluir que, en la estructura sin aislamiento, las placas estructurales fueron diseñadas como elementos robustos y con alta rigidez lateral, desempeñando un rol principal en la resistencia frente a cargas sísmicas. Esta condición resulta relevante dentro del análisis comparativo, ya que posteriormente estos elementos fueron eliminados en los bloques evaluados al incorporarse el sistema de aislamiento sísmico, lo que implicó una modificación significativa del sistema resistente y una redistribución de esfuerzos hacia otros elementos estructurales.

e) Cimentación

La evaluación del diseño estructural de la cimentación evidenció que el desarrollo metodológico se presentó únicamente para la platea de cimentación del bloque 1, tanto en la condición sin aislamiento sísmico como en la condición con aislamiento sísmico. En ambos casos, se expuso inicialmente una descripción general del diseño de cimentaciones, que incluyó la verificación de esfuerzos en el terreno, punzonamiento, corte y flexión; sin embargo, al desarrollar el caso aplicado, solo se detalló la platea correspondiente al bloque 1.

Para la condición sin aislamiento sísmico, se indicó de manera general que la estructuración de la cimentación consideró zapatas aisladas, zapatas combinadas, vigas de conexión y plateas de cimentación. No obstante, el desarrollo específico se limitó al diseño de la platea del bloque 1, considerando parámetros como una capacidad portante admisible de 0.80 kg/cm^2 , un coeficiente de balasto de 1.80 kg/cm^3 y un peralte de 0.70 m , sin evidenciarse un desarrollo equivalente para los bloques 3, 4 y 5.

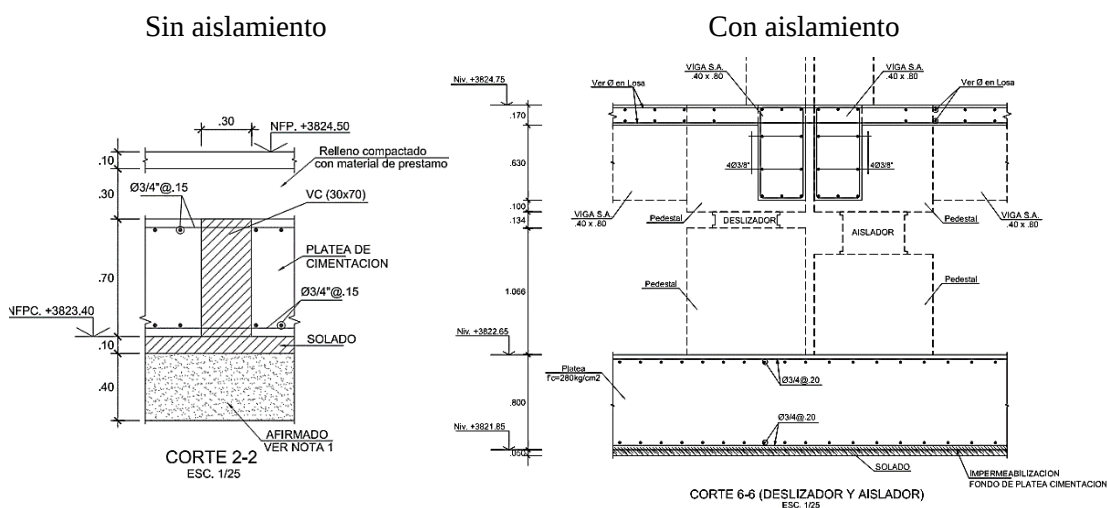
De manera similar, para la condición con aislamiento sísmico, se presentó nuevamente el enfoque general del diseño de cimentación y se desarrolló únicamente la platea del bloque 1, incorporando un mayor nivel de detalle metodológico. En este caso se consideraron parámetros como un peralte de 0.80 m , una resistencia del concreto de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$, así como cargas provenientes de la superestructura, efectos asociados al espectro de pseudo-desplazamientos y la consideración del efecto P-Delta. No se evidenció el desarrollo del diseño de cimentación para los bloques 3, 4 y 5.

En consecuencia, la evaluación de la cimentación de los bloques 3, 4 y 5 se sustentó principalmente en la información disponible en planos y detalles

estructurales, debido a la ausencia de un desarrollo metodológico específico para dichos bloques.

Figura 10

Detalles de la platea de cimentación



Fuente: Planos E-15 (Cimentación) y E-18 (Detalles de cimentación) del bloque 3, Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; elaboración propia.

Tabla 13

Cuadro comparativo de platea de cimentación del bloque 3 antes y después de la incorporación del aislamiento sísmico.

Parámetro	Sin aislamiento sísmico	Con aislamiento sísmico
Tipo de sistema	Platea de cimentación convencional	Platea con aisladores y deslizadores
Espesor de platea	≈ 0.70 m	≈ 0.80 m
Concreto	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Refuerzo superior	Ø 3/4" @ 0.15 m	Ø 3/4" @ 0.20 m
Refuerzo inferior	Ø 3/4" @ 0.15 m	Ø 3/4" @ 0.20 m
Cuantía relativa	Mayor (menor espaciamiento)	Menor (mayor espaciamiento)
Elementos adicionales	Platea + sobrecimiento	Platea + pedestal para aislador
Interfaz estructural	Directa con superestructura	Intermedia (aislador/deslizador)
Subbase	Afirmado + solado	Afirmado + solado + impermeabilización

Parámetro	Sin aislamiento sísmico	Con aislamiento sísmico
Función estructural	Transmisión directa de cargas y fuerzas sísmicas	Transmisión de cargas con desacople sísmico

Fuente: Planos E-15 (Cimentación) y E-18 (Detalles de cimentación) del bloque 3, Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2013 y 2016; elaboración propia.

La comparación de los planos de la platea de cimentación evidenció que la incorporación del sistema de aislamiento sísmico modificó la configuración estructural de la cimentación. Mientras en la condición sin aisladores se observó una platea convencional con transmisión directa de cargas desde la superestructura, en la condición con aisladores se identificaron elementos específicos asociados a los dispositivos de aislamiento y deslizamiento, lo que indicó una reconfiguración de la base estructural. No obstante, debido a la ausencia del desarrollo metodológico del cálculo para todos los bloques evaluados, esta comparación se sustentó en la revisión del diseño documentado en planos y no en la verificación detallada del procedimiento de dimensionamiento.

f) Sistema de aislamiento sísmico del bloque 1

El diseño del sistema de aislamiento del bloque 1 se sustentó en una base normativa mixta, utilizando como referencia principal la Norma E.030-2014 y complementariamente la ASCE/SEI 7-10. Se adoptaron como supuestos un suelo tipo S3, zona sísmica 3, un peso sísmico total de la superestructura de 2 808 toneladas, un período objetivo del edificio aislado de 2.8 s y un amortiguamiento objetivo del elastómero de 14 %. A partir de ello, la memoria desarrolló una secuencia de modelación progresiva, partiendo de un modelo lineal básico, luego un modelo lineal equivalente y finalmente un modelo no lineal completo, lo que evidenció una metodología estructurada y consistente para caracterizar el comportamiento del sistema de aislamiento. Asimismo, se consideró la interfaz de aislamiento en un único plano horizontal ubicado bajo la losa del primer piso, lo que correspondió a una configuración típica de aislamiento en base.

En la etapa de prediseño, el sistema fue definido mediante un proceso iterativo orientado a alcanzar el menor corte basal compatible con lo exigido por la norma. Como resultado, el sistema quedó conformado por 16 aisladores elastoméricos H4-70 y 8 deslizadores DFD 300/350, distribuidos en planta de acuerdo con la geometría del bloque. Para los aisladores H4-70 se adoptaron propiedades geométricas y mecánicas específicas, tales como un diámetro exterior de 70 cm, diámetro interior de 2.5 a 3.0 cm, 27 capas de goma, espesor de goma de 0.8 cm, espesor de placas intermedias de 0.3 cm, altura total de goma de 21.6 cm y altura total del aislador de 33.4 cm. Adicionalmente, se consideró un módulo de corte $G = 4.40 \text{ kgf/cm}^2$, una rigidez horizontal $K_h = 78.26 \text{ tonf/m}$ y una rigidez vertical $K_v = 116854 \text{ tonf/m}$, lo que evidenció que el diseño buscó una adecuada combinación entre flexibilidad lateral y capacidad portante vertical.

La verificación no lineal constituyó uno de los aspectos más sólidos del desarrollo. Los aisladores fueron modelados mediante relaciones constitutivas bi-lineales definidas por los parámetros K_1 , K_2 y F_y , mientras que el análisis dinámico se realizó empleando tres registros sísmicos artificiales compatibles con el espectro de diseño de la Norma E.030. Sin embargo, dichos registros fueron generados a partir de eventos sísmicos reales ocurridos en Chile (Constitución, Hualañé y Llay-Llay), lo que evidenció que el diseño incorporó información experimental y registros externos tanto para la caracterización fuerza-deformación de los aisladores como para la definición de la excitación sísmica.

Desde el punto de vista de resultados, el sistema mostró un desempeño favorable. El período fundamental se incrementó de aproximadamente 0.69–0.70 s en condición de base fija a 2.78 s en condición aislada, lo que desplazó la respuesta estructural hacia una zona de menores aceleraciones espectrales. Los desplazamientos del sistema de aislamiento alcanzaron

valores del orden de 24.5–24.6 cm para el sismo de diseño y 30.1–30.3 cm para el sismo máximo. Asimismo, el drift elástico máximo en la superestructura se redujo de 17.73 y 14.34 ‰ en base fija a 3.48 y 3.24 ‰ en el sistema aislado, con reducciones del orden de 80.4 % y 77.4 %. Las aceleraciones también disminuyeron significativamente, especialmente en el nivel de techo, donde pasaron de 1.26–1.49 g a 0.26–0.28 g, mientras que el corte elástico en la interfaz de aislamiento se redujo de 2494.1–2565.9 ton a 357.8–359.1 ton, lo que representó reducciones superiores al 85 %. Estos resultados confirmaron que el sistema de aislamiento cumplió con su objetivo de reducir la demanda sísmica en la superestructura.

En cuanto a la verificación de los dispositivos, el aislador más solicitado (AS1-1, H4-70) presentó un factor de seguridad a la deformación $F_{Sd} = 1.86$ y un factor de seguridad a la estabilidad $F_{Se} = 2.21$, valores que superaron los umbrales establecidos en el propio procedimiento de diseño, lo que evidenció consistencia interna en la verificación mecánica del sistema.

No obstante, desde un enfoque crítico, se identificaron aspectos relevantes relacionados con el cumplimiento y la trazabilidad normativa. En primer lugar, se adoptó una zonificación sísmica correspondiente a zona 3 para la ciudad de Juliaca bajo el marco de la E.030-2014; sin embargo, dicha clasificación no correspondía estrictamente a la zonificación vigente para esa localidad en ese periodo, lo que introduce una inconsistencia en la definición del factor de zona y, por tanto, en la demanda sísmica de diseño.

Adicionalmente, si bien el diseño se fundamentó en la Norma E.030 y en la metodología de la ASCE/SEI 7, los registros sísmicos utilizados para los análisis dinámicos no correspondieron a registros locales, sino a eventos sísmicos ocurridos en Chile, a partir de los cuales se generaron registros artificiales. Asimismo, la caracterización de los aisladores se apoyó en

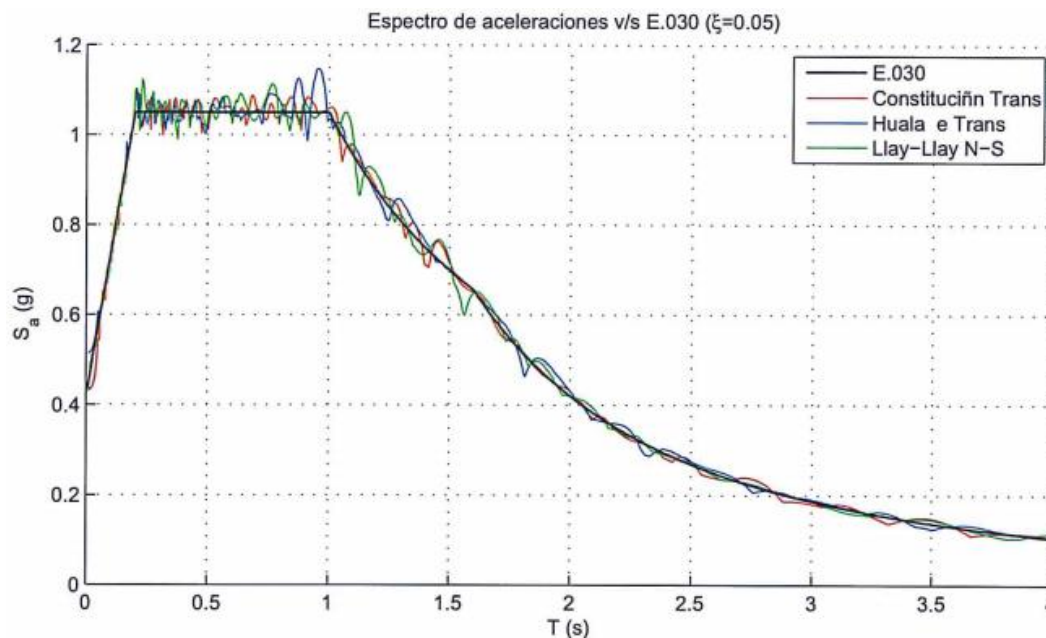
ensayos experimentales desarrollados en dicho país. Esta práctica es técnicamente válida siempre que exista una adecuada compatibilización con el espectro de diseño normativo; sin embargo, la memoria no evidenció de manera explícita el procedimiento de ajuste, escalamiento o validación de dichos registros respecto al espectro de la Norma E.030.

En consecuencia, se observó que el proceso de modelación sísmica, si bien siguió una lógica técnica coherente y presentó resultados consistentes, no mostró una trazabilidad completa en cuanto a la integración de registros sísmicos y parámetros experimentales externos con las exigencias normativas del contexto peruano. Esto no invalida los resultados obtenidos, pero sí constituye una limitación relevante del expediente técnico, en la medida que dificulta verificar de forma explícita el cumplimiento integral de los criterios normativos aplicables al diseño de sistemas de aislamiento sísmico.

Finalmente, la evaluación permitió comprender de manera clara la filosofía de diseño, los parámetros adoptados y los beneficios estructurales del sistema de aislamiento; sin embargo, su consistencia debe ser contrastada con los planos estructurales y cuadros de diseño, a fin de verificar la correspondencia entre lo modelado y lo finalmente ejecutado.

Figura 11

Registros artificiales utilizados en el análisis



Fuente: Memoria de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2016.

g) Sistema de aislamiento sísmico de los bloques 3, 4 y 5

El sistema de aislamiento sísmico de los bloques 3, 4 y 5 se definió bajo los mismos criterios generales adoptados para el bloque 1, empleando una base normativa mixta sustentada en la Norma E.030 y la ASCE/SEI 7. La interfaz de aislamiento se ubicó en un plano horizontal bajo la losa del primer piso, configurando un sistema de aislamiento en base. El proceso de diseño siguió una metodología iterativa, considerando un amortiguamiento equivalente del 14 % e incorporando modelos lineales equivalentes y no lineales para la evaluación del comportamiento del sistema.

En cuanto a la configuración del sistema, se observó una diferencia significativa en la cantidad de dispositivos respecto al bloque 1. Para los bloques 3, 4 y 5 se dispusieron en total 79 aisladores elastoméricos y 36 deslizadores, lo que evidenció una mayor complejidad estructural asociada

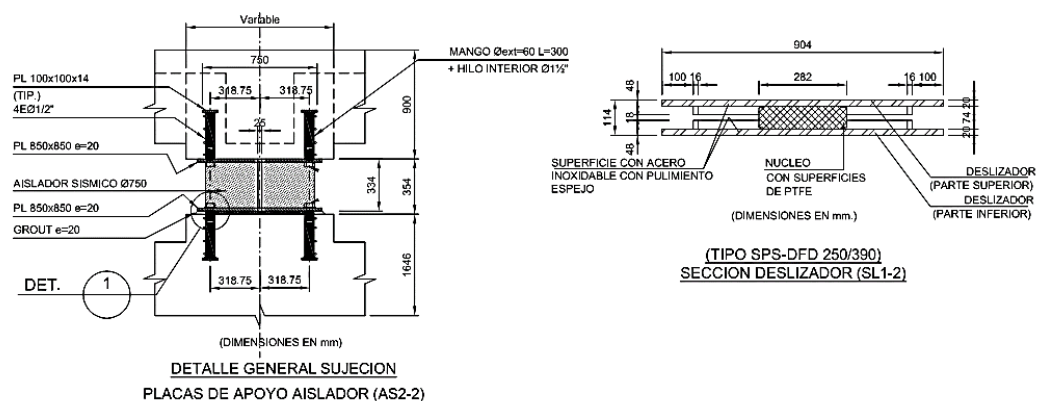
al tamaño y configuración de estos bloques. Asimismo, a diferencia del bloque 1, donde se utilizó únicamente el aislador tipo H4-70, en estos bloques se incorporaron dos tipos de aisladores elastoméricos: H4-70 y H4-75, con diámetros exteriores de 70 cm y 75 cm, respectivamente. Esta variación introdujo ajustes en la rigidez horizontal de los dispositivos, alcanzando valores del orden de 78.0 tonf/m para el H4-70 y 89.56 tonf/m para el H4-75, manteniendo, sin embargo, la misma configuración constructiva en términos de número de capas de goma, espesores y altura total del aislador.

