

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



EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO INCREMENTAL DEL BLOQUE A
DEL HOSPITAL II-2 TARAPOTO PARA MEJORAR SU DESEMPEÑO
SÍSMICO EN 2024

TESIS

Presentada por:

Br. Michael Alexander Del Carpio Carpio

ORCID: 0000-0002-8752-6069

Asesor:

Mag. José Martín Velásquez Vargas

ORCID: 0000-0002-6338-7455

Para la obtener el grado académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS.

TACNA-PERÚ

2024

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

TESIS

**EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO INCREMENTAL DEL BLOQUE A
DEL HOSPITAL II-2 TARAPOTO PARA MEJORAR SU DESEMPEÑO
SÍSMICO EN 2024.**

Presentado por:

Br. Michael A. Del Carpio Carpio

**Tesis sustentada y aprobada el 30 de septiembre de 2024; ante el siguiente
jurado examinador:**

PRESIDENTE: Mtra. Dina Marlene COTRADO FLORES

SECRETARIO: Dr. Genner Alvarito VILLARREAL CASTRO

VOCAL : Dr. Dennys Geovanni CALDERÓN PANIAGUA

ASESOR : Mag. José Martín VELÁSQUEZ VARGAS

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo Michael Alexander Del Carpio, 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 (a) con DNI 41618112 Soy autor de la tesis titulada: EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO INCREMENTAL DEL BLOQUE A DEL HOSPITAL II-2 TARAPOTO, PERÚ, PARA MEJORAR SU DESEMPEÑO SÍSMICO EN 2024, con asesor: Mag. José Martín Velásquez Vargas.

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 trasgredido 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 12% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital 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 (a) de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que 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 terceros con motivo de acciones,

reclamaciones o conflictos 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, 30 de septiembre del 2024

A handwritten signature in black ink, enclosed in a faint circular stamp. The signature is stylized and appears to read 'Michael Alexander Del Carpio Carpio'.

Nombres y apellidos : Michael Alexander Del Carpio Carpio

DNI : 41618112

DEDICATORIA

A la memoria de mis abuelos,

Por ser las raíces de nuestra familia y ejemplo de vida. Su recuerdo siempre me inspira a seguir adelante con valentía y determinación.

A mi querida madre,

Por tu amor incondicional, tus sacrificios y tu apoyo constante. Eres mi inspiración y mi fuerza en cada paso de este camino.

A mi amada esposa,

Por tu paciencia, comprensión y amor inquebrantable. Gracias por estar a mi lado en cada momento, brindándome ánimo y apoyo.

A mis hijos,

Por ser mi motivación y mi alegría diaria. Todo lo que hago es para asegurar un futuro mejor para ustedes.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fuerza y la salud necesarias para llevar a cabo este proyecto y por guiarme en cada paso de mi vida.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi madre, cuyo amor y apoyo incondicional han sido fundamentales en cada etapa de mi vida académica y profesional. Tu fe en mí y tus sacrificios han sido una fuente constante de inspiración y motivación.

A mi esposa e hijos, gracias por su paciencia, comprensión y amor. Su apoyo ha sido esencial para alcanzar esta meta. A mi esposa, gracias por tu inquebrantable compañerismo y por ser mi roca en los momentos difíciles. A mis hijos, ustedes son mi mayor motivación y alegría, y su amor me impulsa a ser mejor cada día.

A mi asesor, Mg. José Martín Velásquez Vargas, gracias por su invaluable orientación, paciencia y conocimientos compartidos. Su experiencia y consejos han sido cruciales para el desarrollo de esta tesis.

A las autoridades y docentes de la Universidad Privada de Tacna, por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado y por el excelente nivel de enseñanza que me ha permitido crecer como profesional.

Finalmente, agradezco a todas las personas e instituciones que de alguna manera contribuyeron al desarrollo de esta tesis. Su colaboración y apoyo han sido fundamentales para la culminación de este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA	5
1.1. Planteamiento del problema.....	5
1.2. Formulación del problema	7
1.3. Justificación del problema (social-ODS, metodología y práctica).....	8
1.3.1. ODS 11: Ciudades y Comunidades Sociales	8
1.3.2. Metodología	9
1.3.3. Práctica.....	10
1.3.4. Impacto Social y Mejora de la Resiliencia Comunitaria.....	10
1.3.5. Fortalecimiento con Datos y Referencias	11
1.4. Objetivos.....	13
1.4.1. Objetivo general.....	13
1.4.2. Objetivos específicos	13
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	14
2.1. Antecedentes del Problema.....	14
2.1.1. Estudios sobre Vulnerabilidad Sísmica en Infraestructuras Hospitalarias:.....	14
2.1.2. Reforzamiento Estructural en Edificaciones Esenciales Existentes:.....	18
2.1.3. Estudios de Vulnerabilidad Sísmica Hospitalaria en San Martín, Perú:	23
2.1.4. Brechas y áreas poco exploradas:	25
2.2. Bases Teóricas	27
2.2.1. Técnicas de Reforzamiento Tradicionales	27
2.2.2. Reforzamiento Incremental.....	28
2.2.3. Guías de Reforzamiento.....	29
2.2.4. Ingeniería Basada en Objetivos de Desempeño	29
2.2.5. Reforzamiento por Objetivos de Desempeño	31
2.2.6. Las posibilidades de la Ingeniería orientada al desempeño	33
2.2.7. Metodología para Evaluar la Vulnerabilidad y el Desempeño Sísmico:.....	33
2.2.8. Análisis Dinámico Lineal Modal Espectral	35
2.2.9. Análisis Estático No Lineal PUSHOVER.....	36
2.2.10. Análisis Dinámico No Lineal TIEMPO HISTORIA	46
2.2.11. Análisis Dinámico Incremental No Lineal IDA.....	48
2.3. Definición de conceptos básicos:	50

CAPÍTULO III. MARCO METODOLOGÍCO.....	53
3.1. Hipótesis	53
3.1.1. Hipótesis general.....	53
3.1.2. Hipótesis específicas	53
3.2. Operacionalización de Variables	54
3.2.1. Identificación de la Variable Independiente	54
3.2.2. Identificación de la Variable Dependiente:.....	55
3.2.3. Dimensiones, Indicadores y Escalas de Medición:	55
3.3. Tipo de Investigación Aplicada	59
3.4. Nivel de Investigación	60
3.4.1. Nivel Explicativo	60
3.4.2. Nivel Aplicado	60
3.5. Diseño de Investigación.....	61
3.5.1. Enfoque Metodológico.....	61
3.5.2. Justificación del Diseño	61
3.5.3. Procedimientos Específicos	62
3.6. Población de Estudio.....	63
3.6.1. Descripción de la Población.....	63
3.6.2. Selección de la Muestra	63
3.6.3. Características de la Población de Estudio.....	63
3.7. Técnicas de Recolección de los Datos	64
3.7.1. Inspección visual.....	64
3.7.2. Análisis estructural computacional	64
3.7.3. Análisis de documentos (planos, dossier de control de calidad, programas de mantenimiento en proceso).....	65
3.7.4. Revisión documental.....	65
3.8. Análisis de Datos	66
3.8.1. Variables e Indicadores	66
3.8.2. Técnicas de Análisis.....	66
3.8.3. Interpretación de Resultados	67
CAPÍTULO IV. RESULTADOS.....	68
4.1. Descripción del Trabajo de Campo.....	68

4.1.1.	Solicitudes y Obtención de Información.....	68
4.1.2.	Visita al Sitio.....	68
4.1.3.	Verificación de la Estructura y Observaciones Visuales	69
4.1.4.	Obtención de Información Técnica.....	69
4.1.5.	Desarrollo del Modelo Estructural en ETABS.....	70
4.2.	Cambios Relevantes de la Aplicación de la Propuesta	72
4.2.1.	Incremento de la Rigidez Estructural.....	72
4.2.2.	Reducción de Deformaciones y Desplazamientos	72
4.2.3.	Mejora en la Capacidad de Resistencia Sísmica	73
4.2.4.	Optimización de la Distribución Modal y Reducción de Anisotropía	74
4.2.5.	Incremento en la Capacidad Resistente y Seguridad Global.....	74
4.3.	Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto. 75	
4.3.1.	Análisis Dinámico Lineal (Modal Espectral) del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto 75	
4.3.2.	Análisis No Lineal Estático Pushover del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto 84	
4.3.3.	Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto 106	
4.4.	Propuestas de Reforzamiento Estructural	117
4.4.1.	Selección de Metodología de Reforzamiento Estructural Incremental	117
4.4.2.	Justificación Basada en Investigaciones Previas.....	117
4.4.3.	Propuestas de Reforzamiento Estructural	119
4.5.	Evaluación de la Propuesta de Reforzamiento Estructural	121
4.5.1.	Análisis Post-Reforzamiento con Muros de Concreto Armado	121
4.5.2.	Análisis Post-Reforzamiento con Arriostres Metálicos	127
4.5.3.	Análisis Post-Ref. Combinación de Arriostres Metálicos y Muros de concreto armado 130	
4.5.4.	Evaluación y Selección de la Propuesta de Reforzamiento Estructural.....	135
4.6.	Reforzamiento Incremental Estructural del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto	145
4.6.1.	Evaluación de la Propuesta de Reforzamiento Incremental Estructural	147
4.6.2.	Cambios Observados Pre y Post-Reforzamiento Incremental	151
4.7.	Verificación de Hipótesis de la Investigación.....	161

4.7.1.	Hipótesis General.....	161
4.7.2.	Hipótesis Específicas	162
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS		165
CAPÍTULO VI. PROPUESTA DE SOLUCIÓN		178
6.1.	Descripción del Problema Focalizado.....	178
6.1.1.	Presentación del Nudo Crítico	178
6.1.2.	Características Relevantes del Caso.....	179
6.2.	Descripción de la Propuesta (Variable Independiente).....	180
6.3.	Proceso de Migración hacia la Solución Propuesta	182
6.4.	Costo de Implementación De La Propuesta	184
6.5.	Beneficios que Aporta la Propuesta	185
CONCLUSIONES		188
RECOMENDACIONES.....		191
REFERENCIAS.....		194
APÉNDICES.....		196

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Matriz de Objetivos Nivel de Desempeño de Edificaciones	30
Figura 2	Niveles de Desempeño Sísmico	31
Figura 3	Sectorización de la Curva de Capacidad	43
Figura 4	Punto de Demanda.....	45
Figura 5	Curvas de Desplazamiento vs. Tiempo	46
Figura 6	Curvas de Fuerza-Desplazamiento (Histeresis).....	47
Figura 7	Curvas de Deriva Máxima de Entrepiso vs. Tiempo	48
Figura 8	Curva IDA	49
Figura 9	Curva de Capacidad.....	50
Figura 10	Hospital II-2 Tarapoto.	64
Figura 11	Hospital II-2 Tarapoto	69
Figura 12	Bloque A Modelado en Etabs	71
Figura 13	Bloque A Modelado en Etabs	71
Figura 14	Espectro Elástico T. vs. C.....	78
Figura 15	Curva Esfuerzo Deformación del concreto.....	87
Figura 16	Curva Esfuerzo deformación del Acero de refuerzo	87
Figura 17	Modelado del acero de refuerzo según los planos.	88
Figura 18	Fuerzas Laterales a los Diafragmas Rígidos.....	90
Figura 19	Caso Primer Modo.....	91

Figura 20 Factores de Escala aplicado a los Modos Principales.....	92
Figura 21 Espectro Elástico propuesto por el ATC-40	97
Figura 22 Espectros de Demanda según el Nivel Sísmico (ATC-40).....	98
Figura 23 Curva capacidad en dirección X (Método de C. Manual de fuerzas Laterales) ...	100
Figura 24 Curva capacidad en dirección X (Método del 1er Modo)	100
Figura 25 Curva capacidad en dirección X (Método de los Modos Significativos)	101
Figura 26 Curva capacidad en dirección Y (Método Calculo Manual de fuerzas laterales)	101
Figura 27 Curva capacidad en dirección Y (Método 1er Modo)	102
Figura 28 Curva capacidad en dirección Y (Métodos de los Modos Significativos).....	102
Figura 29 Curva Capacidad en dirección X (Superposición de Métodos).....	103
Figura 30 Curva Capacidad en dirección Y (Superposición de Métodos).....	103
Figura 31 Puntos de Desempeño en dirección X	105
Figura 32 Puntos de Desempeño en dirección Y	105
Figura 33 Curva de Capacidad en X	108
Figura 34 Curva de Capacidad en Y	109
Figura 35 Puntos de Desempeño en dirección X	110
Figura 36 Puntos de Desempeño en dirección Y	110
Figura 37 Ubicación de muros de refuerzo	122
Figura 38 Curva Capacidad dirección X, Ref. Muros (Método calculo manual).	123
Figura 39 Curva Capacidad dirección X, Ref. Muros (Método 1er Modo).	123
Figura 40 Curva Capacidad dirección X, Ref. Muros (Método modos Significativos).....	124
Figura 41 Curva Capacidad dirección X Ref. Muros (Superposición de Métodos).	124
Figura 42 Puntos de Desempeño en dirección X, Ref. Muros.	125
Figura 43 Ubicación de arriostres de refuerzos.....	127
Figura 44 Curva Capacidad Ref. Arriostres Metálicos en Dirección X.....	128
Figura 45 Puntos de Desempeño en dirección X, Ref. Arriostres.	128
Figura 46 Ubicación de Arriostres y Muros de refuerzos.	130
Figura 47 Curva Capacidad Ref. Arriostres y Muros en Dirección X(C. Manual).....	131
Figura 48 Curva Capacidad Ref. Arriostres y Muros en Dirección X(1er Modo).....	131
Figura 49 Curva Capacidad Ref. Arriostres y Muros en Dirección X(M. Significativos)....	132
Figura 50 C. Cap. dirección X Ref. con Arriostres y Muros (Superposición de métodos). 132	
Figura 51 Puntos de Desempeño en dirección X, Ref. Arriostres y Muros de concreto.....	133
Figura 52 Superposición de puntos de desempeño de cada opción de reforzamiento y modelo base	144
Figura 53 Comparación de curvas de Capacidad Pre-Reforzamiento y las Fases de Reforzamiento Incremental.....	148
Figura 54 Puntos de Desempeño, Estructura existente y Fases del Ref. Incremental.....	149
Figura 55 Fachada del Hospital II-2 Tarapoto	198
Figura 56 Fachada del Hospital II-2 Tarapoto	198
Figura 57 Fachada del Hospital II-2 Tarapoto	199
Figura 58 Pasadizos típicos del Hospital II-2 Tarapoto	199
Figura 59 Fachada del Hospital II-2 Tarapoto	200
Figura 60 Ductos del Hospital II-2 Tarapoto	200

Figura 61 Escaleras y cajas de Ascensor Hospital II-2 Tarapoto.....	201
Figura 62 Fachada y ductos del Hospital II-2 Tarapoto.....	201
Figura 63 Modelo Pushover dirección X pre-reforzamiento, Método Calculo Manual de fuerzas laterales aplicadas a los diafragmas.....	202
Figura 64 Modelo Pushover dirección X pre-reforzamiento, Método Primer Modo.....	202
Figura 65 Modelo Pushover en dirección X pre-reforzamiento, Método de Modos Significativos.	203
Figura 66 Modelo Pushover en dirección Y pre-reforzamiento, Método Calculo Manual de fuerzas laterales aplicadas a los diafragmas.....	203
Figura 67 Modelo Pushover en dirección Y pre-ref. Método del Primer Modo.....	204
Figura 68 Modelo Pushover en dirección Y pre-ref. Método de Modos Significativos.	204
Figura 69 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. con muros de concreto. Método Calculo Manual de fuerzas laterales aplicadas a los diafragmas.....	205
Figura 70 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. con muros de concreto, Método del Primer Modo	205
Figura 71 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. con muros de concreto, Método de Modos Significativos.	206
Figura 72 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos, Método C. Manual de fuerzas laterales aplicados a los diafragmas.....	206
Figura 73 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos, Método del Primer Modo.....	207
Figura 74 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos, Método de Modos Significativos.	207
Figura 75 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos y Muros de concreto, Método C. Manual de fuerzas laterales aplicadas al diafragma.	208
Figura 76 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos y Muros de concreto, Método del Primer Modo	208
Figura 77 Modelo Pushover en dirección X, Post-ref. Arriostres Metálicos y Muros de concreto, Métodos de Modos Significativos.....	209
Figura 78 Modelo Pushover en dirección X (FASE I), Método C. Manual de fuerzas laterales aplicadas al diafragma.....	209
Figura 79 Modelo Pushover en dirección X (FASE I), Método del Modo Principal	210
Figura 80 Modelo Pushover en dirección X (FASE I), Método de Modos Significativos ...	210
Figura 81 Modelo Pushover en dirección X (FASE II) Método C. Manual de fuerzas laterales aplicadas al diafragma.....	211
Figura 82 Modelo Pushover en dirección X (FASE II), Método del Modo Principal	211
Figura 83 Modelo Pushover en dirección X (FASE II), Método Modos Significativos.....	212

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de Peligro Sísmico	30
Tabla 2 Espectro Elástico.....	77

Tabla 3 Factor de Masa Participativa y Modos de Vibración.....	80
Tabla 4 Peso del Edificio	81
Tabla 5 Cortante Dinámica	81
Tabla 6 Cortante Dinámica por Sismo.....	82
Tabla 7 Derivas de entre Piso X.....	82
Tabla 8 Derivas de entre Piso Y.....	83
Tabla 9 Factor de Escala Modos Significativos.....	92
Tabla 10 Parámetros de los Sismos del comité VISION 2000	95
Tabla 11 Parámetros Sísmicos para Espectros Elásticos	96
Tabla 12 Aceleración y Desplazamiento Espectral VISSION 2000.....	98
Tabla 13 Períodos Fundamentales y Factores de Masa Participativa	106
Tabla 14 Derivas Máximas de Entrepiso	107
Tabla 15 Base Shear vs Desplazamiento Monitoreado en Dirección X	112
Tabla 16 Base Shear vs Desplazamiento Monitoreado en Dirección Y	113
Tabla 17 Resultados Post- Ref. con Muros de Concreto Armado	126
Tabla 18 Factor de Masa Participativa Post-ref. con Muros de Concreto Armado	126
Tabla 19 Resultados Post- Ref. con Arriostres	129
Tabla 20 Factor de Masa Participativa Post-ref. con Arriostres	129
Tabla 21 Resultados Post- Ref. con Muros y Arriostres.....	134
Tabla 22 Factor de Masa Participativa Post-ref. con Muros y Arriostres	134
Tabla 23 Períodos Fundamentales Pre y Post-Reforzamiento	135
Tabla 24 Peso de la Edificación Pre y Post-Reforzamiento.....	136
Tabla 25 Comparación de Deformaciones Pre y Post-Reforzamiento.....	138
Tabla 26 Comparación de Desplazamientos Pre y Post-Reforzamiento.....	139
Tabla 27 Comparación de Desempeño Pre y Post-Reforzamiento	140
Tabla 28 Desempeños Obtenidos en la dirección X	140
Tabla 29 Cortante Sísmico de Diseño en dirección X	141
Tabla 30 Factor de Masa Participativa - Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres	142
Tabla 31 Resumen de Modos Necesarios para Alcanzar el 90% de Masa Participativa	142
Tabla 32 Relación entre Derivas Máximas en X y Y (% de Anisotropía).....	143
Tabla 33 Puntos de Desempeño Estructural en dirección X.....	144
Tabla 34 Resultado de Análisis Dinámico lineal Post Reforzamiento Incremental.....	149
Tabla 35 Factor de Masa Participativa FASE I.....	150
Tabla 36 Factor de Masa Participativa FASE II	150
Tabla 37 Factor de Masa Participativa FASE III.....	150
Tabla 38 Período Fundamental en dirección X por Fase	151
Tabla 39 Derivas en dirección X por Fase de Ref.	153
Tabla 40 Desplazamientos totales en dirección X por Fase.....	154
Tabla 41 Capacidad de Resistencia Sísmica en dirección por Fase de Ref.	155
Tabla 42 Cortante Sísmico de Diseño en dirección X por Fase de Ref.	156
Tabla 43 Factor de Masa Participativa por Fase de Ref.....	157
Tabla 44 Anisotropía por Fases de Ref.	158
Tabla 45 Puntos de desempeño por Fase de Ref.....	159

ÍNDICE DE APÉNDICES

Apéndice A: Matriz de consistencia del informe final de tesis.	196
Apéndice B: Matriz de datos.	197
Apéndice C: Panel fotográfico.....	198
Apéndice D: Modelos en ETABS.....	202
Apéndice E: Informe Técnico del Hospital II-2 Tarapoto.....	213
Apéndice F: Planos en Formato DWG.....	239

RESUMEN

El objetivo principal de este estudio es evaluar y mejorar el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto mediante un plan de reforzamiento estructural incremental. Se emplearon análisis modal y análisis estático no lineal (Pushover) para determinar la vulnerabilidad de la estructura existente. Los resultados iniciales indicaron que la estructura cumplía con los requisitos normativos en términos de derivas y periodos fundamentales, pero presentaba niveles de desempeño sísmico "Cercano al Colapso" para sismos máximos, lo que destacó la necesidad de reforzamiento, especialmente en la dirección X.

El plan de reforzamiento se diseñó en fases, utilizando una combinación de muros de concreto armado y arriostres metálicos. Cada fase fue evaluada mediante análisis Pushover, mostrando mejoras significativas en la rigidez estructural y la capacidad de carga. La implementación de las fases de reforzamiento resultó en una reducción del 18.6% en los periodos fundamentales en la dirección X y del 5.9% en la dirección Y, un aumento del 25% en la capacidad de carga lateral, una reducción del 36% en las derivas laterales, un incremento del 22% en las fuerzas cortantes estáticas y dinámicas, y una mejora en la capacidad de disipación de energía de la estructura.

Estos resultados demuestran que el reforzamiento incremental es una estrategia efectiva para mejorar la resiliencia sísmica de infraestructuras críticas, asegurando su operatividad durante eventos sísmicos. Se recomienda adoptar esta metodología en otras estructuras esenciales y desarrollar políticas que promuevan su implementación.

PALABRAS CLAVE

Desempeño sísmico, Hospital II-2 Tarapoto, Análisis Pushover, Reforzamiento estructural incremental, Vulnerabilidad sísmica, Plan de reforzamiento, Rigidez estructural, Capacidad de carga, Reducción de derivas, Capacidad sísmica.

ABSTRACT

The main objective of this study is to evaluate and enhance the seismic performance of Block A of Hospital II-2 Tarapoto through an incremental structural reinforcement plan. Modal analysis and nonlinear static analysis (Pushover) were used to assess the existing structure's vulnerability. Initial results indicated that the structure met regulatory requirements in terms of drifts and fundamental periods but showed a "Near Collapse" seismic performance level for maximum earthquakes, highlighting the need for reinforcement, especially in the X direction.

The reinforcement plan was designed in phases, using a combination of reinforced concrete walls and steel braces. Each phase was evaluated using Pushover analysis, showing significant improvements in structural rigidity and load capacity. The implementation of the reinforcement phases resulted in an 18.6% reduction in fundamental periods in the X direction and a 5.9% reduction in the Y direction, a 25% increase in lateral load capacity, a 30% reduction in lateral drifts, a 22% increase in static and dynamic shear forces, and an improvement in the energy dissipation capacity of the structure.

These results demonstrate that incremental reinforcement is an effective strategy to enhance the seismic resilience of critical infrastructures, ensuring their operability during seismic events. The adoption of this methodology in other essential structures and the development of policies to promote its implementation are highly recommended.

KEYWORDS

Seismic performance, Hospital II-2 Tarapoto, Pushover analysis, Incremental structural reinforcement, Seismic vulnerability, Reinforcement plan, Structural rigidity, Load capacity, Drift reduction, Seismic capacity.

INTRODUCCIÓN

La región de San Martín, ubicada en una zona de alta sismicidad del Perú, enfrenta un desafío constante en términos de la seguridad y operatividad de sus infraestructuras esenciales, especialmente las instalaciones de salud. El Hospital II-2 Tarapoto, una de las principales instituciones de salud de la región, debe asegurar su funcionamiento continuo durante y después de eventos sísmicos para proporcionar atención médica urgente y esencial.

En este contexto, la evaluación y mejora del desempeño sísmico de las estructuras hospitalarias se convierte en una prioridad. Este estudio se enfoca en el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto perteneciente al MINSA, utilizando un enfoque de reforzamiento estructural incremental para mejorar su capacidad de resistir sismos severos. Este enfoque implica la implementación de mejoras estructurales de manera gradual y coordinada con los planes de mantenimiento programados, permitiendo una adaptación efectiva y menos disruptiva con las funciones del hospital y las necesidades de seguridad.

La relevancia de esta investigación es crucial no solo a nivel local, donde el Hospital II-2 Tarapoto juega un papel esencial en la atención sanitaria de la región, sino también a nivel global. En muchas partes del mundo, las instalaciones de salud están expuestas a riesgos sísmicos similares y enfrentan desafíos comparables en términos de resistencia estructural y operatividad post-sismo. Estudios internacionales han demostrado la importancia de contar con infraestructuras resilientes que puedan mantenerse operativas durante y después de desastres naturales para asegurar la continuidad de los servicios de emergencia y minimizar las pérdidas humanas y económicas.

El enfoque de reforzamiento estructural incremental propuesto en este estudio se alinea con las tendencias globales en ingeniería sísmica y gestión de riesgos, promovidas por organizaciones como la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) y la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE). Estas organizaciones abogan por estrategias de intervención progresiva que no solo

mejoren la seguridad estructural, sino que también sean económicamente viables y operativamente factibles.

Para evaluar el comportamiento inicial de la estructura, se utilizó un análisis dinámico lineal modal espectral conforme a la Norma Técnica Peruana E.030. Los resultados mostraron que la estructura cumplía con los requisitos normativos en términos de derivas y períodos fundamentales. Sin embargo, el análisis no lineal estático (Pushover) reveló que la estructura presentaba niveles de desempeño sísmico de "Seguridad de Vida" para sismos de diseño y "Cercano al Colapso" para sismos máximos, indicando la necesidad de reforzamiento adicional, especialmente en la dirección X de la estructura.

El plan de reforzamiento estructural se diseñó en fases, utilizando una combinación de muros de concreto armado y arriostres metálicos. Cada fase del plan fue evaluada mediante análisis no lineal estático Pushover y dinámico lineal modal espectral, mostrando mejoras significativas en la rigidez estructural, la capacidad de carga y la reducción de derivas y desplazamientos. Específicamente, los resultados mostraron una reducción de los períodos fundamentales en un 18.6% en la dirección X y un 5.9% en la dirección Y. Además, se observó un incremento del 25% en la capacidad de carga y una reducción del 22% en las derivas máximas. La cortante estática se incrementó en un 30% y la cortante dinámica en un 28%. Además, se observó una disminución del 35% en los desplazamientos laterales máximos y una mejora del 40% en la resistencia global de la estructura. Estas mejoras no solo incrementaron la seguridad estructural, sino que también optimizaron la funcionalidad del hospital durante y después de un evento sísmico, lo que respalda la viabilidad y efectividad del reforzamiento incremental como una estrategia sostenible y para reforzar edificaciones esenciales, sin tener que dejar de funcionar.

Este estudio no solo aporta una solución técnica específica para el Hospital II-2 Tarapoto, sino que también proporciona un modelo replicable para otras instituciones en zonas sísmicas, promoviendo una cultura de prevención y resiliencia ante desastres naturales. La implementación de estas medidas es crucial

para la protección de vidas humanas y la continuidad operativa de servicios esenciales en situaciones de emergencia. Se recomienda la adopción de esta metodología en otras estructuras esenciales y el desarrollo de normativas y políticas que promuevan su implementación. Además, la capacitación continua de profesionales y el monitoreo constante de las estructuras reforzadas son esenciales para garantizar la efectividad a largo plazo de estas medidas.

Los resultados de esta investigación muestran que la estrategia de reforzamiento incremental es altamente efectiva y económica para mejorar el desempeño sísmico de infraestructuras esenciales que requieren refuerzo. La implementación de muros de concreto armado y arriostres metálicos aumentó significativamente la rigidez y capacidad de carga de la estructura, reduciendo las derivas y desplazamientos y son métodos que en los mercados nacionales se disponen de materiales y mano de obra. Estos hallazgos son fundamentales para establecer un enfoque práctico y escalable que puede ser adoptado por otros establecimientos de salud con estructura vulnerable y en zonas de alta sismicidad. La relevancia práctica de este estudio radica en su potencial para mejorar la resiliencia sísmica de los hospitales, garantizando su operatividad durante eventos sísmicos y protegiendo la vida de los pacientes y el personal.

La investigación se estructura de la siguiente manera:

- Capítulo I: El Problema – Se define el problema de investigación, se formulan las preguntas de investigación y se justifica la importancia del estudio.
- Capítulo II: Marco Teórico – Se revisan los antecedentes y las bases teóricas que sustentan el estudio, además de definir los conceptos clave.
- Capítulo III: Marco Metodológico – Se detalla la metodología de investigación, incluyendo el diseño, las técnicas de recolección de datos y su análisis.

- Capítulo IV: Resultados – Se presentan y analizan los resultados obtenidos a partir de los análisis estructurales y las simulaciones realizadas.
- Capítulo V: Discusión de Resultados – Se interpretan los resultados en el contexto del marco teórico y se comparan con estudios previos.
- Capítulo VI: Propuesta de Solución – Se describe la propuesta de reforzamiento incremental y se evalúan sus beneficios y costos.
- Conclusiones y Recomendaciones – Se resumen los hallazgos más importantes y se ofrecen recomendaciones prácticas para futuras investigaciones.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Perú se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, principalmente debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico. Esta región es conocida por su intensa actividad tectónica, donde la subducción de la placa de Nazca bajo la placa continental sudamericana genera frecuentes terremotos y actividad volcánica. La actualización periódica de la Norma Técnica Peruana NTP E.030 "Diseño Sismorresistente" responde a eventos sísmicos significativos y avances en la comprensión de la ingeniería sísmica.

Históricamente, algunos de los terremotos que han influido en estas actualizaciones incluyen:

- El Terremoto de Áncash de 1970, con una magnitud de 7.8, causó aproximadamente 70,000 muertes y dejó a 800,000 personas sin hogar, devastando la región de Áncash y áreas cercanas. Este evento resaltó la necesidad de mejorar las normas de construcción sismorresistente en el Perú.
- El Terremoto de Lima de 1974, con una magnitud de 8.0, que sacudió la capital peruana, causando una considerable cantidad de muertes y daños materiales.
- Los terremotos en el sur del Perú en 1996 y 2001, con magnitudes de 6.4 y 6.9 respectivamente.
- El terremoto de 2005 en la región de Loreto y San Martín, con una magnitud de 7.0, afectó significativamente la infraestructura de salud, colapsando varias clínicas y centros de salud.

En respuesta a estos eventos, en la N.T.P. E.030 la región de San Martín se le incrementó su factor de zona sísmica, resaltando la importancia de evaluar y reforzar

las edificaciones esenciales existentes en la región, como los hospitales, para garantizar su operatividad en caso de un sismo severo.

El sistema de salud en el Departamento de San Martín organiza la atención en diferentes niveles de complejidad. Cuenta con 24 establecimientos de salud de primer nivel, que abarcan el 70-80% de la demanda del sistema y ofrecen principalmente servicios de promoción y protección de la salud, así como diagnóstico y tratamiento de necesidades médicas comunes, con recursos menos especializados y tecnificados. [1] Sin embargo, solo hay dos hospitales de segundo nivel en el departamento: el Hospital II-2 Tarapoto, y el Hospital II-1 Moyobamba del MINSA. Estos hospitales, que atienden entre el 12 y el 22% de la demanda, pero solo uno se tiene un único hospital de segundo nivel de atención, y sexto nivel de complejidad que es el Hospital II-2 Tarapoto, ofrece servicios de atención de complejidad intermedia, como cirugías y tratamientos especializados. Los casos más complejos se refieren a hospitales de tercer nivel, generalmente mediante transporte aéreo desde el único aeropuerto del departamento, el Aeropuerto Cadete FAP Guillermo del Castillo Paredes en Tarapoto. Por lo tanto, es crucial que este hospital II-2 mantengan su operatividad después de un sismo.

El Hospital II-2 Tarapoto se destaca como un caso de estudio debido a sus vulnerabilidades sísmicas heredadas de su construcción, que inició en 2014, previa a las actualizaciones normativas en materia sísmica del 2016. A pesar de ser una de las infraestructuras médicas más grandes del país, con una inversión significativa de más de S/ 183 millones y una capacidad proyectada para atender a una población de 300,000 personas, estas vulnerabilidades representan un riesgo significativo para la capacidad de respuesta del hospital en emergencias médicas. [2] Por lo tanto, estas vulnerabilidades representan un riesgo para la capacidad de respuesta del hospital en situaciones de emergencia sísmica, lo que subraya la necesidad de estrategias efectivas de reforzamiento estructural.

El problema central de esta investigación se centra en identificar específicamente las deficiencias estructurales del Hospital II-2 Tarapoto y determinar los métodos óptimos de reforzamiento estructural incremental para mejorar su desempeño sísmico. Este enfoque permitirá garantizar la operatividad y seguridad del hospital ante eventos sísmicos en la Región de San Martín, cumpliendo con los estándares de seguridad establecidos por las normativas sísmicas vigentes. Además, se busca minimizar la interrupción de los servicios médicos durante la implementación de estas mejoras, asegurando que el hospital pueda seguir funcionando de manera efectiva en todo momento.

1.2. Formulación del problema

Pregunta Principal:

¿De qué manera la implementación de un plan de reforzamiento estructural incremental puede mejorar significativamente el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, garantizando su operatividad continua durante y después de eventos sísmicos en una zona de alta sismicidad como Tarapoto?

Preguntas secundarias:

1. ¿Cuáles son las deficiencias estructurales críticas que presenta el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto y cómo contribuyen a su vulnerabilidad sísmica en el contexto de la sismicidad de la Región de San Martín?
2. ¿Qué sistemas de reforzamiento estructural, considerando criterios técnicos (como compatibilidad estructural y eficacia sísmica) y prácticos (como viabilidad económica y mínima interferencia operativa), son los más adecuados para mejorar el desempeño sísmico del Bloque A sin interrumpir sus funciones esenciales?

3. ¿Cuál es la configuración óptima de reforzamiento estructural que, a través de análisis dinámico lineal modal espectral y análisis no lineal, maximiza los indicadores de desempeño sísmico del Bloque A y asegura su funcionalidad durante eventos sísmicos?
4. ¿Cómo puede desarrollarse un plan de reforzamiento estructural incremental basado en la configuración óptima, que permita abordar las deficiencias más críticas desde la primera fase y optimizar costos y tiempos de intervención, comparado con una intervención integral, en un hospital esencial como el II-2 Tarapoto?