Los resultados del prediseño mostraron valores de desplazamiento similares a los obtenidos en el bloque 1, con desplazamientos de diseño del orden de 25.6 cm y desplazamientos máximos cercanos a 30.7 cm, lo que evidenció consistencia en la respuesta global del sistema de aislamiento entre los distintos bloques. Estos valores se obtuvieron a partir de análisis modales espectrales utilizando propiedades lineales equivalentes, en concordancia con la metodología adoptada en el diseño.

Desde el punto de vista técnico, se observó que el sistema de aislamiento de los bloques 3, 4 y 5 mantuvo la misma filosofía de diseño, criterios de modelación y parámetros mecánicos que el bloque 1, introduciendo únicamente variaciones en la cantidad de dispositivos y en el diámetro de algunos aisladores para ajustar la rigidez del sistema. Esto evidenció un enfoque de estandarización del diseño, en el cual se replicó el esquema base del sistema de aislamiento, realizando ajustes geométricos puntuales sin una reformulación integral del modelo para cada bloque. Asimismo, al igual que en el bloque 1, el análisis dinámico incorporó registros sísmicos basados en eventos ocurridos en Chile, sin evidenciar de manera explícita el procedimiento de compatibilización con el espectro de diseño de la Norma E.030, lo que constituye una limitación en la trazabilidad del proceso de diseño.

Figura 12

Detalles del sistema de aislación de los bloques 1, 3, 4 y 5



Fuente: Planos E-16 (Cimentación) del bloque 3, Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2016; adaptación propia.

Tabla 14

Comparación de dispositivos de aislamiento – Bloques 1, 3, 4 y 5

Bloque	Tipo de dispositivo	Denominación	Cant	Diámetro (cm)	Altura goma Hr (cm)	Nº capas (nr)	Rigidez horizontal Kh (tonf/m)	Observaciones
1	Aislador elastomérico	H4-70	16	70	21.6	27	78.26	Diseño base del sistema
1	Deslizador	DFD 300/350	8	—	—	—	—	Capacidad de desplazamiento 35 cm
3, 4, 5	Aislador elastomérico	H4-70	61	70	21.6	27	78.00	Misma configuración que bloque 1
3, 4, 5	Aislador elastomérico	H4-75	18	75	21.6	27	89.56	Mayor rigidez por incremento de diámetro
3, 4, 5	Deslizador	DFD 250/350	36	—	—	—	22.28 (equivalente)	Mayor número por mayor área estructural

Fuente: Memoria de cálculo de estructuras del Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca 2016; elaboración propia.

Se observó que los aisladores elastoméricos mantuvieron la misma configuración geométrica y número de capas en todos los bloques, variando únicamente el diámetro en algunos dispositivos (H4-75) para ajustar la rigidez del sistema. Asimismo, el incremento en la cantidad de dispositivos

en los bloques 3, 4 y 5 respondió principalmente a la mayor dimensión y complejidad estructural de estos bloques.

Figura 13

Verificación en obra del sistema de aislamiento sísmico en los bloques 1, 3, 4 y 5



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14

Registro fotográfico de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico en obra



Fuente: Elaboración propia.

4.2 ANÁLISIS DE IMPACTO, BENEFICIOS Y COMPARACIÓN CON CASOS SIMILARES

4.2.1 *Impacto en diseño estructural*

La incorporación del sistema de aislamiento sísmico generó un cambio sustancial en el sistema resistente de la edificación, pasando de un esquema basado en muros estructurales (placas) a una configuración dominada por pórticos de concreto armado apoyados sobre dispositivos de aislamiento. Este cambio implicó la eliminación de elementos altamente rígidos y la redistribución de esfuerzos hacia las columnas, lo que modificó la forma en que la estructura resistió las acciones sísmicas. Sin embargo, este cambio no fue acompañado por una reformulación integral del diseño estructural, sino que se implementó sobre la base del esquema previamente definido.

En este contexto, se evidenció que varios elementos estructurales, como losas y vigas, mantuvieron prácticamente las mismas dimensiones y en algunos casos incluso incrementaron su cuantía de refuerzo, a pesar de la reducción de la demanda sísmica en la superestructura. Este comportamiento indicó que la incorporación del aislamiento sísmico no fue aprovechada para optimizar el diseño estructural, lo que sugiere una adaptación parcial del proyecto en lugar de un rediseño completo orientado a mejorar la eficiencia estructural.

Adicionalmente, se identificaron diferencias entre la información contenida en las memorias de cálculo y lo representado en los planos estructurales, así como la ausencia de desarrollo metodológico para algunos bloques, especialmente en la cimentación. Esta falta de trazabilidad limitó la verificación del proceso de diseño y evidenció que la incorporación del sistema de aislamiento sísmico no se integró de manera completamente coherente dentro del expediente técnico, constituyendo una de las principales implicancias en la evaluación estructural del proyecto.

4.2.2 Beneficios y aportes de estudio

El desarrollo de la presente investigación permitió evidenciar la existencia de vacíos normativos en el proceso de diseño e incorporación de sistemas de aislamiento sísmico en edificaciones esenciales. En particular, se identificó que, durante el periodo de transición normativa, no se contaba con procedimientos claramente definidos a nivel nacional para el diseño de estos sistemas, lo que dio lugar al uso de criterios internacionales sin una adecuada estandarización ni lineamientos específicos para su aplicación en el contexto peruano .

Asimismo, el estudio permitió identificar limitaciones importantes en la trazabilidad del diseño estructural, especialmente en la correspondencia entre memorias de cálculo, planos estructurales y criterios adoptados. Esta situación evidenció que, aun cuando el diseño presentó resultados técnicamente coherentes, no siempre fue posible verificar de manera explícita el proceso seguido ni el cumplimiento integral de los requisitos normativos, lo que constituye una debilidad relevante en la documentación técnica de proyectos de esta magnitud.

En este sentido, el principal aporte de la investigación radicó en resaltar la necesidad de establecer metodologías claras, consistentes y verificables para el diseño de sistemas de aislamiento sísmico, así como en proporcionar un caso de estudio que puede servir como referencia para futuras evaluaciones y desarrollos de proyectos similares. La identificación de estas limitaciones y oportunidades de mejora contribuye a fortalecer los criterios de diseño estructural y a promover una mayor rigurosidad técnica en la implementación de sistemas de protección sísmica en edificaciones esenciales.

4.2.3 Comparación con casos similares

El análisis comparativo con el proyecto “Mejoramiento de los Servicios de Salud del Hospital Hipólito de Unanue de Tacna”, desarrollado por el Consorcio

Salud Tacna, evidenció una alta similitud en los criterios adoptados para el diseño del sistema de aislamiento sísmico. En ambos casos se empleó una base normativa mixta sustentada en la Norma E.030 y la ASCE/SEI 7, así como una metodología de modelación estructural similar que incluyó etapas de análisis lineal, lineal equivalente y no lineal. Asimismo, se observó la adopción de parámetros de diseño comparables, tales como períodos objetivo elevados del sistema aislado y el uso de registros sísmicos compatibles con el espectro normativo.

De igual manera, se identificó una coincidencia en la formulación de los criterios de verificación, incluyendo la definición de factores de seguridad, relaciones constitutivas de los aisladores y procedimientos de evaluación de desplazamientos y estabilidad. La estructura conceptual del desarrollo del diseño, así como la secuencia metodológica presentada en las memorias de cálculo, mostraron una organización y contenido muy similares, lo que sugiere la utilización de un esquema de diseño estandarizado.

En conjunto, estas similitudes evidenciaron la repetición de patrones en el proceso de diseño del sistema de aislamiento sísmico, lo que indicaría que la solución adoptada no fue desarrollada de manera completamente específica para cada proyecto, sino que respondió a la adaptación de un modelo base previamente establecido. Este comportamiento refuerza los hallazgos del presente estudio en relación con la falta de trazabilidad y la necesidad de metodologías de diseño más rigurosas y contextualizadas para cada caso particular.

4.3 LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y MEJORAS IDENTIFICADAS

Durante el desarrollo del presente estudio se identificaron limitaciones relevantes asociadas principalmente a la trazabilidad del diseño estructural. Se evidenció que la información contenida en las memorias de cálculo no guardó correspondencia completa con los planos estructurales y cuadros de diseño, lo que dificultó la verificación del proceso de dimensionamiento de varios elementos. Esta

situación se presentó de manera más crítica en el diseño de la cimentación, donde el desarrollo metodológico solo fue expuesto para el bloque 1, mientras que para los bloques 3, 4 y 5 el análisis se sustentó únicamente en planos, limitando la validación técnica del diseño adoptado .

Asimismo, se identificaron inconsistencias en los criterios normativos utilizados para el análisis sísmico. En particular, se adoptó una zonificación sísmica que no correspondió estrictamente a la ubicación real del proyecto, considerando valores asociados a una zona sísmica distinta, lo que influyó directamente en la determinación de la demanda sísmica. De igual manera, el uso de registros sísmicos basados en eventos ocurridos en Chile, sin una descripción explícita del proceso de compatibilización con el espectro de diseño de la Norma E.030, limitó la verificación del cumplimiento normativo y la representatividad de la acción sísmica considerada en el análisis.

Otra limitación importante estuvo relacionada con la ausencia de una reformulación integral del diseño estructural tras la incorporación del sistema de aislamiento sísmico. Si bien se modificó el sistema resistente y se introdujeron dispositivos de aislamiento, varios elementos estructurales mantuvieron sus características originales o incluso incrementaron su refuerzo, lo que evidenció que no se realizó un proceso completo de optimización del diseño. En este sentido, como mejora identificada, se plantea la necesidad de implementar metodologías de rediseño integral que permitan aprovechar de manera eficiente los beneficios del aislamiento sísmico, así como establecer procedimientos claros que aseguren la coherencia entre memoria de cálculo, planos y criterios normativos aplicados.

En cuanto a la mejora, el análisis desarrollado permitió evidenciar de manera integral el comportamiento estructural antes y después de la incorporación del sistema de aislamiento sísmico, así como identificar inconsistencias técnicas y normativas que no son fácilmente detectables en una revisión convencional del expediente técnico. Este estudio aportó una base objetiva para comprender el

impacto real del aislamiento en edificaciones esenciales, tanto en términos de reducción de la demanda sísmica como en la modificación del sistema resistente. Asimismo, constituye una referencia técnica útil para futuras evaluaciones estructurales, al documentar de manera comparativa los criterios de diseño adoptados y su aplicación en un caso real.

4.4 DESCRIPCIÓN DE SOLUCIÓN PROPUESTA Y SU IMPLEMENTACIÓN

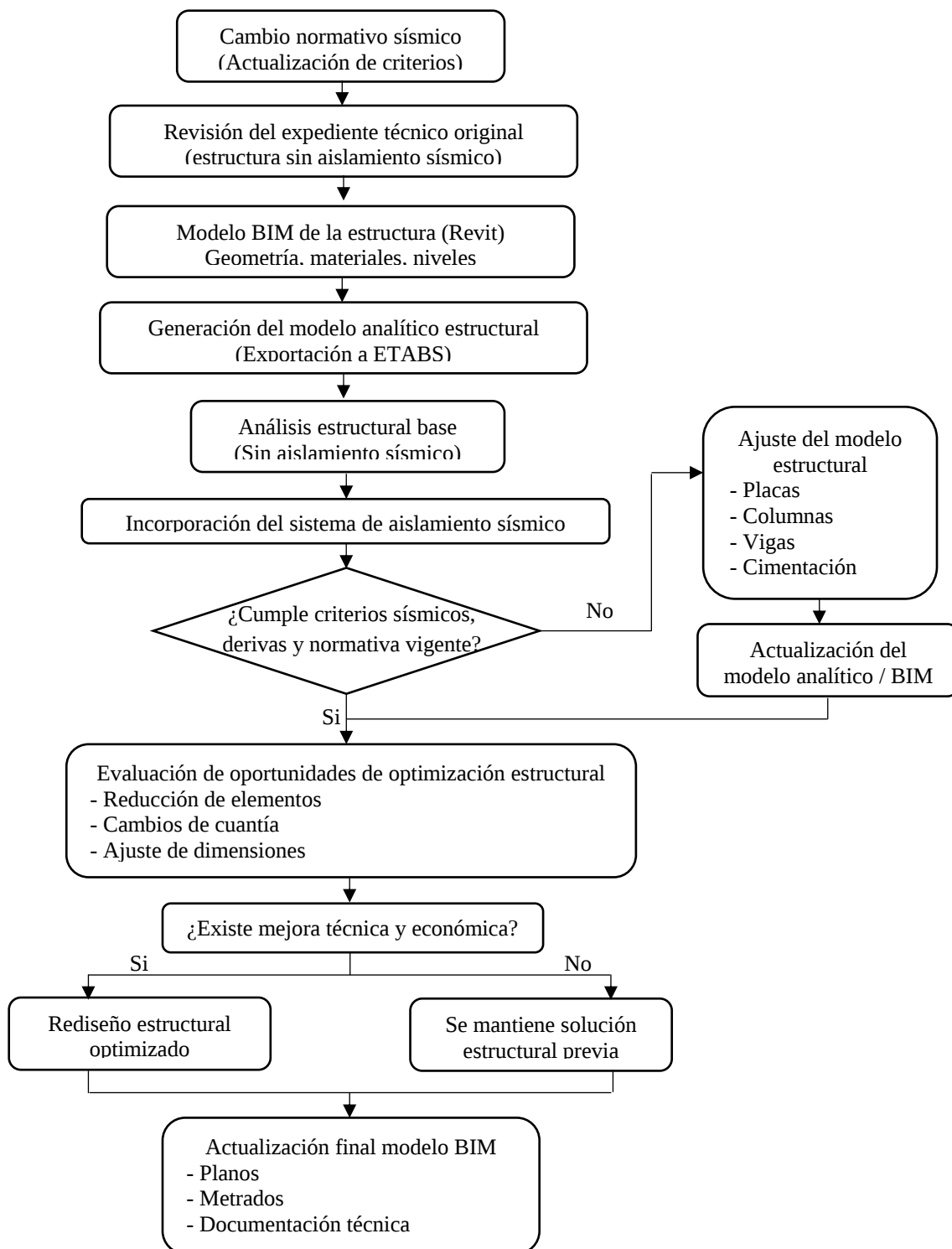
Para el desarrollo de la evaluación estructural se consideró el uso de herramientas de modelado y análisis estructural como Revit y ETABS. El software Revit permitió conceptualizar el modelo estructural dentro de un entorno BIM, facilitando la organización de la información geométrica, materiales y metrados de los elementos estructurales. Por su parte, ETABS fue considerado como herramienta de análisis estructural para la evaluación del comportamiento sísmico de la edificación y la incorporación del sistema de aislamiento sísmico.

En el presente trabajo, estos programas se integraron dentro de un flujo metodológico de análisis y optimización estructural, representado mediante un diagrama de flujo que describe las etapas de modelado, análisis, verificación normativa y posibles iteraciones de diseño. Este procedimiento permitió establecer un marco técnico para evaluar cómo la incorporación del aislamiento sísmico y los cambios normativos podrían influir en el dimensionamiento y configuración de los elementos estructurales.

Cabe precisar que el objetivo del estudio no consistió en desarrollar un rediseño completo del hospital, sino en evaluar el expediente técnico existente y analizar, a partir de la información disponible, las posibles oportunidades de optimización estructural asociadas a la incorporación del sistema de aislamiento sísmico.

Figura 15

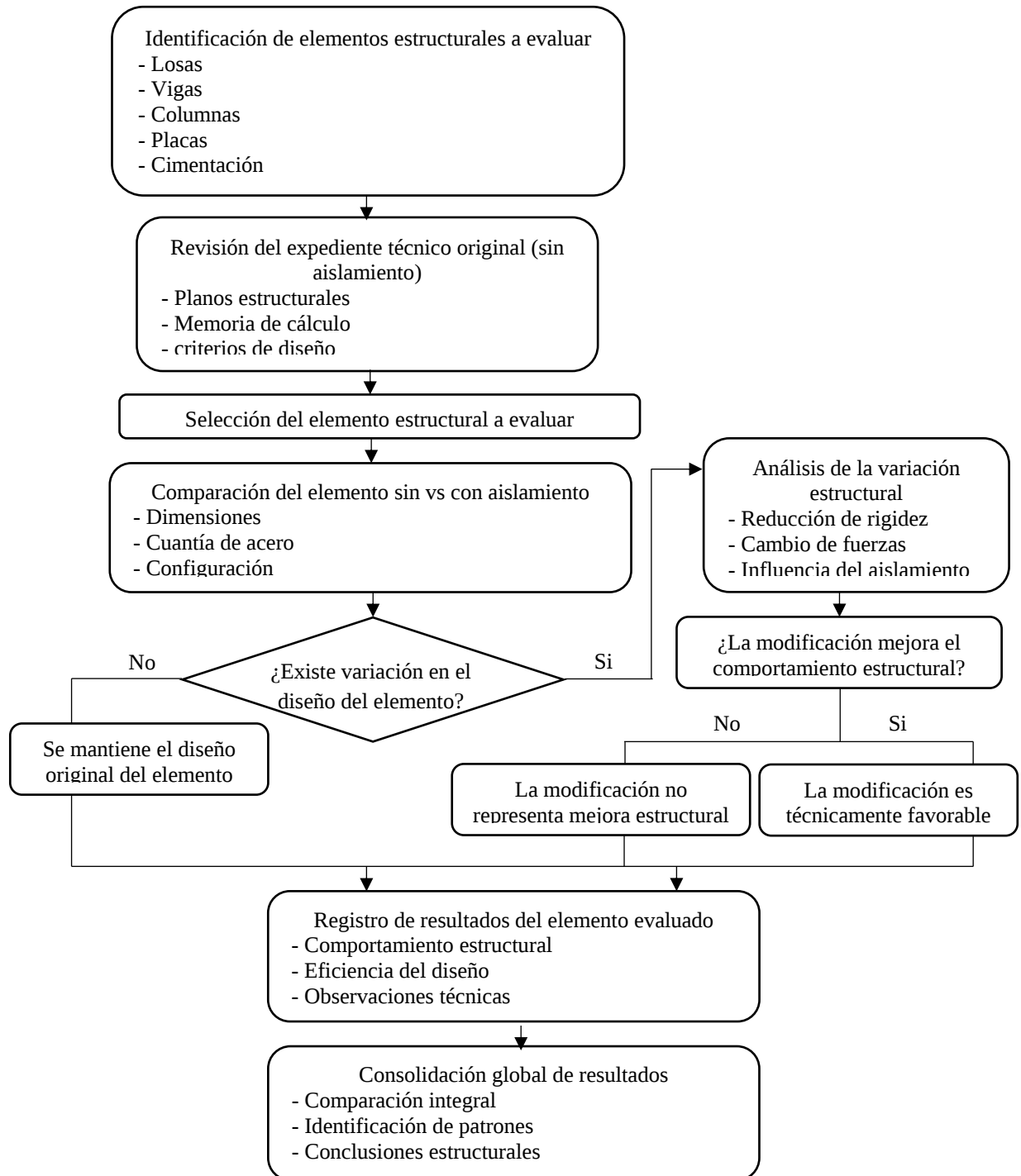
Flujo general BIM–análisis–optimización estructural considerando la incorporación de aislamiento sísmico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16

Flujo de evaluación estructural en la comparación de la estructura sin y con aislamiento sísmico.



Fuente: Elaboración propia.

4.5 EVALUACIÓN DE COSTOS, SOSTENIBILIDAD Y VIABILIDAD A LARGO PLAZO

Los costos asociados al proyecto, según la Licitación Pública N.º 01-2013-GRP-CE, evidenciaron que el monto contractual inicial fue de S/ 77 822 900,00, mientras que la adquisición de los aisladores sísmicos alcanzó un valor de S/ 4 071 027,93. Asimismo, el costo de elaboración del expediente técnico ascendió a S/ 747 081,60, y el adicional por la incorporación del sistema de aislamiento sísmico fue de S/ 183 034,99.

La incorporación del sistema de aislamiento sísmico representó un incremento económico tanto en la etapa de diseño como en la ejecución del proyecto. En la fase de elaboración del expediente técnico, el adicional por aislamiento correspondió aproximadamente al 24.5 % del costo inicial del expediente. A nivel de ejecución, el costo de los aisladores sísmicos representó alrededor del 5.23 % del monto contractual total del hospital. Estos valores evidenciaron que la implementación del sistema de aislamiento constituyó una inversión significativa dentro del proyecto.

Desde el punto de vista de sostenibilidad funcional, el sistema de aislamiento sísmico podría mejorar el desempeño estructural del hospital frente a eventos sísmicos, reduciendo la demanda sísmica en la superestructura y favoreciendo la continuidad operativa de la edificación, condición fundamental en infraestructuras de salud. No obstante, el análisis estructural evidenció que esta inversión no estuvo acompañada por un proceso de optimización integral del diseño, ya que varios elementos estructurales mantuvieron sus dimensiones o incluso incrementaron su cuantía de refuerzo. En consecuencia, el beneficio estructural obtenido no se tradujo en una reducción equivalente de materiales ni en una mejora de la eficiencia global del sistema estructural.

En cuanto a la viabilidad a largo plazo, el sistema de aislamiento sísmico implicó la necesidad de mantenimiento, inspección periódica y eventual reemplazo de los dispositivos, lo que introdujo requerimientos técnicos adicionales durante la vida útil de la edificación. Asimismo, la falta de trazabilidad completa en el proceso de diseño y la utilización de criterios normativos no completamente consistentes generaron incertidumbre respecto al desempeño real del sistema bajo condiciones sísmicas severas. En ese sentido, si bien la implementación del aislamiento sísmico resultó técnicamente favorable desde el punto de vista del comportamiento estructural, su viabilidad integral dependió no solo de la inversión inicial, sino también de la calidad del diseño, la correcta ejecución y la gestión adecuada del sistema a lo largo del tiempo.

CONCLUSIONES

Primera

Se identificó que el análisis estructural del expediente evaluado utilizó un factor de zona $Z = 0.30$ correspondiente a la versión previa de la Norma Técnica E.030, sin considerar la actualización normativa del año 2014, que establece un valor de $Z = 0.25$ para la zona sísmica correspondiente. Esta situación evidenció que el diseño no se alineó plenamente con la normativa vigente al momento de su formulación. No obstante, el uso del valor anterior implicó la consideración de fuerzas sísmicas ligeramente mayores, manteniendo un criterio de diseño conservador en términos de demanda sísmica.

Segunda

Se determinó que el diseño del sistema de aislamiento sísmico no cumplió completamente con los criterios normativos aplicables, al evidenciarse el uso de parámetros y procedimientos no totalmente consistentes con la Norma E.030 y su actualización. Asimismo, el empleo de registros sísmicos y criterios de análisis basados en información externa, sin una trazabilidad explícita de su compatibilización con el espectro normativo peruano, limitó la verificación integral del cumplimiento normativo del diseño estructural.

Tercera

Se analizó que la incorporación del sistema de aislamiento sísmico generó una modificación del sistema resistente, eliminando placas estructurales y trasladando la resistencia lateral hacia las columnas; sin embargo, no se evidenció una optimización integral de la superestructura. En varios elementos estructurales se mantuvieron dimensiones o incluso se incrementaron las cuantías de refuerzo, lo que indicó que la reducción de la demanda sísmica no se tradujo en una mejora en la eficiencia estructural del diseño.

Cuarta

Se observó que la implementación del sistema de aislamiento sísmico no se aplicó de manera uniforme en todos los bloques del proyecto, evidenciándose que el bloque 2 no incorporó dicho sistema pese a la exigencia normativa para edificaciones esenciales. Esta situación, junto con la falta de trazabilidad entre memorias de cálculo y planos estructurales, evidenció la necesidad de establecer una metodología de diseño más rigurosa, coherente y verificable que permita asegurar la correcta implementación y optimización del sistema de aislamiento sísmico.

RECOMENDACIONES

Primera

Se recomienda que los futuros proyectos estructurales, especialmente en edificaciones esenciales, aseguren la aplicación estricta de la normativa vigente al momento del diseño, verificando la correcta actualización de parámetros sísmicos como el factor de zona. Asimismo, se debe implementar un proceso de revisión técnica que garantice la coherencia entre los criterios adoptados y las disposiciones normativas actualizadas.

Segunda

Se recomienda establecer lineamientos claros para la aplicación de normativas internacionales en el diseño de sistemas de aislamiento sísmico, asegurando su adecuada compatibilización con la Norma Técnica E.030. En particular, se debe documentar de manera explícita el proceso de selección, ajuste y validación de registros sísmicos, a fin de garantizar la trazabilidad y verificabilidad del análisis estructural.

Tercera

Se recomienda que la incorporación de sistemas de aislamiento sísmico esté acompañada de un rediseño integral de la superestructura, con el objetivo de optimizar las dimensiones de los elementos estructurales y la cuantía de refuerzo. De esta manera, se podrá aprovechar de manera eficiente la reducción de la demanda sísmica, mejorando la relación costo–beneficio del sistema estructural adoptado.

Cuarta

Se recomienda que la implementación del sistema de aislamiento sísmico se realice de manera uniforme en todos los bloques que conforman edificaciones esenciales, conforme a las exigencias normativas. Asimismo, se debe fortalecer la trazabilidad del diseño estructural mediante la adecuada integración entre memorias de cálculo, planos y cuadros de diseño, asegurando la coherencia técnica y la correcta ejecución del proyecto.

REFERENCIAS

- American Concrete Institute. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-19) and Commentary*. American Concrete Institute.
- American Society of Civil Engineers. (2017). *ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. ASCE.
- American Society of Civil Engineers. (2022). *ASCE/SEI 7-22: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. ASCE.
- Banerjee, S., & Marzagar, A. (2023). *Hybrid vibration control of hospital buildings against earthquake excitations using unbonded fiber-reinforced elastomeric isolator and tuned mass damper*. *Buildings*, 13(7), 1724. <https://doi.org/10.3390/buildings13071724>
- Bastías Campos, P. (2021). *Análisis del desempeño estructural de marcos sísmicos de hormigón armado con distintos detallamientos y sistemas de aislación sísmica*. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
- Blas Cano, J. W.; Blas Rebaza, R. P.; Blas Rebaza, M. E. (2024). *Aplicación de aisladores sísmicos en modelos de edificaciones hospitalarias*. *Revista Científica Emprendimiento Científico Tecnológico*.

- Calderón Salazar, B. R. (2018). *Evaluación y optimización del comportamiento estructural de un pabellón hospitalario con aisladores sísmicos en la ciudad de Lima*. Repositorio Institucional UNI.
- Clough, R. W., & Penzien, J. (1993). *Dynamics of structures* (2.^a ed.). McGraw-Hill.
- Chopra, A.K. (2017). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering* (5th ed.). Pearson Education, Inc. ISBN 978-0-13-455512-6.
- Christchurch District Health Board. (2020). *Waipapa Christchurch Hospital – Acute Services Building*: Project overview. CDHB.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA 356). Washington, D.C.: Federal Emergency Management Agency, U.S. Department of Homeland Security.
- Gobierno Regional de Puno. (2013). *Licitación Pública N.º 01-2013-GRP-CE: Ejecución del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca*. Puno, Perú.
- Gobierno Regional de Puno. (2013). *Expediente técnico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca*. Puno, Perú.
- Gobierno Regional de Puno. (2016). *Expediente técnico modificado del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca (incorporación de sistema de aislamiento sísmico)*. Puno, Perú.

- Hacıemiroğlu, Arslan & Gündoğdu (2025). *Hospital Base Isolation: Türkiye's Earthquake-Proof Design*. Miyamoto International Technical Papers.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2022). *Metodología de la investigación (7.ª ed.)*. McGraw-Hill.
- Kaatsız, K., Yılmaz, S., & Demir, A. (2025). *Seismic performance assessment of base isolation in hospitals*. *Journal of Earthquake Engineering* 29(1), 1–21.
- Mejoramiento de los servicios de salud del Hospital Hipólito Unanue de Tacna, distrito de Tacna, provincia de Tacna – región Tacna (2017)*, proyecto con CUI N° 2192844.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2019). *Decreto Supremo N.º 030-2019-VIVIENDA, que aprueba la Norma Técnica E.031 “Aislamiento Sísmico” del Reglamento Nacional de Edificaciones*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma Técnica A.010: Generalidades*. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Norma Técnica E.020: Cargas*. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma Técnica E.030: Diseño Sismorresistente*. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma Técnica E.031: Aislamiento Sísmico*. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

- Moehle, J. (2014). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. McGraw-Hill Education.
- Mokhtar, M. M., Abou-Elfath, H., & El-Arab, A. S. (2019). *Seismic performance of base-isolated buildings considering soil–structure interaction*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(3), 1511–1535.
- Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). *Design of seismic isolated structures: From theory to practice*. Wiley.
- Özkuzucu, E. C. (2023). *A comparison study on seismically base isolated structures with different response modification factors [M.S. thesis, Middle East Technical University]*. <https://hdl.handle.net/11511/104504>
- Pino, G., & Ita, W. (2018). *Factibilidad técnica y económica de utilizar aislamiento sísmico en hospitales peruanos existentes [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Repositorio PUCP. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/146745>
- Priestley, M. J. N., Calvi, G. M., & Kowalsky, M. J. (2007). *Displacement-Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press.
- Sampieri, R. H., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)*. McGraw-Hill.
- Yucra Choque, R. A. (2018). *Evaluación del desempeño sísmico de una estructura hospitalaria con sistema de aislamiento de base*. Repositorio Institucional de la UNI.

APÉNDICES

APÉNDICE 01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: Evaluación estructural con fines de propuesta de optimización del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025 Autor: Bach. Alex Ronald Chique Velasquez			
PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
1. Interrogante Principal ¿El diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca cumple con las disposiciones y normativas aplicables vigentes? 2. Interrogantes Secundaria a) ¿Qué criterios y parámetros estructurales se consideraron en el diseño original del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca? b) ¿En qué medida el diseño del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca cumple con la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y con las normas internacionales aplicables vigentes? c) ¿Qué observaciones o aspectos del diseño estructural podrían requerir ajustes o mejoras para optimizar el desempeño del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca?	1.Objetivo General Evaluar el diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, con el fin de determinar su cumplimiento con las disposiciones y normativas aplicables vigentes. 2.Objetivos Específicos a) Identificar los criterios y parámetros estructurales considerados en el diseño original del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025. b) Analizar el grado de cumplimiento del diseño estructural del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca según la Norma Técnica E.030 de Diseño Sismorresistente y las normas internacionales. c) Determinar las observaciones del diseño estructural y las posibles mejoras orientadas a optimizar el desempeño del sistema de aislamiento sísmico del Hospital Materno Infantil del Cono Sur de Juliaca, 2025.	Variable uno (X) Diseño estructural Dimensiones e Indicadores: ● Criterios de diseño: Comprende los principios y parámetros adoptados para el diseño del sistema de aislamiento sísmico. Los indicadores incluyen la determinación la zona sísmica, el tipo de suelo y el nivel de desempeño estructural previsto. ● Análisis y modelamiento: Se analizara la metodología empleada para representar el comportamiento estructural del sistema de aislamiento sísmico. Los indicadores incluyen el tipo de análisis realizado (estático, dinámico o tiempo-historia), la representación de los aisladores en el modelo y la verificación del comportamiento global y de los desplazamientos estructurales. ● Dimensionamiento y verificación: Se verificara la capacidad resistente y de servicio del sistema estructural. Los indicadores abarcan el cumplimiento de las resistencias y deformaciones admisibles, la verificación de aisladores conforme a la norma y la revisión de la compatibilidad entre aisladores y la estructura superior. Variable dos (Y) Cumplimiento normativo del diseño estructural Dimensiones e Indicadores: ● Normativa nacional: Evalúa la conformidad del diseño estructural con las disposiciones establecidas en las normas peruanas vigentes. Los indicadores incluyen la verificación de la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”, la Norma E.031 “Aislamiento sísmico”, así como las especificaciones estructurales, de materiales y parámetros sísmicos empleados en diseño. ● Normativa internacional: Analiza la correspondencia del diseño estructural con las disposiciones técnicas en normas internacionales. Los indicadores incluyen la norma ASCE 7, FEMA 356, los factores de desempeño estructural, los niveles de protección y el enfoque de diseño por desempeño. ● Criterios técnicos de diseño estructural: Examina la calidad técnica y la coherencia del diseño estructural en relación con su desempeño sísmico. Los indicadores incluyen los modelos de análisis estructural, la verificación de desplazamientos, derivas y esfuerzos, los factores de seguridad y desempeño, así como la correspondencia entre los resultados de diseño y las condiciones reales.	Tipo de Investigación Esta investigación considera un tipo de investigación aplicada con un método cuantitativo y de un alcance explicativo. Diseño de la Investigación El estudio será de diseño cuasi experimental de corte transversal. Ámbito de Estudio Ciudad de Juliaca - departamento de Puno.
Relevancia de la Investigación La investigación se encuentra alineada a fortalecer el objetivo 11 “Ciudades y comunidades sostenibles” de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.			