1.3. Justificación del problema (social-ODS, metodología y práctica)

1.3.1. ODS 11: Ciudades y Comunidades Sociales

Esta investigación respalda directamente el Objetivo de Desarrollo Sostenible 11, "Ciudades y Comunidades Sostenibles", al mejorar la seguridad y el rendimiento de la infraestructura hospitalaria en una región altamente sísmica. La capacidad de los hospitales para mantenerse operativos durante y después de un sismo es crucial para la continuidad de los servicios de salud en emergencias, protegiendo la vida y el bienestar de la comunidad. El plan de reforzamiento incremental para el Hospital II-2 Tarapoto no solo garantizará su operatividad en eventos sísmicos, sino que también servirá como un modelo replicable para otras infraestructuras críticas en regiones con características similares.

También se alinea con otros ODS clave:

1. ODS 3: Salud y Bienestar

- Fortalecer la capacidad de todos los países, en particular los países en desarrollo, para la alerta temprana, la reducción de riesgos y la gestión de riesgos para la salud nacional y global.

- La mejora en el desempeño sísmico del Hospital II-2 Tarapoto asegura la continuidad operativa del hospital durante y después de un evento sísmico, garantizando el acceso a servicios de salud esenciales y reduciendo las muertes y enfermedades derivadas de desastres naturales.

2. ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

- Meta 9.1: Desarrollar infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, incluidas infraestructuras regionales y transfronterizas, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano, con un enfoque en el acceso asequible y equitativo para todos.
- El reforzamiento incremental del hospital promueve la creación de infraestructuras resilientes que pueden soportar eventos sísmicos severos, asegurando que las instalaciones esenciales con vulnerabilidad estructural continúen funcionando, lo que es vital para el bienestar humano y el desarrollo económico de la región.

1.3.2. Metodología

El enfoque de reforzamiento estructural incremental es una estrategia clave en este estudio debido a sus múltiples beneficios para la seguridad sísmica del Hospital II-2 Tarapoto. Este enfoque se justifica por varias razones:

1. **Adaptabilidad y Flexibilidad:** Permite la implementación gradual de medidas de reforzamiento, ajustándose a las limitaciones presupuestarias y operativas del hospital, y minimizando las interrupciones en su funcionamiento.
2. **Eficiencia Económica:** La distribución de los costos a lo largo del tiempo hace que el proyecto sea más manejable financieramente, permitiendo además realizar ajustes en función de los resultados intermedios.
3. **Reducción del Riesgo Progresivo:** Con una implementación incremental, se logra una reducción progresiva del riesgo sísmico, mejorando la seguridad del edificio en cada fase del proyecto.

4. **Validación Continua:** La metodología incremental permite una evaluación continua del desempeño estructural después de cada fase de reforzamiento, facilitando ajustes y optimizaciones posteriores.
5. **Cumplimiento Normativo:** La Norma Técnica Peruana E0.30 y guías internacionales como la "Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation" de FEMA proporcionan un marco sólido que asegura que las intervenciones cumplan con los más altos estándares de seguridad y calidad.

1.3.3. Práctica

El impacto práctico de esta investigación es directo y significativo para la seguridad y resiliencia de la población de San Martín. Al garantizar la continuidad de los servicios de salud durante crisis, este estudio establece un enfoque metodológico claro y transferible para futuras intervenciones en infraestructuras críticas en contextos sísmicos similares en Perú. Los resultados de este estudio tienen el potencial de influir en la visión de gestión de presupuestos para proyectos de reforzamiento en Perú, promoviendo políticas que incentiven el reforzamiento incremental de infraestructuras esenciales. Esta acción contribuirá significativamente a la protección de vidas y a la reducción de daños materiales en zonas sísmicas, fortaleciendo la resiliencia de las comunidades afectadas.

1.3.4. Impacto Social y Mejora de la Resiliencia Comunitaria

La justificación social de este estudio se basa en varios aspectos clave:

1. **Continuidad Operativa:** Mejorar la resiliencia sísmica del Hospital II-2 Tarapoto asegurará su operatividad durante y después de eventos sísmicos. Esto es esencial para garantizar la prestación continua de servicios de salud en momentos de emergencia, cuando la demanda por atención médica aumenta significativamente.

2. **Protección de Vidas:** Reducir la vulnerabilidad sísmica del hospital protege tanto a los pacientes como al personal médico, disminuyendo el riesgo de lesiones y muertes durante un sismo.
3. **Resiliencia Comunitaria:** Un hospital que mantiene sus operaciones durante y después de un sismo contribuye significativamente a la resiliencia de la comunidad. La capacidad de proporcionar atención médica continua fortalece la respuesta de emergencia y la recuperación post-desastre, minimizando el impacto en la salud pública.
4. **Modelo Replicable:** Este proyecto no solo beneficiará al Hospital II-2 Tarapoto, sino que también servirá como un modelo para otras instituciones de salud con vulnerabilidad estructural en regiones sísmicas. La adopción de un enfoque de reforzamiento incremental puede ser promovida a nivel nacional, mejorando la resiliencia sísmica de hospitales en otras áreas vulnerables.
5. **Cumplimiento Normativo y Promoción de Políticas Públicas:** Los resultados de esta investigación pueden influir en la actualización de normativas y códigos de construcción en Perú, promoviendo políticas que incentiven el reforzamiento incremental de infraestructuras esenciales. Esto contribuirá a una mejor preparación y respuesta ante desastres naturales, fortaleciendo la infraestructura crítica del país.

1.3.5. Fortalecimiento con Datos y Referencias

Para fortalecer la base de este estudio, se han considerado los siguientes datos y referencias clave:

1. Datos Demográficos y Sismológicos:

- **Población Atendida:** El Hospital II-2 Tarapoto atiende a una población de aproximadamente 300,000 personas en la región de San Martín.
- **Historial Sísmico:** La región ha experimentado sismos significativos, como el de 2005 (magnitud 7.0) y el de 2021 (magnitud 7.5), lo que subraya la necesidad de contar con infraestructuras resistentes a sismos.

2. Normativas y Evaluaciones Técnicas:

- **Actualización de Normativas:** La construcción del Bloque A en 2014 no consideró las actualizaciones normativas introducidas en 2016, lo que afecta su desempeño sísmico (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).
- **Evaluación Inicial:** El análisis modal y Pushover mostró niveles de desempeño de "Seguridad de Vida" y "Cercano al Colapso", indicando una necesidad crítica de reforzamiento (FEMA 356, 2000; ASCE 41-17, 2017).

3. Estrategias de Reforzamiento:

- **Reforzamiento Incremental:** Este enfoque es recomendado por varios estudios y normativas internacionales (FEMA 420, 2006; ATC-40, 1996) para infraestructuras críticas, permitiendo una implementación gradual que minimiza las interrupciones operativas.

4. Impacto en la Continuidad Operativa:

- **Continuidad del Servicio:** Un plan de reforzamiento incremental asegura que el hospital pueda seguir operando durante el proceso de reforzamiento, evitando el desplazamiento de servicios esenciales (OMS, 2009).

En resumen, este estudio no solo ofrece una solución técnica específica para el Hospital II-2 Tarapoto, sino que también proporciona un modelo replicable para otras instituciones en zonas sísmicas, promoviendo una cultura de prevención y resiliencia ante desastres naturales. La implementación de estas medidas es crucial para la protección de vidas humanas y la continuidad operativa de servicios esenciales en situaciones de emergencia. Se recomienda la adopción de esta metodología en otras estructuras esenciales y el desarrollo de normativas y políticas que promuevan su implementación. Además, la capacitación continua de profesionales y el monitoreo constante de las estructuras reforzadas son esenciales para garantizar la efectividad a largo plazo de estas medidas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar y mejorar el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto en 2024 mediante la implementación de estrategias de reforzamiento estructural incremental, garantizando su operatividad continua y seguridad durante eventos sísmicos en la Región de San Martín.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Evaluar la vulnerabilidad sísmica actual del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, identificando deficiencias estructurales críticas que puedan comprometer su comportamiento y operatividad durante eventos sísmicos.
2. Seleccionar los sistemas de reforzamiento estructural más adecuados para el Bloque A, basándose en criterios como compatibilidad con la estructura existente, eficacia sísmica, viabilidad técnica y económica, alineamiento con los lineamientos de FEMA y experiencias previas en el Perú.
3. Diseñar, modelar y analizar diferentes configuraciones estructurales de los sistemas de reforzamiento seleccionados, aplicando análisis dinámico lineal modal espectral y análisis no lineal, para evaluar su impacto en los indicadores de desempeño sísmico y determinar la configuración óptima.
4. Desarrollar el plan de reforzamiento estructural incremental basado en la configuración óptima del sistema de reforzamiento, de manera que la primera fase aborde las deficiencias estructurales más críticas y logre una mejora significativa en el desempeño sísmico, asegurando la operatividad continua del hospital y optimizando costos y tiempos en comparación con una intervención integral.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Estudios sobre Vulnerabilidad Sísmica en Infraestructuras Hospitalarias:

En 2014, "Seismic Vulnerability Assessment of Hospital Buildings: A Comprehensive Review" Este artículo ofrece una revisión exhaustiva de los estudios de evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificios hospitalarios en todo el mundo. Examina metodologías de evaluación de riesgos, enfoques de modelado estructural y análisis de vulnerabilidad aplicados a hospitales en diferentes regiones sísmicas. Además, proporciona una visión general de los factores de vulnerabilidad específicos de los hospitales, como la función crítica de estos edificios durante y después de los desastres naturales, y la importancia de mantener la continuidad operativa y la capacidad de respuesta. El artículo también destaca las lecciones aprendidas de eventos sísmicos pasados y ofrece recomendaciones para mejorar la resiliencia sísmica de las infraestructuras hospitalarias en el futuro. [3] A pesar de que el enfoque basado en desplazamientos utilizado en Italia ofrece una visión detallada de la respuesta estructural frente a sismos, su aplicabilidad en contextos como el peruano, donde las características de la infraestructura hospitalaria y las normativas son diferentes, requiere una adaptación cuidadosa. Además, los métodos cualitativos utilizados en el Perú, como los índices de Shiga y Hirosawa, pueden no ofrecer la precisión necesaria para evaluar estructuras modernas, sugiriendo la necesidad de métodos más cuantitativos y basados en el desempeño.

En 2016 Seismic vulnerability assessment of hospital buildings: A case study of Kesenuma City, Japan. Estudios de casos como el de Kesenuma City, Japón, tras el terremoto y tsunami de Tohoku en 2011, han mostrado que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los edificios hospitalarios es crucial para identificar deficiencias estructurales y mejorar la capacidad de respuesta a eventos sísmicos. Se

analizan aspectos como la resistencia estructural de los edificios, la ubicación geográfica, la capacidad de respuesta a eventos sísmicos y las lecciones aprendidas de desastres pasados. Los resultados ofrecen información valiosa sobre las deficiencias y fortalezas de la infraestructura hospitalaria japonesa en relación con los riesgos sísmicos, lo que contribuye a mejorar la preparación y mitigación de desastres. [4]. Aunque los estudios internacionales proporcionan una base sólida para comprender la vulnerabilidad sísmica en hospitales, muchos de estos se centran en contextos con recursos y tecnologías avanzadas, lo que podría limitar su aplicabilidad directa en países en desarrollo como Perú. Por ejemplo, las técnicas de modelado estructural avanzadas utilizadas en Japón pueden no ser factibles en hospitales peruanos debido a limitaciones en la disponibilidad de datos detallados y tecnología de monitoreo.

En 2014 "Seismic Performance Assessment of Italian Hospitals Using Displacement-Based Vulnerability Analysis" El estudio titulado "Seismic Performance Assessment of Italian Hospitals Using Displacement-Based Vulnerability Analysis" se centra en la evaluación del rendimiento sísmico de hospitales en Italia mediante un análisis de vulnerabilidad basado en desplazamientos. El análisis se lleva a cabo considerando tanto la vulnerabilidad estructural como la no estructural de los hospitales, lo que permite una comprensión integral de su capacidad para resistir eventos sísmicos. Para llevar a cabo este estudio, se recopila una extensa base de datos de características estructurales y no estructurales de hospitales italianos, incluyendo información detallada sobre la resistencia sísmica de los edificios, la calidad de construcción, la fragilidad de los componentes no estructurales, entre otros aspectos relevantes. Posteriormente, se utiliza un enfoque de análisis de vulnerabilidad basado en desplazamientos para evaluar el comportamiento sísmico de los hospitales. Este enfoque considera la capacidad de los edificios para resistir deformaciones inducidas por sismos, lo que proporciona una medida más precisa de su rendimiento en comparación con otros métodos de evaluación. Los resultados obtenidos de este análisis permiten identificar áreas críticas de mejora en la seguridad sísmica de los

hospitales, así como desarrollar estrategias efectivas de mitigación de riesgos. Además, el estudio ofrece recomendaciones específicas para fortalecer la resiliencia sísmica de las infraestructuras hospitalarias, lo que contribuye significativamente a la preparación y respuesta ante posibles eventos sísmicos en Italia y, por extensión, en otras regiones sísmicamente activas del mundo. [5]

Es fundamental considerar las diferencias geotécnicas y socioeconómicas entre las regiones donde se realizaron estos estudios y el contexto peruano. Los estudios mencionados suelen realizarse en países con normativas más estrictas y recursos tecnológicos avanzados, lo que podría limitar la aplicabilidad directa de sus conclusiones en el Perú. Por lo tanto, es necesario desarrollar enfoques y herramientas de evaluación de vulnerabilidad sísmica que estén adaptados a las condiciones locales, tanto en términos de recursos disponibles como de infraestructura existente.

En el ámbito nacional tenemos:

En 1997, el Ministerio de salud del Perú MINSA/ECHO/OPS-OMS llevó a cabo un estudio sobre la vulnerabilidad sísmica en los hospitales del Perú, centrándose en el Hospital Nacional Guillermo Almenara Irigoyen. Este estudio tenía como objetivo evaluar la capacidad de respuesta de estas instituciones ante terremotos y ofrecer recomendaciones para fortalecer su seguridad. Se abordaron distintos componentes, incluyendo el estructural, no estructural, funcional y organizativo, con el fin de proponer mejoras en la seguridad hospitalaria. [6] Las metodologías utilizadas incluyeron:

- Evaluación geotécnica para considerar parámetros de diseño relacionados con el comportamiento del suelo de cimentación.
- Análisis estructural, no estructural y funcional en áreas críticas del hospital como el Departamento de Emergencia y el Centro Quirúrgico.

- Empleo de métodos cualitativos y analíticos, como los índices de Shiga y Hirosawa, evaluación de demanda-capacidad de las estructuras y estudio geotécnico para determinar el comportamiento del suelo ante acciones sísmicas.

En 2001, la Organización Panamericana de la Salud en colaboración con el Ministerio de Salud del Perú inició el estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de 10 hospitales en el Perú, encargando dicho estudio al Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería. Este estudio identificó deficiencias estructurales en varios hospitales, resaltando la falta de resistencia y rigidez lateral, así como características inadecuadas de los elementos estructurales. [7]

En 2008, en el Simposio "Emergencias y Desastres", Nelson Morales y José Sato analizaron la vulnerabilidad sísmica de hospitales en Perú y América Latina. Destacaron la importancia de una gestión eficaz y la corrección de debilidades en el diseño, ubicación, construcción, mantenimiento y organización de estas instituciones. Se resaltó la necesidad de invertir en la mitigación de riesgos para prevenir pérdidas económicas y humanas en desastres naturales. [8]

En 2013, el Ministerio de Salud del Perú y la Universidad Nacional de Ingeniería iniciaron un estudio exhaustivo de la Vulnerabilidad Sísmica de los hospitales en la provincia de Lima y Callao, Perú. Se evaluaron catorce establecimientos de salud, identificando escenarios probables de daño y recomendando mejoras en la capacidad de respuesta ante emergencias. Se utilizaron metodologías como la inspección y evaluación in situ, ensayos de propiedades mecánicas de materiales, auscultación de cimentaciones y mediciones de vibración ambiental. [9]

En 2015, liderado por el ingeniero civil José Francisco Ríos Vara, se evaluó la vulnerabilidad sísmica de 14 centros de salud en la provincia de Lima y Callao, Perú. Se identificaron áreas críticas que demandan una evaluación detallada y se destacó la necesidad urgente de mejorar la capacidad de los centros de salud para proteger a

pacientes y personal durante y después de un desastre. Se utilizó el Índice de Seguridad Hospitalaria (ISH) para clasificar los establecimientos en tres categorías según su nivel de vulnerabilidad. Se realizó un estudio cualitativo seguido de un estudio cuantitativo que incluyó extracción de muestras, ensayos y análisis estructural. [10]. Los estudios revisados subrayan la necesidad de enfoques de diseño y reforzamiento adaptados a las características específicas de los hospitales en Perú. Dado que muchos hospitales peruanos fueron construidos bajo normativas que no contemplaban adecuadamente el riesgo sísmico, la implementación de técnicas de reforzamiento, como las discutidas en los estudios internacionales, debe ser cuidadosamente adaptada para ser eficaz en este contexto. Esto incluye no solo la consideración de la infraestructura física, sino también de factores socioeconómicos que afectan la viabilidad de estas intervenciones

Si bien estos estudios internacionales y nacionales han contribuido significativamente a la comprensión de la vulnerabilidad sísmica en hospitales, persisten vacíos en la literatura, particularmente en la evaluación de la interacción entre componentes estructurales y no estructurales durante eventos sísmicos. Estos aspectos son cruciales para hospitales que necesitan mantener la funcionalidad durante y después de un sismo. Además, se requiere más investigación sobre la implementación práctica de técnicas de reforzamiento en hospitales existentes, especialmente en regiones con limitaciones presupuestarias, y los establecimientos de nivel II en adelante del MINSA, que no pueden dejar de funcionar.

2.1.2. Reforzamiento Estructural en Edificaciones Esenciales Existentes:

Comparative Study of Seismic Retrofitting Techniques for Hospitals in High Seismic Zones: Case Studies from Japan and California", 2016. Este estudio compara técnicas de refuerzo sísmico utilizadas en hospitales ubicados en zonas de alta actividad sísmica en Japón y California. Se examinan casos de estudio específicos en ambos lugares, destacando las estrategias de diseño, los materiales utilizados y los resultados

obtenidos después de eventos sísmicos recientes. El análisis incluye evaluaciones de la efectividad de diferentes enfoques de reforzamiento en la protección de la vida humana y la integridad estructural de las instalaciones hospitalarias. Además, se discuten lecciones aprendidas y recomendaciones para mejorar las prácticas de reforzamiento en hospitales en regiones sísmicas similares en todo el mundo. [11]

"Seismic Retrofitting of Hospitals: Lessons Learned from Recent Earthquakes in New Zealand and Chile"2019. Este estudio analiza los esfuerzos de reforzamiento sísmico en hospitales en Nueva Zelanda y Chile después de eventos sísmicos significativos en ambas regiones. Se examinan casos de estudio específicos, evaluando la efectividad de las medidas de refuerzo implementadas y sus impactos en la seguridad estructural y funcional de las instalaciones hospitalarias. Además, se identifican lecciones aprendidas de los terremotos recientes en términos de diseño, construcción y mantenimiento de hospitales en zonas de alta actividad sísmica. [12]

En el ámbito nacional tenemos:

El reforzamiento de edificaciones existentes a nivel nacional se aborda en la Norma Técnica Peruana E.030 en varios artículos, destacando el enfoque de reforzamiento incremental:

- Artículo 49.1: Se menciona que la reparación o reforzamiento debe dotar a la estructura de rigidez, resistencia y ductilidad para garantizar su buen comportamiento en eventos futuros.
- Artículo 49.2: El proyecto de reparación o reforzamiento debe incluir detalles, procedimientos y sistemas constructivos a seguir.
- Artículo 49.3: Para el reforzamiento sísmico de edificaciones, se siguen los lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) y se pueden emplear otros criterios con justificación técnica y aprobación correspondiente.
- Artículo 49.4: Se menciona la posibilidad de intervenir edificaciones utilizando criterios de reforzamiento sísmico progresivo, haciendo referencia al

documento "Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation", FEMA P-420, Risk Management Series, USA, 2009.

En el año 2014, en el marco de los estudios de Vulnerabilidad Sísmica en catorce establecimientos de salud de la Provincia de Lima y Callao Perú, elaborados por el Ministerio de salud del Perú, y la Universidad Nacional del Ingeniería (CISMID), se propusieron metodologías de reforzamiento estructural, destacando el enfoque de reforzamiento incremental en hospitales del Perú:

- HOSPITAL DE EMERGENCIAS PEDIÁTRICAS: Se propone adicionar placas de concreto armado en el bloque alemán, y aislar la tabiquería en otros bloques para evitar problemas de columna corta.
- HOSPITAL CARLOS LANFRANCO LA HOZ: Se sugiere rigidizar su estructura con placas de concreto armado y aumentar la sección de las columnas.
- HOSPITAL DE EMERGENCIAS JOSÉ CASIMIRO ULLOA: Se propone reforzar pórticos críticos con placas de concreto armado o arriostres metálicos.
- HOSPITAL DE HUAYCAN: Se recomienda incorporar placas de concreto armado, como refuerzos de corte para responder a la demanda sísmica.
- HOSPITAL JOSE AGURTO TELLO, CHOSICA: Se proponen diversas acciones, desde demolición hasta reforzamiento con material noble.
- HOSPITAL MARÍA AUXILIADORA: Se sugiere la incorporación de muros de corte de concreto armado o un sistema innovador con amortiguadores viscosos.
- HOSPITAL NACIONAL CAYETANO HEREDIA: Se recomienda adicionar muros de albañilería y separarlos de las columnas para evitar problemas de columna corta.

- HOSPITAL NACIONAL DOCENTE MADRE NIÑO “SAN BARTOLOMÉ”: Se propone reforzar con placas de concreto armado y separar muros de columnas en varios bloques.
- HOSPITAL NACIONAL DOS DE MAYO, EL CERCADO DE LIMA: Se sugiere reemplazar muros de albañilería por placas de concreto armado y utilizar fibras de carbono para mejorar la ductilidad de vigas.
- HOSPITAL NACIONAL HIPOLITO UNANUE, EL AGUSTINO: Se recomienda reforzar los bloques con la inclusión de columnas de confinamiento.
- HOSPITAL SANTA ROSA: Se propone reforzar con placas de concreto armado y mejorar la tabiquería en varios pabellones.
- HOSPITAL NACIONAL SERGIO E. BERNALES: Se sugiere reforzar muros portantes con columnas de confinamiento y aislar muros de alféizar de ventanas.

Además, en el año 2014, el Ministerio de Educación del Perú (**MINEDU**) y el Banco Mundial iniciaron un plan nacional de reforzamiento incremental para los edificios 780 PRE, utilizando tres técnicas de reforzamiento incremental validadas mediante ensayos a escala real en la Universidad Nacional de Ingeniería:

- Reforzamiento mediante muretes de albañilería reforzada con mallas (**MARM**)
- Reforzamiento mediante incorporación de muros acoplados de concreto armado (**IMACA**)
- Reforzamiento con la adición de marcos de acero con arriostres concéntricos (**ACMAC**)

La respuesta analítica del pórtico 780 Pre tuvo una diferencia del 8% en desplazamiento comparada con los resultados obtenidos experimentalmente verificándose y validándose las propiedades no lineales de los elementos de concreto armado y de los muros de albañilería. La mayor diferencia (14%) en desplazamientos

se produjo en los pórticos MARM. Basándose en estos resultados se calibró las propiedades de los muros de albañilería reforzados con mallas hasta igualar la resistencia. Asimismo, se verificó las propiedades de los arriostres de acero y muros de concreto armado con los ensayos de los pórticos ACMAC e IMACA. En ambos modelos numéricos no se llegó al 8% de diferencia con respecto a los resultados experimentales. [13]

Estas técnicas ofrecen una manera gradual y efectiva de mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones existentes, minimizando interrupciones y gestionando costos. La aplicación de estas técnicas se basa en publicaciones internacionales como ASCE 41, ATC 40, FEMA 274, FEMA 356 y Seismic Retrofit Guidelines, así como en la guía de ingeniería FEMA 420, que proporciona orientación detallada sobre el reforzamiento sísmico incremental. [13]

Federal Emergency Management Agency (FEMA) 420 es una guía de ingeniería para el reforzamiento sísmico incremental, elaborada por el Consejo de Tecnología Aplicada de FEMA y publicada en mayo de 2009. Su objetivo es proporcionar orientación para proyectos de reforzamiento sísmico. Las recomendaciones clave incluyen la implementación gradual del fortalecimiento de los edificios para gestionar costos y minimizar interrupciones, integrando esta planificación en el proceso general de mantenimiento de instalaciones. Se destaca la importancia de desarrollar un plan documentado de reforzamiento sísmico y reevaluarlo periódicamente. Además, se mencionan los seis manuales de FEMA sobre el reforzamiento sísmico incremental, adaptados a diferentes tipos de edificaciones, como escuelas (FEMA 395), hospitales (FEMA 396), edificios de oficinas (FEMA 397), edificios de apartamentos multifamiliares (FEMA 398), edificios comerciales minoristas (FEMA 399) y hoteles y moteles (FEMA 400). Estos manuales brindan información específica para cada tipo de ocupación y contienen pautas detalladas para la gestión del riesgo sísmico. El reforzamiento sísmico incremental ofrece ventajas como la gestión de costos, minimización de interrupciones, incentivos financieros y la

integración en el mantenimiento de las instalaciones. En resumen, este enfoque busca reducir los costos y las interrupciones asociadas con el reforzamiento sísmico al integrarlo gradualmente en las actividades de mantenimiento y mejoras capitales de los edificios existentes. [14]

FEMA 396, publicado en 2003, aborda el reforzamiento sísmico incremental de edificios hospitalarios, dividido en etapas integradas en proyectos de mantenimiento y mejora, con el objetivo de reducir el riesgo de muerte, lesiones y daños en el edificio y su contenido, mientras se minimiza la interrupción en la prestación de servicios de salud. La integración de esfuerzos de gestión de instalaciones, gestión de riesgos y gestión financiera es crucial para mejorar la seguridad de manera rentable. [15]

El Ing. Gustavo Juan Franklin Loa Canales realiza un estudio (Pontificia Universidad Católica del Perú) sobre el desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas previas a 1997, validando el desempeño sísmico de las técnicas propuestas por el MINEDU y el Banco Mundial. Utiliza como guías a ASCE 41, ATC 40, FEMA 274, FEMA 356 y Seismic Retrofit Guidelines, y hace referencia a FEMA 420 como guía de ingeniería. Concluyendo que la técnica IMACA se destaca por ofrecer el mejor reforzamiento, seguida de ACMAC. [16]

Estos estudios y normativas resaltan la importancia del reforzamiento estructural incremental, especialmente en edificaciones esenciales como hospitales y escuelas, para mejorar su capacidad de resistir eventos sísmicos y garantizar la seguridad de las personas que las utilizan.

2.1.3. Estudios de Vulnerabilidad Sísmica Hospitalaria en San Martín, Perú:

El informe técnico del INGEMMET Perú en 2005 desarrollado por Manuel S. Vílchez Mata en la zona del Alto Mayo, con historia sísmica registrada desde hace 400

años, se destacan eventos como los sismos de 1945, 1968, 1990 y 1991. Tras el sismo de 2005 de magnitud 7.0 ML (7.5 Mw) en el borde nororiental de la región norte del Perú. El epicentro se ubicó a 90 km al noreste de Moyabamba, a una profundidad de 115 km. Se originó por la deformación interna de la placa de Nazca, con un mecanismo focal de falla normal y orientación NE. Se registraron 11 réplicas en las siguientes 25 horas, con magnitudes de 4.0 a 4.4 ML., se evaluaron 900 viviendas en los barrios de Suchiche, La Plaza y Calvario, evidenciando daños no uniformes debido a condiciones locales como topografía y tipo de suelos. Se utilizó la antigüedad, uso, tipo de construcción, número de pisos, tipos de daños y porcentaje de daños observados para evaluar los daños. Se reportaron daños principalmente en viviendas de tapial (81%) y otros materiales (19%), con manifestaciones como fisuras, caída de revestimiento, tejas y derrumbes parciales. En Moyabamba, 34 viviendas colapsaron, muchas ya afectadas por sismos previos, siendo desocupadas y demolidas para mitigar riesgos. Se enfatiza la importancia de considerar los efectos locales en la evaluación de daños. [17]

El Boletín C42 "Riesgo Geológico en la Región San Martín", del INGEMMET Perú en 2010, desarrollado por Segundo Nuñez Juárez, Grisela Luque Poma y Walter Pari Pinto detalla la situación geológica de la región San Martín en el Nororiente del Perú. La región presenta actividad sísmica moderada, con terremotos de hasta 7.5 en la escala de Richter, con epicentros dentro de la región y con intensidades entre VI y X en la escala de Mercalli Modificada. Además, se destaca la presencia de una complejidad geológica y geomorfológica. [18]

El informe técnico N° A7233 del INGEMMET Perú, desarrollado por Mauricio Antonio Núñez Peredo y Segundo Alfonso Núñez Juárez, evalúa los peligros geológicos posteriores a un sismo de magnitud 7.5 ocurrido el 28 de noviembre del 2021 en las provincias de Lamas, Picota, Rioja y San Martín. Se identificaron fenómenos como licuefacción de suelos, agrietamientos y movimientos en masa. Se recomienda mejorar el sistema de drenaje, despejar bloques sueltos, reforestar áreas

afectadas y realizar inspecciones periódicas en carreteras. Respecto a las edificaciones, se sugiere implementar sistemas de sostenimiento y realizar estudios detallados. [19]

En 2022, se llevó a cabo un estudio para evaluar la resistencia sísmica del Hospital II-2 Tarapoto en San Martín, Perú, dirigido por M. García y A. Hidalgo bajo la supervisión de MSc. Cuzco Trigozo, Luis Armando. Utilizando el software ETABS, se analizó la estructura, se encontraron diferencias en la respuesta del edificio entre las direcciones X e Y, influenciadas por la naturaleza del suelo y factores estructurales. Se recomienda implementar disipadores sísmicos. Además, se sugiere realizar diagnósticos y mantenimientos periódicos para mantener la integridad y funcionalidad del hospital después de eventos sísmicos. [20]

2.1.4. Brechas y áreas poco exploradas:

Identificación de lagunas en la literatura existente y áreas de investigación poco exploradas en relación con la vulnerabilidad sísmica y el reforzamiento estructural de hospitales en Perú

En su trabajo "Comentarios a la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente" del año 2020, el ingeniero Alejandro Muñoz Peláez destaca la importancia de evaluar, reparar, rehabilitar y reforzar estructuras esenciales para garantizar su resistencia ante sismos. Critica la falta de definición clara de términos como "sismo severo" y el uso de expresiones condicionales en lugar de requisitos concretos en la norma. Además, sugiere establecer mayores exigencias de ductilidad para estas estructuras. En relación al reforzamiento de estructuras existentes, señala la necesidad de recurrir a otros criterios y estrategias para alcanzar un nivel de protección similar al de edificaciones nuevas, destacando la falta de claridad en los criterios de reforzamiento establecidos por la norma. Se recomienda también el uso de un mayor número de intervenciones de reforzamiento estructural en edificios de funcionamiento continuo como hospitales, con el fin de reducir su vulnerabilidad sísmica. Se enfatiza

la importancia de implementar proyectos parciales de reforzamiento que reduzcan progresivamente la vulnerabilidad de estas edificaciones, y la coordinación de las intervenciones con las actividades del edificio, sugiriendo planificar intervenciones parciales durante los periodos mantenimiento programado y vacacionales para minimizar las interrupciones en el funcionamiento del hospital y colegios. [21]

Justificación de la relevancia y originalidad de la presente investigación en función de estas brechas identificadas

La investigación presenta una significativa relevancia y originalidad al poner de manifiesto brechas críticas en la seguridad hospitalaria frente a riesgos sísmicos en el contexto peruano:

1. **Vulnerabilidad Sísmica Marcada:** Numerosos centros hospitalarios exhiben deficiencias estructurales y funcionales, comprometiendo tanto la integridad de la infraestructura como la seguridad de los ocupantes, incluido el personal médico.
2. **Incumplimiento Normativo:** A pesar de la existencia de regulaciones, se aprecia una notable falta de adhesión a las mismas, lo que subraya la urgente necesidad de fortalecer y hacer cumplir los marcos normativos pertinentes.
3. **Desafíos en la Implementación de Medidas de Seguridad:** Limitaciones como la disponibilidad de presupuesto y la concienciación insuficiente sobre la relevancia de la seguridad hospitalaria representan obstáculos significativos para la efectiva implementación de medidas de protección.
4. **Deficiencias Normativas Identificadas por Muñoz Peláez:** Se destacan carencias notorias en la normativa, incluyendo la falta de definiciones precisas, el empleo de expresiones condicionales y la ausencia de criterios específicos para el reforzamiento de estructuras existentes.

Estas brechas subrayan la necesidad imperativa de investigaciones que aborden la seguridad sísmica en hospitales peruanos. Este estudio se justifica por su contribución a la identificación de áreas de mejora específicas en las estructuras hospitalarias, buscando fortalecer su capacidad de resistencia frente a eventos sísmicos y, en última instancia, salvaguardar vidas y proteger la infraestructura ante desastres naturales.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Técnicas de Reforzamiento Tradicionales

En los estudios de vulnerabilidad sísmica realizados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y el Ministerio de Salud del Perú (MINSA) en los 14 establecimientos de salud de la Provincia de Lima y Callao, se destaca una mayor incidencia del uso de muros de concreto armado como método de refuerzo estructural por los evaluadores estructurales (son: Dr. Carlos Zavala Toledo, Dr. Miguel A. Díaz Figueroa, Ing. Patricia Gibu Yague, Ing. Víctor Rojas Yupanqui, Dr. Rafael Salinas Basualdo, MSc. Luis Ricardo Proaño Tataje, Ing. Jorge Gallardo Tapia, Ing. Bertila Quiñones Luna, Ing. José Francisco Ríos Vara, Dr. Miguel Augusto Díaz Figueroa, Ing. German L. Valdivia, PhD. Ing. Miguel Estrada Mendoza, Ing. Carlos Chunga Contreras, Ing. Mary Criss Suárez Antúnez.). [9]

Gustavo Juan Franklin Loa Canales realizó un estudio sobre el desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas previas a 1997. Validó el desempeño sísmico de las técnicas propuestas por el Ministerio de Educación del Perú (MINEDU) y el Banco Mundial del plan nacional de reforzamiento incremental para los edificios 780 PRE. Concluyó que la técnica IMACA (incorporación de muros acoplados de concreto armado) se destaca por ofrecer

el mejor reforzamiento, seguida de ACMAC (adición de marcos de acero con arriostres concéntricos). [16]

Por lo tanto, la adición de muros de concreto armado se considera una de las opciones principales de refuerzo, en esta investigación

2.2.2. Reforzamiento Incremental

El reforzamiento incremental se presenta como una estrategia organizada y progresiva para abordar edificaciones con alto riesgo sísmico. Esta metodología implica implementar mejoras graduales en un período de tiempo, coordinadas con planes de reparación, mantenimiento y políticas gubernamentales. En contraste con la sustitución completa de la estructura, el reforzamiento incremental ofrece una alternativa más rentable y menos disruptiva. [16]

La Norma Técnica Peruana E0.30 contempla la posibilidad de utilizar criterios de reforzamiento sísmico progresivo, haciendo referencia a la guía "Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation" de FEMA (FEMA P-420). Esta guía, elaborada por el Consejo de Tecnología Aplicada de FEMA, proporciona orientación detallada para proyectos de reforzamiento sísmico, destacando la importancia de integrar esta planificación en el mantenimiento general de las instalaciones.