APÉNDICE 02

Extracto de la memoria de cálculo del sistema de aislamiento sísmico (*)

(*) Nota: El documento incluido en el presente apéndice corresponde a un extracto del expediente técnico original del proyecto, el cual se incorporó exclusivamente como fuente de análisis en el presente estudio.



1.2. Definición y caracterización del sistema de aislamiento

1.2.1. Descripción de la estructura

El Bloque 3, 4 y 5 del Hospital Juliaca es una estructura de 68 metros de largo por 51 metros de ancho aproximadamente. El edificio tiene 3 pisos y su superficie total es de 11355 m^2 aproximadamente. El edificio está estructurado principalmente en base a marcos de hormigón armado.

1.2.2. Definición del sistema de aislamiento

Para este proyecto se definió la interfaz de aislamiento en un plano horizontal (nivel) ubicado bajo la losa del primer piso. El sistema de aislamiento quedó conformado por deslizadores y aisladores sísmicos elastoméricos.

El sistema de aislamiento debe cumplir, dentro de lo posible, con los requisitos planteados en la etapa de prediseño en lo que a rigidez y amortiguamiento se refiere. La primera de estas hipótesis depende principalmente del compuesto usado en la fabricación de los aisladores, su geometría y la deformación a la que se ven sometidos. En el caso del amortiguamiento, esta propiedad depende de las características del aislador (relación fuerza-deformación no lineal) y su interacción con la estructura. Es por esto que la estimación definitiva del amortiguamiento del sistema se basa en el análisis no lineal de la estructura (MNL). En el caso que el análisis antes mencionado muestre que el amortiguamiento real de la estructura está por debajo del supuesto en la etapa de prediseño se procede a la incorporación de amortiguamiento adicional al sistema mediante el uso de plomo en los núcleos de los aisladores. Los núcleos de plomo en los aisladores generan un aumento en el amortiguamiento de los dispositivos pero también un aumento en la rigidez secante, por lo que se debe tener especial cuidado en la ubicación y cantidad de aisladores con núcleo de plomo. También en el análisis MNL se tiene en consideración el aporte de amortiguamiento que brindan los deslizadores friccionales. La Figura 1.1 muestra esquemáticamente la ubicación en elevación de los dispositivos en el edificio aislado.

1.2.3. Consideraciones básicas en juntas e interfases de instalaciones

La estructura aislada deberá ser diseñada en su conjunto de modo de admitir una deformación relativa entre sus partes aisladas y fijas de al menos el desplazamiento total máximo (D_{TM}) más un margen adicional como factor de seguridad. Para efectos de este proyecto, la distancia especificada entre



Figura 1.1: Esquema del sistema de aislamiento: nivel de aislamiento en línea segmentada.

estructuras aisladas y no aisladas es de 35 centímetros. Para conseguir un adecuado comportamiento sísmico y garantizar la serviciabilidad de la estructura tanto para eventos sísmicos menores como para sismos severos, se deben considerar dos aspectos relevantes:

- (a) Detallamiento de la junta de aislamiento o GAP: se debe considerar el hecho que la parte aislada del edificio debe poder moverse libremente con respecto al entorno circundante (subestructura, calles, pavimentos exteriores, zonas interiores no aisladas, etc), impidiendo además que entren objetos indeseados, suciedad o agua desde el exterior hacia el interior del edificio. Es por esto que se hace necesario un detallamiento especial de todo el contorno del edificio y también de todas las partes que conecten la superestructura aislada con la subestructura fija y su entorno, ya sean escaleras, ascensores, rampas de acceso, plataformas, etc.
- (b) Interfases de instalaciones: el diseño de todas las instalaciones del edificio que atraviesen la interfaz de aislamiento debe tener en cuenta que existirá una deformación relativa entre las partes aisladas y fijas de la estructura ante un evento sísmico. Es por esto que las instalaciones en estas zonas deberán proveer uniones flexibles que permitan funcionalidad al igual que la capacidad de absorber dicha deformación relativa.

2. Prediseño del Sistema de Aislamiento

2.1. Espectro de diseño y máximo

El espectro de diseño utilizado corresponde al indicado por la Norma Técnica E.030 para suelo tipo s3 y zona sísmica 3 y corresponde al que se muestra en la Figura 2.1. En dicha figura es posible apreciar que se ha aplicado un factor de reducción por amortiguamiento para los períodos mayores

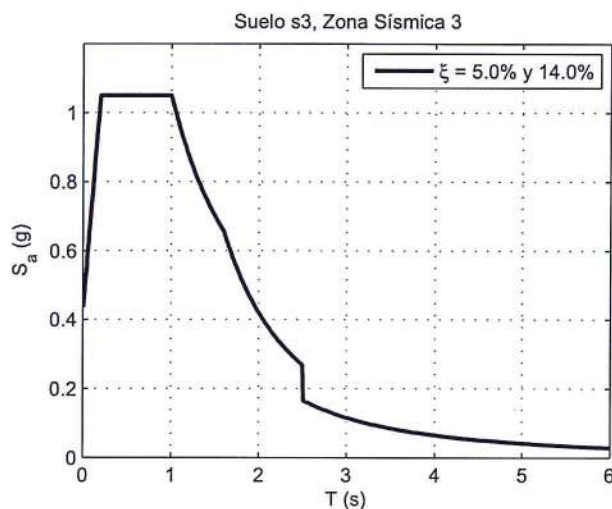


Figura 2.1: Espectro de diseño de la norma E.030 con reducción de amortiguamiento en períodos altos

a 2.5 s. Para el cálculo de este factor se ha considerado un amortiguamiento de 14 % asociado al sistema de aislamiento. Esto permite que la respuesta de los modos aislados (primeros 3 modos de la estructura) quede reducida por el efecto del amortiguamiento del sistema de aislamiento y que los modos altos de la superestructura queden con un amortiguamiento del 5 %. Esta es una manera simple para considerar en el análisis espectral el efecto de la disipación de energía producida por los aisladores en la estructura. Sin embargo, esta es una aproximación y el efecto real de dicha disipación sólo podrá ser evaluado con mayor precisión mediante un análisis Tiempo-historia no-lineal que considere la verdadera relación fuerza deformación de cada aislador (la cual es inherentemente no lineal). Esta aproximación se considera adecuada para efectos de un prediseño. Para el caso del espectro representativo del sismo máximo posible, se amplificó el espectro de diseño por el factor 1.2, tal como lo permite la norma.

2.2. Prediseño de los aisladores

Se estableció como requisito para el diseño del sistema de aislamiento sísmico el lograr una solución que permita alcanzar el menor corte basal de diseño que cumpla con lo exigido por la norma E.030. Esto permite cumplir con la norma y lograr una estructura lo más económica posible, alcanzando siempre las ventajas de desempeño de una estructura aislada.

El diseño del sistema de aislamiento es un proceso iterativo. En primer lugar se determina un período



objetivo el cual condiciona la rigidez necesaria del sistema. Además el sistema de aislamiento posee un amortiguamiento (que es dependiente del desplazamiento). A partir de la rigidez y amortiguamiento se obtiene la deformación o desplazamiento del sistema. Finalmente, el desplazamiento del sistema es usado para re calcular su amortiguamiento e iterar. De la experiencia en diseños anteriores se observa que para efectos de prediseño, entrega buenos resultados asumir un amortiguamiento para el sistema de aislamiento e incorporar este amortiguamiento como una reducción del espectro de diseño. Este amortiguamiento a asumir, depende del tipo de sistema de aislamiento, número de aisladores y estructuración del edificio a aislar. Para este proyecto se consideró un 14 % de amortiguamiento en los modelos lineales del edificio.

Por otro lado, es necesario definir las propiedades geométricas y tipo de compuesto de elastómero a usar en los aisladores para obtener la rigidez y amortiguamiento requeridos y además poder soportar las cargas gravitacionales y sísmicas junto con las deformaciones producto del sismo.

Finalmente, se realizaron iteraciones de modo de satisfacer los requerimientos de corte basal mencionados anteriormente y conseguir un aislador con factores de seguridad a la deformación y a la estabilidad mayores que 1.5 y 2.0, respectivamente. Además, en función de la distribución de cargas gravitacionales se debe buscar la manera de minimizar los efectos torsionales que afectan a edificios con excentricidad de masa respecto al centro de rigidez de la estructura. Este proceso iterativo condujo a usar distintos tipos de dispositivos. La geometría de los dispositivos a utilizar en el proyecto se muestra en la Tabla 1.

Finalmente, el sistema de aislamiento del Hospital de Juliaca, Bloque 3, 4 y 5 quedará conformado por 79 aisladores elastoméricos y 36 deslizadores. El diámetro de los aisladores es de $D_e = 70\text{cm}$ y 75cm , altura de goma $H_r = 21.6\text{cm}$ y diámetro interior del aislador igual a $D_i = 2.5\text{cm}$. Los deslizadores tendrán un núcleo de 25cm de diámetro y una capacidad de deformación mínima de 35cm .

La distribución en planta de los dispositivos se muestra en la Figura 2.2.

En general, la denominación de los aisladores y deslizadores será la siguiente:

Aisladores: HX-YY, donde X representa el módulo de corte del compuesto utilizado e YY el diámetro exterior del aislador.

Deslizadores: DFD-ZZ/WW, donde ZZ representa el diámetro del núcleo de deslizamiento y WW representa la capacidad de desplazamiento.

Tabla 1: Dimensiones geométricas de los dispositivos del Juliaca, Bloque 3, 4 y 5

Tipo	Denominación	Cantidad	D_{ext} (cm)	D_{int} (cm)	t_s (cm)	n_r	t_r (cm)	D_f (cm)	t_f (cm)	H_r (cm)	H_t (cm)	Núcleo Plomo
AS1-2	H4-70	61	70	2.5	0.3	27	0.8	80	2	21.6	33.4	NO
AS2-2	H4-75	18	75	2.5	0.3	27	0.8	85	2	21.6	33.4	NO
SL1-2	DFD 250/350	36	-	-	-	-	-	-	-	-	12.0	-

Los parámetros indicados en la tabla se describen a continuación:

- D_{ext} Diámetro exterior del elastómero
- D_{int} Diámetro interior del núcleo del elastómero
- t_s Espesor de las placas intermedias de acero
- n_r Número de capas de goma
- D_f Lado de las placas de acero de anclaje
- t_f Espesor de las placas de acero de anclaje
- t_r Espesor de las capas de goma
- H_r Altura total de goma
- H_t Altura total del aislador

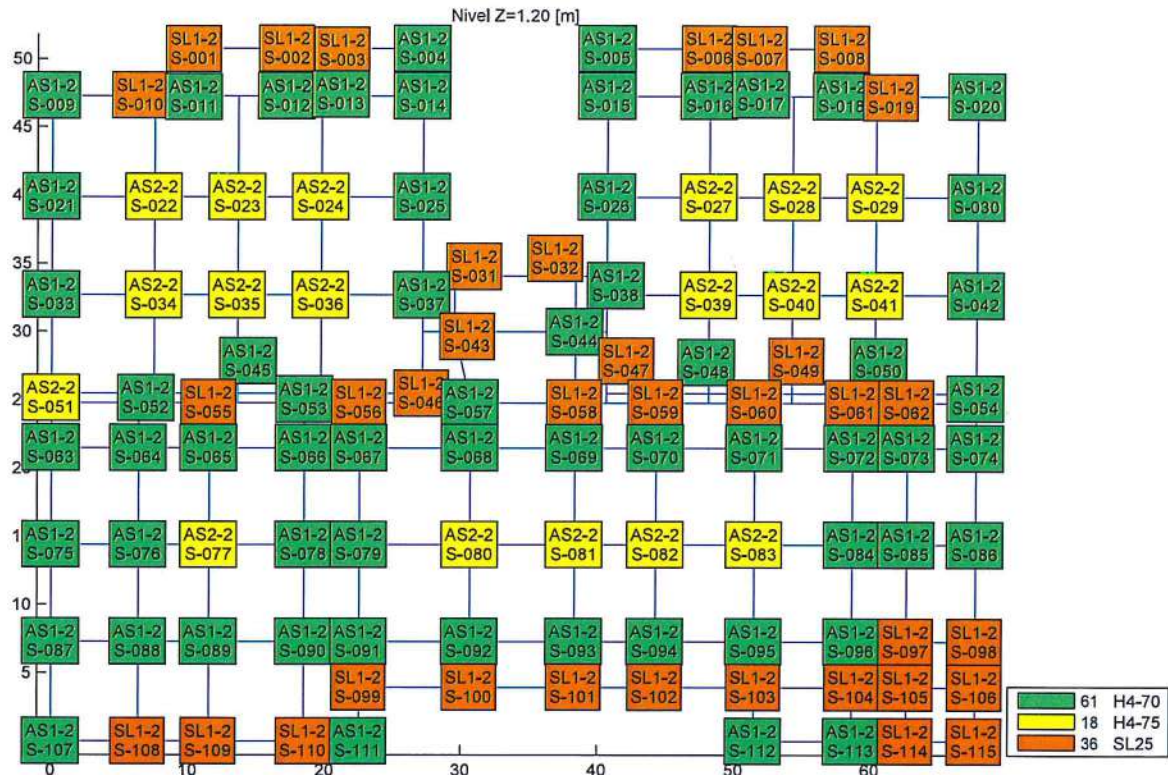


Figura 2.2: Vista esquemática del sistema de aislamiento



Tabla 2: Propiedades lineales de los aisladores usados en el MLE

ITEM	Dispositivo		
	H4-70	H4-75	SL25
$K_{sec}(tonf/m)$	78.00	89.56	22.28
$C(tonf \cdot s/m)$	0	0	0

2.3. Modelamiento y propiedades lineales equivalentes

El edificio completo, incluyendo los elementos sismoresistentes y los dispositivos de aislamiento sísmico, fue modelado en el software ETABS. La altura del nivel de aislamiento fue definida considerando la altura de los aisladores más la altura de los elementos que están por sobre y bajo estos. Los elementos que se apoyan sobre los aisladores fueron modelados como elementos frame con una sección transversal de dimensiones concordantes con los capiteles que representan y un largo igual a la distancia entre el nivel de obra gruesa de la losa y el extremo superior de los aisladores. Los elementos que soportan a los aisladores fueron modelados como columnas o muros según corresponda a la distribución en planta de los aisladores.

Los aisladores fueron modelados como líneas nulas a las cuales se les asignaron Links tipo *Isolator1*, mientras que los deslizadores fueron modelados con elementos Links tipo *Isolator2*. En una primera etapa se desarrolló un modelo lineal equivalente (MLE) asignándole a cada Link la rigidez equivalente del aislador. Estos aisladores se ingresaron con propiedad de amortiguamiento igual a cero, debido a que el efecto disipativo del sistema de aislamiento se incorporó en los modelos a través de la modificación al espectro indicada en la sección 2.1. Según lo anterior, las propiedades de los aisladores definidos en los modelos son las indicadas en la Tabla 2.

2.4. Cálculo del desplazamiento de diseño

Usando el MLE se calculó la respuesta de la estructura para un análisis modal espectral con los espectros definidos en 2.1. Según esto se obtuvo un desplazamiento de diseño, $D_D = 25.6cm$ y un desplazamiento total de diseño, $D_{TD} = 28.1cm$. Para el sismo máximo posible se obtuvo $D_M = 30.7cm$ y $D_{TM} = 33.7cm$. Es importante señalar que estos niveles de desplazamiento corresponden a un prediseño (espectro con amortiguamiento asumido en 14 %, propiedades lineales de los aisladores y análisis modales espectrales). Los valores finales se calculan en la etapa de diseño mediante el análisis



no lineal de la estructura.