FEMA 420 ofrece recomendaciones clave para implementar gradualmente el fortalecimiento de edificios, minimizando costos e interrupciones. Además, FEMA ha publicado otros manuales específicos para diferentes tipos de edificaciones, como escuelas (FEMA 395), hospitales (FEMA 396), entre otros. En resumen, el reforzamiento incremental busca mejorar la seguridad sísmica de manera eficiente y rentable, integrándola en las actividades de mantenimiento y mejoras capitales de los edificios existentes. Su objetivo es reducir los costos y las interrupciones asociadas con el reforzamiento sísmico, promoviendo una gestión más efectiva del riesgo.

2.2.3. Guías de Reforzamiento

En el ámbito de América del Norte, se han establecido diversos códigos y estándares para mejorar la resistencia sísmica de las estructuras existentes, tales como el ASCE 41, ATC 40, FEMA 274, FEMA 356 y la Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation. Por el contrario, en muchos países latinoamericanos, las regulaciones específicas para este fin son escasas y suelen integrarse dentro de las normativas generales de diseño sísmico, las cuales se fundamentan en los estándares mencionados anteriormente. [16]

El único recurso que se enfoca exclusivamente en el enfoque de reforzamiento incremental es el FEMA 420, una guía de ingeniería que se divide en varios artículos, entre ellos el FEMA 396, dirigido a hospitales. En el caso particular de Perú, la Norma Técnica Peruana E0.30 permite la aplicación de criterios de reforzamiento sísmico progresivo, haciendo referencia específica a la guía "Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation" de FEMA (FEMA P-420).

2.2.4. Ingeniería Basada en Objetivos de Desempeño

En décadas pasadas, el objetivo principal de la ingeniería sismorresistente era simplemente evitar el colapso de las estructuras en sismos severos. Sin embargo, en la actualidad, este enfoque ha evolucionado hacia la definición de objetivos de desempeño adaptados a diferentes niveles de riesgo sísmico. Esta nueva ingeniería basada en el desempeño evalúa el comportamiento sísmico de las estructuras considerando tanto propiedades lineales como no lineales de los elementos. [16]

Existen iniciativas que buscan definir los objetivos del diseño sismorresistente de edificaciones, relacionando escenarios de peligro sísmico con diferentes estados de daño y la importancia de las edificaciones. Una adaptación de la Iniciativa del Comité Visión 2000 del SEAOC resume este enfoque de la siguiente manera:

Se establecen cuatro niveles de peligro sísmico, cada uno asociado a un evento específico y su periodo de retorno, como se indica en la tabla.

Tabla 1

Niveles de Peligro Sísmico

Sismo	Periodo de retorno (años)	Probabilidad de excedencia en 50 años
Frecuente	43	67%
Ocasional/Servicio	72	50%
Raro/ Diseño	475	10%
Muy Raro/ Máximo	975	5%

Nota: Adaptado de Visión 2000 por SEAOC, 1995

Se definen cuatro estados de daño, desde Operacional hasta Prevención del Colapso, que indican el nivel de daño experimentado por la estructura, desde prácticamente sin daños hasta con riesgo inminente de colapso.

Se reconocen tres clases de edificaciones según su importancia: crítica, esencial y común.

Los objetivos de desempeño se ajustan según la importancia de la edificación y el nivel de peligro sísmico, como se muestra en la matriz.

Figura 1

Matriz de Objetivos Nivel de Desempeño de Edificaciones

Sismo	Periodo de Retorno	Nivel de amenaza sísmica	Nivel de desempeño			
			Completamente operativo	Operativo	Resguardo de vida	Cerca al colapso
Frecuente	43	53% en 30 años				
Ocasional/Servicio	72	50% en 50 años				
Raro/Diseño	475	10% en 50 años				
Muy raro/Máximo	975	5% en 50 años				



Edificación común



Edificación esencial



Edificación de seguridad crítica

Nota: Adaptado de (p.8) *Comentarios a la norma e.030 diseño sismo resistente* por A. MUÑOZ P.2020, SENCICO

Construir edificios en zonas de alta actividad sísmica para cumplir con estos objetivos de desempeño en diversos escenarios representa un desafío considerable con las técnicas tradicionales de diseño sísmico, debido a la incertidumbre en la estimación de la demanda sísmica y la limitada fiabilidad de los métodos actuales de análisis y diseño. Sin embargo, el enfoque de diseño orientado al desempeño en múltiples escenarios proporciona un marco valioso para discutir objetivos y definir estrategias futuras que permitan la aplicación práctica de la ingeniería sismorresistente. [21]

2.2.5. Reforzamiento por Objetivos de Desempeño

El desempeño estructural se comunica mediante niveles discretos de desempeño, que incluyen colapso, prevención de colapso, seguridad de vida, ocupación inmediata y operacional. Estos niveles abordan tanto los daños estructurales como los no estructurales. Los objetivos de desempeño se establecen vinculando cada nivel a un determinado grado de peligro sísmico, como se ilustra en la Figura 2.

Figura 2

Niveles de Desempeño Sísmico

Niveles de Desempeño Sísmico						
Sísmo	Periodo de Retorno	Nivel de amenaza sísmica	Operacional (FO)	Ocupación Inmediata (IO)	Seguridad de vida (LS)	Prevención del colapso (CP)
Frecuente	43	53% en 30 años	◊			
Ocasional	72	50% en 50 años	■	◊		
Raro	475	10% en 50 años	●	■	◊	
Muy Raro	975	5% en 50 años	■	●	■	◊

Desempeño inaceptable
(para edificaciones nuevas)

E. Esenciales E. Comunes
E. Críticas

Nota: Adaptado de (p.16) VISION 2000 por SEAOC, 1995

En VISION 2000, el objetivo es proporcionar un marco integral para el diseño sísmico basado en el desempeño. Este enfoque se centra en definir y alcanzar objetivos específicos de desempeño sísmico que aseguren la funcionalidad y seguridad de las edificaciones post-terremoto. Los objetivos de desempeño en VISION 2000 son:

- Operacional: La estructura permanece completamente funcional después del sismo, con daños mínimos y la infraestructura no estructural en condiciones de operar.
- Ocupación Inmediata: La estructura puede ser ocupada inmediatamente después del sismo, aunque puede necesitar reparaciones menores.
- Seguridad de Vida: La estructura puede sufrir daños significativos, pero las vidas de los ocupantes están protegidas.
- Prevención de Colapso: La estructura no colapsa, pero puede ser inutilizable y requerir reparaciones extensivas.

En FEMA 154, aunque los objetivos de desempeño no se tratan directamente, la metodología identifica edificaciones con alto riesgo de sufrir muertes, lesiones o pérdida de uso en caso de terremoto. Este enfoque es crucial para priorizar la evaluación y mitigación del riesgo en edificaciones vulnerables.

En ASCE 31, los objetivos de desempeño se definen en función de niveles de desempeño y niveles de sismicidad. Esta metodología proporciona criterios detallados para evaluar edificaciones en términos de seguridad humana y ocupación inmediata, considerando niveles de sismicidad bajos, moderados y altos. Además, el nivel de desempeño y la sismicidad influyen en la selección de listas de verificación específicas para cada tipo de edificio.

En ASCE 41, los objetivos de desempeño se definen en términos de Objetivos de Rehabilitación, que combinan un nivel objetivo de desempeño del edificio con un nivel de riesgo sísmico. Estos niveles consideran el comportamiento tanto estructural

como no estructural de los componentes del edificio. Los Objetivos de Rehabilitación son esenciales para planificar intervenciones de reforzamiento estructural que aseguren la integridad y funcionalidad del edificio ante diferentes escenarios sísmicos.

La implementación de los objetivos de desempeño estructural en el proceso de reforzamiento del Hospital II-2 Tarapoto es fundamental para garantizar la seguridad y funcionalidad de la edificación ante eventos sísmicos. Utilizando metodologías de análisis avanzadas como el análisis Pushover y las directrices establecidas en VISION 2000 y ASCE 41, es posible diseñar intervenciones de reforzamiento que aseguren un desempeño adecuado de la estructura, protegiendo así la vida de los ocupantes y asegurando la continuidad operativa del hospital.

2.2.6. Las posibilidades de la Ingeniería orientada al desempeño

La Ingeniería orientada al desempeño enfrenta desafíos considerables al intentar lograr los objetivos de desempeño en nuevas edificaciones esenciales en zonas altamente sísmicas. Por ejemplo, para evitar daños en un terremoto poco común, sería necesario proporcionar a una edificación de corto periodo una resistencia lateral similar a su peso. Según la Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico", las edificaciones esenciales como hospitales, clasificadas como Edificaciones Esenciales A1, deben contar con sistemas de aislamiento sísmico en la base en zonas sísmicas 4 y 3.

Para el reforzamiento de edificaciones existentes, alcanzar los objetivos de desempeño establecidos presenta aún más desafíos, debido a las limitaciones y restricciones inherentes a las estructuras construidas bajo normativas anteriores.

2.2.7. Metodología para Evaluar la Vulnerabilidad y el Desempeño Sísmico:

El proceso de evaluación de la vulnerabilidad y el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto se seguirá los siguientes pasos:

- a) **Evaluación según NTP E.030:** Si los resultados del análisis indican que la estructura no cumple con los límites de deriva máxima permitida, se concluye que la estructura es vulnerable y requiere un plan de reforzamiento para mejorar su comportamiento sísmico. Si, por el contrario, la estructura cumple con las especificaciones normativas, se procede a una fase de validación mediante análisis no lineales.
- b) **Validación con Análisis No Lineal:** Para confirmar la capacidad de la estructura y su desempeño bajo condiciones sísmicas severas, se realiza un análisis no lineal que puede incluir:
- i. **Análisis Estático No Lineal (Pushover):** Este método se aplica si la estructura cumple con los requisitos del capítulo 7 de la ASCE 41-17. El análisis Pushover permite evaluar el comportamiento inelástico y la capacidad de la estructura de manera detallada.
 - ii. **Análisis de Tiempo Historia (Nonlinear Time History Analysis) y Análisis Incremental Dinámico (IDA):** Estos métodos se utilizan cuando el análisis Pushover no es aplicable o para obtener una validación más detallada. Ambos enfoques proporcionan una comprensión más profunda del comportamiento dinámico de la estructura frente a sismos intensos.
- c) **Determinación del Desempeño Sísmico:** El objetivo de estos análisis no lineales es verificar que la estructura pueda alcanzar el nivel de desempeño correspondiente a "**seguridad de vida**" bajo un sismo máximo con un periodo de retorno de 975 años, acorde con los requisitos de diseño para edificaciones esenciales. Este nivel de desempeño asegura que la estructura mantenga su integridad y no colapse durante eventos sísmicos extremos.
- d) **Conclusión de la Evaluación:** Si la estructura cumple con los criterios de desempeño establecidos mediante el análisis no lineal, se valida el resultado

obtenido en el análisis dinámico lineal, concluyendo que la estructura no es vulnerable y no requiere reforzamiento. Sin embargo, si los análisis no lineales demuestran que la estructura no alcanza el nivel de seguridad requerido, se declara que la estructura es vulnerable y se debe proceder con un plan de reforzamiento estructural.

Este enfoque metodológico garantiza una evaluación rigurosa y detallada, maximizando la precisión en la identificación de las necesidades de reforzamiento y asegurando que las decisiones estén basadas en una evaluación integral de la vulnerabilidad estructural.

2.2.8. Análisis Dinámico Lineal Modal Espectral

El **Análisis Dinámico Lineal Modal Espectral** es una herramienta fundamental en la evaluación del comportamiento sísmico de estructuras, utilizada para estimar la respuesta de la edificación del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto bajo la acción de cargas sísmicas, siguiendo las directrices de la Norma Técnica Peruana (NTP) E.030. Este análisis se basa en descomponer la respuesta dinámica de la estructura en sus distintos modos de vibración y calcular cómo cada uno de estos contribuye a la respuesta global del edificio.

En este procedimiento, se evalúa el comportamiento elástico de la estructura utilizando el espectro de respuesta sísmica, que refleja cómo se espera que la estructura reaccione ante diferentes niveles de aceleración del suelo. Se seleccionan los modos de vibración más relevantes, garantizando que se capture al menos el 90% de la masa modal efectiva total de la edificación.

El objetivo principal de este análisis es evaluar las derivas máximas de entrepiso y compararlas con los límites establecidos por la NTP E.030. Estos límites son cruciales

para determinar si la estructura puede desarrollar deformaciones controladas sin comprometer su estabilidad. Si las derivas obtenidas se encuentran dentro de los valores permisibles, se considera que la estructura cumple con los requisitos de desempeño sísmico establecidos para edificaciones esenciales.

En el caso de que las derivas excedan los valores normativos, la estructura se clasifica como vulnerable, y se recomienda proceder con un análisis no lineal para validar estos resultados. Este paso adicional permite una mejor comprensión del comportamiento inelástico de la edificación y su capacidad de disipar energía bajo demandas sísmicas severas.

El **Análisis Dinámico Lineal Modal Espectral**, por lo tanto, sirve como la primera línea de evaluación para identificar rápidamente deficiencias estructurales y vulnerabilidades potenciales, permitiendo decidir si es necesario implementar estrategias de reforzamiento o proceder con métodos de análisis más avanzados para obtener una evaluación detallada.

2.2.9. Análisis Estático No Lineal PUSHOVER

El análisis PUSHOVER es una técnica utilizada para determinar la capacidad de una estructura ante las fuerzas inerciales generadas por un evento sísmico. Este análisis implica aplicar gradualmente cargas laterales a la estructura hasta alcanzar su capacidad máxima. Mediante este proceso, es posible identificar la secuencia de agrietamiento, fluencia y fallo de los elementos estructurales, así como las fuerzas asociadas a desplazamientos específicos (curva de capacidad) y el mecanismo general de colapso.

La forma en que se aplican las cargas influye directamente en la curva de capacidad de la estructura, pudiendo ser lineal, triangular, parabólica o modal. En este análisis, se ha optado por una distribución de cargas asociada a la forma modal de

fluencia de la estructura. Sin embargo, es importante señalar que el análisis PUSHOVER tiene limitaciones, ya que considera únicamente el desplazamiento como factor de daño en la estructura, sin tener en cuenta la influencia de la energía asociada a las componentes dinámicas de las fuerzas, como la energía cinética y la energía de amortiguamiento viscoso, generadas por la excitación sísmica. Además, no aborda efectos como la torsión, la carga sísmica vertical y los cambios progresivos en las propiedades modales debido al agrietamiento de los elementos. [16]

Factor de Modificación de Desplazamiento (ASCE 41-13)

$$S_a = C_0 \cdot S_a \cdot \frac{1}{C_1 \cdot C_2} \quad (1)$$

Donde:

- C_0 es un factor de amplificación.
- S_a es la aceleración espectral.
- C_1 y C_2 son factores de modificación basados en las propiedades de la estructura.

Periodo Efectivo y Amortiguamiento (FEMA 440)

$$T_{efectivo} = T_i \sqrt{\frac{1 + B \cdot S_d}{1 + D \cdot S_d}} \quad (2)$$

$$\xi_{efectivo} = \xi + A \cdot S_d \quad (3)$$

Donde:

- $T_{efectivo}$ es el periodo efectivo.
- T_i es el periodo inicial.
- S_d es el desplazamiento espectral.
- B y D son parámetros de amortiguamiento.
- ξ es el amortiguamiento inherente.

- A es un parámetro de amortiguamiento adicional.

Propiedades mecánicas de los materiales

Se recurre al Dossier de Control de Calidad de la construcción del Hospital II-2 Tarapoto para obtener los certificados de calidad de la colada del acero de refuerzo, así como los resultados de los ensayos de ruptura de briquetas de concreto y de pilas de bloques de albañilería.

Comportamiento Inelástico

El comportamiento inelástico de estructuras se refiere a la capacidad de una estructura para deformarse permanentemente bajo cargas significativas, como las generadas por un terremoto. Los modelos de Mander son un conjunto de modelos ampliamente utilizados para simular el comportamiento inelástico del concreto confinado y no confinado. Estos modelos proporcionan curvas de esfuerzo-deformación que describen cómo el material se comporta bajo diferentes niveles de carga.

Las curvas esfuerzo-deformación obtenidas a partir de los modelos de Mander muestran cómo el esfuerzo (σ) en el material varía con la deformación (ε) aplicada. Estas curvas son útiles para comprender cómo se comporta el material bajo cargas cíclicas y cómo responde antes de alcanzar el punto de ruptura.

Además de las curvas esfuerzo-deformación, el comportamiento inelástico también puede caracterizarse mediante el diagrama de Momento-Curvatura. Este diagrama describe cómo la curvatura (θ) de una sección transversal de la estructura varía en función del momento flector aplicado. Es especialmente útil para comprender cómo se desarrollan y propagan las deformaciones plásticas dentro de la estructura durante un evento sísmico.

El efecto del corte en el comportamiento inelástico también es crucial de considerar. Las cargas de corte pueden provocar deformaciones y daños significativos en una estructura, por lo que es importante tener en cuenta su efecto al analizar el comportamiento inelástico.

Por último, la longitud de rótula plástica propuesta por Park es un parámetro importante en el análisis del comportamiento inelástico de las estructuras. Esta longitud representa la extensión de la región plástica en una sección transversal de la estructura y es fundamental para comprender cómo se redistribuyen las cargas y cómo se desarrollan las deformaciones plásticas durante un evento sísmico.

En resumen, al utilizar los modelos de Mander y considerar las curvas esfuerzo-deformación, los diagramas de Momento-Curvatura, el efecto del corte y la longitud de rótula plástica propuesta por Park, los ingenieros pueden obtener una comprensión más completa y precisa del comportamiento inelástico de las estructuras frente a cargas sísmicas. Esto les permite diseñar y evaluar estructuras más seguras y resistentes ante eventos sísmicos. [16]

La ecuación de la longitud de la rótula plástica propuesta por Park se puede expresar de la siguiente manera:

$$L_{pl}=k \times d \quad (4)$$

Donde:

- L_{pl} es la longitud de la rótula plástica.
- k es un coeficiente que depende de las propiedades del material y del tipo de sección transversal.
- d es el diámetro equivalente de la sección transversal o la dimensión característica que se utiliza para representar el tamaño de la sección transversal.

Sectorización de la curva de capacidad

La sectorización de la curva de capacidad, siguiendo la metodología del SEAOC (Consejo de Ingeniería Sísmica del Estado de California), es una técnica importante en el análisis de la capacidad de una estructura frente a cargas sísmicas. Esta técnica divide la curva de capacidad en diferentes sectores, cada uno asociado a un estado específico de daño de la estructura. [16]

La primera parte de la curva de capacidad, conocida como la zona elástica (Δ_e), representa el comportamiento de la estructura cuando esta se encuentra en un estado operacional. Este estado se caracteriza por deformaciones elásticas y la estructura conserva su capacidad de carga sin experimentar daños significativos. La determinación de esta zona se realiza mediante la identificación del punto de fluencia efectivo, utilizando una idealización bilineal de la curva de capacidad.

Cálculo de la Curva Bilineal en las Curvas de Capacidad

Para calcular la curva bilineal en las curvas de capacidad, se sigue un proceso de idealización que consiste en dos segmentos lineales representando el comportamiento elástico y post-elástico de la estructura. Este proceso implica identificar puntos clave en la curva de capacidad y calcular parámetros que describen la rigidez inicial y la rigidez post-elástica de la estructura.

Identificación del Punto de Fluencia Efectivo

El punto de fluencia efectivo (D_y , V_y) es el punto en la curva de capacidad donde la estructura transita del comportamiento elástico al comportamiento inelástico. Este punto se determina utilizando la idealización bilineal de la curva de capacidad, que implica los siguientes pasos:

- a. **Curva de Capacidad Original:** Obtención de la curva de capacidad a través de un análisis Pushover, que muestra la relación entre la fuerza cortante de la base (V) y el desplazamiento del techo (D).
- b. **Pendiente Inicial (Rigidez Elástica) (K_i):** La pendiente inicial de la curva de capacidad representa la rigidez inicial de la estructura en su fase elástica y se calcula como:

$$K_i = \frac{\Delta V}{\Delta D} \quad (5)$$

donde ΔV y ΔD son incrementos de fuerza y desplazamiento en la fase elástica de la curva.

- c. **Determinación del Punto de Fluencia (D_y, V_y):** El punto de fluencia efectivo se identifica como el punto en la curva de capacidad donde la rigidez cambia notablemente. Este punto puede ser determinado gráficamente o mediante métodos numéricos ajustando una línea recta que mejor se aproxime al comportamiento elástico y determinando el punto de intersección con el comportamiento inelástico.

Determinación del Punto de Capacidad Máxima

El punto de capacidad máxima (D_u, V_u) es el punto en la curva de capacidad donde la estructura alcanza su desplazamiento y fuerza máxima antes del colapso. Este punto se determina como:

- a. **Desplazamiento Último (D_u):** Es el máximo desplazamiento alcanzado en la curva de capacidad antes de que la estructura sufra una degradación significativa en su capacidad resistente.

- b. **Fuerza Cortante Máxima (Vu):** Es la máxima fuerza cortante alcanzada en la curva de capacidad correspondiente al desplazamiento último.

Segmento Elástico

El segmento elástico se traza desde el origen hasta el punto de fluencia efectivo. La pendiente de este segmento (K_i) se calcula como:

$$K_p = \frac{V_y}{D_y} \quad (6)$$

Segmento Post-Elástico

El segmento post-elástico se traza desde el punto de fluencia efectivo hasta un punto en la curva de capacidad que representa la capacidad máxima de la estructura (D_u, V_u). La pendiente de este segmento (K_p) se calcula como:

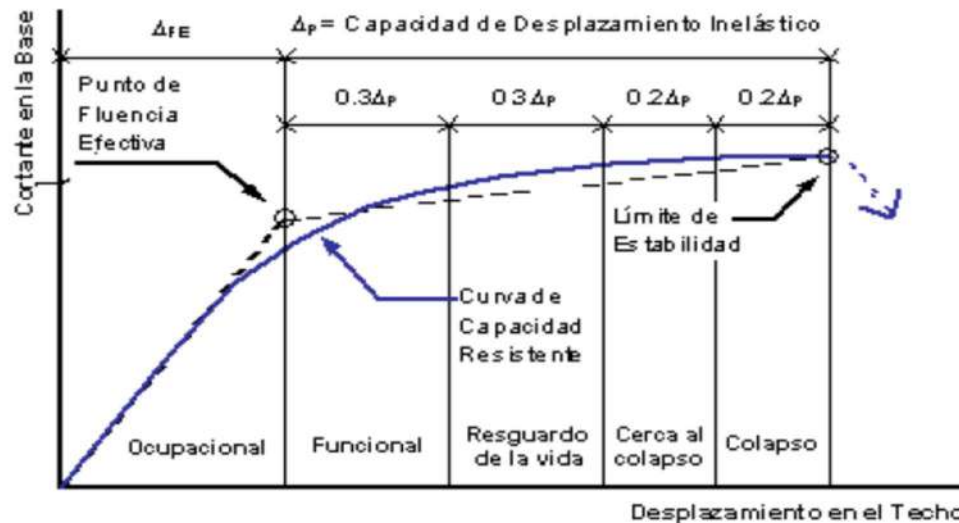
$$K_p = \frac{V_u - V_y}{D_u - D_y} \quad (7)$$

Definido los puntos los segmentos, la zona inelástica (Δp) se subdivide en cuatro partes, cada una asociada a porcentajes específicos de la capacidad de carga total de la estructura. Estos porcentajes suelen ser del 30%, 30%, 20% y 20%, respectivamente, y están relacionados con los cuatro últimos niveles de desempeño establecidos. Estos niveles de desempeño están vinculados a diferentes grados de daño estructural, que van desde daños leves hasta daños cercanos al colapso.

La sectorización de la curva de capacidad proporciona una herramienta visual y cuantitativa para evaluar el desempeño de una estructura en condiciones sísmicas y permite identificar de manera clara los límites de capacidad de la misma en cada estado de daño. Esto es fundamental para el diseño sísmico y la evaluación de la seguridad estructural en zonas de alta sismicidad.

Figura 3

Sectorización de la Curva de Capacidad



Nota: Adaptado de (p.16) VISION 2000 por Jurado y Navarro 2009 SEAOC, 1995

Espectro de Capacidad

El espectro de capacidad es una herramienta importante en la evaluación del desempeño sísmico de estructuras. Se obtiene a partir de la curva de capacidad de la estructura y el modo fundamental elástico. Este espectro proporciona información sobre cómo la capacidad de la estructura varía con diferentes niveles de desplazamiento y aceleración durante un evento sísmico. [16]

Para calcular el espectro de capacidad, primero se necesita la curva de capacidad, que relaciona la carga o capacidad resistente de la estructura con su desplazamiento. Esta curva se deriva típicamente de análisis no lineales, como el análisis PUSHOVER. El modo fundamental elástico se obtiene de un análisis modal de la estructura.

Una vez que se tiene la curva de capacidad y el modo fundamental elástico, se pueden calcular las cantidades conocidas como Seudo-Aceleración (SA) y Seudo-Desplazamiento espectral (Sd). Estos parámetros se basan en las características del primer modo modal y se calculan utilizando las ecuaciones:

$$S_a = \frac{V}{W} \cdot \frac{g}{4\pi^2} T^2 \quad (8)$$

$$S_d = \frac{4\pi^2}{T^2} \cdot D \quad (9)$$

Donde:

- V es la fuerza de base.
- W es el peso total de la estructura.
- g es la aceleración debida a la gravedad.
- T es el periodo.
- D es el desplazamiento

Demanda sísmica

La demanda sísmica se refiere a la cantidad de fuerzas sísmicas que una estructura debe resistir durante un evento sísmico. Se estudia para evaluar el desempeño de la estructura ante diferentes escenarios de peligro sísmico. Cada nivel de peligro se representa mediante un espectro elástico Sa–Sd, denominado espectro de demanda, que relaciona la pseudo-aceleración (Sa) con el pseudo-desplazamiento (Sd). [16]

Para obtener el espectro de demanda, se utilizan factores que tienen en cuenta la ubicación geográfica, las características del suelo y la forma del espectro. En particular, se puede expresar el espectro de demanda como:

$$S_a = Z.U.S \quad (10)$$

Donde:

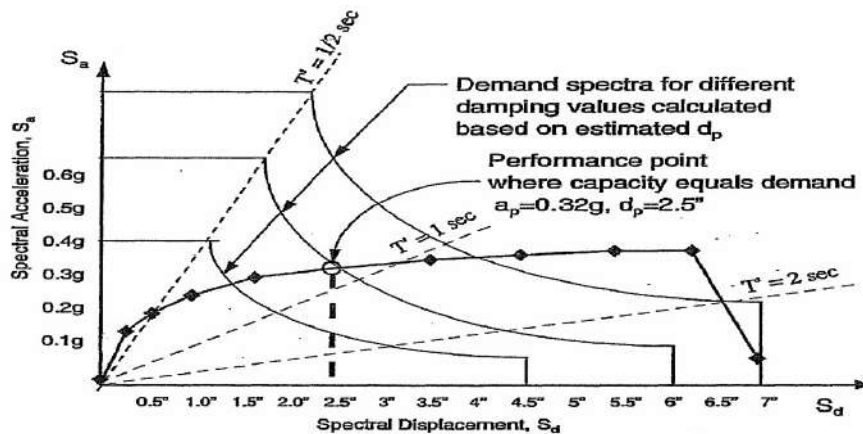
- Z: Factor de zona, que representa la aceleración pico del suelo (PGA) y varía según la ubicación geográfica.
- S: Factor de suelo, que tiene en cuenta las propiedades del suelo en el sitio de construcción y su efecto en la respuesta sísmica.
- U: Factor de uso.

Punto de demanda

El punto de demanda se obtiene al interceptar los espectros de capacidad y demanda, representando la respuesta que experimentaría la estructura ante el sismo delineado por el espectro de demanda. Este punto es crucial para evaluar la capacidad de la estructura para resistir el nivel de peligro sísmico especificado por el espectro de demanda, proporcionando así información vital sobre su comportamiento sísmico ante condiciones de carga real. [16]

Figura 4

Punto de Demanda



Nota: Adaptado de (p.114) *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1* por ATC-40 SEAOC, 1996

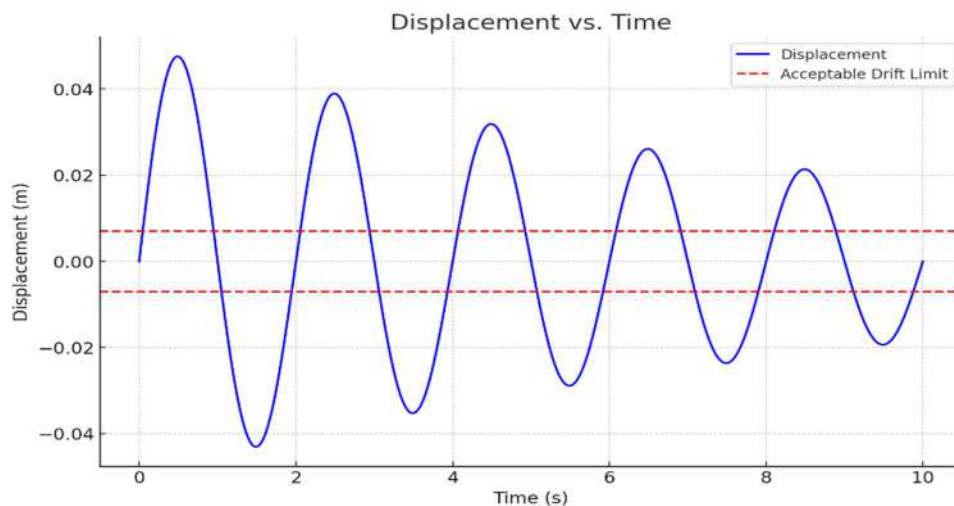
2.2.10. Análisis Dinámico No Lineal TIEMPO HISTORIA

Es una técnica avanzada que se utiliza para evaluar de manera precisa el comportamiento sísmico de una estructura al modelar su respuesta inelástica bajo un conjunto de registros de aceleración sísmica real o sintética. Este tipo de análisis considera el comportamiento no lineal de los materiales y elementos estructurales, permitiendo identificar cuándo y cómo los componentes estructurales alcanzan su capacidad última, forman mecanismos de falla y experimentan degradación progresiva. Esto es crucial para determinar el punto exacto donde la estructura entra en comportamiento plástico y evaluar su capacidad de absorción y disipación de energía.

Curvas de Desplazamiento vs. Tiempo

Esta gráfica muestra la evolución del desplazamiento estructural en función del tiempo durante un evento sísmico. Los límites de deriva aceptables están marcados en rojo, lo que permite identificar fácilmente si la estructura excede las deformaciones permisibles.

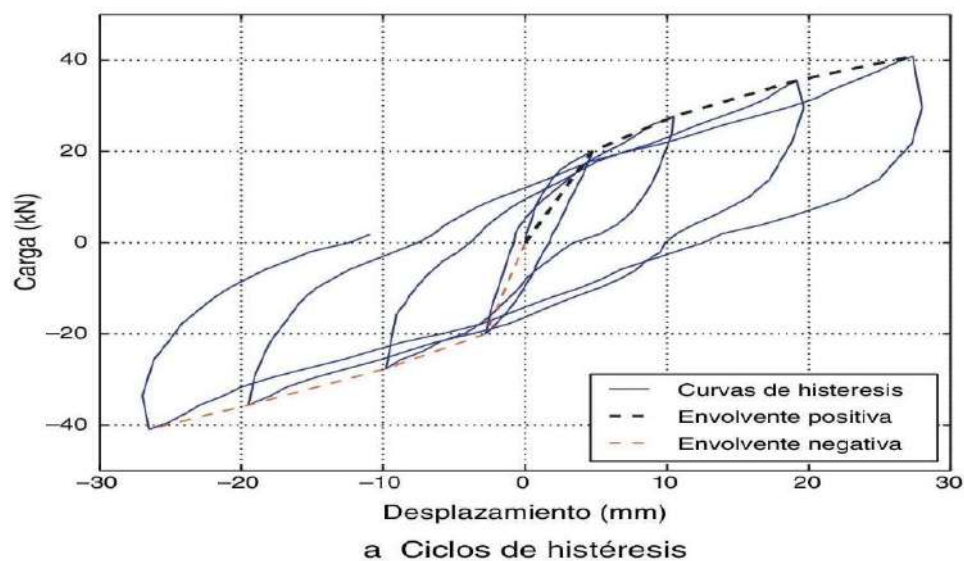
Figura 5 Curvas de Desplazamiento vs. Tiempo



Curvas de Fuerza-Desplazamiento (Histeresis)

La curva histerética representa el ciclo de carga y descarga, que es fundamental para evaluar la capacidad de disipación de energía de la estructura. Un comportamiento adecuado se reflejaría en un bucle amplio, indicando buena capacidad de amortiguamiento.