3. Conclusiones de la Etapa de Prediseño

- El diseño del sistema de aislamiento sísmico propuesto permitió reducir el corte de diseño de la estructura, a un valor muy cercano al mínimo exigido por la norma E.030, incorporando además las ventajas de una estructura aislada como son: seguridad estructural y protección de contenido.
- El sistema de aislamiento sísmico presentado deberá ser validado mediante la realización de análisis no lineales.

4. Verificación no-lineal del sistema de aislamiento sísmico

4.1. Modelo estructural no lineal

El modelo estructural lineal equivalente descrito en 1.1.3 y 2.3 fue complementado de modo de incluir el comportamiento no lineal de los aisladores sísmicos. El modelo generado se muestra en la Figura 4.1.

4.1.1. Relaciones constitutivas de los aisladores

Los aisladores elastoméricos son modelados mediante constitutivas bi-lineales calibradas inicialmente para un desplazamiento igual al calculado en la etapa de Prediseño del sistema de aislamiento. La forma de la relación bi-lineal esta calibrada sobre la base de numerosos ensayos realizados a aisladores de distintas rigideces y tamaños. En la Figura 4.2 se muestra gráficamente la constitutiva no lineal considerada típicamente para aisladores elastoméricos. Como se ve en la figura, la curva queda definida por 3 valores: K_1 , K_2 y F_y . K_1 representa la rigidez inicial de la relación bi-lineal, K_2 es la rigidez post fluencia y F_y es la capacidad o fuerza para la cual se produce el cambio de rigidez.

4.1.2. Registros sísmicos

Para la realización de los análisis no lineales de historia en el tiempo se generaron 3 registros sísmicos artificiales compatibles con el espectro de diseño definido en 2.1 pero sin considerar la reducción por amortiguamiento mencionada en la misma sección. Dichos sismos están basados en registros sísmicos reales obtenidos en las localidades de Constitución (Trans), Hualañe (Trans) y Llay-lay (N-S)

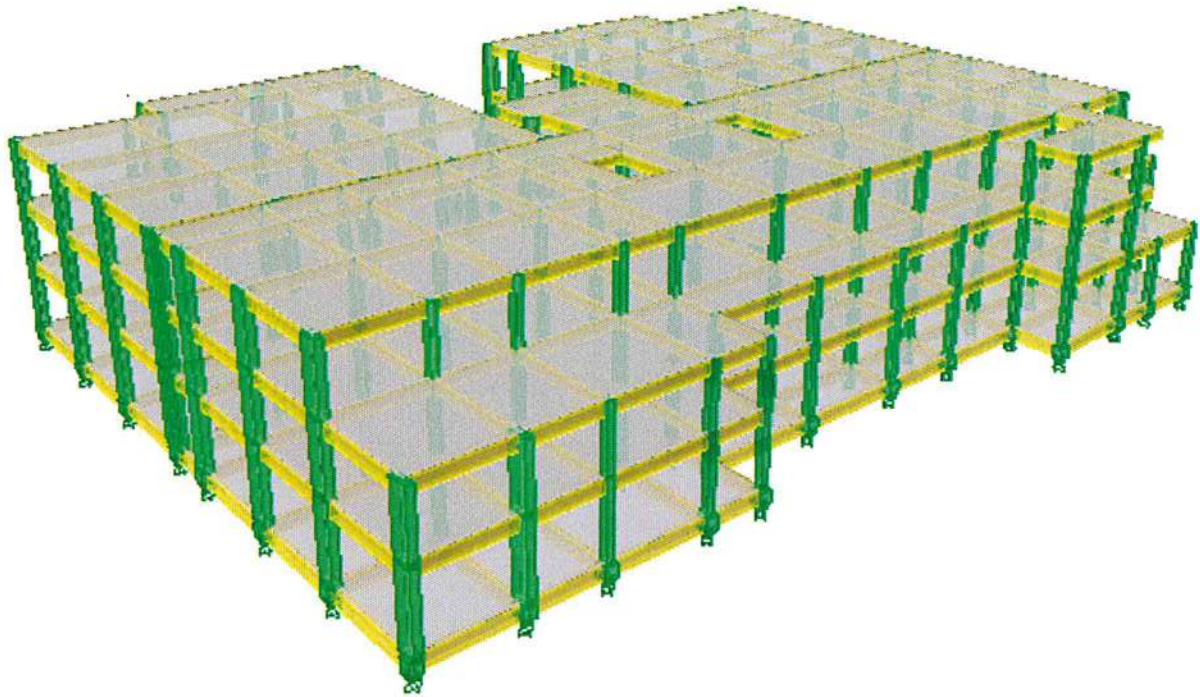


Figura 4.1: Modelo estructural del Juliaca, Bloque 3, 4 y 5

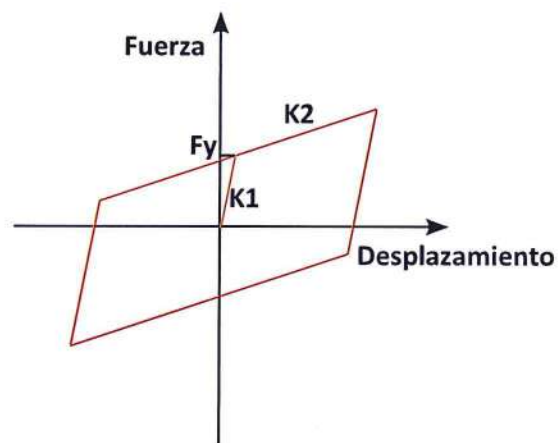


Figura 4.2: Modelo de relación constitutiva bi-lineal considerada para el aislador elastomérico

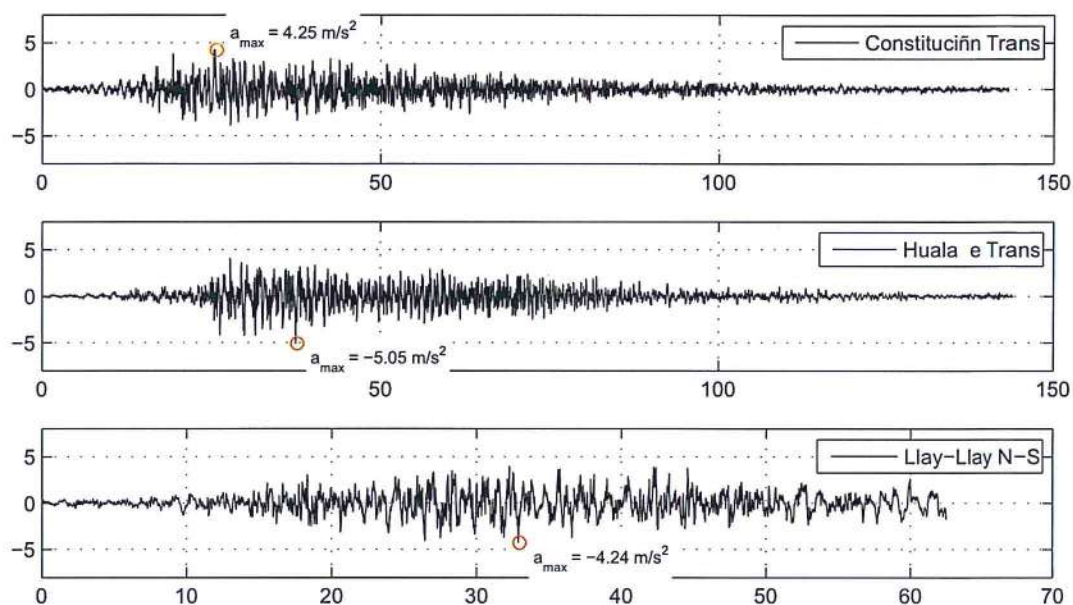


Figura 4.3: Registros artificiales utilizados en el análisis

durante los terremotos ocurridos en Chile el año 1985 y 2010. Para la generación de los registros artificiales se utilizaron las componentes reales que presentaron las mayores aceleraciones y que fueron medidas en zonas con calidad del suelo similar a la de este proyecto. La Figura 4.3 muestra los registros generados para el proyecto. La Figura 4.4 muestra el espectro de respuesta para los tres sismos artificiales basados en el espectro de Diseño y su comparación con el espectro de la norma E.030 (Suelo s3, Zona Sísmica 3 y $\xi = 5\%$). De acuerdo con lo indicado en el artículo 4.7.3 de la norma E.030, los resultados se obtienen a partir de la envolvente de las respuestas a los 3 registros sísmicos.

4.2. Cargas y deformaciones en los aisladores

Una vez realizados los análisis no lineales se deben comparar las deformaciones obtenidas en los aisladores con las deformaciones calculadas mediante el MLE, con el fin de verificar que el amortiguamiento supuesto en la etapa de prediseño para los modos aislados cumpla con el objetivo propuesto (14%). De ser así, se procede con el diseño de los aisladores.

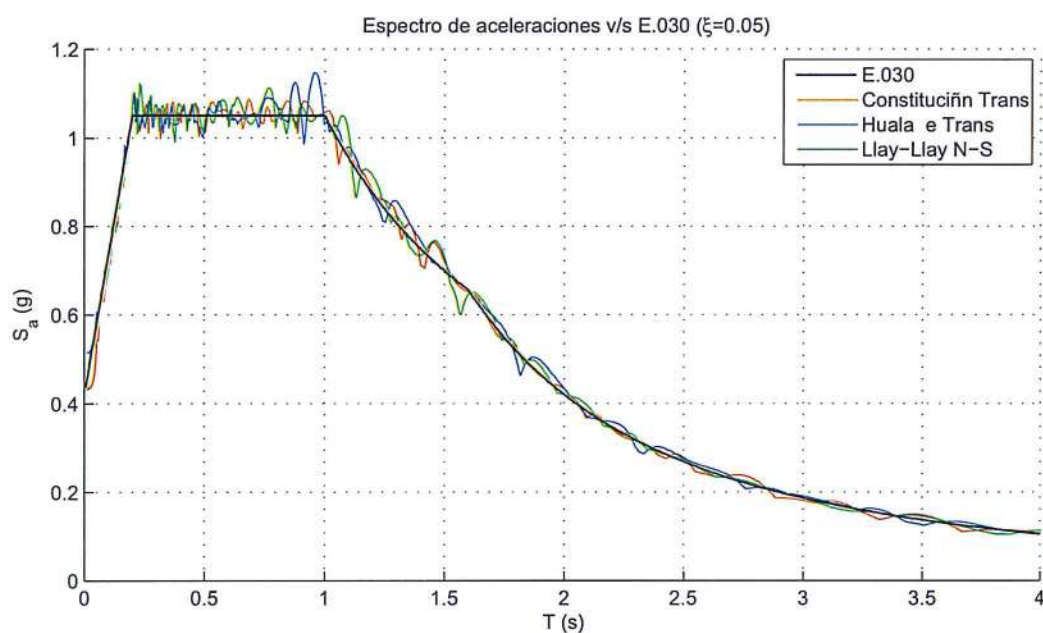


Figura 4.4: Espectros de respuesta para sismos artificiales basados en el espectro de Diseño

4.3. Carga en el aislador más solicitado

Para el diseño de los elementos del sistema de aislamiento se definen las siguientes combinaciones de carga, donde D representa a las cargas de peso propio de la estructura, L representa a las cargas de sobrecarga en la estructura, E_M^c representa las cargas axiales de compresión debidas al sismo máximo y E_M^t las cargas axiales de tracción debidas al sismo máximo.

$$P_{ST} = 1.2 \cdot D + 0.5 \cdot L + 1.0 \cdot E_M^c$$

$$P_{STt} = 0.8 \cdot D + E_M^t$$

$$P_{LT} = D + 0.5 \cdot L$$

Las cargas para los dispositivos más solicitados de cada tipo se muestran en la Tabla 3.

4.4. Desplazamientos de diseño y máximos

La Tabla 4 resume las deformaciones de diseño y máximas para la envolvente de los distintos análisis realizados.



Tabla 3: Cargas en dispositivos

ITEM	Dispositivo		
	H4-70	H4-75	DFD 250/350
$P_{ST}(ton)$	305.0	350.0	149.8
$P_{STt}(ton)$	-2.9	-1.4	0.0
$P_{LT}(ton)$	178.2	230.4	91.5

Tabla 4: Deformaciones de Diseño y Máxima

Demanda		Deformación
Diseño	$D_D(cm)$	24.9
	$D_{TD}(cm)$	25.1
Máxima	$D_M(cm)$	31.0
	$D_{TM}(cm)$	35.4

4.5. Verificación del diseño de los aisladores

Todos los aisladores se verificaron de acuerdo a 1.1.6. El diseño definitivo valida la solución propuesta en la etapa de prediseño en cuanto a geometría, cantidad, ubicación y tipo de dispositivos. Las propiedades mecánicas finales obtenidas para los aisladores utilizados en el proyecto se muestran en la Tabla 5. El anexo A muestra la ficha de verificación del aislador más solicitado para cada tipo.

4.6. Desempeño del edificio aislado

Los resultados presentados a continuación corresponden a los obtenidos mediante los análisis de Tiempo-Historia, considerando en todos los casos las envolventes de los tres registros sísmicos utilizados. A continuación se muestran las respuestas para el sismo de diseño y el sismo máximo.

Tabla 5: Propiedades mecánicas de los aisladores

Propiedades Mecánicas	H4-70	H4-75	Comentario
$G (kgf/cm^2)$	4.38	4.38	Módulo de corte para la deformación de diseño
$K_h(tonf/m)$	78.00	89.56	Rigidez horizontal para la deformación de diseño
$K_v(tonf/m)$	116854	141083	Rigidez vertical del aislador



Tabla 6: Respuestas globales para sismo de diseño, direcciones X e Y

	X	Y
Aceleración nivel sobre aisladores (g's)	0.20	0.20
Drift elástico máximo superestructura ($^{\circ}/_{00}$)	2.39	1.95
Corte elástico (ton)	1728.5	1727.2
Corte de diseño (ton)	864.3	863.6
V_{dis}/W_{sup}	0.064	0.064
Demanda de ductilidad real	1.29	1.29

Tabla 7: Respuestas globales para sismo máximo posible, direcciones X e Y

	X	Y
Aceleración nivel sobre aisladores (g's)	0.21	0.21
Drift elástico máximo superestructura ($^{\circ}/_{00}$)	2.96	2.42
Corte elástico (ton)	2066.0	2073.3
Corte de diseño (ton)	864.3	863.6
V_{dis}/W_{sup}	0.064	0.064
Demanda de ductilidad real	1.54	1.54

4.6.1. Sismo de Diseño

Las respuestas globales del edificio se muestran en la Tabla 6. Esta tabla incluye la aceleración en la losa inmediatamente sobre los aisladores sísmicos, la deformación de entrepiso (normalizada a la altura de piso) máxima en la estructura, el corte elástico en la interfaz de aislamiento (sin ningún factor de reducción), el corte en la interfaz de aislamiento con el cual fue diseñada la estructura, el porcentaje de corte de diseño con respecto a la masa de la superestructura y una estimación de la demanda real de ductilidad sobre la estructura. Esta última se calcula como el corte elástico en la interfaz de aislamiento dividido por la capacidad nominal que se le otorgará a la estructura (una estimación conservadora para ésta capacidad es $V_n = V_{dis} \cdot 1.4/0.9$).

4.6.2. Sismo Máximo Posible

Adicionalmente se analizó la respuesta de la estructura para el sismo máximo posible, para lo que fueron incrementadas en un 20 % las aceleraciones introducidas debido al sismo de diseño. La Tabla 7 muestra los resultados para este caso.

Tabla 8: Comparación de respuestas globales entre Edificio Aislado y Base fija

Parámetro	Base Fija		Aislado		Reducción %	
	X	Y	X	Y	X	Y
Período	0.68	0.61	2.79	2.78	-	-
Desp. máximo sistema de aislamiento - D_M (cm)	-	-	30.9	31.0	-	-
Desp. de diseño sistema de aislamiento - D_D (cm)	-	-	24.9	24.9	-	-
Drift elástico máximo superestructura ($^0/_{00}$)	15.95	12.59	2.39	1.95	85.0	84.5
Aceleración suelo (g)	0.5	0.5	0.5	0.5	-	-
Aceleración absoluta nivel aislamiento (g)	0.53	0.53	0.20	0.20	62.3	62.3
Aceleración absoluta nivel de techo (g)	1.50	1.62	0.21	0.21	86.0	87.0
Corte elástico nivel de aislamiento (ton)	11650.4	12410.4	1728.5	1727.2	85.2	86.1

4.6.3. Comparación entre edificio aislado y con base fija

La Tabla 8 muestra una comparación entre el Hospital de Juliaca, Bloque 3, 4 y 5 Aislado y con Base fija. Los resultados corresponden a la envolvente de los tres registros sísmicos considerados para sismo de diseño.

5. Conclusiones finales

- El diseño del sistema de aislamiento sísmico propuesto permitió reducir el corte de diseño de la estructura, a un valor cercano al mínimo exigido por la norma E.030, incorporando además las ventajas de una estructura aislada como son: seguridad estructural y protección de contenido.
- Las demandas de ductilidad máximas estimadas sobre la estructura para el sismo de diseño (10 % de probabilidad de excedencia en 50 años) y para el sismo máximo posible (10 % de probabilidad de excedencia en 100 años) son 1.29 y 1.54, respectivamente. Estos valores son considerados bajos e indican que la estructura aislada, aún durante un evento sísmico severo, prácticamente no tendrá incursión en rango no lineal (demanda de ductilidad igual a 1 significa comportamiento elástico, una estructura convencional tiene demandas de ductilidad que varían entre 4 y 9). Es por esto que se espera que el edificio no tenga daños estructurales después de dicho evento sísmico.
- Las deformaciones de entrepiso elásticas máximas en la superestructura son 2.39 y 2.96 por mil para el sismo de diseño y máximo posible, respectivamente. Estos valores corresponden a una estimación realista de las deformaciones que sufrirá esta estructura, dado que como hemos visto,



su comportamiento será esencialmente elástico. Por otro lado, dichas deformaciones (aún para un sismo severo) están dentro del orden de las deformaciones que se le exige a una estructura convencional para condiciones de servicio. Todo lo anterior permite inferir que aún ante un evento sísmico severo, no existirá daño en los elementos no estructurales o bien si existiera sería mínimo y muy acotado.

- Las aceleraciones máximas sobre el nivel de aislamiento para el sismo de diseño y para el sismo máximo posible son 0.20 g y 0.21 g, respectivamente. Estos valores sugieren que la probabilidad de daño del contenido de los edificios también sea muy reducida.

6. Referencias

- Juan C. De La Llera, Carl Luders, Patricio Leigh and Henry Sady, "Analysis, Testing, and Implementation of Seismic Isolation of Buildings in Chile", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 2004, 33: 543-547, 2004.
 - ASCE-7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
 - Norma Técnica E.030 "Diseño Sísmico Resistente"
 - ETABS[®] Nonlinear Version - Extended 3D Analysis of Buildings Systems Version 9.7.3.
 - MATLAB[®] - The Language of Technical Computing, R14.
-



A. Verificación de aisladores más solicitados

A.1. Procedimiento de diseño de los aisladores

Se comenzó el diseño considerando una altura de goma que produjera $\gamma = 1.0$ para la deformación de diseño, esto implica $H_r = D_D$. Con esto se calculó el área requerida de goma para alcanzar la rigidez objetivo. Finalmente se iteró con las propiedades geométricas y demás condiciones de diseño de modo de obtener un factor de seguridad a la deformación para sismo máximo mayor o igual a 1.5 y un factor de seguridad a la estabilidad mayor que 2. Este proceso converge a la geometría final.

A continuación se presentan las verificaciones de los aisladores

A.1.1. Condiciones de diseño

Se consideraron las siguientes condiciones de diseño:

- geometría aislador: anular
- tipo de elastómero: goma natural
- combinación de carga para diseño: $P_{ST} = 1.2D + 0.5L + E_M^c$

A.2. Aislador AS1-2 (H4-70)

A.2.1. Solicitaciones

Las fuerzas sobre el aislador más solicitado fueron obtenidas del modelo MNL y son las siguientes:

peso propio (D):	157.0 ton
sobrecarga (L):	34.9 ton
carga axial sismo máximo (E_M^c):	99.3 ton
desplazamiento para sismo de diseño (D_D):	24.9 cm
desplazamiento para sismo máximo (D_M):	35.3 cm



A.2.2. Diseño del aislador

deformación de rotura del elastómero:	$\varepsilon_r = 6.0$ (600 %)
compuesto de elastómero considerado:	H4
rigidez objetivo del aislador:	0.78 ton/cm
diámetro exterior (D_e):	70 cm
diámetro interior (D_i):	3 cm
número de capas de goma internas (n_r):	27
espesor de las capas de goma interna (t_r):	0.8 cm
espesor de las placas de acero intermedias (t_s):	0.3 cm
espesor de las placas de carga (e):	2.0 cm
altura de goma total (H_r):	21.6 cm
altura total del aislador (H):	33.4 cm

A.2.3. Verificación

Para el aislador definido por esta geometría se obtienen los siguientes Factores de Seguridad ante las solicitaciones descritas.

■ Factor de seguridad a la deformación

(a) deformación angular por corte (γ_s)

$$\gamma_s = \frac{D_M}{H_r} = 1.63 \quad (163 \%)$$

(b) deformación angular por compresión (γ_c)

$$PST = 305.0 \text{ ton}$$

La deformación angular debida a la carga de compresión PST es:

$$\gamma_c = 1.18 \quad (118 \%)$$

(c) deformación angular total (γ_0)



$$\begin{aligned}\gamma_0 &= \gamma_s + \gamma_c \\ \gamma_0 &= 1.63 + 1.18 \\ \gamma_0 &= 2.82 \quad (282\%) \end{aligned}$$

(d) Factor de seguridad

$$FS_d = \frac{0.85 \cdot \varepsilon_r}{\gamma_0} = \frac{0.85 \cdot 6.0}{2.82} = 1.81$$

■ Factor de Seguridad a la estabilidad

(a) carga crítica de pandeo

$$P_{cr} = 669.0 \text{ ton}$$

(b) Factor de seguridad

$$FS_e = \frac{P_{cr}}{P_{st}} = \frac{669.0}{305.0} = 2.19$$

A.3. Aislador AS2-2 (H4-75)

A.3.1. Solicitaciones

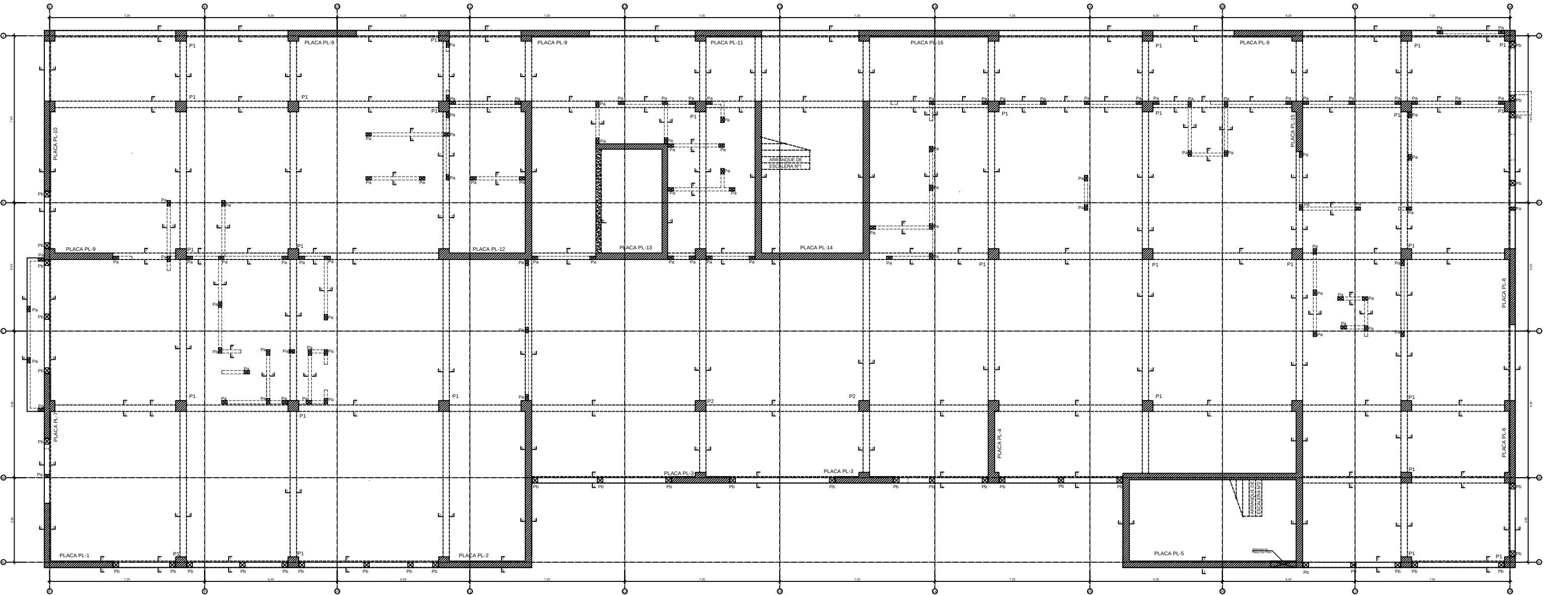
Las fuerzas sobre el aislador más solicitado fueron obtenidas del modelo MNL y son las siguientes:

peso propio (D):	198.3 ton
sobrecarga (L):	64.2 ton
carga axial sismo máximo (E_M^c):	79.9 ton
desplazamiento para sismo de diseño (D_D):	24.9 cm
desplazamiento para sismo máximo (D_M):	35.3 cm

APÉNDICE 03

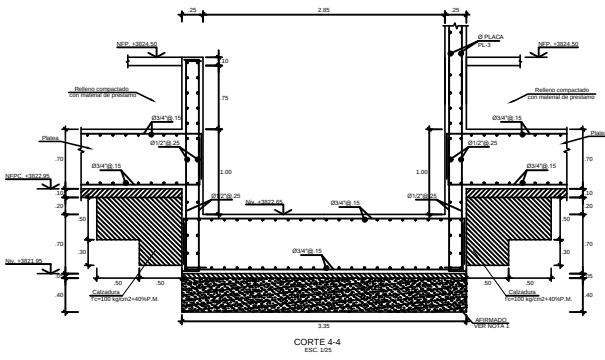
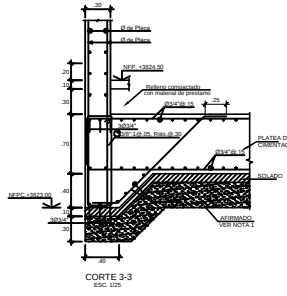
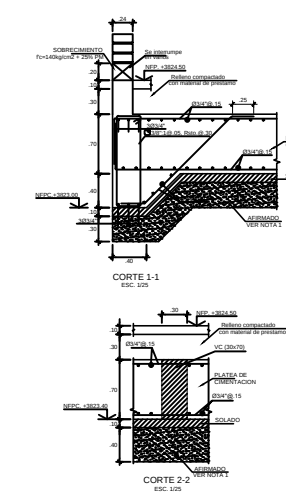
Extractos de los planos estructurales (*)

(*) Nota: Los planos presentados corresponden a versiones digitales (CAD) del expediente técnico original del proyecto, los cuales fueron utilizados con fines de análisis debido a la baja legibilidad de las copias escaneadas firmadas.

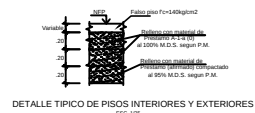


PLANTA DE CIMENTACION BLOCK 03 (NIVEL + 0.25 m. ± + 3824.50 m.)

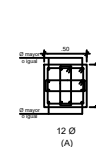
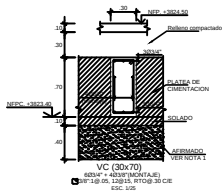
PLANTA DE CIMENTACION ± 0.25 m.
NIVEL ± 0.25 (SUPERIOR)
NIVEL ± 0.25 (INFERIOR)
SECCION MAESTRA EN PLANTA REFORZO ADICIONAL
ESC. 1/50



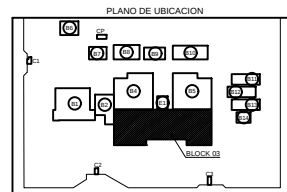
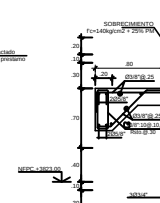
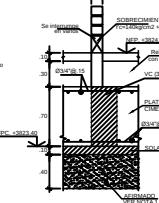
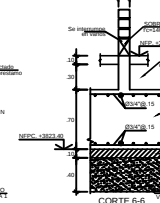
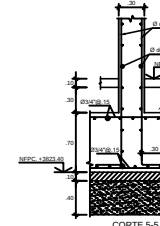
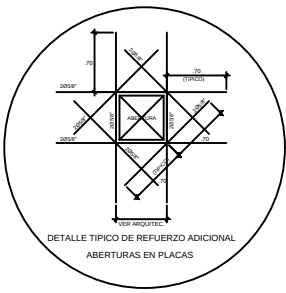
CUADRO DE COLUMNETAS	
TIPO	REINFORZO
100005	P1 175 14" Ø @ 20" 14" Ø @ 20" 14" Ø @ 20"