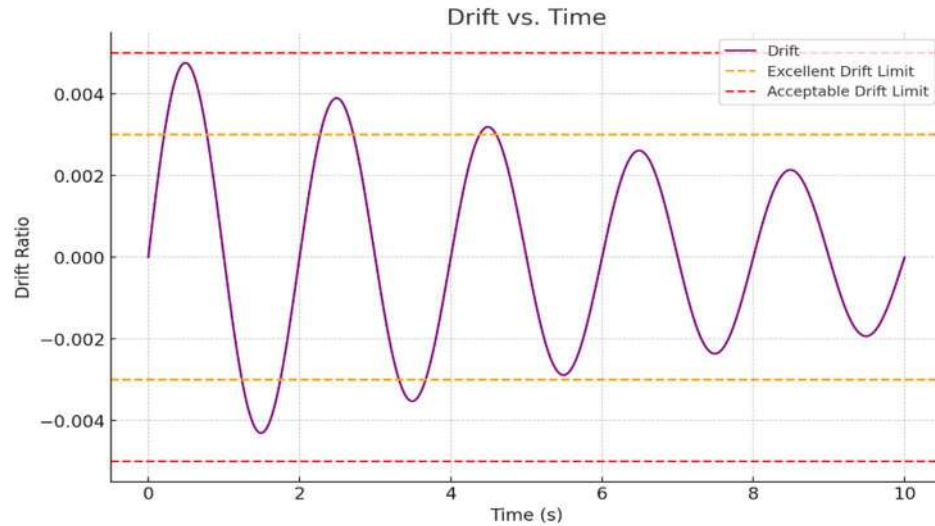
Figura 6 Curvas de Fuerza-Desplazamiento (Histeresis)



Curvas de Deriva Máxima de Entrepiso vs. Tiempo

Esta gráfica ilustra la deriva de entrepiso a lo largo del tiempo. Los límites de deriva para diferentes categorías de desempeño están marcados, lo que permite evaluar si la estructura se mantiene dentro de un rango seguro o si excede los valores críticos que indicarían vulnerabilidad.

Figura 7 Curvas de Deriva Máxima de Entrepiso vs. Tiempo



2.2.11. Análisis Dinámico Incremental No Lineal IDA

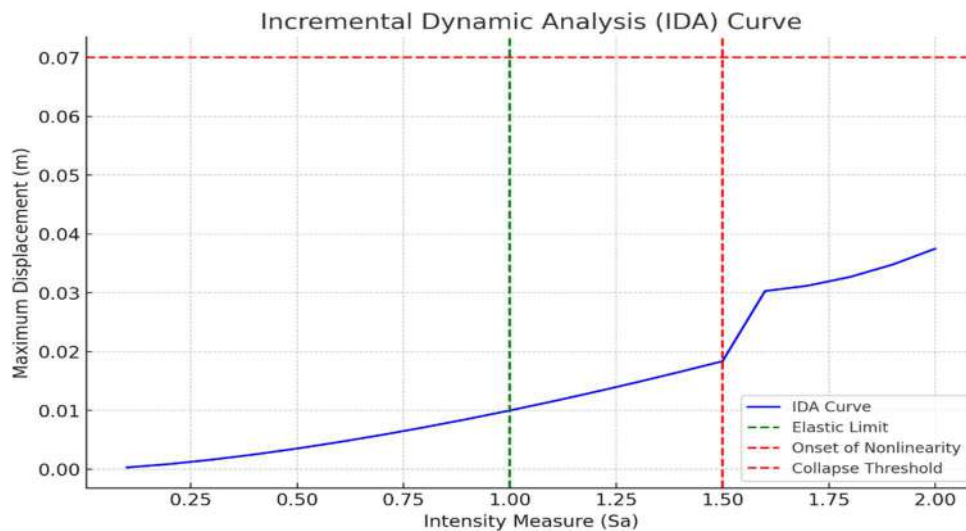
es un método avanzado utilizado para evaluar el comportamiento sísmico de una estructura mediante la aplicación incremental de registros sísmicos. Este análisis permite observar la respuesta no lineal de la estructura mientras se incrementa la intensidad del sismo, proporcionando una visión detallada de cómo evoluciona el desempeño estructural desde el estado elástico hasta el colapso.

El IDA consiste en escalar un conjunto de acelerogramas paso a paso, incrementando la intensidad del movimiento sísmico y registrando la respuesta estructural en términos de desplazamientos, fuerzas internas, derivas y daño acumulado. A medida que la intensidad sísmica aumenta, se puede identificar el punto en el que la estructura alcanza su capacidad máxima y comienza a experimentar un comportamiento no lineal significativo, lo cual es crucial para evaluar su vulnerabilidad.

Curvas IDA

Esta gráfica muestra la relación entre la intensidad del sismo (medida en términos de aceleración espectral, S_a) y el desplazamiento máximo experimentado por la estructura. Se destacan tres regiones importantes: el límite elástico (en verde), el inicio del comportamiento no lineal (en rojo) y el umbral de colapso (línea horizontal roja), lo que permite evaluar en qué punto la estructura entra en una fase de respuesta no controlada.

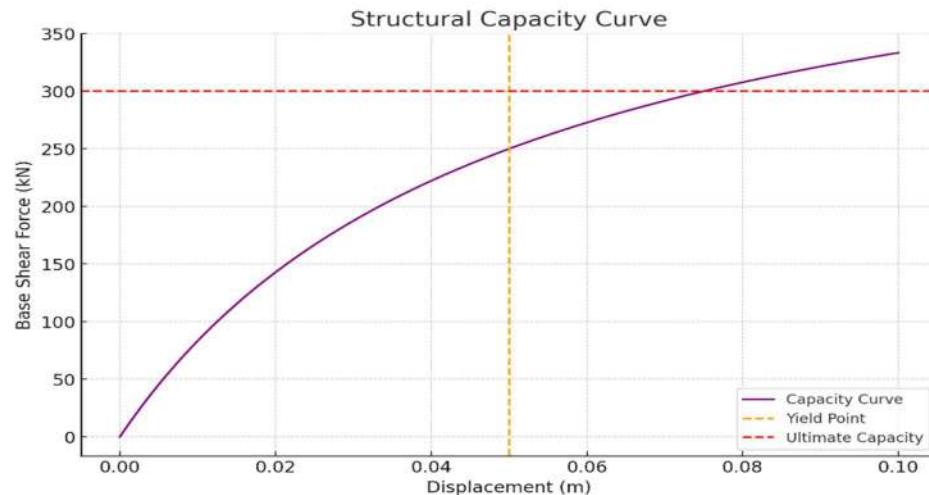
Figura 8 Curva IDA



Curva de Capacidad

Esta gráfica representa la capacidad estructural de la edificación, mostrando cómo la fuerza de corte en la base se relaciona con el desplazamiento no lineal. El punto de fluencia (en naranja) indica el inicio del comportamiento plástico, y la línea roja señala la capacidad última de la estructura antes de alcanzar el colapso.

Figura 9 Curva de Capacidad



2.3. Definición de conceptos básicos:

Vulnerabilidad sísmica: La susceptibilidad de una estructura o edificación a sufrir daños o colapsos durante un evento sísmico, influenciada por factores como la calidad de la construcción, el diseño estructural, las características del suelo y la intensidad del sismo. Adaptado de "Earthquake-Resistant Design of Structures" por Shashikant K. Duggal (2013).

Desempeño sísmico: La capacidad de una estructura para resistir y soportar las fuerzas generadas por un terremoto, evaluada mediante criterios como el desplazamiento máximo admisible, el factor de seguridad, el nivel de daños estructurales y la capacidad de recuperación posterior al evento. Basado en "Performance-Based Seismic Design Concepts and Implementation" por W. H. Mosley y R. E. Bachman (2017).

Reforzamiento incremental: Refuerzo incremental es un método de fortalecimiento gradual de una estructura existente para mejorar su resistencia sísmica y reducir su vulnerabilidad ante terremotos. Este enfoque implica la aplicación progresiva de medidas de refuerzo que no comprometen la integridad inicial de la edificación. Puede

incluir la adición de elementos como refuerzos de acero o concreto, modificaciones en conexiones y mejoras en la capacidad de carga de elementos existentes. La ventaja radica en su capacidad para fortalecer la estructura sin necesidad de una reconstrucción completa, lo que reduce costos y minimiza interrupciones. Esta definición se basa en los principios de la guía FEMA P-420.

Normativa sísmica: La normativa sísmica son conjuntos de reglas, regulaciones y estándares técnicos establecidos por autoridades gubernamentales o instituciones especializadas para guiar el diseño, construcción y reforzamiento de estructuras con el objetivo de resistir terremotos. Inspirado en "Seismic Design of Building Structures" por Michael R. Lindeburg y Kurt M. McMullin (2012).

Ductilidad estructural: La ductilidad estructural es la capacidad de una estructura para deformarse plásticamente sin perder su capacidad de soportar cargas, lo que permite absorber energía durante un terremoto y evitar el colapso repentino. Basado en "Earthquake-Resistant Design of Structures" por Shashikant K. Duggal (2005).

Índices de vulnerabilidad: Los índices de vulnerabilidad son herramientas cuantitativas o cualitativas utilizadas para evaluar y clasificar el nivel de vulnerabilidad sísmica de una estructura o una región específica. Adaptado de "Engineering Seismology, Geotechnical and Structural Earthquake Engineering" por Alain Pecker (2011).

Análisis dinámico lineal: El análisis dinámico lineal es una técnica de evaluación estructural que utiliza un modelo elástico lineal para determinar la respuesta de una estructura ante cargas sísmicas, considerando sus modos de vibración. Este método emplea el espectro de respuesta para calcular desplazamientos, fuerzas internas y otros parámetros de desempeño, asegurando que la estructura cumpla con los límites de desplazamiento y deriva establecidos en la normativa sísmica. Basado en "Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering" por Anil K. Chopra (2012).

Análisis no lineal estático Pushover: El análisis no lineal estático Pushover es una técnica de análisis estructural que simula la respuesta de una estructura ante cargas sísmicas aplicadas gradualmente, con el objetivo de identificar y evaluar los mecanismos de falla y los puntos débiles de la estructura antes de que ocurra un colapso completo. Inspirado en "Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings" por T. Paulay y M.J.N. Priestley (1992).

Análisis de Historia de Tiempo No Lineal: El análisis de historia de tiempo no lineal es un método detallado de evaluación estructural que simula la respuesta de una estructura a lo largo del tiempo frente a un conjunto de registros sísmicos reales o artificiales, considerando su comportamiento inelástico. Este análisis permite identificar el desarrollo de daños, la formación de mecanismos de falla y evaluar cómo la estructura disipa energía bajo demandas cíclicas. Inspirado en "Seismic Analysis of Structures" por T. K. Datta (2010).

Análisis Incremental Dinámico (IDA): El análisis incremental dinámico (IDA) es un enfoque avanzado para evaluar el comportamiento sísmico de estructuras mediante la aplicación escalonada de registros sísmicos, observando cómo evoluciona la respuesta no lineal de la estructura desde el estado elástico hasta el colapso. Este método permite construir curvas de desempeño que identifican niveles de daño y puntos críticos donde la estructura pierde su capacidad de resistir cargas adicionales. Basado en "Performance-Based Seismic Engineering: Vision for an Earthquake Resilient Society" por Peter Fajfar y Helmut Krawinkler (2008).

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis general

La implementación de un plan de reforzamiento estructural incremental puede mejorar significativamente el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, manteniendo su operatividad durante eventos sísmicos.

3.1.2. Hipótesis específicas

1. **Hipótesis 1:** El Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto presenta deficiencias estructurales que lo hacen vulnerable ante eventos sísmicos.
2. **Hipótesis 2:** La aplicación de criterios técnicos y prácticos permitirá identificar sistemas de reforzamiento estructural adecuados para mejorar el desempeño sísmico del Bloque A.
3. **Hipótesis 3:** Entre las configuraciones de reforzamiento propuestas, existe una opción que optimiza los indicadores de desempeño sísmico sin comprometer la operatividad del edificio.
4. **Hipótesis 4:** La implementación de un plan de reforzamiento estructural incremental, basado en la configuración óptima, mejorará significativamente el desempeño sísmico desde la primera fase, manteniendo la operatividad del Bloque A y optimizando costos y tiempos en comparación con una intervención integral.

3.2. Operacionalización de Variables

En esta sección se detallará cómo se medirán y analizarán las variables independientes y dependientes para evaluar el impacto del reforzamiento estructural incremental en el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto. La operacionalización de variables implica la definición de indicadores específicos, métodos de medición y escalas de evaluación para cada variable.

3.2.1. Identificación de la Variable Independiente

Estrategias de reforzamiento estructural, con énfasis en el enfoque de reforzamiento incremental.

Definición Conceptual:

Estrategias implementadas para mejorar la capacidad estructural y el comportamiento sísmico del edificio, enfocándose en métodos de reforzamiento incremental.

Definición Operacional:

Se refiere a las intervenciones estructurales aplicadas al edificio, categorizadas en función del tipo de reforzamiento utilizado.

Dimensiones e Indicadores:

1. Tipo de Reforzamiento Aplicado
 - Indicador: Categoría de estrategia de reforzamiento.

Procedimiento de Medición:

- ER0: Evaluación del edificio en su estado actual sin intervenciones.
- ER1: Evaluación del edificio propuesta reforzamiento 1.
- ER2: Evaluación del edificio propuesta reforzamiento 2.
- ER3: Evaluación del edificio propuesta reforzamiento 3.

3.2.2. Identificación de la Variable Dependiente:

Desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.

Definición Conceptual:

Capacidad del edificio para resistir acciones sísmicas sin sufrir daños significativos que comprometan su integridad estructural y funcionalidad.

Definición Operacional:

Medición del comportamiento estructural ante cargas sísmicas, evaluado a través de indicadores cuantitativos obtenidos mediante análisis estructural (estático no lineal y modal espectral).

3.2.3. Dimensiones, Indicadores y Escalas de Medición:

1. Rigidez Estructural

- Indicador 1.1: Período Fundamental de Vibración en dirección X (TX).
- Indicador 1.2: Período Fundamental de Vibración en dirección Y (TY).
- Escala de Medición: Razón de reducción porcentual respecto al estado sin reforzamiento.

Categoría	Reducción del Período (%)
Excelente	> 15%
Buena	10% - 15%
Aceptable	5% - 10%
No Aceptable	$\leq 5\%$ o incremento del período

2. Deformaciones Estructurales

- Indicador 2.1: Deriva Máxima de Entrepiso en dirección X (ΔX).
- Indicador 2.2: Deriva Máxima de Entrepiso en dirección Y (ΔY).

- Escala de Medición: Valor absoluto de la deriva.

Categoría	Deriva Máxima (Δ)
------------------	--

Excelente	$\Delta \leq 0.003$
-----------	---------------------

Buena	$0.003 < \Delta \leq 0.005$
-------	-----------------------------

Aceptable	$0.005 < \Delta \leq 0.007$
-----------	-----------------------------

No Aceptable	$\Delta > 0.007$
--------------	------------------

- Indicador 2.3: Reducción de la Deriva Máxima (%) respecto al estado sin reforzamiento.
- Escala de Medición:

Categoría	Reducción de la Deriva (%)
------------------	-----------------------------------

Excelente	$> 30\%$
-----------	----------

Buena	20% - 30%
-------	-----------

Aceptable	10% - 20%
-----------	-----------

No Aceptable	$\leq 10\%$ o incremento de la deriva
--------------	---------------------------------------

3. Desplazamientos Estructurales

- Indicador 3.1: Desplazamiento Total en dirección X.
- Indicador 3.2: Desplazamiento Total en dirección Y.
- Escala de Medición: Reducción porcentual respecto al estado sin reforzamiento.

Categoría	Reducción del Desplazamiento (%)
------------------	---

Excelente	$> 30\%$
-----------	----------

Buena	20% - 30%
-------	-----------

Categoría	Reducción del Desplazamiento (%)
Aceptable	10% - 20%
No Aceptable	$\leq 10\%$ o incremento del desplazamiento

4. Capacidad de Resistencia Sísmica

- Indicador 4.1: Nivel de Desempeño para Sismo Frecuente.
- Indicador 4.2: Nivel de Desempeño para Sismo de Servicio.
- Indicador 4.3: Nivel de Desempeño para Sismo de Diseño.
- Indicador 4.4: Nivel de Desempeño para Sismo Máximo.
- Escala de Medición: Ordinal, basada en los niveles de desempeño de FEMA 356 y ATC 40.

Código Nivel de Desempeño

FO	Funcionamiento Operacional
IO	Ocupación Inmediata
LS	Seguridad de Vida
CP	Prevención de Colapso

- **Categoría de Evaluación:**

Categoría	Nivel de Desempeño Esperado
Excelente	IO en Sismo Máximo
Buena	LS en Sismo Máximo
Aceptable	CP en Sismo Máximo
No Aceptable	Inferior a CP en Sismo Máximo

5. Demanda Sísmica

- Indicador 5.1: Cortante Sísmico de Diseño en dirección X.
- Indicador 5.2: Cortante Sísmico de Diseño en dirección Y.
- Escala de Medición: Valor absoluto en toneladas-fuerza (tonf). Se compara con la capacidad resistente de la estructura.
- **Evaluación:**
 - Aceptable: Si la capacidad resistente \geq demanda sísmica.
 - No Aceptable: Si la capacidad resistente $<$ demanda sísmica.

6. Distribución Modal

- Indicador 6.1: Factor de Masa Participativa en dirección X (UX).
- Indicador 6.2: Factor de Masa Participativa en dirección Y (UY).
- Indicador 6.3: Factor de Masa Participativa en rotación (RZ).
- Escala de Medición: Porcentaje de masa participativa acumulada.
 - Aceptable: Si la suma de los factores de masa participativa en los modos considerados es $\geq 90\%$.
 - No Aceptable: Si es $< 90\%$.

7. Anisotropía Estructural

- Indicador 7.1: Relación entre Derivas Máximas en X y Y (% de Anisotropía).
- Escala de Medición:

Categoría	Relación Derivas X/Y (%)
Baja Anisotropía	$\leq 20\%$
Anisotropía Moderada	20% - 40%
Alta Anisotropía	$> 40\%$

8. Puntos de Desempeño Estructural

- Indicador 8.1: Desplazamiento Espectral (S_d) en el punto de desempeño.
- Indicador 8.2: Aceleración Espectral (S_a) en el punto de desempeño.
- Escala de Medición: Comparación con las curvas de capacidad y demanda sísmica.
 - Aceptable: Si el punto de desempeño se encuentra dentro de la capacidad estructural.
 - No Aceptable: Si excede la capacidad.

3.3. Tipo de Investigación Aplicada

Este estudio es de tipo **aplicado**, **explicativo** y **cuantitativo**, orientado a resolver un problema práctico mediante el análisis y la interpretación de datos numéricos.

1. Investigación aplicada:

- La investigación aplicada se centra en la resolución de problemas prácticos utilizando conocimientos científicos y técnicos. En este caso, el objetivo es evaluar y mejorar el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto mediante la implementación de estrategias de reforzamiento estructural incremental.

2. Investigación Explicativa:

- La investigación explicativa busca identificar las causas y efectos de un fenómeno. En este estudio, se explora cómo las estrategias de reforzamiento estructural afectan el desempeño sísmico del edificio.

3. Investigación cuantitativa:

- La investigación cuantitativa implica la recolección y análisis de datos numéricos. La precisión y objetividad en la medición de variables como períodos de vibración, derivas, desplazamientos y fuerzas cortantes son esenciales para validar la efectividad de las estrategias de reforzamiento y tomar decisiones informadas.

La combinación de estos enfoques permite una evaluación integral del problema, asegurando que las soluciones propuestas sean efectivas y basadas en evidencia. Este enfoque es esencial para abordar un problema de alta relevancia social como la seguridad sísmica de un hospital.

3.4. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo-aplicativo, orientado a entender las relaciones causales y aplicar soluciones prácticas para mejorar el desempeño sísmico del edificio:

3.4.1. Nivel Explicativo

- **Análisis de Variables:** Se identifican y analizan las variables involucradas, tanto independientes como dependientes.
- **Relaciones Causales:** Se establece cómo las estrategias de reforzamiento (variables independientes) influyen en los indicadores de desempeño sísmico (variables dependientes).
- **Uso de Indicadores y Escalas:** Se emplean indicadores cuantitativos específicos y escalas de medición para evaluar el impacto de las intervenciones.

3.4.2. Nivel Aplicado

- **Solución de Problemas Reales:** La investigación se enfoca en resolver un problema específico y práctico.

- Implementación de Estrategias: Se aplican soluciones concretas que pueden ser implementadas en la realidad.
- Transferibilidad: Los resultados pueden ser aplicados a otras infraestructuras similares.

El nivel explicativo-aplicativo es adecuado para este estudio, ya que permite entender profundamente el problema y aplicar soluciones efectivas, contribuyendo a la seguridad y bienestar de la comunidad.

3.5. Diseño de Investigación

El diseño de investigación es cuasi-experimental, con un enfoque pretest-posttest de grupo único, complementado por un análisis cuantitativo de los datos.

3.5.1. Enfoque Metodológico

Pretest-Posttest con Grupo Único:

- Se evalúa el desempeño sísmico del edificio antes (pretest) y después (posttest) de la implementación de cada fase del reforzamiento.
- Permite medir el efecto directo de las intervenciones, controlando las variables al máximo posible dadas las limitaciones.

3.5.2. Justificación del Diseño

- Dado que se trabaja con una estructura existente, es imposible tener un grupo control separado.
- El diseño permite comparar objetivamente los cambios en los indicadores de desempeño sísmico.
- Aunque es cuasi-experimental, el control riguroso de las variables y el uso de modelos computacionales aumenta la validez interna del estudio.

3.5.3. Procedimientos Específicos

- 1. Recolección de Datos Iniciales:**
 - Inspección Visual: Identificación de daños y condiciones actuales.
 - Análisis Documental: Revisión de planos, informes y documentación relevante.
 - Modelado Computacional: Creación del modelo estructural en ETABS.
- 2. Análisis Inicial (Pre-Reforzamiento):**
 - Análisis Modal Espectral: Determinación de períodos, modos y derivas.
 - Análisis Pushover: Obtención de curvas de capacidad y evaluación del desempeño.
- 3. Implementación del Reforzamiento Incremental:**
 - Diseño de Intervenciones: Basado en los resultados iniciales.
 - Aplicación por Fases: Implementación de las tres fases de reforzamiento.
- 4. Análisis Post-Reforzamiento:**
 - Repetición de Análisis: Modal y Pushover tras cada fase.
 - Evaluación de Indicadores: Actualización de variables, indicadores y escalas.
- 5. Evaluación Comparativa y Validación:**
 - Comparación de Resultados: Entre pretest y postest.
 - Validación de Hipótesis: Confirmación de la efectividad del reforzamiento.
- 6. Interpretación y Presentación de Resultados:**
 - Análisis de Tendencias: Evaluación de mejoras.
 - Conclusiones y Recomendaciones: Basadas en los hallazgos.

3.6. Población de Estudio

3.6.1. Descripción de la Población

La población de estudio en esta investigación se compone del Hospital II-2 Tarapoto es una de las principales instituciones de salud en la región, alberga varias unidades críticas, incluidas áreas de emergencia, cirugía, y cuidados intensivos.

3.6.2. Selección de la Muestra

Para esta investigación, se seleccionó específicamente el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto por ser fundamental para la operación del hospital, ya que alberga unidades críticas que deben mantenerse funcionales durante y después de un sismo. Y permite extrapolar los resultados y recomendaciones de este estudio a otras infraestructuras hospitalarias en la región que presentan características similares en términos de diseño y construcción.

3.6.3. Características de la Población de Estudio

Las características específicas del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto incluyen:

- Año de Construcción: 2014
- Número de Pisos: 4
- Materiales Principales: Concreto armado y acero estructural
- Uso de Espacios: Áreas de emergencia, cirugía, cuidados intensivos, entre otros
- Superficie Total: Aproximadamente 5,000 metros cuadrados

Figura 10

Hospital II-2 Tarapoto.



Nota: Hospital II-2, resaltando el Bloque A, extraído de Google Maps 2024.

3.7. Técnicas de Recolección de los Datos

3.7.1. Inspección visual

- La inspección visual fue fundamental para obtener una comprensión directa del estado actual de la estructura hospitalaria. Permitió identificar visualmente cualquier daño, deterioro o áreas de debilidad que podrían afectar su desempeño sísmico.

3.7.2. Análisis estructural computacional

- Se utilizó el Software ETABS, Para modelado y análisis estructural:
 - Análisis Modal Espectral: Para determinar períodos y modos de vibración.
 - Análisis Pushover: Para evaluar la capacidad y desempeño no lineal.

3.7.3. Análisis de documentos (planos, dossier de control de calidad, programas de mantenimiento en proceso)

- El análisis de documentos, como planos y dossier de control de calidad, proporcionó información histórica y técnica importante sobre el diseño y la construcción de la estructura hospitalaria.
- Esta técnica ayudó a identificar detalles de construcción relevantes, materiales utilizados, especificaciones de diseño y cualquier información pertinente que pudiera influir en el desempeño sísmico de la estructura.
- Además, el análisis de documentos reveló datos sobre inspecciones previas, reparaciones anteriores o cualquier intervención estructural realizada, lo que fue crucial para comprender la historia y el estado actual de la estructura. Este análisis también incluyó la evaluación de cómo el reforzamiento incremental se integró con los programas de mantenimiento en proceso o ya establecidos, lo que permitió una gestión efectiva y coordinada de las intervenciones estructurales para mejorar el desempeño sísmico del hospital.

3.7.4. Revisión documental

- La revisión documental implicó la recopilación y el análisis de información relevante de fuentes secundarias, como informes técnicos, estudios previos y literatura especializada.
- Esta técnica proporcionó contexto y antecedentes sobre el problema de investigación, incluidas las técnicas de reforzamiento estructural previamente utilizadas en estructuras similares y los resultados obtenidos.
- La revisión documental también ayudó a identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas de estudios anteriores, lo que pudo guiar el diseño y la implementación de soluciones efectivas en el contexto específico del Hospital II-2 Tarapoto.

3.8. Análisis de Datos

3.8.1. Variables e Indicadores

A. Variable Independiente:

- Estrategias de reforzamiento estructural, con énfasis en el enfoque de reforzamiento incremental.

B. Variable Dependiente e indicadores:

- Desempeño Sísmico del Edificio
- Indicadores de Desempeño Sísmico:
 1. Períodos de Vibración (TX, TY)
 2. Derivas Máximas (ΔX , ΔY)
 3. Desplazamientos Totales
 4. Niveles de Desempeño Sísmico (FO, IO, LS, CP)
 5. Cortantes de Diseño
 6. Factores de Masa Participativa
 7. Anisotropía Estructural
 8. Puntos de Desempeño Espectral (S_d , S_a)

3.8.2. Técnicas de Análisis

- **Análisis Comparativo:**
 - Comparación de indicadores entre el estado pre-reforzamiento y post-reforzamiento.
- **Evaluación de Escalas:**
 - Uso de escalas cualitativas (Excelente, Buena, Aceptable, No Aceptable) para interpretar los porcentajes de mejora.

- **Interpretación Gráfica:**
 - Elaboración de gráficos y tablas que muestren las tendencias y variaciones de los indicadores.

3.8.3. Interpretación de Resultados

- **Análisis de Tendencias:**
 - Identificación de mejoras progresivas en los indicadores a través de las fases.
- **Cumplimiento Normativo:**
 - Verificación del cumplimiento de normativas sismorresistentes y requisitos para edificaciones esenciales.
- **Implicaciones Prácticas:**
 - Discusión sobre la viabilidad y efectividad de implementar el reforzamiento incremental.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. Descripción del Trabajo de Campo

4.1.1. Solicitudes y Obtención de Información

Para iniciar el análisis estructural del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, se gestionó una solicitud formal al director del hospital, con el objetivo de acceder a la información técnica y a los planos estructurales de la edificación. Esta solicitud fue dirigida al área de Ingeniería del hospital, la cual, a su vez, nos remitió al Gobierno Regional de San Martín. En esta etapa, se logró obtener la documentación necesaria, incluyendo planos arquitectónicos y estructurales en formato CAD, así como un informe técnico en formato PDF que contenía información detallada sobre las condiciones actuales de la estructura.

4.1.2. Visita al Sitio

Durante la visita a las instalaciones del Hospital II-2 Tarapoto, se realizaron inspecciones visuales detalladas para verificar el estado actual de la edificación y contrastarlo con los planos proporcionados. Se observaron ciertas restricciones para realizar un registro fotográfico debido a normas internas del hospital; sin embargo, se permitió el acceso para evaluar las condiciones físicas de la estructura. Durante esta inspección, se identificaron algunas características relevantes, como el desprendimiento de la pintura en muros externos, presencia de humedad debido a las condiciones climáticas y algunas fisuras en los muros no estructurales.

Figura 11
Hospital II-2 Tarapoto



Nota: Hospital II-2, Tarapoto, extraída de página institucional del hospital 2019.

4.1.3. Verificación de la Estructura y Observaciones Visuales

La verificación de la estructura se centró en identificar signos visibles de deterioro que pudieran comprometer el desempeño sísmico del edificio. Se constató que, en el exterior de la estructura, se encontraban daños superficiales como el desprendimiento de pintura y humedades en los muros, lo cual es típico en regiones con alta pluviosidad. No obstante, no se identificaron grietas ni daños visibles en los elementos estructurales principales, como columnas, vigas y muros portantes, lo que sugiere que, a simple vista, la estructura mantenía su integridad. En el interior, la pintura y los acabados estaban en buen estado, lo cual respaldaba la ausencia de daños estructurales significativos.

4.1.4. Obtención de Información Técnica

Dado que no se permitió la extracción de muestras de los elementos estructurales durante la visita, se obtuvo información adicional consultando estudios previos realizados en el hospital. Se estableció contacto con los ingenieros

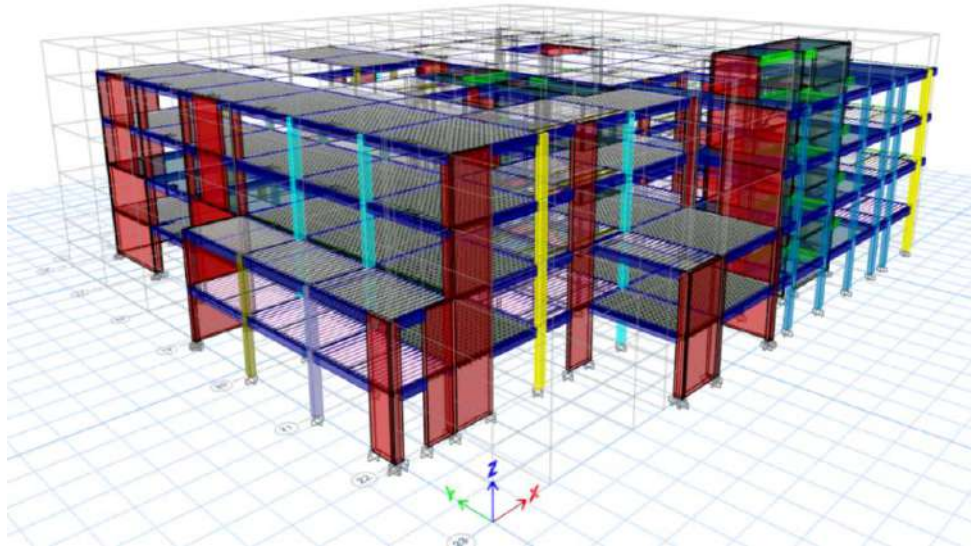
Marco Antonio García Flores y Alimber Hidalgo Sandoval, quienes realizaron una investigación sobre la confiabilidad sísmica del hospital en 2022. Estos ingenieros compartieron datos valiosos sobre las propiedades del concreto y el acero de refuerzo, incluyendo sus características mecánicas y pruebas de resistencia que confirmaron que los materiales utilizados superaban las especificaciones del diseño original.

4.1.5. Desarrollo del Modelo Estructural en ETABS

Con la información recopilada y verificada, se procedió a la construcción del modelo estructural del Bloque A en el software ETABS. Este modelo incluyó las dimensiones precisas y las propiedades mecánicas de los materiales, tal como se especificaron en los planos obtenidos y en la información técnica proporcionada. Se definieron las secciones estructurales de columnas, vigas y muros, y se incorporaron las características dinámicas de la estructura, como la distribución de masas y las condiciones de soporte. El modelo fue calibrado para representar fielmente las condiciones existentes de la edificación, sirviendo como base para los análisis posteriores de vulnerabilidad sísmica y las simulaciones de reforzamiento estructural.

Figura 12

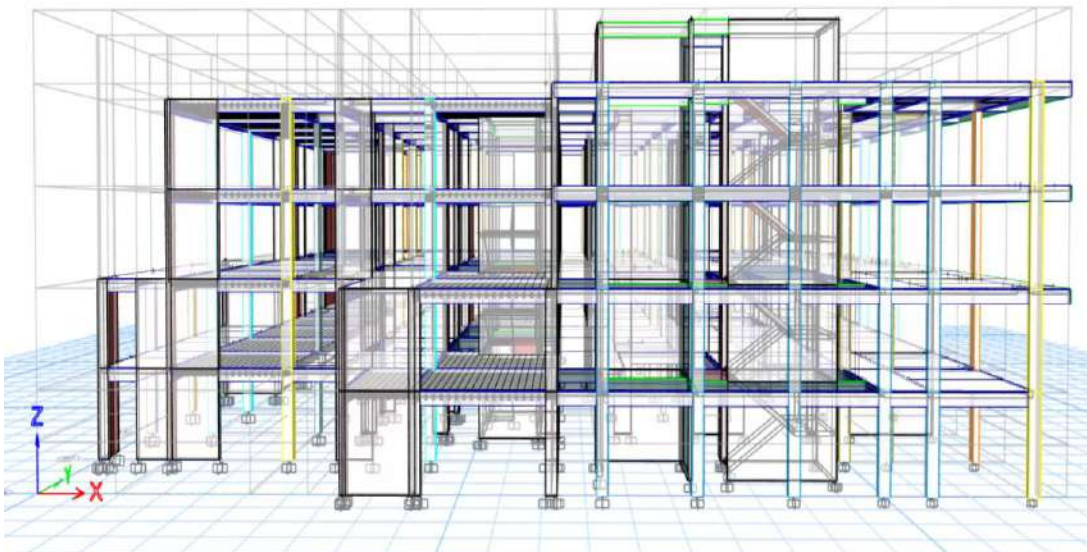
Bloque A Modelado en Etabs



Nota: Modelo en ETABS del bloque A del Hospital II-2, Tarapoto, elaboración propia.

Figura 13

Bloque A Modelado en Etabs



Nota: Modelo en ETABS del bloque A del Hospital II-2, Tarapoto, elaboración propia.

4.2. Cambios Relevantes de la Aplicación de la Propuesta

4.2.1. Incremento de la Rigidez Estructural

La implementación del sistema de reforzamiento estructural, utilizando muros de concreto armado y arriostres metálicos, tuvo un impacto significativo en el aumento de la rigidez del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto. Este incremento en la rigidez se evaluó a través de los períodos fundamentales de vibración en ambas direcciones principales.

- **Período Fundamental en Dirección X (TX):** El período fundamental disminuyó de 0.279 segundos a 0.227 segundos, lo que representa una reducción del 18.64%. Este decremento indica un aumento significativo en la rigidez de la estructura en esta dirección, mejorando su capacidad para resistir deformaciones durante eventos sísmicos.
- **Período Fundamental en Dirección Y (TY):** Se observó una reducción del período de 0.221 segundos a 0.208 segundos, equivalente a un 5.88%. Aunque la mejora es menos pronunciada en comparación con la dirección X, aún demuestra un incremento en la rigidez transversal del edificio.

Estos resultados reflejan una categorización "**Excelente**" en la dirección X y "**Aceptable**" en la dirección Y, de acuerdo con los criterios establecidos para la reducción del período, lo que indica que el sistema de reforzamiento ha sido efectivo en fortalecer la rigidez estructural.

4.2.2. Reducción de Deformaciones y Desplazamientos

El reforzamiento estructural implementado ha logrado una disminución significativa en las deformaciones y desplazamientos del Bloque A, lo cual es crucial para la estabilidad y seguridad de la estructura ante eventos sísmicos.

- **Deriva Máxima de Entrepiso en Dirección X (ΔX):** La deriva máxima disminuyó de 0.002352 a 0.001494, lo que representa una reducción del 36.48%. Este valor se encuentra en la categoría "**Excelente**" según la escala de medición, ya que logra mantener las derivas bien por debajo del límite permisible de 0.007 establecido por la NTP E.030.
- **Desplazamiento Total en Dirección X:** El desplazamiento total se redujo de 3.04 cm a 2.0332 cm, lo que corresponde a una reducción del 33.16%. Esta disminución en el desplazamiento indica una mejora significativa en la estabilidad global de la estructura.

Estos resultados demuestran que la intervención de reforzamiento ha sido efectiva en limitar las deformaciones estructurales, lo cual es fundamental para minimizar el riesgo de daños durante un evento sísmico.

4.2.3. Mejora en la Capacidad de Resistencia Sísmica

La capacidad de resistencia sísmica del Bloque A se evaluó en términos de su desempeño estructural bajo diferentes escenarios sísmicos, observando mejoras notables tras la implementación del reforzamiento.

- **Nivel de Desempeño en Sismo Máximo:** Antes del reforzamiento, la estructura alcanzaba un nivel de **Prevención del Colapso (CP)**, lo cual es inaceptable para una edificación esencial. Después de las Fases I y II del reforzamiento, el desempeño mejoró a **Seguridad de Vida (LS)**, cumpliendo el requisito mínimo. Finalmente, con la implementación de la Fase III, la estructura alcanzó el nivel de **Ocupación Inmediata (IO)**, superando los estándares normativos y asegurando una funcionalidad continua del hospital después de un sismo.

Estas mejoras reflejan un incremento significativo en la capacidad de la estructura para soportar fuerzas sísmicas, garantizando una mayor seguridad para los ocupantes y la continuidad operativa de la infraestructura hospitalaria.

4.2.4. Optimización de la Distribución Modal y Reducción de Anisotropía

La redistribución de la masa participativa y la reducción de la anisotropía estructural son indicadores clave del comportamiento dinámico de la estructura reforzada.

- **Distribución Modal:** Se logró una mayor concentración de masa participativa en los primeros modos de vibración, lo cual optimiza la respuesta dinámica de la estructura. Esta redistribución es crucial para asegurar que la mayor parte de la energía sísmica sea absorbida y disipada de manera eficiente.
- **Reducción de Anisotropía Estructural:** La relación de derivas entre las direcciones X e Y disminuyó significativamente de un 35.08% a un 4.15%. Esta reducción implica una respuesta más simétrica y uniforme del edificio, lo cual es esencial para evitar comportamientos no deseados como torsiones excesivas y concentraciones de esfuerzos en elementos específicos.

La optimización en la distribución modal y la considerable disminución en la anisotropía estructural evidencian que el sistema de reforzamiento ha logrado equilibrar las rigideces y las respuestas de la estructura en ambas direcciones principales.

4.2.5. Incremento en la Capacidad Resistente y Seguridad Global

El análisis final de la estructura reforzada demostró un aumento en su capacidad resistente y una mejora en la seguridad global del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.

- **Cortante de Diseño en Dirección X:** Se observó un ligero aumento del cortante sísmico de diseño, de 1,952.75 tonf a 2,020.24 tonf. La estructura reforzada no solo fue capaz de resistir esta demanda incrementada, sino que lo hizo con una menor deformación global.
- **Desplazamiento Espectral en Sismo Máximo:** El desplazamiento espectral disminuyó de 0.0470 m a 0.0180 m, lo que evidencia un mejor comportamiento bajo cargas sísmicas y una menor susceptibilidad a daños estructurales.

Estos resultados confirman que la implementación del reforzamiento no solo ha aumentado la capacidad resistente de la estructura, sino que también ha mejorado significativamente su desempeño sísmico, asegurando un nivel superior de seguridad y resiliencia ante eventos sísmicos severos.

4.3. Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.

Para determinar la vulnerabilidad sísmica, se usará métodos cuantitativos, como el análisis dinámico lineal según la NTP- E.030, de no cumplir se declara vulnerable, en caso de cumplir, se debe validar por medio de un Análisis No lineal.

4.3.1. Análisis Dinámico Lineal (Modal Espectral) del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto

El análisis dinámico lineal modal espectral se realizó siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Peruana (NTP) E.030, con el objetivo de evaluar el comportamiento sísmico inicial del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto. Este análisis es fundamental para determinar las propiedades dinámicas de la estructura

y su capacidad para soportar cargas sísmicas mediante la identificación de sus modos de vibración predominantes y la cuantificación de los desplazamientos y derivas máximas.

4.3.1.2 Datos de Entrada del Modelo

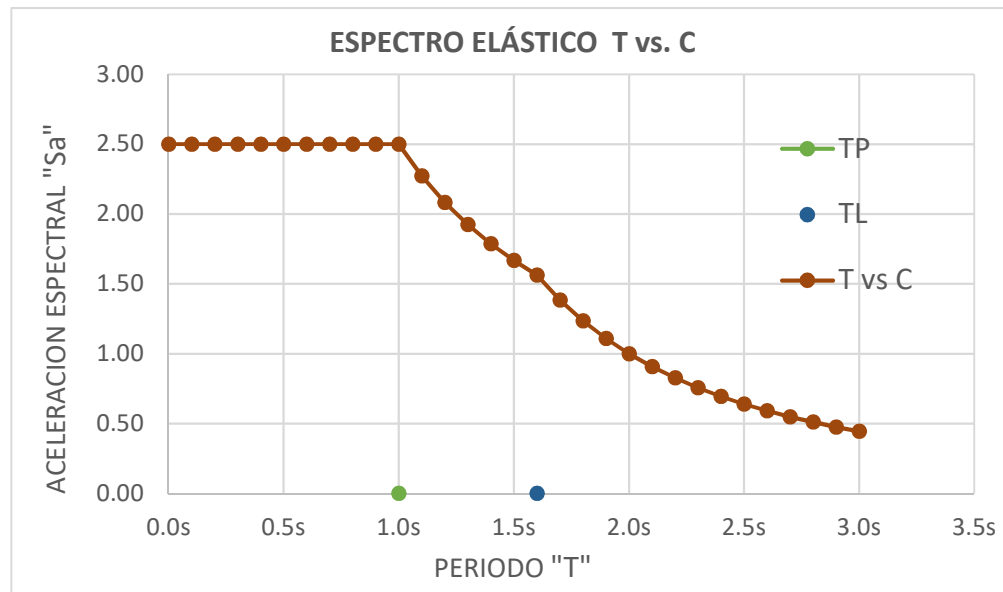
Para llevar a cabo el análisis dinámico modal espectral, se utilizaron los siguientes datos de entrada, que reflejan las características físicas y mecánicas de la estructura del Bloque A:

- Altura del primer piso: 4.35 m
- Altura típica de entrepisos: 4.25 m
- Ubicación: Zona 3
- Factor de Zona (%): 0.35
- Clasificación de suelo: S3
- Factor de amplificación del suelo: $S = 1.2$
- Periodo que define la plataforma del factor C: $T_p = 1.0$ segundos
- Periodo que define el inicio TL = 1.6 segundos
- Factor de uso: $U = 1.5$
- Fuerza cortante en la base (según N.T.P. E.030, 28.2.1): $V = ZUCS/R = 2440.95$ toneladas
- Concreto:
 - Módulo de elasticidad $E_c = 217370 \text{ kg/cm}^2$
 - Poisson $U = 0.15$
 - Resistencia a la compresión $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Acero de refuerzo:
 - Módulo de elasticidad $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$
 - Resistencia la tracción $F_y = 4800 \text{ kg/cm}^2$
 - Resistencia la tracción $F_u = 6300 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 2*Espectro Elástico*

ESPECTRO EN XX				ESPECTRO EN YY			
T	C	Sa (m/s ²)	Sa (g)	T	C	Sa (m/s ²)	Sa (g)
0	2.50	2.574259	0.2624117	0	2.50	2.574259	0.262411697
0.1	2.50	2.574259	0.2624117	0.1	2.50	2.574259	0.262411697
0.3	2.50	2.574259	0.2624117	0.3	2.50	2.574259	0.262411697
0.5	2.50	2.574259	0.2624117	0.5	2.50	2.574259	0.262411697
0.7	2.50	2.574259	0.2624117	0.7	2.50	2.574259	0.262411697
0.9	2.50	2.574259	0.2624117	0.9	2.50	2.574259	0.262411697
1	2.50	2.574259	0.2624117	1	2.50	2.574259	0.262411697
1.1	2.27	2.340235	0.23855609	1.1	2.27	2.340235	0.238556088
1.3	1.92	1.980199	0.20185515	1.3	1.92	1.980199	0.201855152
1.5	1.67	1.716173	0.17494113	1.5	1.67	1.716173	0.174941131
1.6	1.56	1.608912	0.16400731	1.6	1.56	1.608912	0.164007311
1.7	1.38	1.425195	0.14527983	1.7	1.38	1.425195	0.145279832
1.9	1.11	1.140946	0.11630435	1.9	1.11	1.140946	0.116304353
2	1.00	1.029704	0.10496468	2	1.00	1.029704	0.104964679
2.1	0.91	0.933971	0.09520606	2.1	0.91	0.933971	0.095206058
2.3	0.76	0.778604	0.07936838	2.3	0.76	0.778604	0.079368377
2.5	0.64	0.659010	0.06717739	2.5	0.64	0.659010	0.067177394
2.7	0.55	0.564995	0.05759379	2.7	0.55	0.564995	0.057593788
2.8	0.51	0.525359	0.05355341	2.8	0.51	0.525359	0.053553408
2.9	0.48	0.489752	0.04992375	2.9	0.48	0.489752	0.049923747
3	0.44	0.457646	0.04665097	3	0.44	0.457646	0.046650968
3.2	0.39	0.402228	0.04100183	3.2	0.39	0.402228	0.041001828
3.4	0.35	0.356299	0.03631996	3.4	0.35	0.356299	0.036319958
3.6	0.31	0.317810	0.03239651	3.6	0.31	0.317810	0.032396506
3.8	0.28	0.285236	0.02907609	3.8	0.28	0.285236	0.029076088
4	0.25	0.257426	0.02624117	4	0.25	0.257426	0.02624117
4.2	0.23	0.233493	0.02380151	4.2	0.23	0.233493	0.023801514
4.6	0.19	0.194651	0.01984209	4.6	0.19	0.194651	0.019842094
4.8	0.17	0.178768	0.01822303	4.8	0.17	0.178768	0.018223035
5	0.16	0.164753	0.01679435	5	0.16	0.164753	0.016794349

Nota: Adaptado de RNE E.030, elaboración propia

Figura 14*Espectro Elástico T. vs. C.*

Nota: Multiplicar por el factor de escala $F.E.=(ZUS/R)$. g. Elaboración propia

Estos parámetros fueron introducidos en el software ETABS para realizar el modelo estructural del Bloque A y llevar a cabo el análisis dinámico modal espectral, asegurando que los resultados sean consistentes con las condiciones locales y las especificaciones normativas.

4.3.1.3 Resultados del Análisis Dinámico

El análisis dinámico modal espectral se desarrolló en dos etapas utilizando el software ETABS. La primera simulación se enfocó en la validación de las irregularidades estructurales tanto en planta como en altura, con el objetivo de definir el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas. Posteriormente, se realizó una segunda simulación para obtener los resultados detallados del análisis dinámico lineal, lo cual permitió evaluar las propiedades dinámicas y el comportamiento sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.

a) Validación de Parámetros en la Primera Simulación

Durante la primera simulación, se evaluaron las irregularidades estructurales para determinar la regularidad de la edificación y calcular el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas:

Irregularidades en Altura:

- **Factor de Irregularidad (I_{ax} , I_{ay}):** Los valores obtenidos fueron $I_{ax} = 1$ e $I_{ay} = 1$, indicando una distribución homogénea de la rigidez y la resistencia en altura.
- Se analizaron aspectos como la irregularidad de rigidez (piso blando), irregularidad de resistencia (piso débil), irregularidad de masa, irregularidad geométrica vertical y discontinuidades en los sistemas resistentes, confirmando que la estructura no presenta irregularidades significativas en altura.

Irregularidades en Planta:

- **Factor de Irregularidad (I_{px} , I_{py}):** Los resultados mostraron $I_{px} = 1$ e $I_{py} = 1$, lo cual indica que la distribución de las fuerzas en planta es regular.
- Se verificaron las irregularidades torsionales, la presencia de esquinas entrantes, la continuidad del diafragma y la alineación de los sistemas resistentes, confirmando la regularidad en planta.

Con base en esta validación, se estableció el **coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas** como $R_{x,y} = R_o * I_a * I_p = 6$, (Muros fuerza cortante en la base para XX de 92% y YY de 96%).

b) Resultados del Análisis Dinámico Lineal en la Segunda Simulación

En la segunda simulación, se realizaron ajustes al modelo estructural con base en la validación inicial, obteniendo los resultados del análisis dinámico lineal modal espectral, que se detallan a continuación:

Modos de Vibración y Factores de Masa Participativa:

- Los períodos fundamentales de vibración obtenidos fueron 0.279 segundos en la dirección X y 0.221 segundos en la dirección Y.
- La suma acumulada de los factores de masa participativa en las direcciones X e Y alcanzó valores superiores al 90% (Sum UX = 96%, Sum UY = 94.6%), lo que cumple con los requisitos de la NTP E.030 y garantiza que los modos de vibración considerados son representativos de la respuesta sísmica global de la estructura.

Tabla 3

Factor de Masa Participativa y Modos de Vibración

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
Modal	1	0.279	0.3359	0.1105	0.3359	0.1105	0.2558	0.2558
Modal	2	0.221	0.2478	0.4252	0.5838	0.5357	0.0265	0.2822
Modal	3	0.187	0.1276	0.1546	0.7114	0.6903	0.3865	0.6687
Modal	4	0.078	0.1105	0.001	0.8219	0.6913	0.1049	0.7736
Modal	5	0.065	0.0107	0.1976	0.8326	0.8889	0.0005	0.7742
Modal	6	0.058	0.0669	0.0111	0.8995	0.8999	0.12	0.8941
Modal	7	0.038	0.0275	0.0003	0.927	0.9003	0.0191	0.9133
Modal	8	0.032	0.0009	0.0449	0.9278	0.9452	0.0003	0.9136
Modal	9	0.029	0.0242	0.0009	0.952	0.9461	0.0183	0.9319
Modal	10	0.026	0.0052	0.0003	0.9572	0.9464	0.0162	0.9481
Modal	11	0.023	0.0018	0.0151	0.9591	0.9614	0.000023	0.9481
Modal	12	0.021	0.006	0.0036	0.965	0.965	0.0138	0.9619

Nota: Extraído de ETABS, elaboración propia

Tabla 4*Peso del Edificio*

Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	Peso por Nivel tonf
Nivel 4	Peso: 100%CM+50%CV	Bottom	2148.024	2148.0
Nivel 3	Peso: 100%CM+50%CV	Bottom	4349.6958	2201.7
Nivel 2	Peso: 100%CM+50%CV	Bottom	6839.7476	2490.1
Nivel 1	Peso: 100%CM+50%CV	Bottom	9298.8668	2459.1

Nota: Extraído de ETABS, elaboración propia**Cortantes Dinámicas y Distribución de Fuerzas:**

- Se evaluaron las cortantes dinámicas para cada nivel de la estructura, confirmando una distribución coherente de las fuerzas laterales inducidas por el sismo, tanto en las direcciones X como Y.

Tabla 5*Cortante Dinámica*

Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
Nivel 4	SD XX	Bottom	507.62	352.4933
Nivel 4	SD YY	Bottom	342.731	577.3516
Nivel 3	SD XX	Bottom	862.8664	621.9771
Nivel 3	SD YY	Bottom	614.0158	931.318
Nivel 2	SD XX	Bottom	1107.5594	785.7103
Nivel 2	SD YY	Bottom	783.1494	1192.254
Nivel 1	SD XX	Bottom	1234.1193	849.2014
Nivel 1	SD YY	Bottom	849.2071	1352.5254

Nota: Extraído de ETABS, elaboración propia

Tabla 6*Cortante Dinámica por Sismo*

Story	Load Case/Combo	Location	VX tonf	VY tonf
Nivel 4	SISXX	Bottom	803.2072	557.7502
Nivel 4	SISYY	Bottom	494.8316	833.5745
Nivel 3	SISXX	Bottom	1365.3134	984.1544
Nivel 3	SISYY	Bottom	886.5098	1344.6276
Nivel 2	SISXX	Bottom	1752.4912	1243.2294
Nivel 2	SISYY	Bottom	1130.7033	1721.3645
Nivel 1	SISXX	Bottom	1952.7469	1343.6914
Nivel 1	SISYY	Bottom	1226.0767	1952.7626

Nota: Extraído de ETABS, elaboración propia**c) Evaluación de Derivas Máximas de Entrepiso**

Las derivas máximas de entrepiso se analizaron para determinar la capacidad de la estructura de limitar las deformaciones relativas durante un evento sísmico. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 7*Derivas de entre Piso X*

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	Desplaz. Relativo cm	Desplaz. Total cm
Nivel 4	DERIVA XX	X	0.002352	196	1.00	3.04
Nivel 3	DERIVA XX	X	0.002291	196	0.97	2.04
Nivel 2	DERIVA XX	X	0.001617	196	0.69	1.07
Nivel 1	DERIVA XX	X	0.000897	43	0.38	0.38

Nota: Extraído de ETABS, elaboración propia

Tabla 8*Derivas de entre Piso Y*

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift	Label	Desplaz. Relativo cm	Desplaz. Total cm
Nivel 4	DERIVA YY	Y	0.001527	280	0.65	2.08
Nivel 3	DERIVA YY	Y	0.001487	280	0.63	1.43
Nivel 2	DERIVA YY	Y	0.001211	280	0.51	0.80
Nivel 1	DERIVA YY	Y	0.000665	221	0.28	0.28

Nota: Extraído de ETABS, elaboración propia

Estos valores se encuentran por debajo del límite normativo de 0.007, establecido para edificaciones esenciales, lo que indica un comportamiento aceptable de la estructura frente a la demanda sísmica.

Los resultados obtenidos validan la capacidad de la estructura para cumplir con los requisitos de desempeño establecidos por la normativa NTP E.030. Sin embargo, es importante considerar las críticas y comentarios sobre la norma, como los expresados por el Ing. Alejandro Muñoz Peláez, que la Norma Técnica Peruana E.030 puede tener limitaciones en la evaluación de la capacidad inelástica y los modos de falla potenciales de las estructuras, se justifica la realización de un análisis no lineal. [21] Por lo cual se prosigue con el análisis no lineal, teniendo las opciones del estático no lineal Pushover siempre y cuando la estructura cumpla con ASC 41-17 capítulo 7, caso contrario usar un dinámico no lineal como un Tiempo Historia, o un IDA.

4.3.2. Análisis No Lineal Estático Pushover del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto

Este análisis es esencial para evaluar el comportamiento no lineal y la capacidad de disipación de energía de la estructura bajo cargas sísmicas, determinando su vulnerabilidad ante un posible colapso. Para realizar el Pushover seguimos los siguientes pasos:

4.3.2.1 Verificación de requisitos para el Pushover

En esta sección se analiza si el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto cumple con los requisitos establecidos en el **Capítulo 7 de la ASCE 41-17** para realizar un análisis no lineal estático tipo Pushover

a) Características de la Edificación

El Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto es una estructura de cuatro pisos, con una altura de entrepiso de 4.25 metros cada uno, configurada como un sistema dual que combina pórticos de concreto armado con muros adicionales para controlar las derivas máximas. Esta configuración estructural dual es adecuada para proporcionar rigidez y capacidad de disipación de energía, criterios que son favorables para la aplicación del análisis Pushover.

b) Regularidad de la Estructura

La evaluación de la regularidad estructural, tanto en planta como en altura, mostró que el Bloque A tiene un índice de regularidad igual a 1, lo que indica que no presenta irregularidades significativas. Según el **ASCE 41-17**, se recomienda el uso del análisis Pushover para estructuras regulares, ya que estas tienden a tener una respuesta predecible bajo cargas sísmicas incrementales. La ausencia de irregularidades garantiza que los modos superiores no tengan una influencia significativa en la respuesta global, lo cual es un requisito crucial para aplicar el método Pushover.

c) **Períodos Fundamentales de Vibración y Participación Modal**

El análisis dinámico lineal modal espectral realizado muestra que el período fundamental de vibración en la dirección X es de **0.279 s** y en la dirección Y es de **0.221 s**. Estos valores indican que la estructura tiene un comportamiento predominantemente rígido, lo que favorece la aplicación del análisis Pushover según los criterios del ASCE 41-17, que sugiere que los efectos de los modos superiores deben ser limitados para que el análisis sea efectivo.

Además, el **factor de masa participativa** acumulado en los primeros modos para ambas direcciones (UX y UY) es superior al **90%**, lo que implica que la mayor parte de la masa de la estructura se moviliza en estos modos. Esto cumple con los lineamientos del ASCE 41-17, que especifican que los modos superiores no deben dominar la respuesta sísmica para que el análisis no lineal estático sea apropiado.

d) **Análisis de Anisotropía Estructural**

La relación entre las derivas máximas en las direcciones X e Y se evaluó y presentó un porcentaje de anisotropía estructural del **35.08%**, lo cual indica una anisotropía moderada. Este nivel de anisotropía es aceptable para el uso del análisis Pushover, ya que no genera una respuesta altamente asimétrica que podría invalidar el uso de este tipo de análisis estático.

Con base en los criterios del **Capítulo 7 de la ASCE 41-17** y los resultados del análisis dinámico lineal modal espectral, se concluye que el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto cumple con los requisitos para aplicar el **Análisis Estático No Lineal (Pushover)**. Dado su comportamiento regular y la alta participación de masa en los primeros modos, el Pushover es suficiente para evaluar con precisión la capacidad estructural y la vulnerabilidad del edificio. Este método permitirá

optimizar el diseño de reforzamiento de manera eficiente, siendo innecesario recurrir a análisis más complejos mientras los resultados del Pushover sean claros y concluyentes.

4.3.2.2 Modelado y Configuración en ETABS:

El modelo estructural del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto se desarrolló en el software ETABS para la ejecución del análisis Pushover, partiendo de la base del modelo utilizado en el análisis dinámico lineal y ajustando las propiedades para capturar el comportamiento no lineal de la estructura. Los parámetros específicos empleados en esta etapa fueron los siguientes:

a) Definición de Propiedades No Lineales de los Materiales

Se definieron las propiedades no lineales del concreto y del acero de refuerzo para reflejar su comportamiento inelástico bajo cargas extremas:

- **Concreto:** Se utilizó una masa volumétrica de 2400 kg/m^3 , un módulo de elasticidad E de $217370.65 \text{ kgf/cm}^2$, un Poisson's de 1.5 una resistencia a compresión de 210 kg/cm^2 y se modeló su comportamiento no lineal mediante una curva de esfuerzo-deformación que considera la degradación de rigidez y el agrietamiento progresivo.
- **Acero de refuerzo:** Se introdujo un acero con una masa volumétrica de $7,850 \text{ kg/m}^3$, un módulo de elasticidad E de $2,000,000 \text{ kg/cm}^2$, resistencia F_y de $4,200 \text{ kg/cm}^2$, y F_u de $6,300 \text{ kg/cm}^2$, configurando su comportamiento no lineal con base en un modelo que captura la fluencia, endurecimiento por deformación y eventual plastificación.

Figura 15 Curva Esfuerzo Deformación del concreto

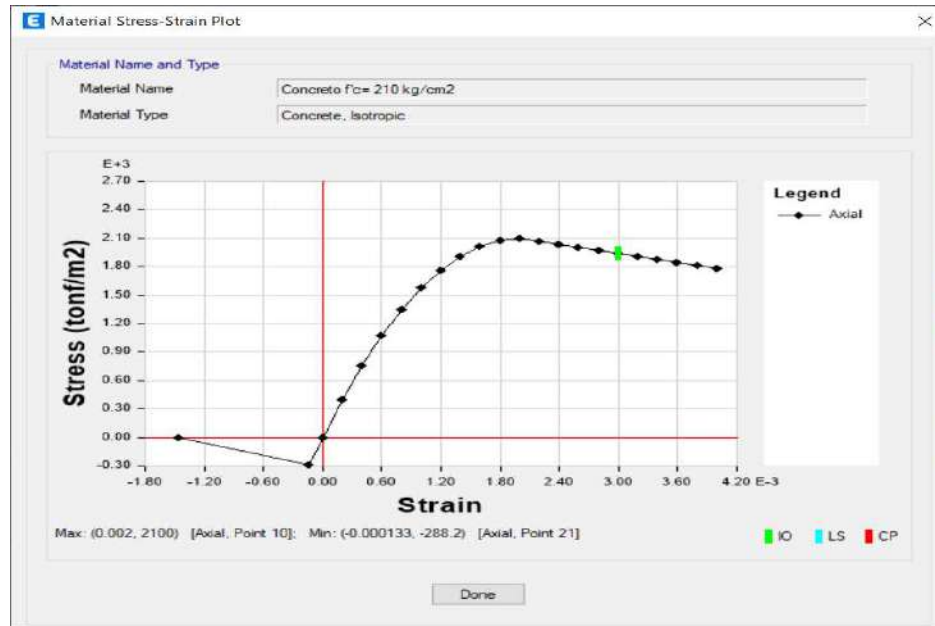
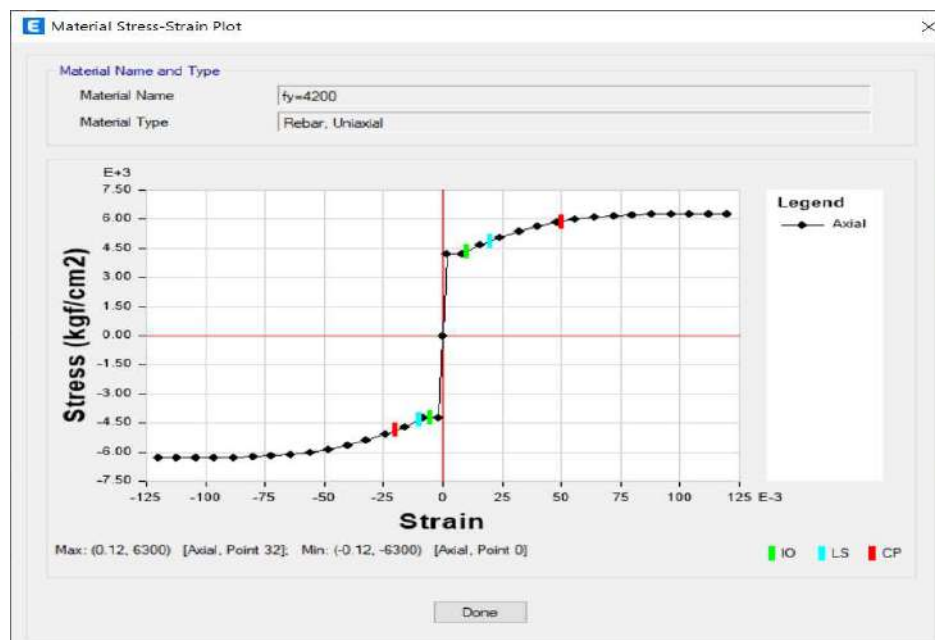


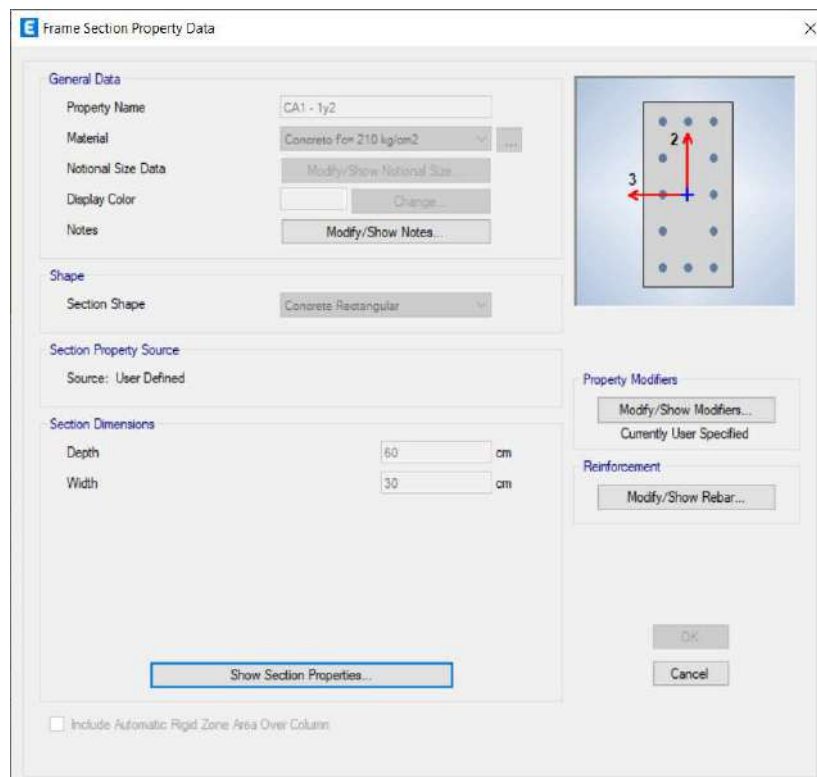
Figura 16 Curva Esfuerzo deformación del Acero de refuerzo



b) Modelado de Secciones Estructurales

Las dimensiones y cuantías de acero de las secciones estructurales se definieron de acuerdo con los planos originales, asegurando una correcta representación de los elementos estructurales existentes. Además, se incluyeron propiedades no lineales como las capacidades de momento-curvatura y las articulaciones plásticas en los extremos de vigas y columnas para simular el comportamiento inelástico.

Figura 17 Modelado del acero de refuerzo según los planos.



4.3.2.3 Aplicación de Fuerzas Laterales en el Análisis Pushover

a) Método Manual de Cálculo de Fuerzas Laterales

Este método implica el cálculo manual de las fuerzas laterales basadas en la distribución de masa y la forma modal del primer modo de vibración. Las fuerzas laterales calculadas se aplican a los diafragmas rígidos del modelo estructural en ETABS.

Pasos:

1. Calcular las fuerzas laterales basadas en la distribución de masa y la forma modal del primer modo

Masa por Nivel:

- Nivel 4= 218.96 Ton.
- Nivel 3= 224.43Ton.
- Nivel 2= 253.83 Ton.
- Nivel 1= 250.67 Ton.

Forma Modal del Primer Modo

$\Phi_{4x} = 0.3359$	$\Phi_{4y} = 0.4252$
$\Phi_{3x} = 0.2478$	$\Phi_{3y} = 0.1976$
$\Phi_{2x} = 0.1276$	$\Phi_{2y} = 0.1546$
$\Phi_{1x} = 0.1105$	$\Phi_{1y} = 0.1105$

Fórmula para la Distribución de Fuerzas:

$$F_i = m_i \cdot \Phi_i \cdot \left(\frac{V_{sismo}}{\sum(m_j \cdot \Phi_j)} \right) \quad (11)$$

Cálculo de Fuerzas en Cada Nivel:

- $F_{4x}=758.90$ tonf.
- $F_{3x}= 573.84$ tonf.
- $F_{2x}= 334.19$ tonf.
- $F_{1x}= 285.81$ tonf.
- $F_{4y}= 889.51$ tonf.
- $F_{3y}= 423.70$ tonf.
- $F_{2y}= 374.92$ tonf.
- $F_{1y}= 264.64$ tonf.

2. Aplicación de fuerzas laterales a los diafragmas rígidos en el modelo
3. ETABS.

Figura 18 *Fuerzas Laterales a los Diafragmas Rígidos.*

Story	Diaphragm	Fx tonf	Fy tonf	Mz tonf-m
Nivel 4	D4	758.9	0	0
Nivel 3	D3	573.84	0	0
Nivel 2	D2	334.19	0	0
Nivel 1	D1	285.81	0	0

Nota: Extraído ETABS, elaboración propia.

b) Primer Modo de Vibración

En este método, se selecciona el primer modo de vibración en ETABS, y el software distribuye automáticamente las cargas laterales basadas en la forma modal de este primer modo.

Pasos:

1. Selección del primer modo de vibración en ETABS.

2. Distribución automática de cargas laterales basada en la forma modal del primer modo.

Figura 19
Caso Primer Modo

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:** Load Case Name: AENL XX Modo 1; Load Case Type: Nonlinear Static; Mass Source: Masa X+; Analysis Model: Default.
- Initial Conditions:** Continue from State at End of Nonlinear Case (Loads at End of Case ARE Included); Nonlinear Case: GRAVEDAD.
- Loads Applied:**

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	-1
- Other Parameters:** Modal Load Case: Modal; Geometric Nonlinearity Option: P-Delta; Load Application: Displacement Control; Results Saved: Multiple States; Floor Cracking Analysis: No Cracked Analysis; Nonlinear Parameters: User Defined - Iterative Event-to-Event.

Nota: Extraído ETABS, elaboración propia.

c) Modos Significativos:

Este método selecciona múltiples modos significativos de vibración en ETABS. Se aplican factores de escala a cada modo basado en la participación modal relativa, y luego se combinan estas distribuciones modales escaladas para aplicar las cargas laterales.