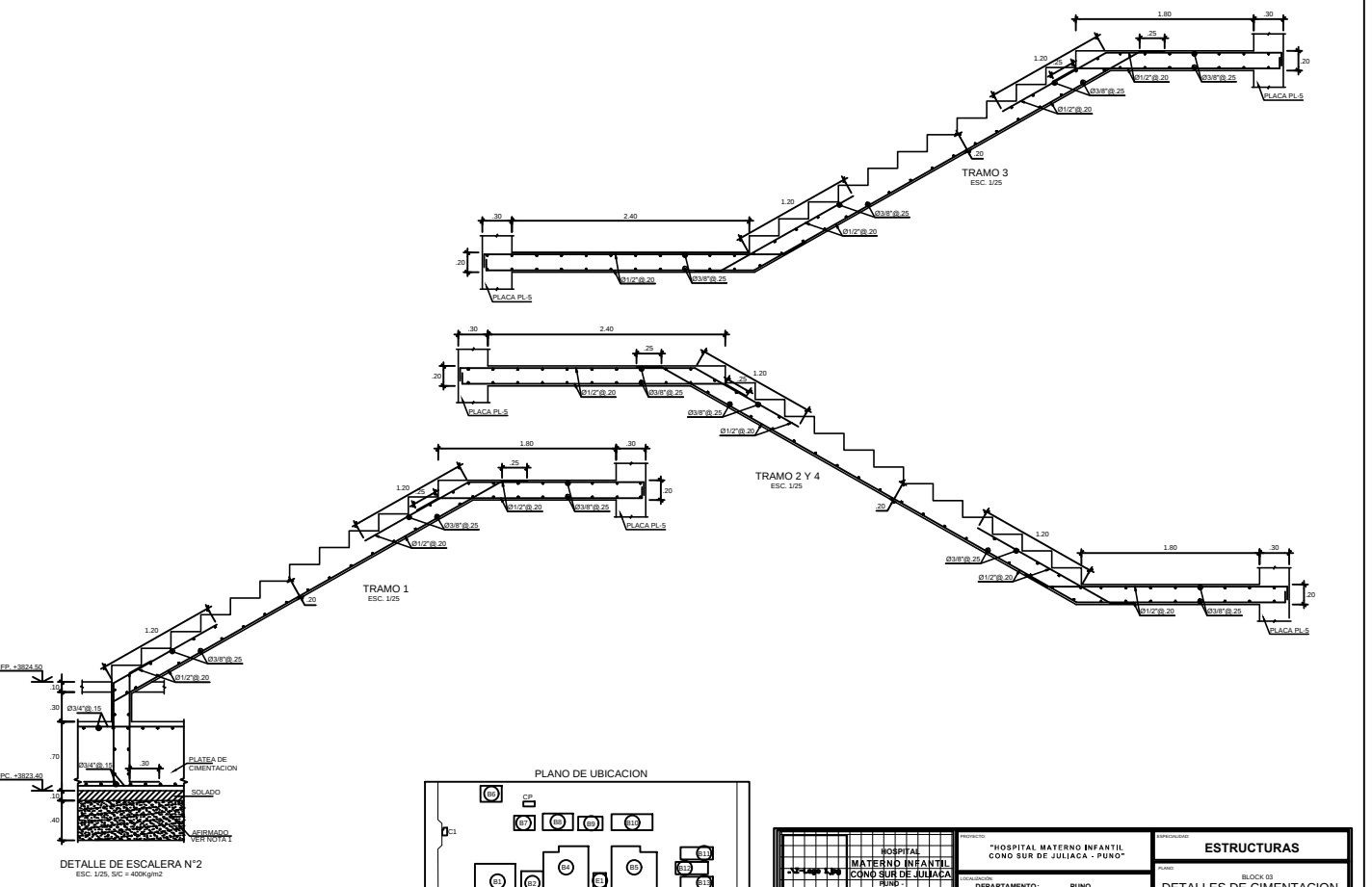
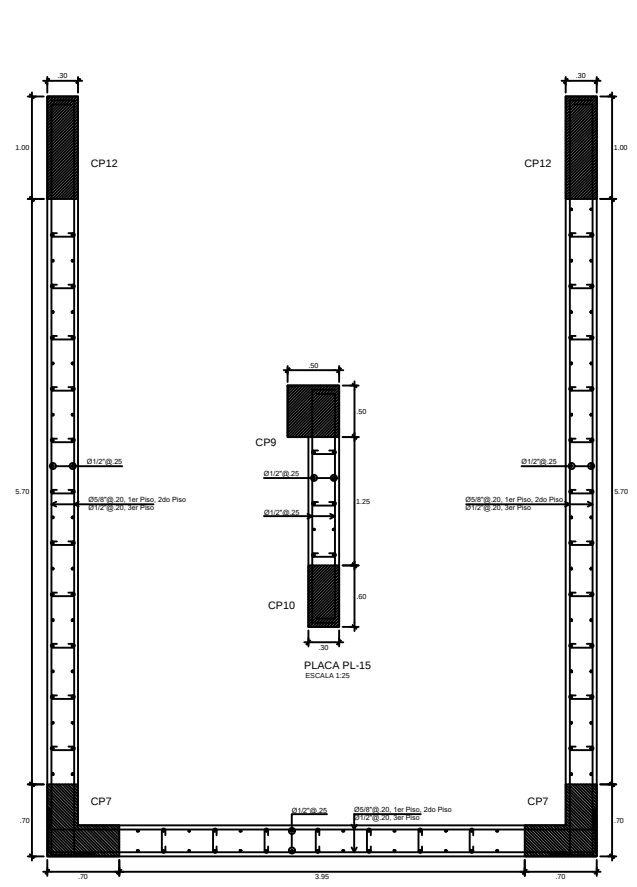
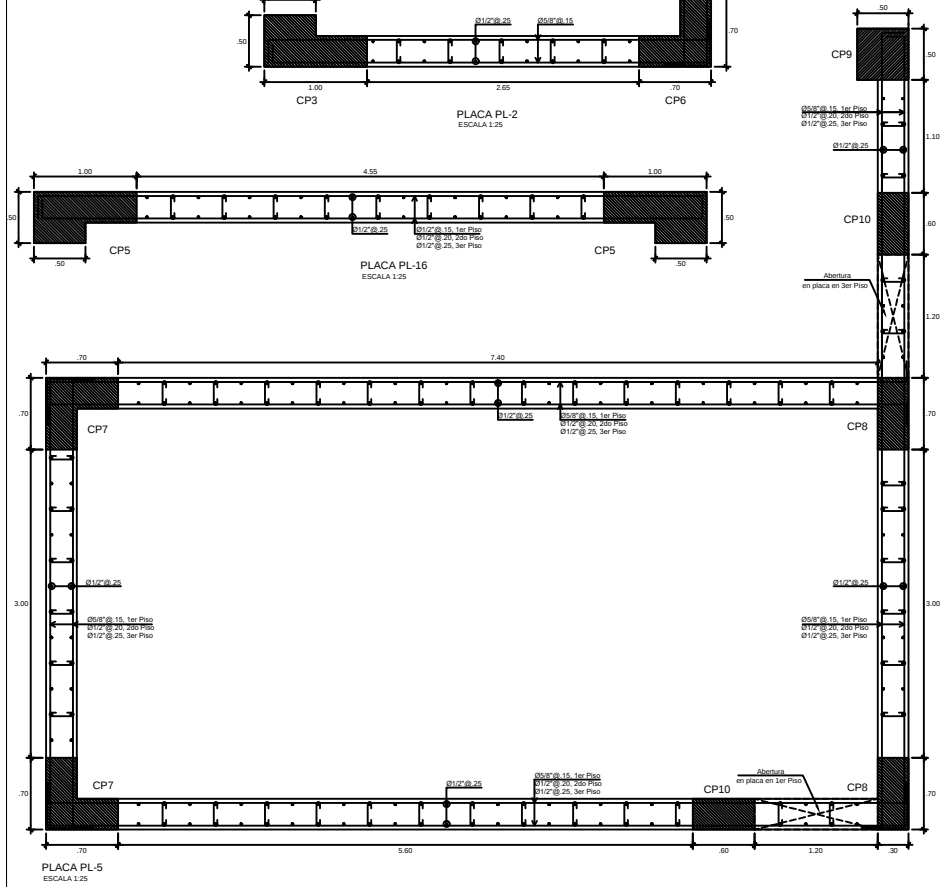
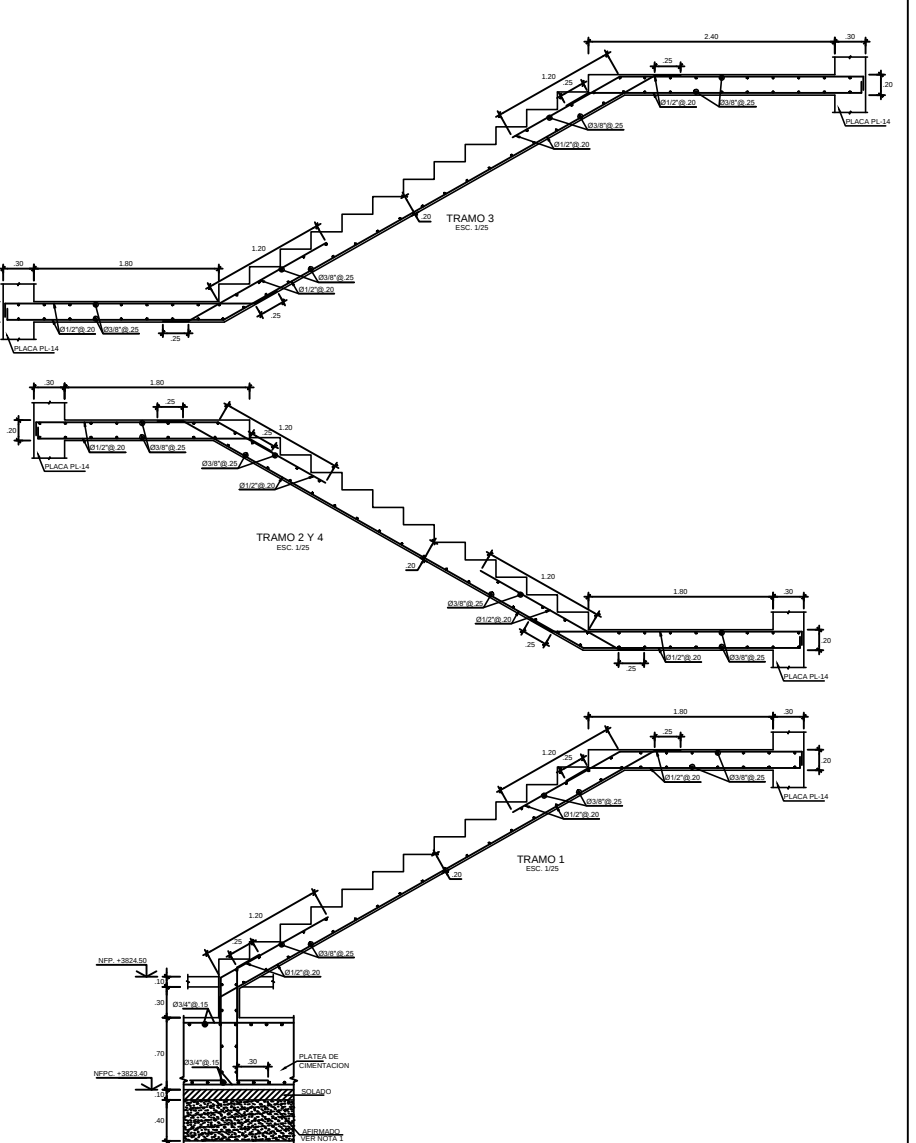
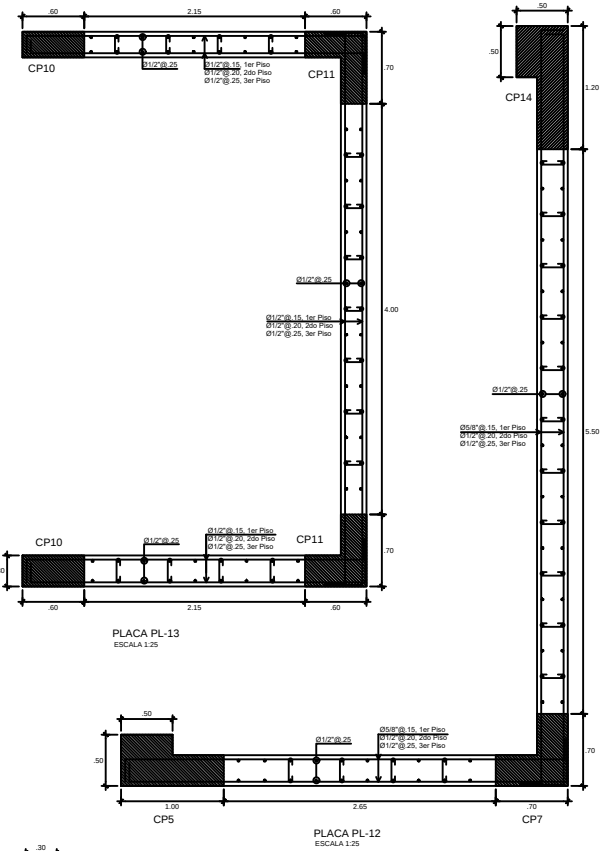
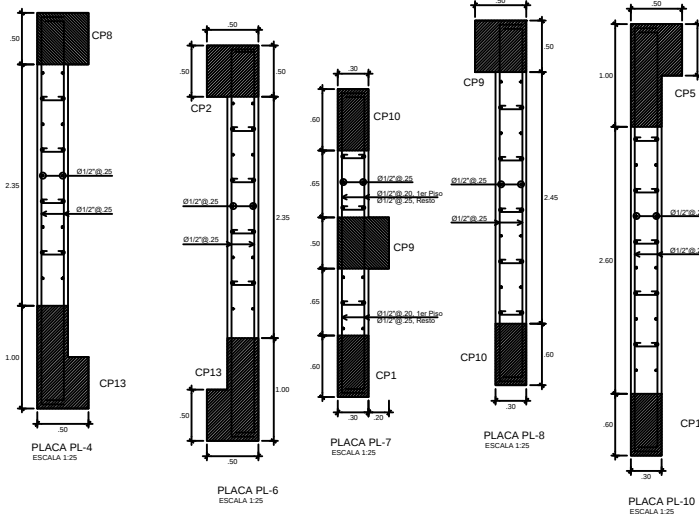
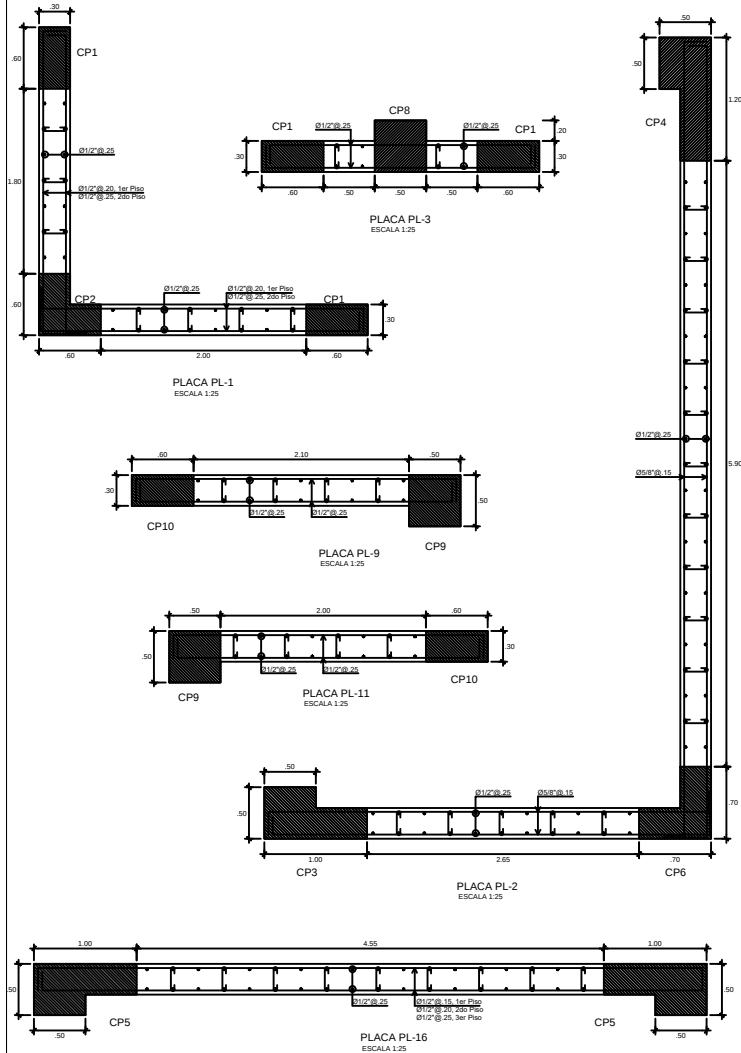
NOTA 1:
REINFORZO TIPO PARA CIMENTACION
EN CANAL DE 0.30m HASTA UN ESPESOR DE 0.40m
EL REINFORZO DE CIMENTACION DE 0.30m A
0.40m DEBE SER REINFORZO TIPO P.M.
REINFORZO TIPO P.M. SEGUN P.M.