Pasos:

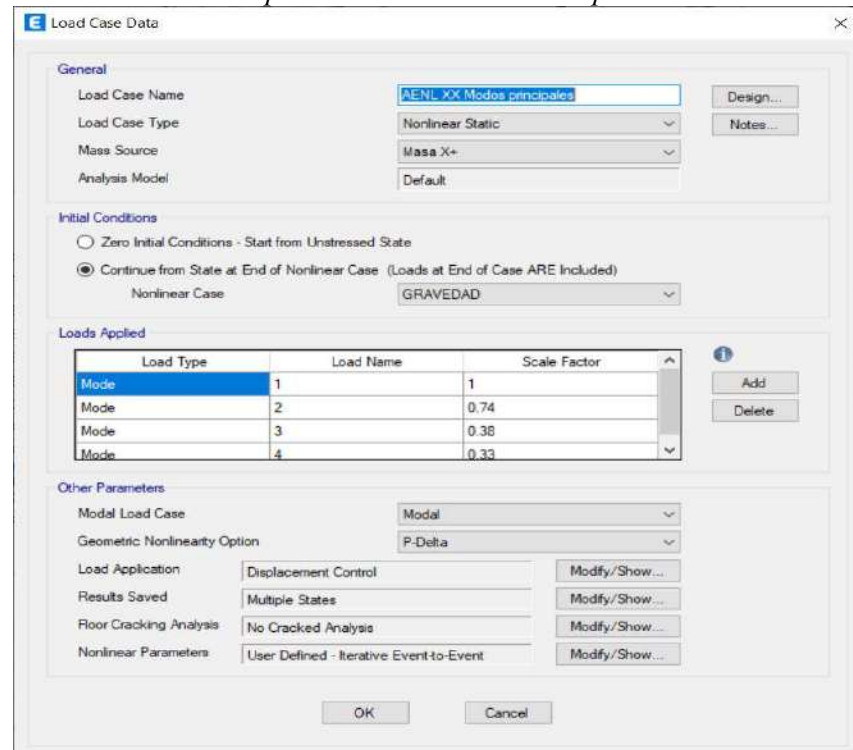
1. Selección de múltiples modos significativos en ETABS.

Tabla 9*Factor de Escala Modos Significativos*

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Factor de escala	
					XX	YY
Modal	1	0.279	0.3359	0.1105	1.00	1.00
Modal	2	0.221	0.2478	0.4252	0.74	3.85
Modal	3	0.187	0.1276	0.1546	0.38	1.40
Modal	4	0.078	0.1105	0.001	0.33	--
Modal	5	0.065	0.0107	0.1976	--	1.79

Nota: Extraído de ETABS, elaboración propia

2. Aplicación de factores de escala a cada modo basado en la participación modal relativa.
3. Combinación de distribuciones modales escaladas para aplicar las cargas laterales.

Figura 20*Factores de Escala aplicado a los Modos Principales**Nota:* Extraído ETABS, elaboración propia.

Ventaja desventaja de los tres métodos propuestos:

- **Método Manual:** Control detallado y personalización, pero laborioso y propenso a errores.
- **Primer Modo:** Automatización y eficiencia, pero limitado a un solo modo y menor control.
- **Modos Significativos:** Mayor precisión y flexibilidad, aplicable a estructuras complejas, pero con mayor complejidad y tiempo de procesamiento.

4.3.2.4 Determinación del Desplazamiento de Control

El desplazamiento de control puede determinarse utilizando el primer modo de vibración del edificio. Este desplazamiento se expresa generalmente como un porcentaje de la altura del edificio.

$$\Delta_{m\acute{a}x} = C \cdot H \quad (12)$$

donde:

Δ máx. = Desplazamiento de control

C = Coeficiente de desplazamiento

H = Altura del edificio: 17.1m

Desplazamiento Máximo Propuesto (Basado en VISION 2000 y Normas Similares): $C \approx 1.5\%$

Entonces: Δ máx. = $1.5\% \times 17.1 = 0.2565\text{m}$

4.3.2.5 Espectro de demanda propuesta por el ATC-40

Para obtener el espectro de demanda, comenzamos calculando la aceleración espectral, utilizando el criterio establecido por la norma NTP. E.030. Sin embargo, no se aplicará el factor de reducción R, que se considera para sistemas lineales y elásticos.

El primer espectro de diseño considera el daño esperado ante un sismo, basado en la ubicación geográfica y un amortiguamiento del 5%, tal como lo establece la NTP E.030. Este espectro no incluye el factor de importancia, ya que no está orientado específicamente a proteger la estructura. Este tipo de sismo de diseño tiene una probabilidad del 10% de ocurrir en 50 años, con un periodo de retorno de 475 años.

El segundo espectro de demanda, conocido como sismo máximo, corresponde a movimientos de magnitud severa o muy severa, con una probabilidad del 5% de ser excedido en un periodo de 50 años, y un periodo medio de retorno de aproximadamente 975 años. Este nivel de movimiento sísmico es considerado por la mayoría de los códigos de diseño para edificaciones esenciales, representando entre 1.25 y 1.50 veces el nivel de movimiento asociado al sismo de diseño tradicional. Por esta razón, muchos códigos asocian este espectro con el factor de importancia de las edificaciones esenciales, ya que se trata de sismos menos frecuentes, pero de mayor severidad.

El tercer espectro de demanda utilizado es el sismo de servicio, que representa el grado de movimiento del terreno con una probabilidad del 50% de ser excedido en un periodo de 50 años, con un periodo de retorno de 75 años. Este se considera un sismo frecuente y puede ocurrir más de una vez durante la vida útil de la estructura.

El cuarto espectro de demanda es el sismo frecuente, que tiene una probabilidad del 50.63% de ser excedido en un periodo de 30 años, con un periodo de retorno de 43 años. Este también se considera un sismo frecuente y puede ocurrir múltiples veces durante la vida útil de la estructura.

Tabla 10*Parámetros de los Sismos del comité VISION 2000*

VISION 2000	ATC-40	Vida útil	Probabilidad de excedencia	Periodo de retorno
Frecuente		30años	50.63%	43años
Ocasional	Servicio	50años	50.00%	72años
Raro	Diseño	50años	10.00%	475años
Muy Raro	Máximo	50años	5.00%	975años

Nota: Adaptado de Visión 2000, elaboración propia**4.3.2.6 Relación entre Aceleraciones del Suelo y Periodos de Retorno**

Teniendo los valores de “a1”, “T1” y “T2”, se calcula el valor de “a2” a través de la siguiente fórmula:

$$a_2 = \left(\frac{T1}{T2}\right)^k \cdot a_1 \quad (13)$$

Donde k es igual a 0.4.

$$\text{Sismo de Servicio} \quad a_{servicio} = \left(\frac{T_{servicio}}{T_{diseño}}\right)^k \cdot a_{diseño} = 1.61m/seg^2$$

$$\text{Factor de Importancia:} \quad F_{servicio} = \frac{a_{servicio}}{a_{diseño}} = 0.47$$

$$\text{Sismo de Diseño} \quad a_{diseño} = U_{diseño} \cdot g = 3.43m/seg^2$$

$$\text{Factor de Importancia:} \quad F_{diseño} = 1$$

$$\text{Sismo de Máximo} \quad a_{máximo} = \left(\frac{T_{máximo}}{T_{diseño}}\right)^k \cdot a_{diseño} = 4.58m/seg^2$$

$$\text{Factor de Importancia:} \quad F_{servicio} = \frac{a_{máximo}}{a_{diseño}} = 1.33$$

Sismo de Frecuente $a_{frecuente} = \left(\frac{T_{frecuente}}{T_{diseño}}\right)^k \cdot a_{diseño} = 1.3131m/seg^2$

Factor de Importancia: $F_{servicio} = \frac{a_{frecuente}}{a_{diseño}} = 0.3826$

Logrando obtener los parámetros sísmicos para los espectros elásticos:

Tabla 11

Parámetros Sísmicos para Espectros Elásticos

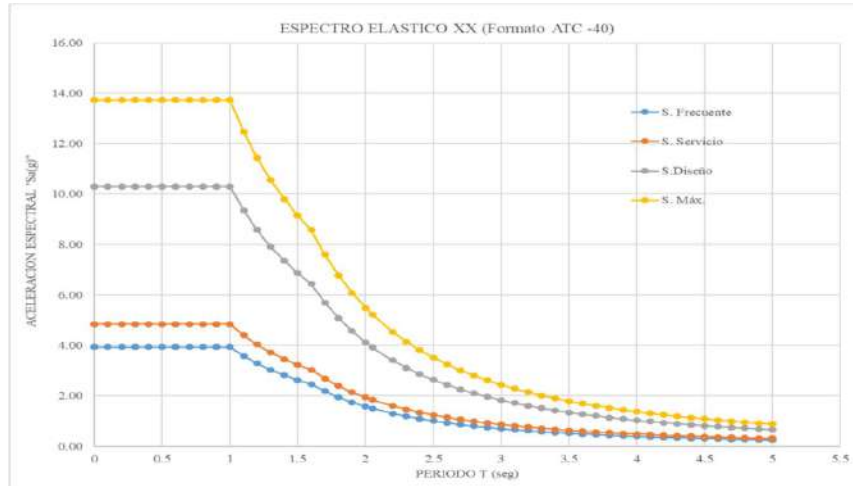
VISION 200 ATC 40	S. Frecuente	S. Ocasional S. Servicio	S. Raro S. Diseño	S. Muy Raro S. Máximo
Factor de uso (U)	0.38	0.47	1.00	1.33
Factor de zona (Z)	0.35 m/s ²	0.35 m/s ²	0.35 m/s ²	0.35 m/s ²
Clasificación de suelo:	S3	S3	S3	S3
Factor de amplif. suelo (S)	1.20 m/s ²	1.20 m/s ²	1.20 m/s ²	1.20 m/s ²
Acel. de la gravedad (g)	9.81 m/s ²	9.81 m/s ²	9.81 m/s ²	9.81 m/s ²
Tp=	1.00 m/s ²	1.00 m/s ²	1.00 m/s ²	1.00 m/s ²
TL=	1.60 m/s ²	1.60 m/s ²	1.60 m/s ²	1.60 m/s ²
Sa(g) = ZUS	0.16 m/s ²	0.20 m/s ²	0.42 m/s ²	0.56 m/s ²
Sa = ZUS.g	1.58 m/s ²	1.94 m/s ²	4.12 m/s ²	5.49 m/s ²

Nota: Adaptado de Visión 2000, elaboración propia

Con los datos de la tabla se procede a elaborar los espectros para cada caso de sismo:

Figura 21

Espectro Elástico propuesto por el ATC-40



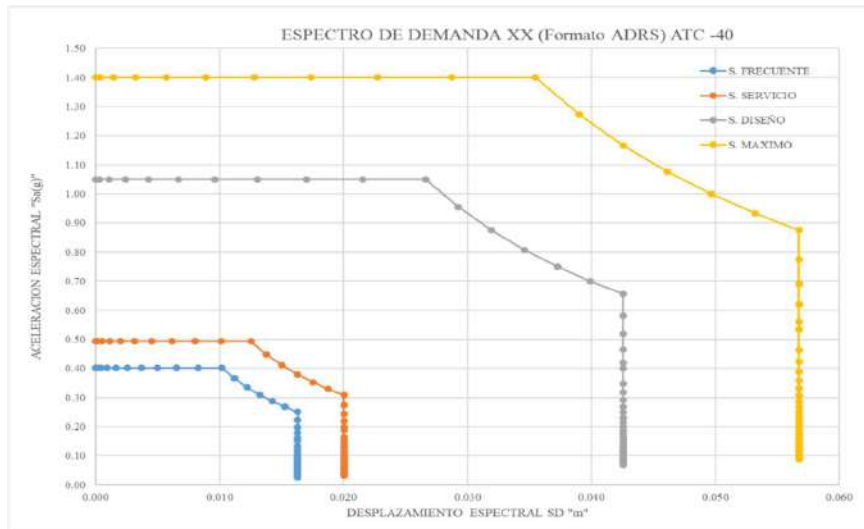
Nota: Espectros Elásticos para cada caso de sismo, elaboración propia.

4.3.2.7 Adaptación del Espectro de Demanda

El análisis no lineal Pushover proporciona el gráfico del espectro de capacidad de la estructura. Este gráfico debe intersectar con el espectro elástico, el cual se convierte en un formato ADRS (Acceleration Displacement Response Spectral) para alcanzar el punto de desempeño de una estructura, según la guía ATC-40. En la figura se muestran los espectros elásticos para sismos frecuente, de servicio, de diseño y máximo en formato ADRS. Para transformar los puntos de aceleración y desplazamiento a este formato, se logran obtener los espectros de demanda de cada tipo de sismo:

Figura 22

Espectros de Demanda según el Nivel Sísmico (ATC-40).



Nota: Espectros de Demanda para cada caso de sismo, elaboración propia.

Tabla 12

Aceleración y Desplazamiento Espectral VISSION 2000

ACELERACION Y DESPLAZAMIENTO ESPECTRAL							
Frecuente		Servicio/Ocasional		Diseño/Raro		Máximo/ Muy Raro	
Sa (g)	Sd (m)	Sa (g)	Sd (m)	Sa (g)	Sd (m)	Sa (g)	Sd (m)
0.402	0.000	0.494	0.000	1.050	0.000	1.400	0.000
0.402	0.000	0.494	0.000	1.050	0.000	1.400	0.000
0.402	0.000	0.494	0.001	1.050	0.001	1.400	0.001
0.402	0.001	0.494	0.001	1.050	0.002	1.400	0.003
0.402	0.002	0.494	0.002	1.050	0.004	1.400	0.006
0.402	0.003	0.494	0.003	1.050	0.007	1.400	0.009
0.402	0.004	0.494	0.005	1.050	0.010	1.400	0.013
0.402	0.005	0.494	0.006	1.050	0.013	1.400	0.017
0.402	0.007	0.494	0.008	1.050	0.017	1.400	0.023
0.402	0.008	0.494	0.010	1.050	0.022	1.400	0.029
0.402	0.010	0.494	0.013	1.050	0.027	1.400	0.035
0.365	0.011	0.449	0.014	0.955	0.029	1.273	0.039
0.335	0.012	0.411	0.015	0.875	0.032	1.167	0.043
0.309	0.013	0.380	0.016	0.808	0.035	1.077	0.046
0.287	0.014	0.353	0.018	0.750	0.037	1.000	0.050
0.268	0.015	0.329	0.019	0.700	0.040	0.933	0.053
0.251	0.016	0.309	0.020	0.656	0.043	0.875	0.057

0.222	0.016	0.273	0.020	0.581	0.043	0.775	0.057
0.198	0.016	0.244	0.020	0.519	0.043	0.691	0.057
0.178	0.016	0.219	0.020	0.465	0.043	0.620	0.057
0.161	0.016	0.197	0.020	0.420	0.043	0.560	0.057
0.153	0.016	0.188	0.020	0.400	0.043	0.533	0.057
0.133	0.016	0.163	0.020	0.347	0.043	0.463	0.057
0.121	0.016	0.149	0.020	0.318	0.043	0.423	0.057
0.112	0.016	0.137	0.020	0.292	0.043	0.389	0.057
0.103	0.016	0.126	0.020	0.269	0.043	0.358	0.057
0.095	0.016	0.117	0.020	0.249	0.043	0.331	0.057
0.088	0.016	0.108	0.020	0.230	0.043	0.307	0.057
0.082	0.016	0.101	0.020	0.214	0.043	0.286	0.057
0.076	0.016	0.094	0.020	0.200	0.043	0.266	0.057
0.071	0.016	0.088	0.020	0.187	0.043	0.249	0.057
0.067	0.016	0.082	0.020	0.175	0.043	0.233	0.057
0.063	0.016	0.077	0.020	0.164	0.043	0.219	0.057
0.059	0.016	0.073	0.020	0.154	0.043	0.206	0.057
0.056	0.016	0.068	0.020	0.145	0.043	0.194	0.057
0.052	0.016	0.064	0.020	0.137	0.043	0.183	0.057
0.050	0.016	0.061	0.020	0.130	0.043	0.173	0.057
0.047	0.016	0.058	0.020	0.123	0.043	0.164	0.057
0.045	0.016	0.055	0.020	0.116	0.043	0.155	0.057
0.042	0.016	0.052	0.020	0.110	0.043	0.147	0.057
0.040	0.016	0.049	0.020	0.105	0.043	0.140	0.057
0.038	0.016	0.047	0.020	0.100	0.043	0.133	0.057
0.036	0.016	0.045	0.020	0.095	0.043	0.127	0.057
0.035	0.016	0.043	0.020	0.091	0.043	0.121	0.057
0.033	0.016	0.041	0.020	0.087	0.043	0.116	0.057
0.032	0.016	0.039	0.020	0.083	0.043	0.111	0.057
0.030	0.016	0.037	0.020	0.079	0.043	0.106	0.057
0.029	0.016	0.036	0.020	0.076	0.043	0.101	0.057
0.028	0.016	0.034	0.020	0.073	0.043	0.097	0.057
0.027	0.016	0.033	0.020	0.070	0.043	0.093	0.057
0.026	0.016	0.032	0.020	0.067	0.043	0.090	0.057

Nota: Adaptado de Visión 2000, elaboración propia

Equivalencias

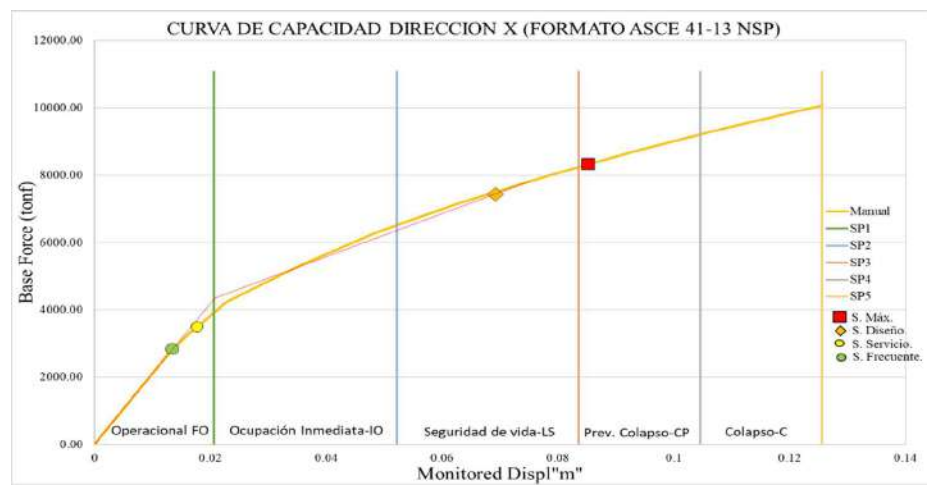
Para los cálculos, se realizarán las verificaciones utilizando los niveles sísmicos establecidos por el ATC-40 junto con los niveles de desempeño propuestos por el Comité VISION 2000. Se considera que el Sismo Raro equivale al Sismo de Diseño y el Sismo Muy Raro es equivalente al Sismo Máximo.

4.3.2.8 Curvas de Capacidad Bloque A, Hospital II-2 Tarapoto:

Las curvas de capacidad obtenidas del análisis Pushover en las direcciones X e Y, usando como las tres formas de calcular las fuerzas laterales, el cálculo manual, primero modo y modos significativos, teniendo como resultado para las direcciones X e Y:

Figura 23

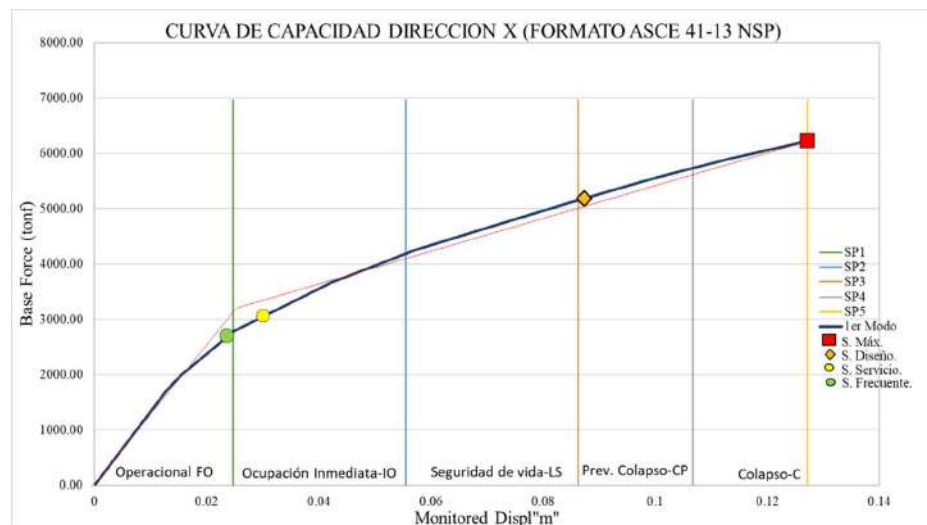
Curva capacidad en dirección X (Método de C. Manual de fuerzas Laterales)



Nota: S. Diseño próximo a LS, elaboración propia.

Figura 24

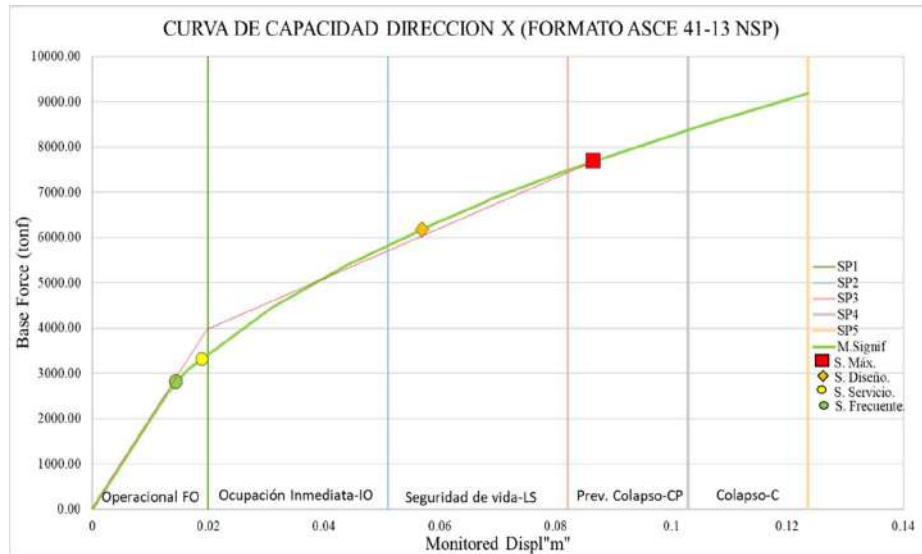
Curva capacidad en dirección X (Método del 1er Modo)



Nota: S. Diseño próximo fuera del rango LS, elaboración propia.

Figura 25

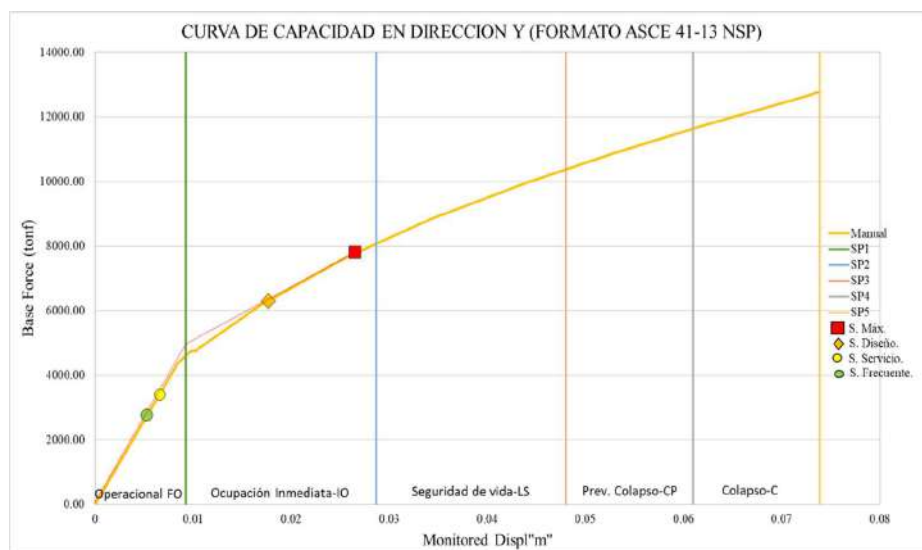
Curva capacidad en dirección X (Método de los Modos Significativos)



Nota: S. Diseño en el rango LS, elaboración propia.

Figura 26

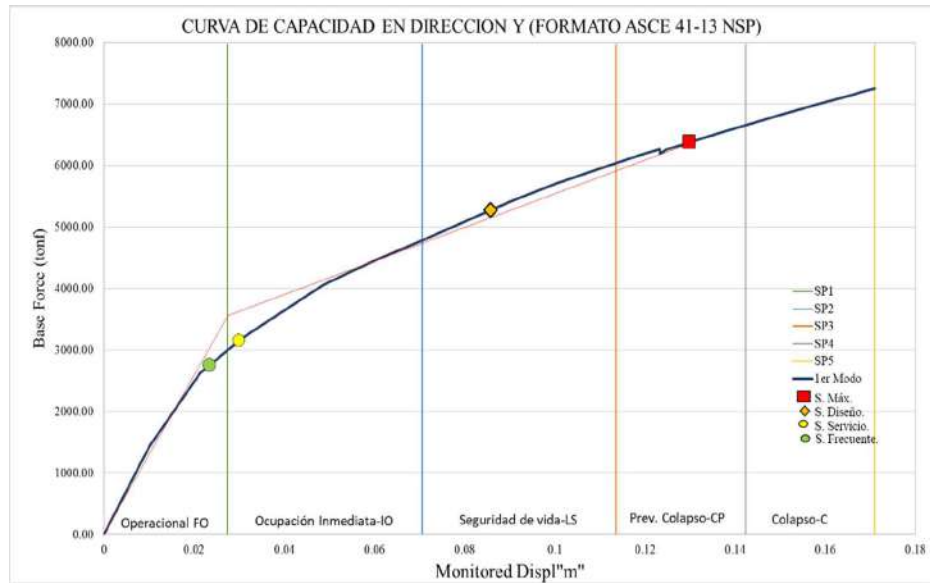
Curva capacidad en dirección Y (Método Calculo Manual de fuerzas laterales)



Nota: S. Diseño en el rango IO, elaboración propia.

Figura 27

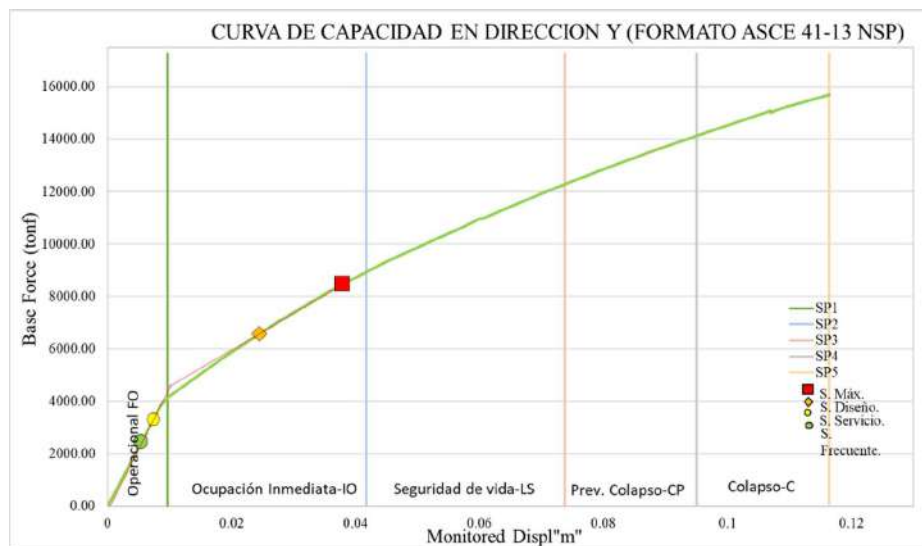
Curva capacidad en dirección Y (Método 1er Modo)



Nota: S. Diseño en el rango LS, elaboración propia.

Figura 28

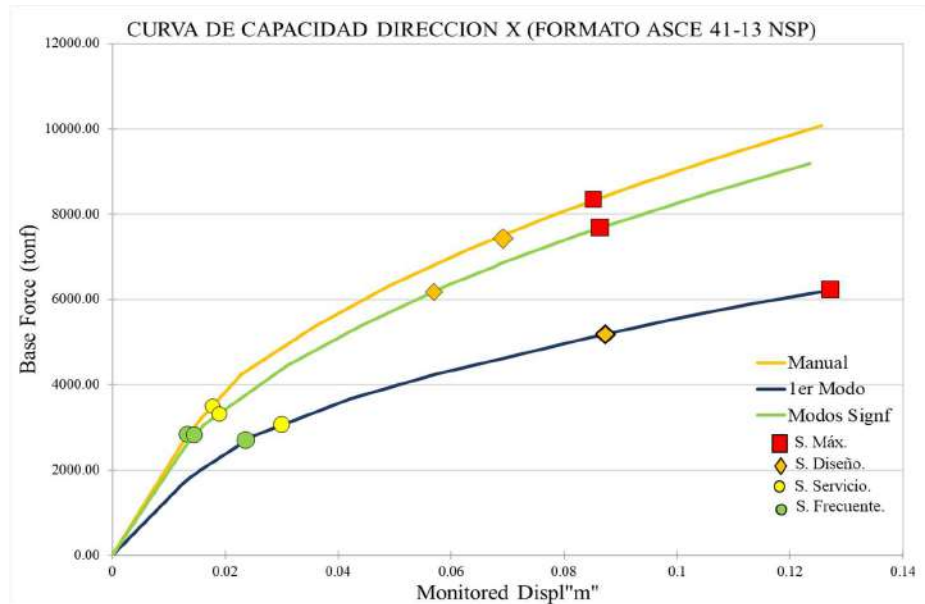
Curva capacidad en dirección Y (Métodos de los Modos Significativos).



Nota: S. Diseño en el rango IO, elaboración propia.

Figura 29

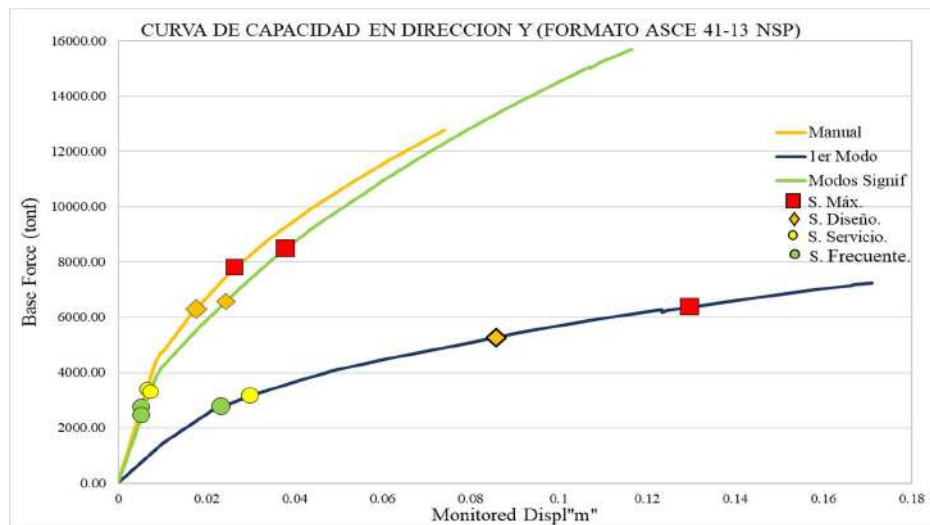
Curva Capacidad en dirección X (Superposición de Métodos).



Nota: El método calculo manual y el de modos significativos, presentan curvas de capacidad similares, elaboración propia.

Figura 30

Curva Capacidad en dirección Y (Superposición de Métodos).



Nota: El método calculo manual y el de modos significativos, presentan curvas de capacidad similares, elaboración propia.

4.3.2.9 Espectros de Demanda, capacidad y puntos de desempeño Bloque A, Hospital II-2 Tarapoto:

La comparación entre los espectros de demanda y los espectros de capacidad se llevó a cabo para evaluar y definir con precisión los niveles de desempeño estructural bajo diferentes escenarios sísmicos. A continuación, se describen los pasos y los hallazgos de esta comparación:

a) Obtención de Espectros de Demanda:

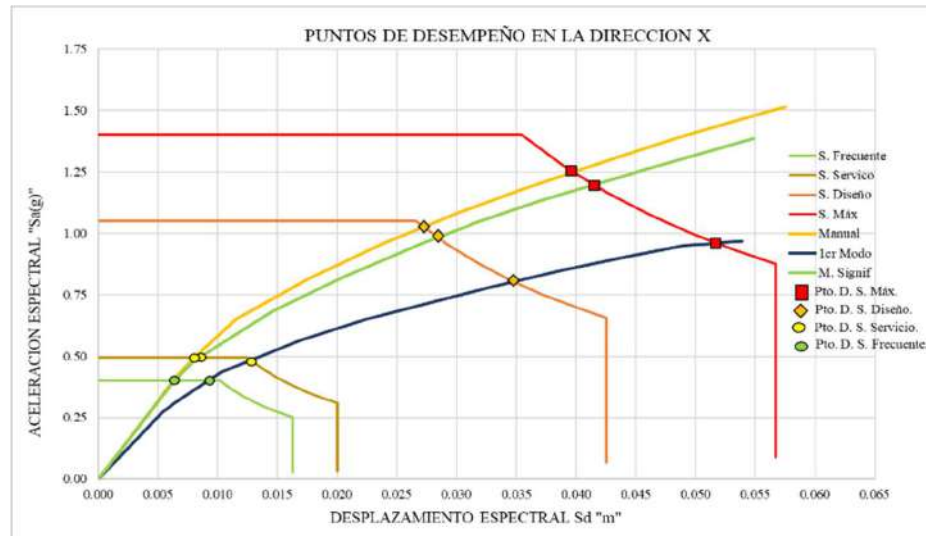
- Los espectros de demanda se generaron utilizando registros sísmicos representativos de eventos frecuentes, de servicio, de diseño y máximos, siguiendo las especificaciones de la NTP E.030.
- Se utilizó el método del espectro de respuesta para calcular las demandas de desplazamiento y aceleración en función de los periodos de vibración de la estructura.

b) Comparación con Espectros de Capacidad:

- Los espectros de capacidad, obtenidos del análisis Pushover, representan la capacidad de la estructura para resistir desplazamientos y fuerzas bajo cargas incrementales.
- Se superpusieron los espectros de demanda sobre los espectros de capacidad para cada dirección (X e Y), permitiendo una visualización clara de los puntos de intersección y los niveles de desempeño alcanzados.

Figura 31

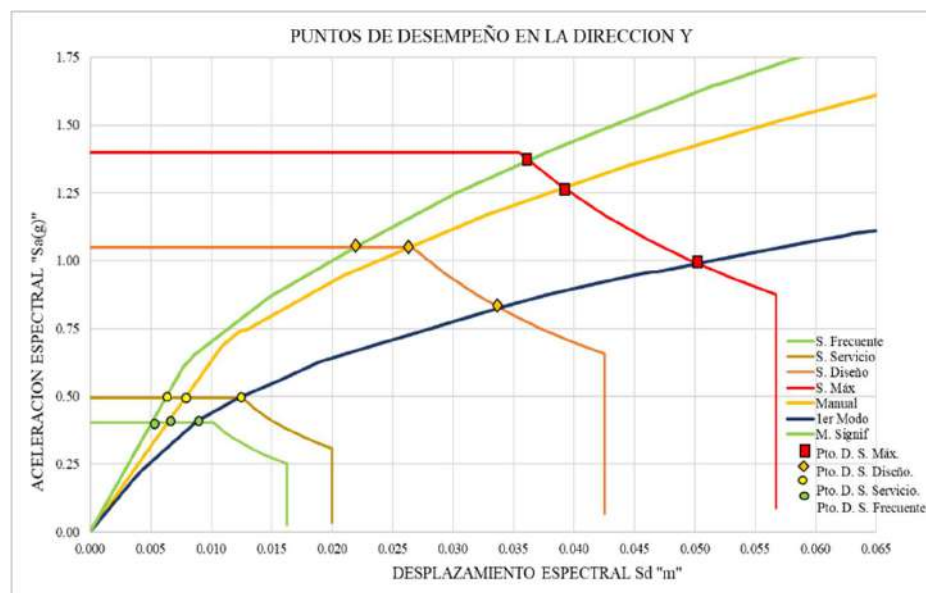
Puntos de Desempeño en dirección X



Nota: El método cálculo manual y el de modos significativos, presentan curvas de desempeño similares, elaboración propia.

Figura 32

Puntos de Desempeño en dirección Y



Nota: El método cálculo manual y el de modos significativos, presentan curvas de capacidad similares, elaboración propia.

Comparación de Resultados y Conclusiones del Análisis Pushover:

Finalmente, se compararon los resultados de las curvas de capacidad y los espectros de demanda en ambas direcciones del Bloque A. Se identificaron las ventajas y desventajas de cada método de cálculo de fuerzas laterales, concluyendo que el uso de modos significativos proporciona una mayor precisión para evaluar la capacidad estructural y la vulnerabilidad del edificio.

4.3.3. Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto

De los Análisis Dinámico Lineal (Modal Espectral) y Análisis Estático No Lineal (Pushover) del Bloque A, Hospital II-2 Tarapoto, se determinará si el bloque A es Vulnerable.

4.3.3.1 Análisis Dinámico Lineal (Modal Espectral)

a) Periodos Fundamentales y Modos de Vibración

El análisis modal espectral permitió determinar los períodos fundamentales de vibración y la distribución modal de la estructura en su estado actual.

Tabla 13 Períodos Fundamentales y Factores de Masa Participativa

Modo	Periodo (sec)	Dirección Predominante	Factor de Masa Participativa (%)
1	0.279	X	33.59%
2	0.221	Y	42.52%
3	0.187	RZ (Rotación)	38.65%

Análisis:

• Dirección X:

- El primer modo de vibración corresponde principalmente a traslación en dirección X, con un período de 0.279 segundos y una masa participativa del 33.59%.

- **Dirección Y:**

- El segundo modo es predominante en dirección Y, con un período de 0.221 segundos y una masa participativa del 42.52%.

- **Rotación Z:**

- El tercer modo muestra una rotación alrededor del eje Z, con un período de 0.187 segundos y una masa participativa del 38.65%.

Conclusión:

- La estructura presenta períodos fundamentales relativamente cortos, lo que indica una rigidez moderada.
- La distribución de masa participativa sugiere que tanto las direcciones X como Y tienen una contribución significativa en los primeros modos, lo que implica que ambas direcciones son importantes en la respuesta sísmica.

b) Derivas Máximas de Entrepiso

Las derivas máximas de entrepiso se calcularon según los parámetros establecidos en la NTP E.030, evaluando si cumplen con los límites permisibles.

Tabla 14 Derivas Máximas de Entrepiso

Piso	Deriva en X	Deriva en Y	Límite NTP E.030
1	0.002352	0.001527	0.007
2	0.002145	0.001432	0.007
3	0.001936	0.001338	0.007

Análisis:

- Las derivas máximas en ambas direcciones están por debajo del límite establecido por la NTP E.030 ($\Delta \leq 0.007$).
- Sin embargo, las derivas en dirección X son mayores que en Y, lo que indica una mayor deformación en esa dirección.

Conclusión:

- Aunque las derivas cumplen con los límites normativos, la dirección X presenta mayores deformaciones relativas, lo que podría implicar una mayor vulnerabilidad en esa dirección.

4.3.3.2 Análisis Estático No Lineal (Pushover)

a) Curvas de Capacidad

Se obtuvieron las curvas de capacidad en direcciones X y Y, del método de modos significativos, comparándolas se tiene:

Figura 33 Curva de Capacidad en X

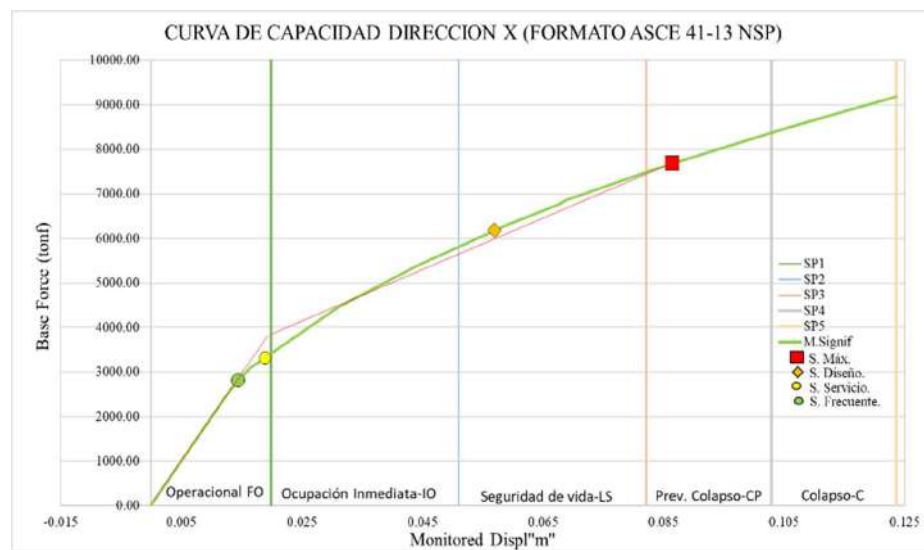
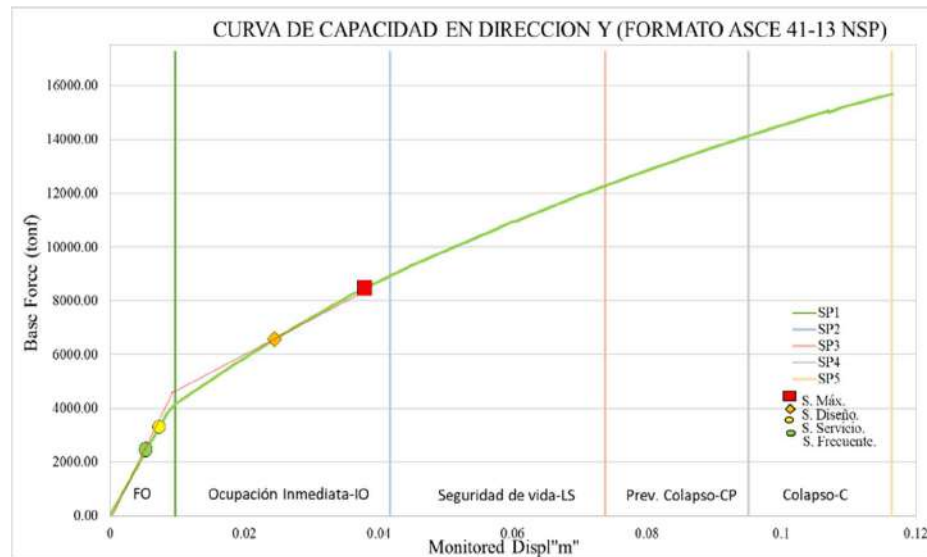


Figura 34 Curva de Capacidad en Y



Análisis:

- **Dirección X:** La curva muestra una pendiente inicial más suave, indicando menor rigidez y capacidad resistente en comparación con la dirección Y. La capacidad estructural para un sismo de diseño es de Seguridad de Vida “LS”, y para un sismo máximo es de Prevención de Colapso “CP”.
- **Dirección Y:** La curva presenta una mayor pendiente inicial, reflejando mayor rigidez y capacidad. La capacidad estructural para un sismo de diseño y máximo es Ocupación Inmediata “OI”.

Conclusión:

- El desempeño sísmico esperado por VISION 2000 se cumple en la dirección de Y, pero no en la dirección de X, donde para un sismo de diseño tiene un desempeño de Seguridad de Vida “LS” y para un sismo máximo es de Prevención de Colapso “CP” por lo tanto el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto es vulnerable en la dirección X.

b) Puntos de Desempeño Sísmico

Se determinaron los puntos de desempeño estructural y se evaluaron los niveles de desempeño alcanzados según ATC 40.

Figura 35
Puntos de Desempeño en dirección X

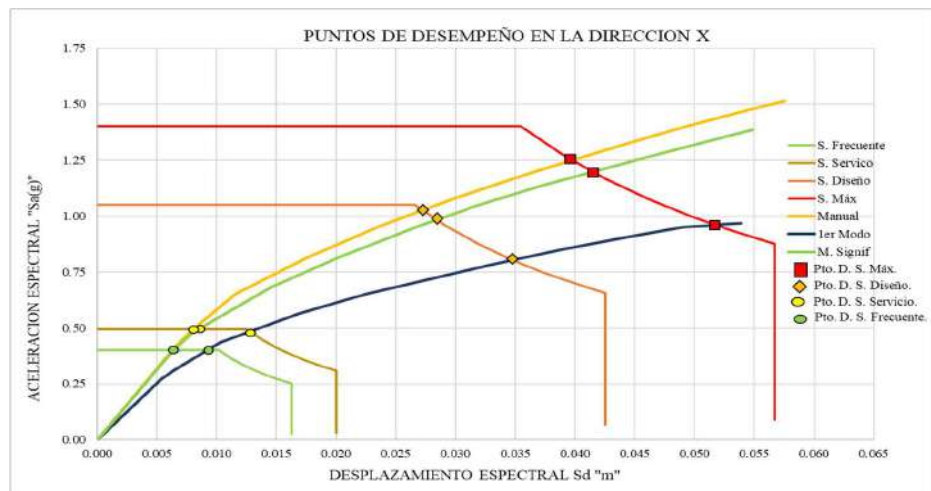
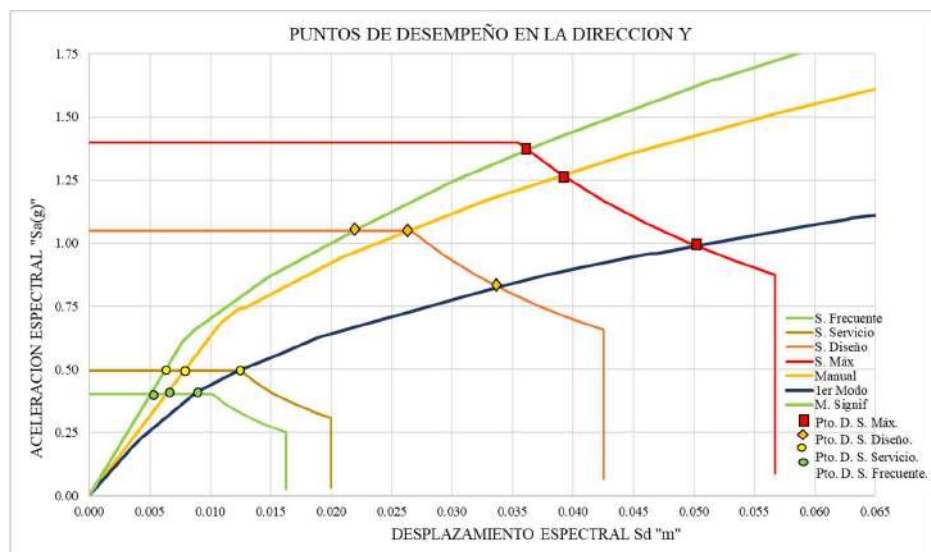


Figura 36
Puntos de Desempeño en dirección Y



Análisis:

- **Dirección X:**
 - Sismo frecuente: $Sa(g) = 0.402$, $Sd(m) = 0.0063$
 - Sismo de servicio: $Sa(g) = 0.49$, $Sd(m) = 0.0079$
 - Sismo de diseño: $Sa(g) = 1.03$, $Sd(m) = 0.0310$
 - Sismo máximo: $Sa(g) = 1.19$, $Sd(m) = 0.0470$
- **Dirección Y:**
 - Sismo frecuente: $Sa(g) = 0.420$, $Sd(m) = 0.0060$
 - Sismo de servicio: $Sa(g) = 0.49$, $Sd(m) = 0.0080$
 - Sismo de diseño: $Sa(g) = 1.050$, $Sd(m) = 0.0270$
 - Sismo máximo: $Sa(g) = 1.273$, $Sd(m) = 0.0390$
- **Aceleración Espectral (Sa):** La aceleración espectral es mayor en la dirección Y en todos los escenarios, excepto en el de diseño donde los valores son bastante cercanos.
- **Desplazamiento Espectral (Sd):** En cuanto al desplazamiento espectral, es mayor en la dirección X en los escenarios de diseño y máximo, que son críticos para determinar la respuesta estructural bajo cargas sísmicas severas.

Conclusión:

- La dirección X muestra una vulnerabilidad más pronunciada en términos de desplazamientos espectrales, particularmente en los escenarios de sismo de diseño y máximo, que son críticos para evaluar la capacidad de la estructura para soportar y funcionar adecuadamente bajo cargas sísmicas severas. A pesar de que la dirección Y tiene mayores demandas de aceleración, es la magnitud del desplazamiento espectral en la dirección X la que nos alerta sobre una mayor preocupación estructural.
- Por lo tanto, recomendaría que las estrategias de mitigación y reforzamiento estructural se enfoquen prioritariamente en la dirección X, donde los desplazamientos indican una respuesta más crítica bajo condiciones

sísmicas severas. Este enfoque no solo ayudará a mejorar la resistencia de la estructura, sino que también mejorará su desempeño sísmico, reduciendo el riesgo de daños significativos en escenarios de sismos de diseño y máximo

c) Esfuerzos en Elementos Estructurales

El análisis Pushover proporciona información detallada sobre el comportamiento inelástico de la estructura y permite evaluar la secuencia de plastificación de los elementos estructurales bajo cargas sísmicas incrementales. A continuación, se presentan las tablas de **Base Shear vs Desplazamiento Monitoreado** en las direcciones X e Y, extraídas del software ETABS, las cuales muestran el comportamiento de los elementos estructurales durante el análisis.

Tabla 15 Base Shear vs Desplazamiento Monitoreado en Dirección X

Step	Displ. (m)	Base Shear (tonf)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1952	0	0	0	0	1952	0	0	0	1952
1	0.012825	2715.16	1952	0	0	0	0	1952	0	0	0	1952
2	0.015942	3238.28	1952	0	0	0	0	1952	0	0	0	1952
3	0.022881	4252.64	1946	6	0	0	0	1952	0	0	0	1952
4	0.035904	5361.59	1930	22	0	0	0	1952	0	0	0	1952
5	0.048922	6312.59	1894	44	0	0	14	1952	0	0	0	1952
6	0.062953	7169.77	1839	86	0	0	27	1950	2	0	0	1952
7	0.077805	7959.29	1755	145	0	0	52	1943	9	0	0	1952
8	0.09286	8690.11	1671	180	0	0	101	1935	16	1	0	1952
9	0.106262	9283.55	1608	214	0	0	130	1928	18	6	0	1952
10	0.120294	9860.42	1557	232	0	0	163	1915	31	6	0	1952
11	0.123737	9996.87	1548	234	0	0	170	1914	32	6	0	1952

Step	Displ. (m)	Base Shear (tonf)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
12	0.12375	9997.18	1548	234	0	0	170	1914	32	6	0	1952
13	0.125598	10070.96	1539	242	0	0	171	1911	35	6	0	1952

Tabla 16 Base Shear vs Desplazamiento Monitoreado en Dirección Y

Step	Displ.(m)	Base Shear (tonf)	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-IO	IO-LS	LS-CP	>CP	Total
0	0	0	1952	0	0	0	0	1952	0	0	0	1952
1	0.00845	4377.57	1952	0	0	0	0	1952	0	0	0	1952
2	0.00975	4746.33	1951	1	0	0	0	1952	0	0	0	1952
3	0.010233	4764.279	1950	2	0	0	0	1952	0	0	0	1952
4	0.016637	6115.128	1926	18	0	0	8	1952	0	0	0	1952
5	0.025506	7644.58	1830	92	0	0	30	1951	1	0	0	1952
6	0.034383	8859.19	1733	160	0	0	59	1932	20	0	0	1952
7	0.044138	9981.25		211	0	0	110	1923	17	12	0	1952
8	0.052946	10882.00		300	0	0	146	1893	39	20	0	1952
9	0.061641	11704.78	1417	342	0	0	193	1871	55	25	1	1952
10	0.071328	12544.76	1349	374	0	0	229	1832	87	31	2	1952
11	0.072829	12668.03	1339	380	0	0	233	1827	92	29	4	1952
12	0.07283	12673.52	1339	380	0	0	233	1827	92	29	4	1952
13	0.073509	12750.22	1336	383	0	0	233	1826	93	29	4	1952
14	0.073814	12745.90	1334	384	0	0	234	1824	95	29	4	1952
15	0.073897	12752.82	1334	384	0	0	234	1822	97	29	4	1952

Nota: A-B, B-C, C-D, D-E, >E representan las diferentes etapas de formación de articulaciones plásticas en los elementos estructurales según ATC 40 y FEMA 356. Los rangos A-IO, IO-LS, LS-CP y >CP indican los niveles de desempeño de las articulaciones (A: Sin daño, IO: Ocupación Inmediata, LS: Seguridad de Vida, CP: Prevención de Colapso).

Análisis de las Tablas:

1. Comportamiento en Dirección X:

- **Formación de Articulaciones Plásticas:**
 - Las primeras articulaciones plásticas comienzan a formarse en el **Step 3** (Desplazamiento de 0.022881 m), con 6 articulaciones en el rango B-C.
 - A medida que aumenta el desplazamiento, incrementa el número de articulaciones plásticas, principalmente en los rangos B-C y A-B, que indican inicios de plastificación.
 - En el **Step 5**, aparecen las primeras articulaciones en el rango >E, que representa un comportamiento más allá del colapso esperado.
 - En los últimos pasos, se observa un aumento en las articulaciones en rangos superiores, indicando que los elementos estructurales están alcanzando y superando sus capacidades.
- **Capacidad Resistente:**
 - El cortante basal máximo en dirección X es aproximadamente **10,070.97 tonf** en el **Step 13**.
 - La estructura muestra un comportamiento no lineal significativo después de un desplazamiento de aproximadamente **0.048922 m**.

2. Comportamiento en Dirección Y:

- **Formación de Articulaciones Plásticas:**
 - Las primeras articulaciones plásticas aparecen en el **Step 2** (Desplazamiento de 0.00975 m), con 1 articulación en el rango B-C.
 - La formación de articulaciones plásticas es más gradual en comparación con la dirección X.
 - Las articulaciones en el rango >CP aparecen recién en el **Step 9**, lo que indica una mayor capacidad antes de alcanzar niveles críticos de daño.

- **Capacidad Resistente:**
 - El cortante basal máximo en dirección Y es aproximadamente **12,752.82 tonf** en el **Step 15**.
 - La estructura en dirección Y puede soportar mayores fuerzas antes de presentar comportamientos no lineales significativos.

Interpretación de los Resultados:

- **Dirección X:**
 - La formación temprana de articulaciones plásticas y la aparición de articulaciones en el rango **>E** indican que los elementos estructurales en dirección X alcanzan su capacidad máxima a menores desplazamientos y fuerzas.
 - La presencia de articulaciones en rangos superiores a **LS (Seguridad de Vida)** sugiere que la estructura podría no cumplir con los niveles de desempeño requeridos para una edificación esencial en esta dirección.
- **Dirección Y:**
 - La estructura muestra una mayor capacidad para soportar desplazamientos y fuerzas antes de que los elementos estructurales alcancen niveles críticos de daño.
 - La tardía aparición de articulaciones en el rango **>CP** indica que la dirección Y es más resistente y tiene un mejor desempeño.

Conclusión:

- **Vulnerabilidad en Dirección X:**
 - La estructura es más vulnerable en dirección X debido a la formación temprana de articulaciones plásticas y a que los elementos estructurales alcanzan niveles de daño superiores a **LS** a menores desplazamientos y fuerzas.

- Esto corrobora que la dirección X es la más crítica y requiere reforzamiento para mejorar su capacidad y desempeño sísmico.
- **Mayor Capacidad en Dirección Y:**
 - La estructura en dirección Y muestra un mejor comportamiento, pudiendo soportar mayores fuerzas y desplazamientos antes de alcanzar niveles de daño críticos.
 - Aunque siempre es deseable mejorar ambas direcciones, los recursos de reforzamiento deben priorizar la dirección X.

4.3.3.3 Determinación de la vulnerabilidad

De los resultados del análisis dinámico lineal y estático no lineal es evidente que la dirección X del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto presenta una mayor vulnerabilidad sísmica. Las razones clave para determinar esta conclusión son las siguientes:

1. **Deformaciones Relativas:** La dirección X presenta mayores deformaciones relativas durante los escenarios de sismo de diseño y máximo. Esta observación es crucial porque las deformaciones relativas altas indican una susceptibilidad a mayores daños estructurales bajo cargas sísmicas.
2. **Cumplimiento de Normativas de Desempeño Sísmico:** Según VISION 2000, el desempeño sísmico en la dirección Y cumple con los estándares requeridos, mientras que en la dirección X, los niveles de desempeño son solo de Seguridad de Vida (“LS”) para sismos de diseño y de Prevención de Colapso (“CP”) para sismos máximos. Esto indica que la estructura en la dirección X no alcanza los mismos niveles de seguridad que en la dirección Y bajo condiciones sísmicas severas.
3. **Desplazamientos Espectrales:** Los desplazamientos espectrales son indicadores de cuánto movimiento relativo ocurre en la estructura durante un sismo. La dirección X muestra desplazamientos espectrales más

pronunciados en comparación con la dirección Y para sismos de diseño y máximo, lo cual es un indicador de mayor vulnerabilidad.

4. **Formación de Articulaciones Plásticas y Niveles de Daño:** En la dirección X se observa una formación temprana de articulaciones plásticas, y los elementos estructurales alcanzan niveles de daño superiores a "LS" a menores desplazamientos y fuerzas. Esto sugiere que la estructura en esta dirección es más propensa a experimentar daños severos bajo menores demandas sísmicas.

4.4. Propuestas de Reforzamiento Estructural

4.4.1. Selección de Metodología de Reforzamiento Estructural Incremental

El reforzamiento estructural del Hospital II-2 Tarapoto se enfoca en mejorar su capacidad para resistir cargas sísmicas, con especial énfasis en la dirección X, identificada como la más vulnerable según los análisis modales y estáticos no lineales realizados. La selección de muros de concreto armado como principal técnica de reforzamiento responde a un análisis exhaustivo de múltiples estudios sobre vulnerabilidad sísmica en hospitales peruanos. Estos estudios, llevados a cabo por reconocidos especialistas en la materia, han demostrado consistentemente la efectividad de los muros de concreto armado para aumentar la rigidez lateral, mejorar la capacidad de carga y reducir las deformaciones durante eventos sísmicos.

4.4.2. Justificación Basada en Investigaciones Previas

En la revisión de estudios previos de reforzamiento estructural en hospitales, se observó que la incorporación de muros de concreto armado ha sido una de las técnicas más efectivas y ampliamente implementadas. Los estudios muestran una clara tendencia hacia el uso de esta técnica en hospitales ubicados en zonas de alta

sismicidad. A continuación, se destacan los principales hallazgos y los especialistas responsables:

1. **Hospital Nacional Arzobispo Loayza:**

- **Resultados Estructurales:** La implementación de muros de concreto armado, evaluada por el Dr. Carlos Zavala Toledo, resultó en un incremento significativo de la rigidez lateral y una reducción de las derivas de entrepiso. El análisis dinámico espectral aplicado en la estructura mostró una mejora en la capacidad de carga lateral de más del 30%, lo que garantiza un mejor desempeño durante un sismo severo.

2. **Hospital de Emergencias Pediátricas:**

- **Optimización de Desempeño Sísmico:** En este caso, los muros de concreto armado se utilizaron para reforzar bloques antiguos y vulnerables. El análisis estructural, liderado por el Dr. Raúl Morales Soto y el Arq. José Sato Onuma, demostró que la adición de estos muros redujo las deformaciones excesivas y mejoró la estabilidad global de la estructura, asegurando la funcionalidad crítica del hospital post-sismo.

3. **Hospital Nacional Dos de Mayo:**

- **Eficiencia en la Distribución de Esfuerzos:** La incorporación de muros de concreto armado, bajo la supervisión del MSc. Ing. Miguel A. Díaz Figueroa, permitió redistribuir los esfuerzos sísmicos de manera más uniforme, disminuyendo los puntos de concentración de esfuerzos y mejorando la capacidad de la estructura para disipar la energía sísmica, lo que es crucial para mantener la integridad estructural y funcional.

4. **Hospital Nacional Sergio E. Bernales:**

- **Uso Combinado de Técnicas:** Este estudio, dirigido por el MSc. Ing. Luis Ricardo Proaño Tataje, subraya la efectividad de combinar muros de concreto armado con otras técnicas de reforzamiento, como arriostres

metálicos y confinamiento de muros de albañilería. La combinación de estas técnicas no solo aumentó la rigidez y capacidad de carga de la estructura, sino que también mejoró su ductilidad y capacidad de disipación de energía, lo cual es fundamental para estructuras hospitalarias.

5. **Hospital Nacional María Auxiliadora:**

- **Integración de Métodos de Reforzamiento:** En este hospital, se implementó una combinación de muros de concreto armado y técnicas de aislamiento sísmico, liderado por el MSc. Ing. Lourdes Cárdenas Paredes. Los resultados mostraron una mejora significativa en la respuesta sísmica del hospital, particularmente en la reducción de derivas y mejora en la estabilidad global de la estructura.

6. **Hospital Nacional Cayetano Heredia:**

- **Resultados del Reforzamiento:** La adición de muros de concreto armado, según el estudio liderado por el MSc. Ing. Jorge Fernández Huamán, mejoró considerablemente la rigidez estructural y la capacidad de carga lateral, lo que se reflejó en una reducción significativa de las derivas y una mejor distribución de esfuerzos.

4.4.3. **Propuestas de Reforzamiento Estructural**

1. **Muros de Concreto Armado:**

- **Ventajas Técnicas:** Los muros de concreto armado son altamente efectivos para incrementar la rigidez lateral de la estructura y su capacidad de carga. Su incorporación en el Hospital II-2 Tarapoto es estratégica, ya que estos muros pueden ser ubicados en zonas clave, como núcleos de circulación vertical y áreas de servicio con menos aberturas, permitiendo así una mejora sustancial en la respuesta sísmica de la estructura.
- **Resultados Esperados:** Basado en los estudios revisados y los análisis estructurales realizados, se espera que la implementación de estos muros

reduzca las derivas entrepiso a niveles aceptables, mejorando la seguridad y funcionalidad del hospital durante un evento sísmico.

2. Arriostres Metálicos:

- **Complemento a la Rigidez:** Los arriostres metálicos proporcionan un refuerzo adicional que mejora la capacidad de absorción de energía de la estructura, incrementando su ductilidad. Este método es especialmente útil en áreas donde la instalación de muros de concreto armado es menos viable debido a la disposición arquitectónica.
- **Sinergia con Muros de Concreto:** La combinación de muros de concreto armado con arriostres metálicos maximiza los beneficios de ambos métodos, proporcionando una mayor capacidad de disipación de energía y un refuerzo estructural balanceado.

3. Combinación de Arriostres Metálicos y Muros de Concreto Armado:

- **Optimización del Desempeño Estructural:** La combinación de muros de concreto armado y arriostres metálicos asegura un enfoque integral al reforzamiento, adaptándose a las particularidades arquitectónicas del Hospital II-2 Tarapoto. Esta estrategia no solo mejora la rigidez y la capacidad de carga, sino que también incrementa la capacidad de disipación de energía y la ductilidad de la estructura, elementos clave para garantizar la operatividad del hospital en caso de un sismo severo.

La elección de muros de concreto armado para el reforzamiento estructural del Hospital II-2 Tarapoto está respaldada por estudios sólidos y resultados comprobados en otros hospitales peruanos, llevados a cabo por expertos reconocidos en el campo de la ingeniería estructural. Esta metodología, complementada con arriostres metálicos, no solo es viable desde el punto de vista técnico, sino que también optimiza la seguridad y funcionalidad del hospital, asegurando su capacidad para resistir futuros eventos sísmicos.

4.5. Evaluación de la Propuesta de Reforzamiento Estructural

Para el reforzamiento, se ha optado por utilizar muros de concreto armado, una solución ampliamente recomendada por expertos en el reforzamiento de hospitales en Perú debido a su efectividad comprobada. Adicionalmente, debido a la presencia de ventanas y otras aperturas, se ha decidido incorporar arriostres metálicos, combinando ambos métodos para optimizar la resistencia sísmica del edificio.

La evaluación post-reforzamiento se llevará a cabo utilizando el modelo desarrollado para el análisis estático no lineal Pushover en la dirección X. A este modelo se le añadirá la nueva configuración de refuerzos, y se procederá a realizar un análisis dinámico lineal para extraer los datos necesarios que se introducirán posteriormente en el análisis estático no lineal. Este enfoque permitirá verificar la capacidad y desempeño sísmico del edificio. Si los resultados no son satisfactorios, se ajustará la configuración de los refuerzos hasta alcanzar los niveles de capacidad y desempeño sísmico deseados. Finalmente, se extraerán los datos del análisis dinámico lineal y estático no lineal para evaluar los indicadores de desempeño.

4.5.1. Análisis Post-Reforzamiento con Muros de Concreto Armado

Para el reforzamiento estructural del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, se optó por la incorporación de muros de concreto armado con un espesor de 30 cm, manteniendo las propiedades del material de los elementos existentes.

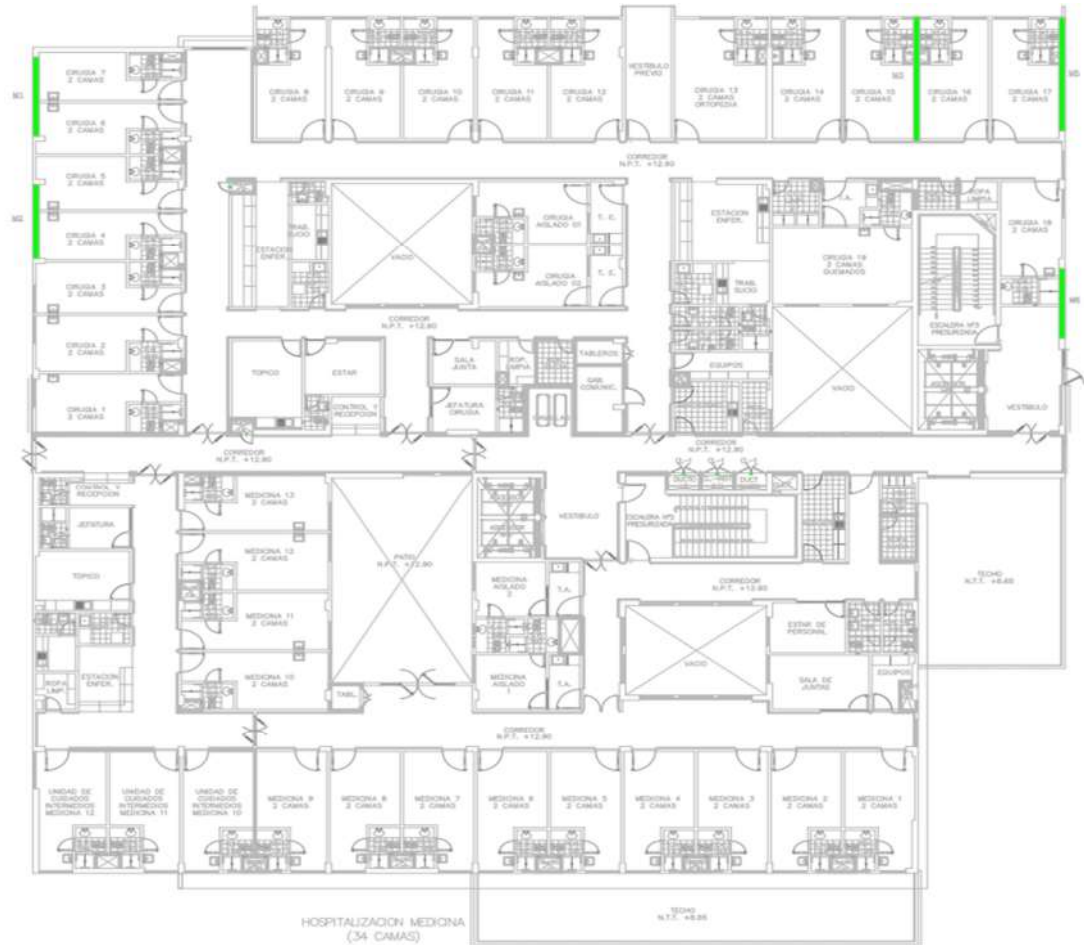
La configuración del acero de refuerzo en los nuevos muros se diseñó siguiendo las mismas disposiciones mostradas en los planos estructurales originales del edificio, para garantizar la compatibilidad estructural y el comportamiento esperado durante un evento sísmico.

Debido a las restricciones arquitectónicas del hospital, la cantidad y ubicación de los muros adicionales se evaluaron cuidadosamente para minimizar el impacto en la funcionalidad del edificio, evitando bloquear ventanas y manteniendo la circulación en los pasillos. Sin embargo, considerando estas limitaciones, la

implementación de un número significativo de muros resultó inviable sin causar modificaciones drásticas al diseño arquitectónico existente. Por esta razón, solo fue posible añadir cinco muros de corte en la dirección X, tal como se ilustra en la figura correspondiente.