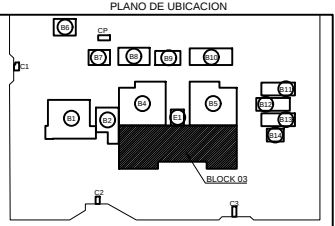
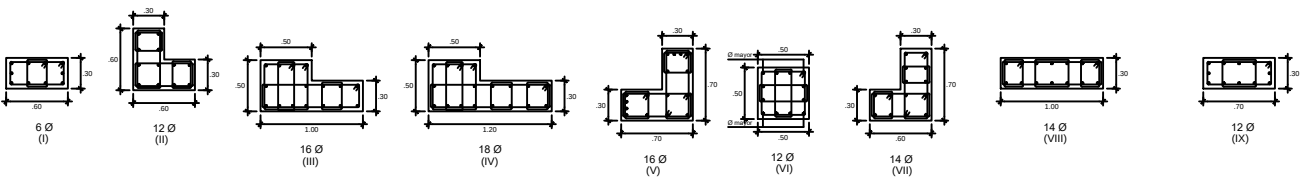
CUADRO DE COLUMNAS	
TIPO	REINFORZO
1° PISO	P1 15" x 15" 14" Ø @ 20" 14" Ø @ 20"
2° PISO	P1 15" x 15" 14" Ø @ 20" 14" Ø @ 20"
3° PISO	P1 15" x 15" 14" Ø @ 20" 14" Ø @ 20"



HOSPITAL WATERBURY INFANTIL COND. SUR DE JULIACA - PUNO		ESTRUCTURAS	
PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO	PROYECTO
DEPARTAMENTO:	PUNO	DEPARTAMENTO:	PUNO
PROVINCIA:	SAN ROBAN	PROVINCIA:	SAN ROBAN
DISTRITO:	JULIACA	DISTRITO:	JULIACA
LOCALIDAD:	EL ZARZAL	LOCALIDAD:	EL ZARZAL
ARQ. GUILLERMO TURZA AREVALO	CAP. 4180	ARQ. GUILLERMO TURZA AREVALO	CAP. 4180
ING. PEDRO GUARDAMINI MARTINEZ	CP-7165	ING. PEDRO GUARDAMINI MARTINEZ	CP-7165



CUADRO DE COLUMNAS DE CONFINAMIENTO DE PLACAS																
PISO	CONCRETO (kg/m³)	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	CP7	CP8	CP9	CP10	CP11	CP12	CP13	CP14	CP15
1º PISO	280	0.30 x 0.60 10 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 12 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 14 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 1.00 14 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.70 12 Ø 3/4" Ø12@25
		(II)	(II)	(II)	(IV)	(II)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(II)	(V)	(X)
2º PISO	280	0.30 x 0.60 10 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 12 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 14 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 1.00 14 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.70 12 Ø 3/4" Ø12@25
		(II)	(II)	(II)	(II)	(II)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(V)	(II)	(V)	(X)
3º PISO	280				0.50 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25		VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25		0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 14 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 1.00 14 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.50 12 Ø 3/4" Ø12@25	VER CLAVE 16 Ø 3/4" Ø12@25	0.30 x 0.70 12 Ø 3/4" Ø12@25
					(V)	(II)		(V)		(V)	(I)	(V)	(V)	(V)	(V)	(X)



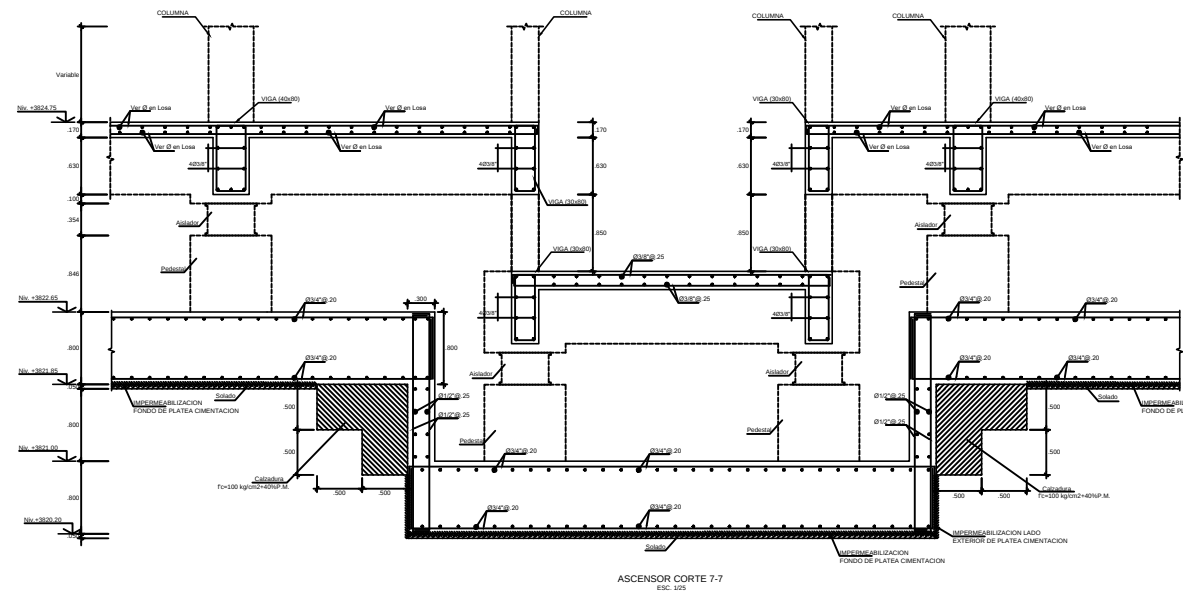
HOSPITAL MATERNO INFANTIL
CONO SUR DE JULIACA - PUNO

DEPARTAMENTO: PUNO
PROVINCIA: SAN ROMAN
DISTRITO: JULIACA
LOCALIDAD: TAPACHICH

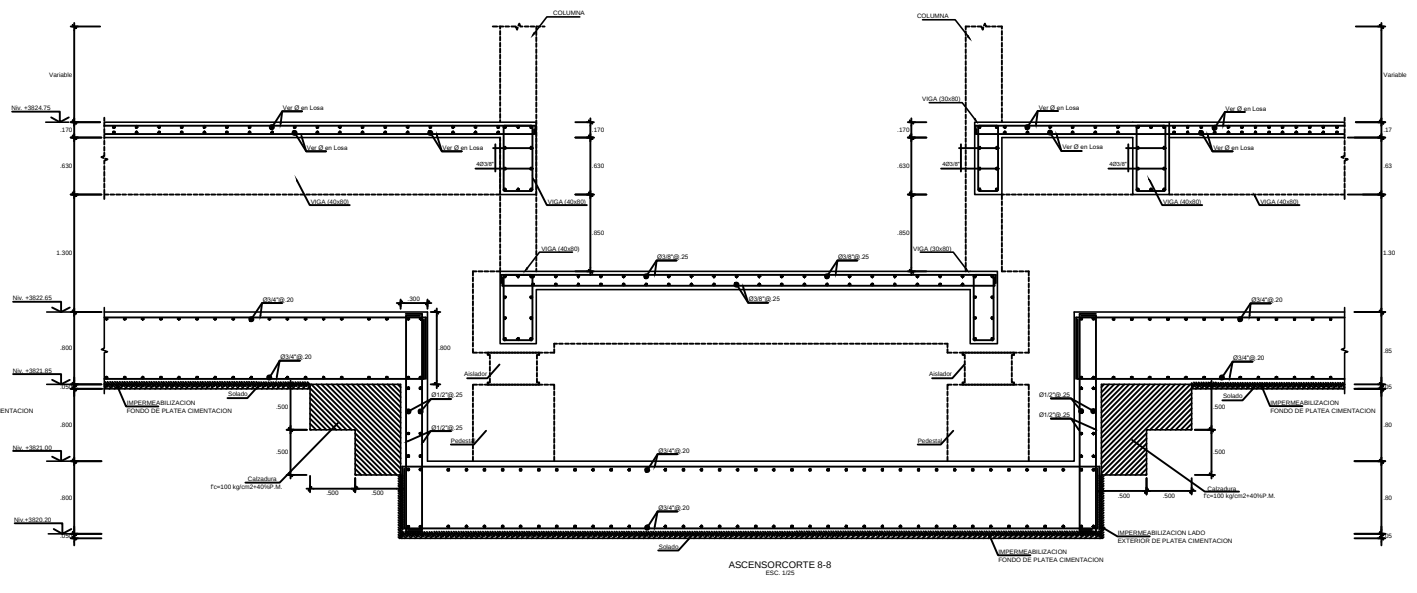
ARG. GUILLERMO TURZA AREVALO
ING. PEDRO GUARDAMINO MARTINEZ CIP:7165

ESTRUCTURAS

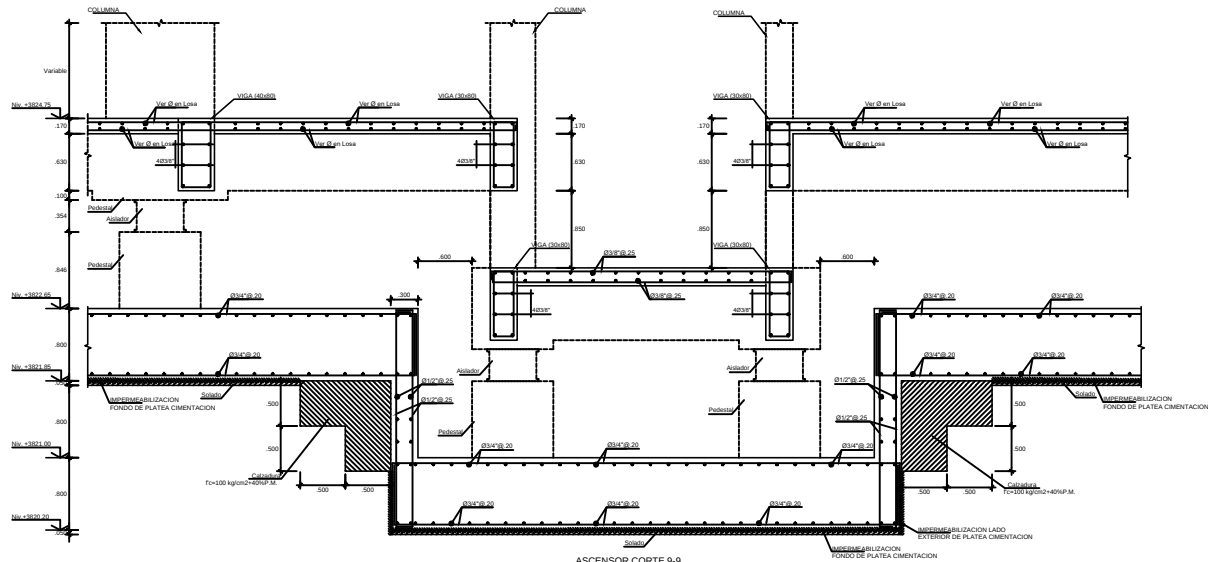
DETALLES DE CIMENTACION



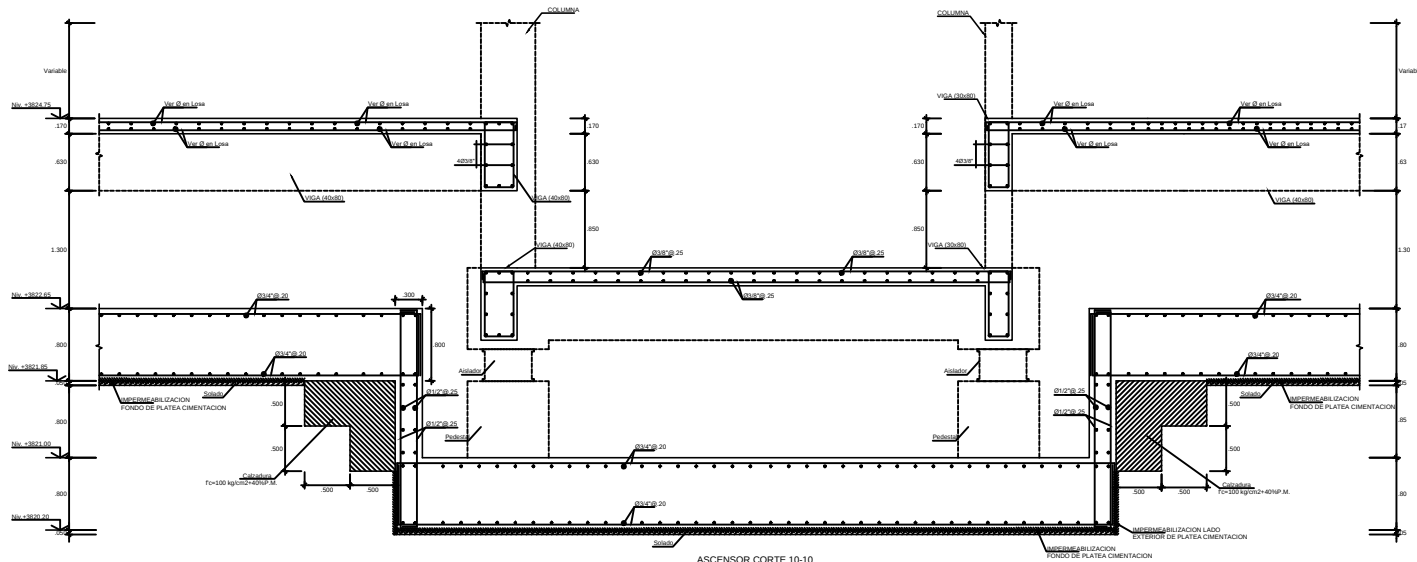
ASCENSOR CORTE 7-7
ESC. 1/25



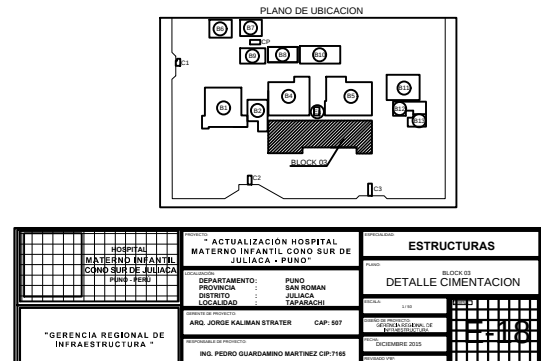
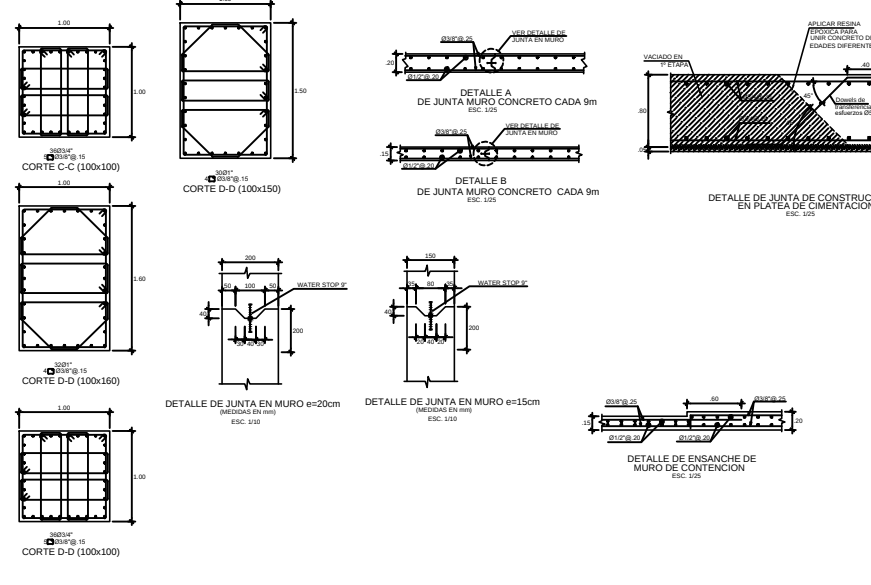
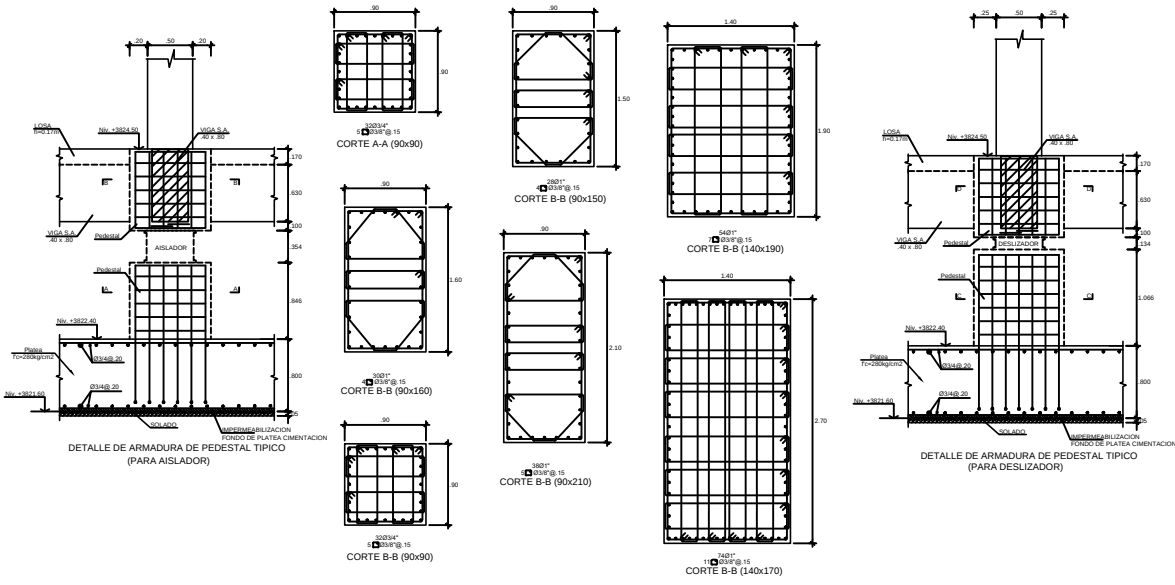
ASCENSOR CORTE 8-8
ESC. 1/25



ASCENSOR CORTE 9-9
ESC. 1/25



ASCENSOR CORTE 10-10
ESC. 1/25



HOSPITAL MATERNAL INFANTIL CONO SUR DE JULIACA PUNO - PERU	ACTUALIZACION HOSPITAL MATERNAL INFANTIL CONO SUR DE JULIACA - PUNO		ESTRUCTURAS BLOQUE 03 DETALLE CIMENTACION
	DEPARTAMENTO: PUNO PROVINCIA: SAN ROMAN DISTRITO: JULIACA LOCALIDAD: TAPACHICO	ING. JORGE KALMBART STRATER CAP: 887 ING. PEDRO GUARDAMINO MARTINEZ CP:7165	
"GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA"			PROYECTO: 03-000