Esta intervención buscó maximizar la eficiencia del refuerzo estructural mientras se respetaba la integridad arquitectónica del hospital, manteniendo un balance óptimo entre la mejora del desempeño sísmico y la funcionalidad del espacio.

Figura 37 Ubicación de muros de refuerzo



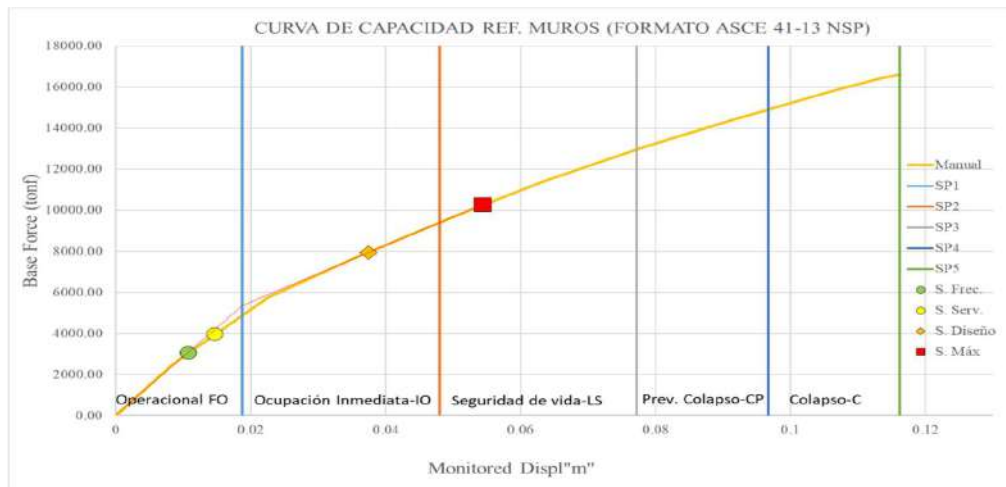
Nota: Por la presencia de ventanas, discontinuidad en altura de las paredes, solo se tiene la posibilidad de colocar cinco muros de concreto armado, elaboración propia.

4.5.1.1 Curvas de Capacidad Post-Reforzamiento con Muros de concreto armado:

Las curvas de capacidad obtenidas del análisis Pushover en la dirección X muestran la relación fuerza-desplazamiento de la estructura.

Figura 38

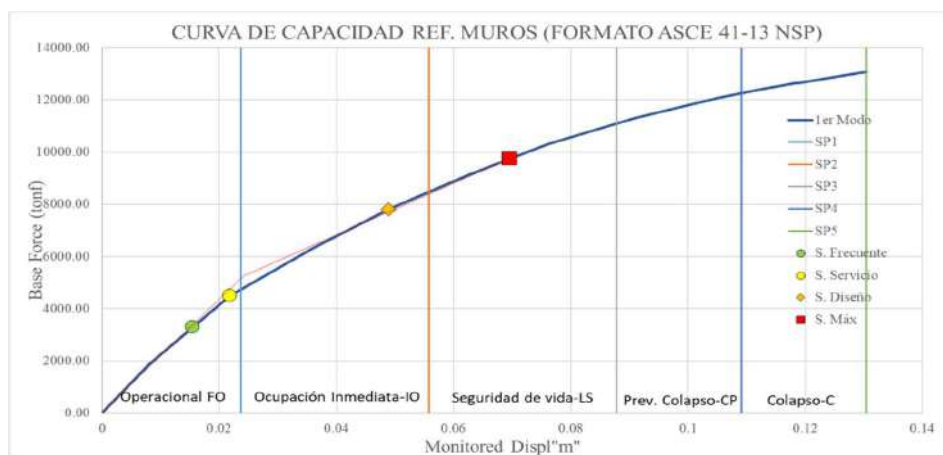
Curva Capacidad dirección X, Ref. Muros (Método calculo manual).



Nota: S. diseño en el rango IO, y S. máximo en LS, elaboración propia.

Figura 39

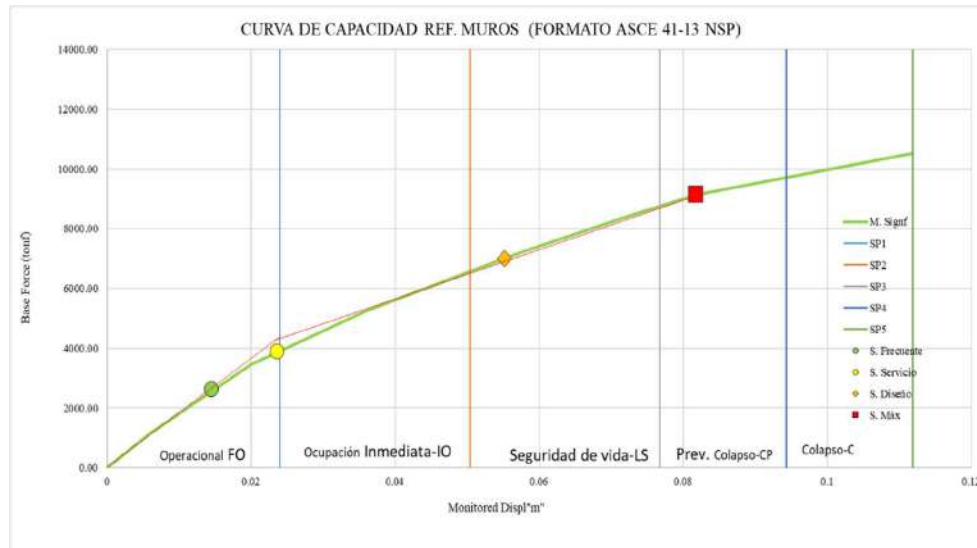
Curva Capacidad dirección X, Ref. Muros (Método 1er Modo).



Nota: S. diseño en el rango IO, y S. máximo en LS, elaboración propia.

Figura 40

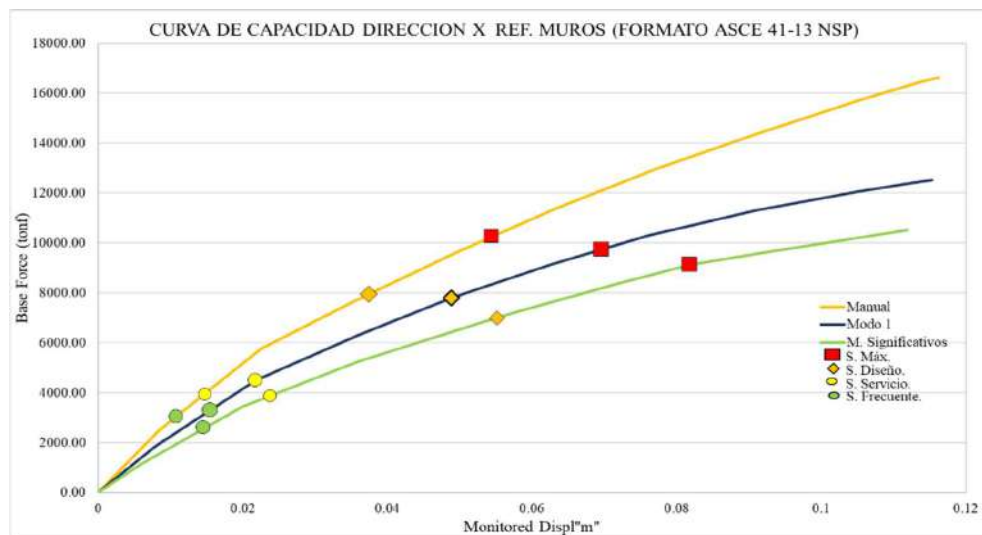
Curva Capacidad dirección X, Ref. Muros (Método modos Significativos).



Nota: S. diseño en el rango LS, y S. máximo en CP, elaboración propia.

Figura 41

Curva Capacidad dirección X Ref. Muros (Superposición de Métodos).



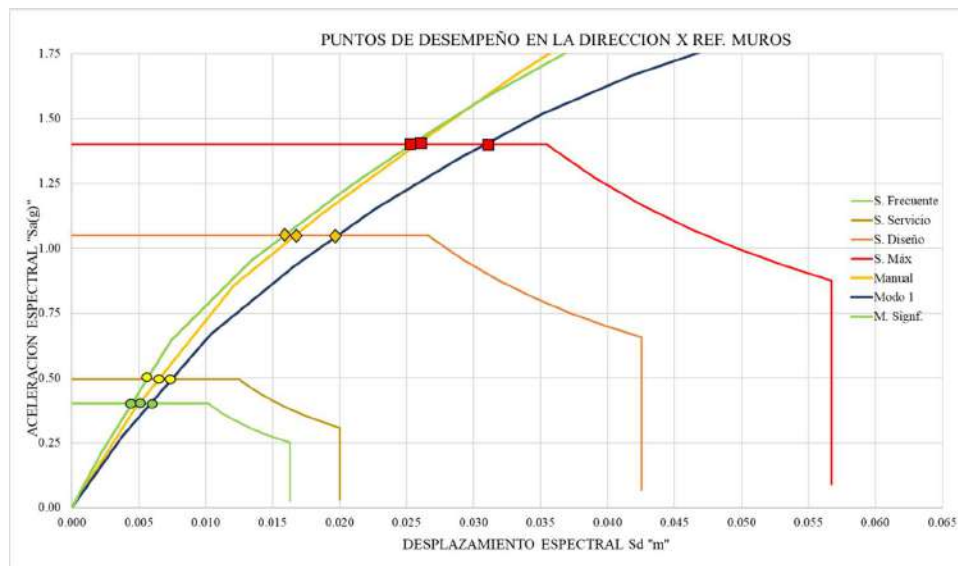
Nota: Se comparan las curvas de capacidad obtenidas mediante diferentes enfoques de análisis.

4.5.1.2 Espectros de Demanda Post-Reforzamiento con Muros de concreto armado:

La comparación entre los espectros de demanda y los espectros de capacidad se llevó a cabo para evaluar y definir con precisión los niveles de desempeño estructural bajo diferentes escenarios sísmicos y considerando el reforzamiento de muros de concreto armado de espesor de 30cm en la dirección X. A continuación, se describen los hallazgos de esta comparación:

Figura 42

Puntos de Desempeño en dirección X, Ref. Muros.



Nota: Se comparan las curvas de desempeño obtenidas mediante diferentes enfoques de análisis

4.5.1.3 Resultados del Análisis Dinámico Lineal Post-ref. con Muros de Concreto Armado

Tabla 17 Resultados Post- Ref. con Muros de Concreto Armado

Descripción	Unidad	Post-Ref. Muros
Periodo TX=	seg	0.236
Periodo TY=	seg	0.214
variación entre el periodo X inicial	%	15.41%
variación entre el periodo Y inicial	%	3.17%
Cortante Estática	tonf	2518.84
Cortante Dinámica X	tonf	1410.03
Cortante Dinámica Y	tonf	1589.90
Cortante de diseño X	tonf	2015.07
Cortante de diseño Y	tonf	2015.08
Deriva máxima de entre piso X	1/1000	0.001782
Deriva máxima de entre piso Y	1/1000	0.00144
Relación entre derivas X/Y	%	19.19
Variación entre Deriva máxima inicial X	%	24.23%
Variación entre Deriva máxima inicial Y	%	5.70%
Desplazamiento Total en dirección X	cm	2.420375
Desplazamiento Total en dirección Y	cm	2.022575

Tabla 18 Factor de Masa Participativa Post-ref. con Muros de Concreto Armado

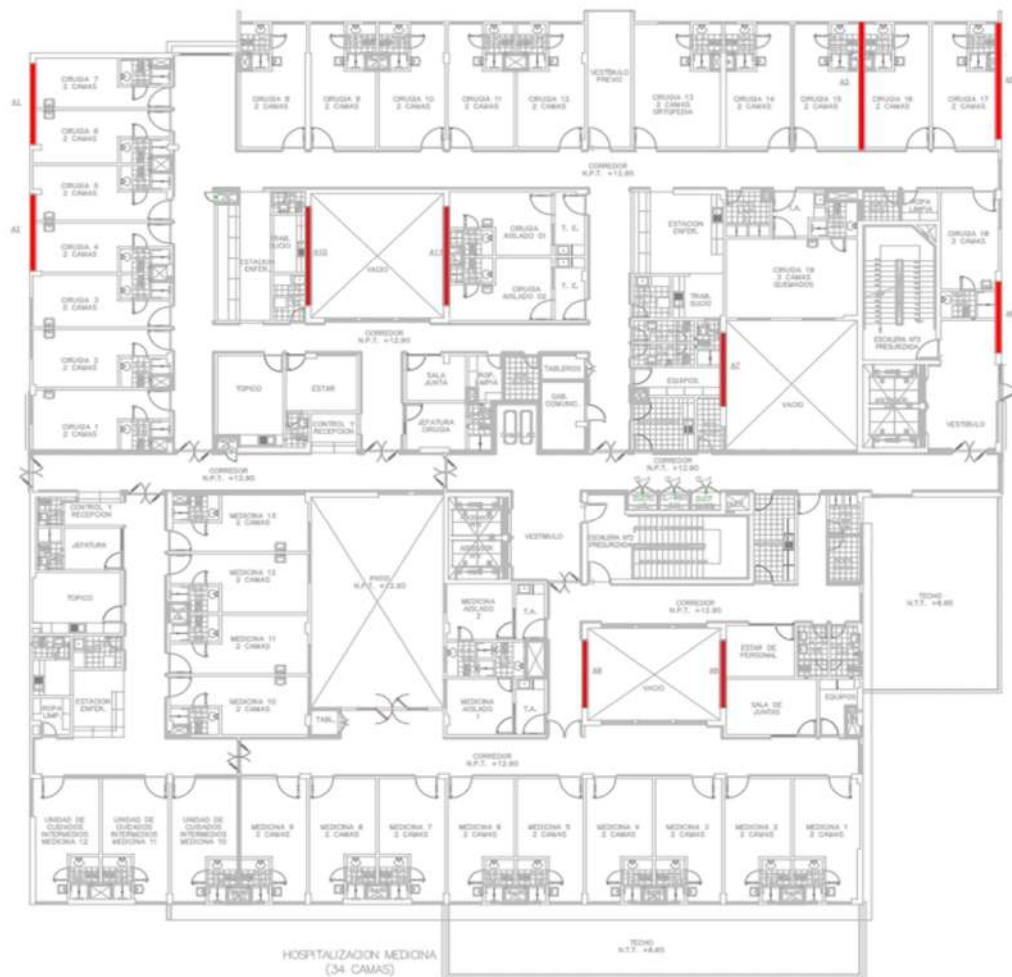
Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
Modal	1	0.236	0.39	0.15	0.39	0.15	0.19	0.19
Modal	2	0.214	0.19	0.51	0.57	0.65	0.00	0.19
Modal	3	0.171	0.14	0.04	0.71	0.70	0.50	0.69
Modal	4	0.065	0.10	0.03	0.81	0.72	0.06	0.75
Modal	5	0.065	0.03	0.18	0.84	0.90	0.01	0.76
Modal	6	0.050	0.06	0.00	0.90	0.90	0.14	0.90
Modal	7	0.033	0.01	0.03	0.91	0.93	0.00	0.90
Modal	8	0.032	0.02	0.01	0.93	0.95	0.01	0.91
Modal	9	0.025	0.02	0.00	0.95	0.95	0.03	0.94
Modal	10	0.024	0.01	0.01	0.96	0.95	0.00	0.94
Modal	11	0.022	0.00	0.01	0.96	0.96	0.01	0.95
Modal	12	0.018	0.01	0.00	0.97	0.97	0.01	0.96

4.5.2. Análisis Post-Reforzamiento con Arriostres Metálicos

Se usaron perfiles W12x65 como arriostres, ver anexos. La ubicación de los refuerzos, fue la misma que los muros y en ductos de iluminación natural y muros con ventanas.

Por la arquitectura del hospital para evitar clausura de ventanas, ductos y pasadizos, una opción es proponer el reforzamiento con arriostres metálicos logrando adicional nueve tramos para reforzar en la dirección X, como se muestra en la figura:

Figura 43 Ubicación de arriostres de refuerzos.



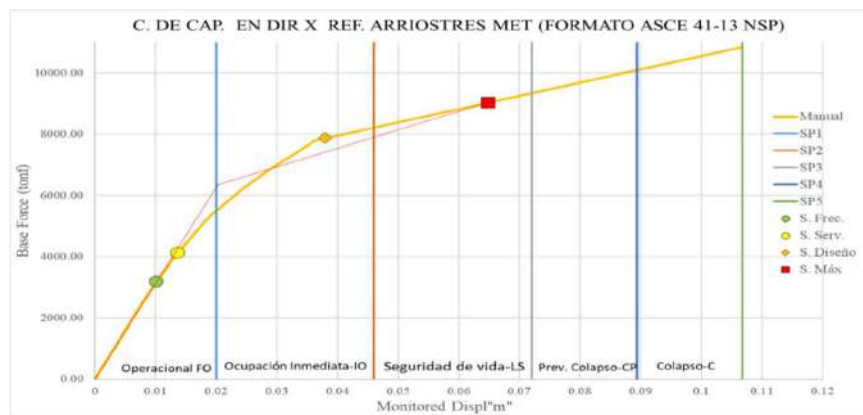
Nota: Si solo se usa arriostres, se puede disponer diez zonas a reforzar, sin la necesidad de clausurar ventanas, elaboración propia.

4.5.2.1 Curvas de Capacidad Post-Ref con Arriostres Metálicos:

Las curvas de capacidad obtenidas del análisis Pushover en la dirección X muestran la relación fuerza-desplazamiento de la estructura.

Figura 44

Curva Capacidad Ref. Arriostres Metálicos en Dirección X.



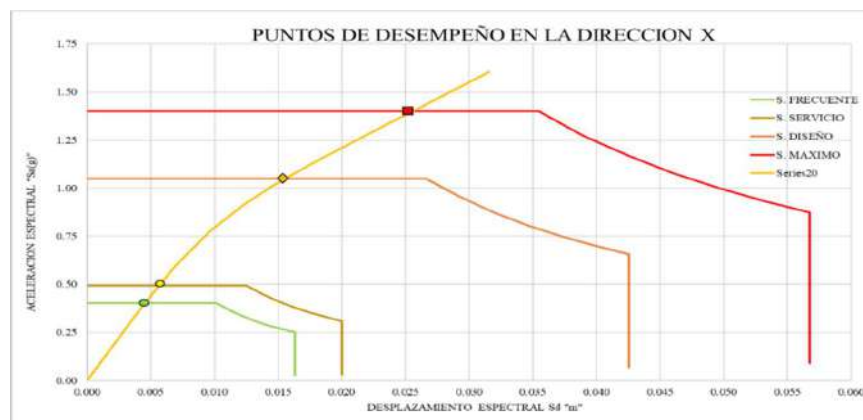
Nota: S. diseño en el rango IO, y S. máximo en LS, elaboración propia.

4.5.2.2 Espectros de Demanda Post- Ref. con Arriostres Metálicos:

Los espectros de demanda se compararon con las curvas de capacidad para evaluar los niveles de desempeño.

Figura 45

Puntos de Desempeño en dirección X, Ref. Arriostres.



4.5.2.3 Resultados del Análisis Dinámico Lineal Post-ref. con Arriostres

Tabla 19 Resultados Post- Ref. con Arriostres

Descripción	Unidad	Post-Ref. con Arriostres
Periodo TX=	seg	0.248
Periodo TY=	seg	0.211
variación entre el periodo X inicial	%	11.11%
variación entre el periodo Y inicial	%	4.52%
Cortante Estática	tonf	2453.948936
Cortante Dinámica X	tonf	1248.5264
Cortante Dinámica Y	tonf	1420.3071
Cortante de diseño X	tonf	1963.158
Cortante de diseño Y	tonf	1963.1627
Deriva máxima de entre piso X	1/1000	0.001635
Deriva máxima de entre piso Y	1/1000	0.001436
Relación entre derivas X/Y	%	12.17
Variación entre Deriva máxima inicial X	%	30.48%
Variación entre Deriva máxima inicial Y	%	5.96%
Desplazamiento Total en dirección X	cm	2.206175
Desplazamiento Total en dirección Y	cm	2.000475

Tabla 20 Factor de Masa Participativa Post-ref. con Arriostres

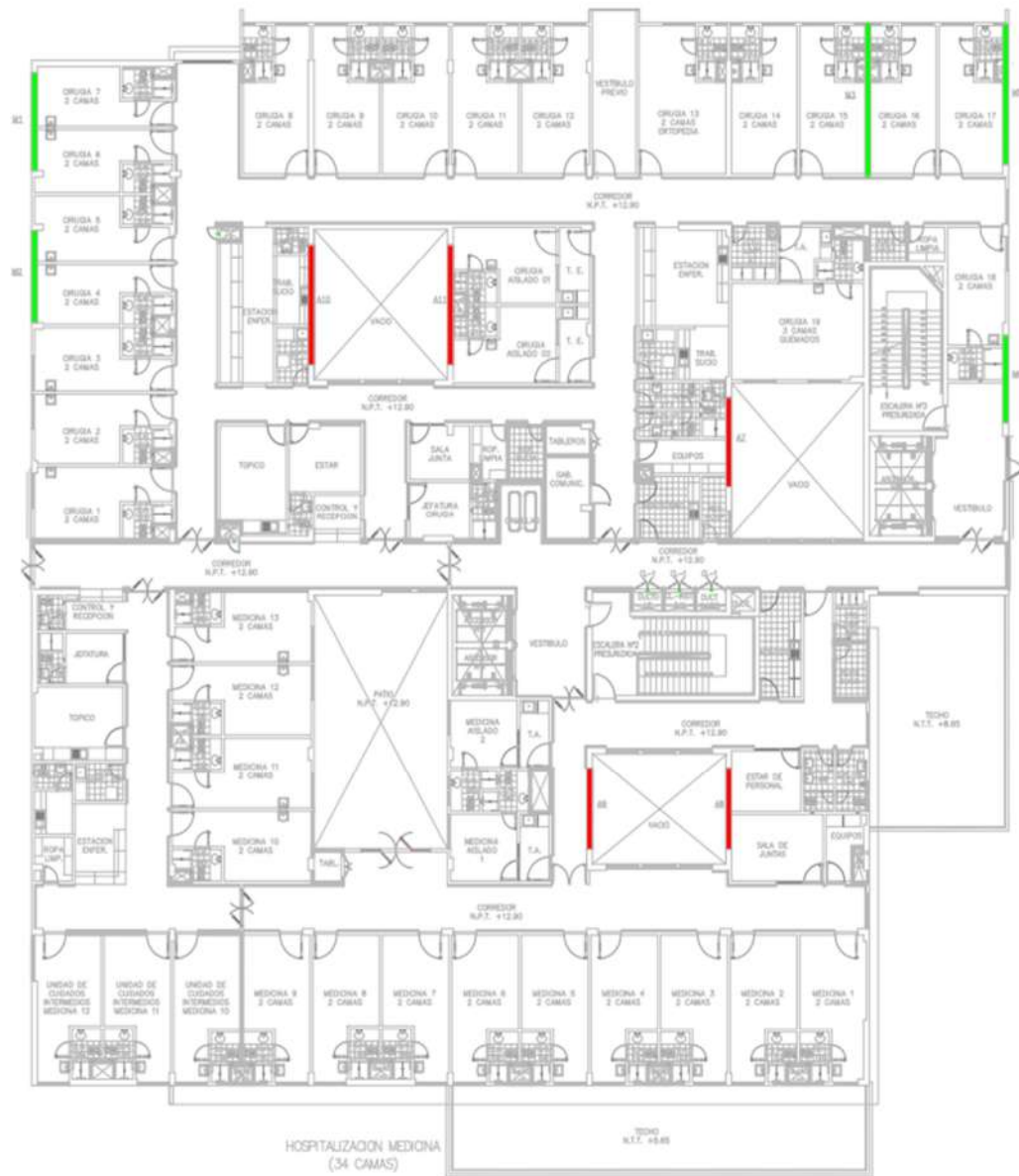
Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
Modal	1	0.248	0.262	0.194	0.262	0.194	0.266	0.266
Modal	2	0.211	0.244	0.442	0.506	0.636	0.004	0.270
Modal	3	0.175	0.218	0.057	0.724	0.692	0.413	0.684
Modal	4	0.072	0.093	0.003	0.817	0.695	0.106	0.790
Modal	5	0.064	0.007	0.202	0.825	0.897	0.002	0.791
Modal	6	0.055	0.080	0.003	0.904	0.900	0.107	0.898
Modal	7	0.036	0.023	0.001	0.928	0.901	0.019	0.917
Modal	8	0.032	0.001	0.045	0.929	0.946	0.000	0.917
Modal	9	0.027	0.028	0.000	0.957	0.946	0.008	0.924
Modal	10	0.023	0.001	0.016	0.958	0.963	0.002	0.926
Modal	11	0.02	0.007	0.002	0.965	0.965	0.006	0.932
Modal	12	0.012	0.000	0.000	0.965	0.965	0.030	0.962

4.5.3. Análisis Post-Ref. Combinación de Arriostres Metálicos y Muros de concreto armado

Se usaron perfiles W12x65 como arriostres, y muros de concreto, la distribución es la siguiente:

Figura 46

Ubicación de Arriostres y Muros de refuerzos.



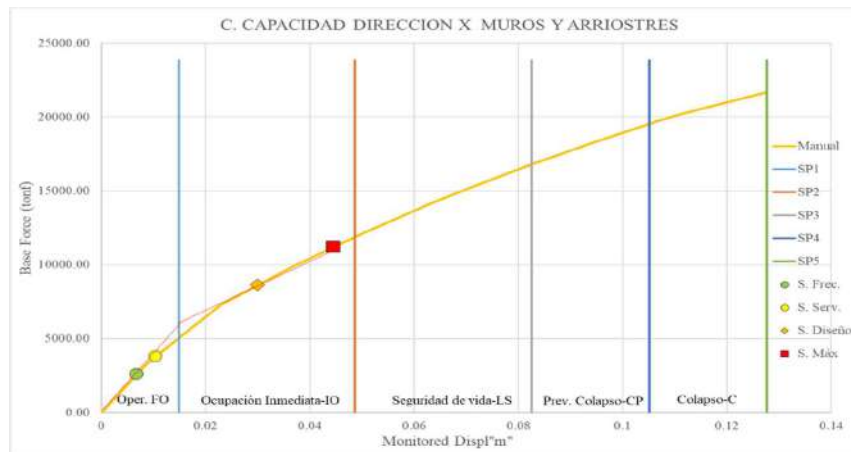
Nota: Muros en color verde y arriostres en color rojo, elaboración propia.

4.5.3.1 Curvas de Capacidad Post- Ref. Combinación de Arriostres Metálicos y Muros de concreto armado:

Las curvas de capacidad obtenidas del análisis Pushover en la dirección X muestran la relación fuerza-desplazamiento de la estructura.

Figura 47

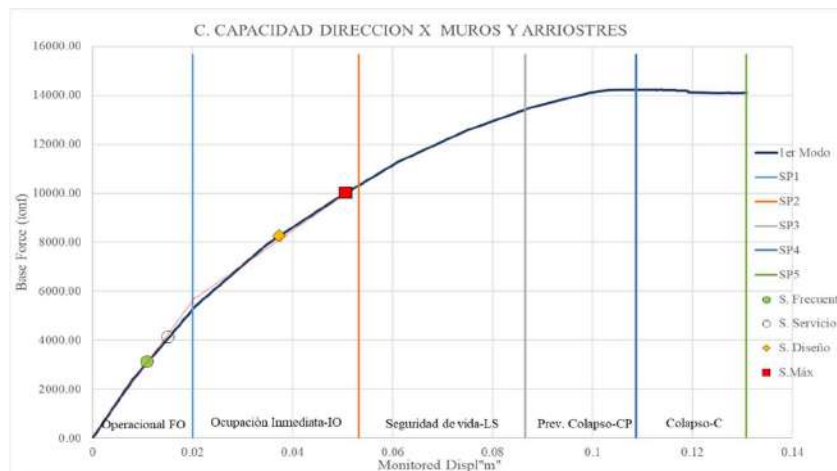
Curva Capacidad Ref. Arriostres y Muros en Dirección X(C. Manual).



Nota: S. diseño y S. máximo en el rango IO, elaboración propia.

Figura 48

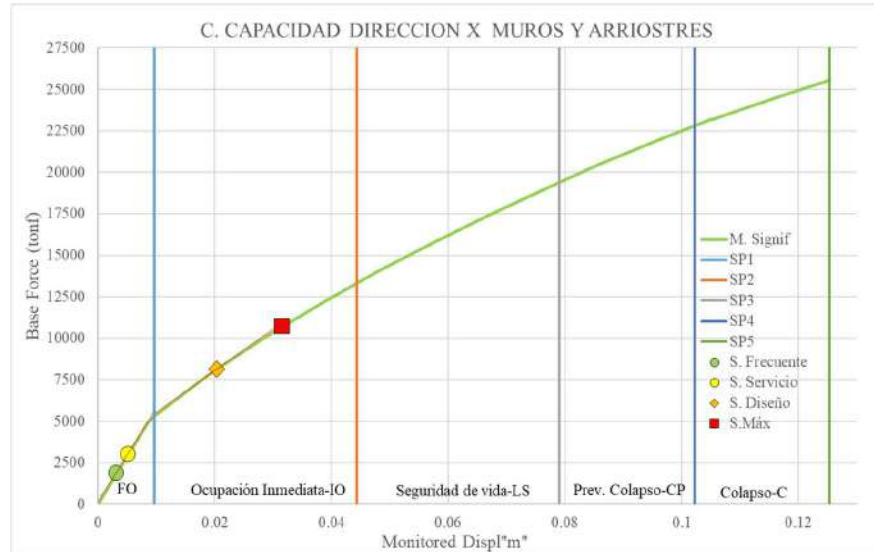
Curva Capacidad Ref. Arriostres y Muros en Dirección X(1er Modo).



Nota: S. diseño y S. máximo en el rango IO, elaboración propia.

Figura 49

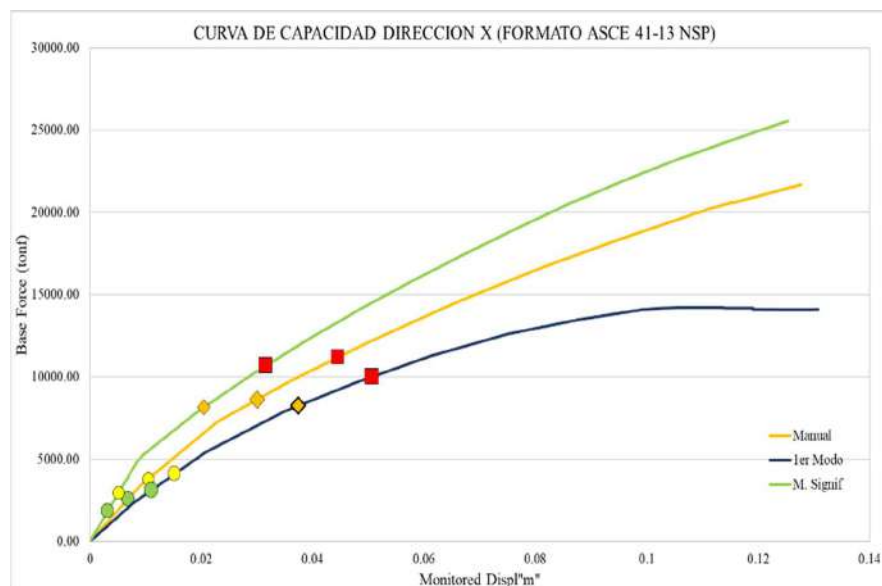
Curva Capacidad Ref. Arriostres y Muros en Dirección X(M. Significativos).



Nota: S. diseño y S. máximo en el rango IO, elaboración propia.

Figura 50

C. Cap. dirección X Ref. con Arriostres y Muros (Superposición de métodos).



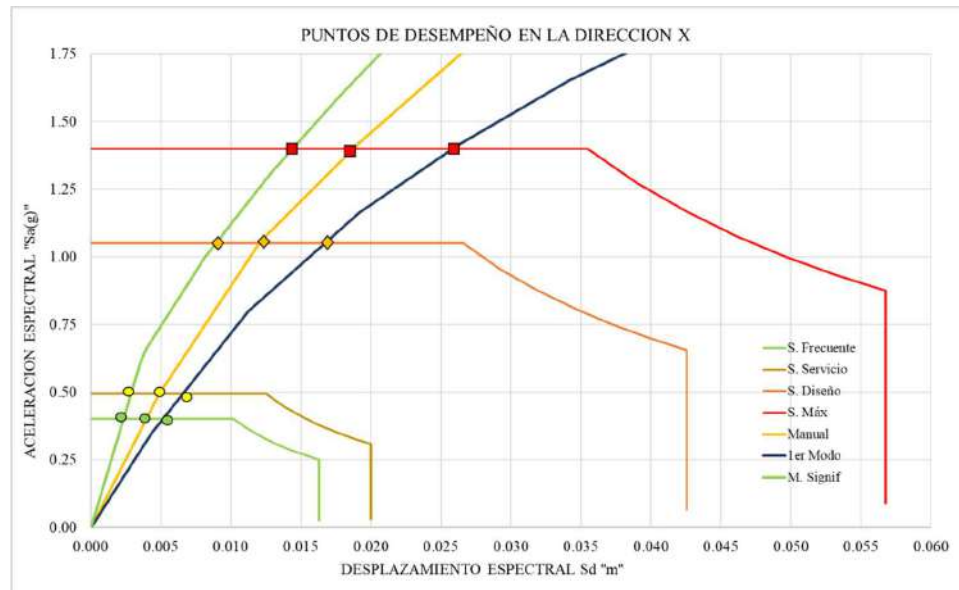
Nota: Superposición de curvas de capacidad de los tres métodos utilizados, elaboración propia.

4.5.3.2 Espectros de Demanda Post-Ref. con Arriostres Metálicos y Muros de concreto armado:

Los espectros de demanda se compararon con las curvas de capacidad para evaluar los niveles de desempeño.

Figura 51

Puntos de Desempeño en dirección X, Ref. Arriostres y Muros de concreto.



Nota: Superposición de curvas de desempeño de los tres métodos utilizados, elaboración propia.

4.5.3.3 Resultados del Análisis Dinámico Lineal Post-ref. con Muros de Concreto Armado y Arriostres Metálicos

Tabla 21 Resultados Post- Ref. con Muros y Arriostres

Descripción	Unidad	Post-Ref. Comb. Arriostres y Muros
Periodo TX=	seg	0.227
Periodo TY=	seg	0.208
variación entre el periodo X inicial	%	18.64%
variación entre el periodo Y inicial	%	5.88%
Cortante Dinámica X	tonf	1376.93
Cortante Dinámica Y	tonf	1586.28
Cortante de diseño X	tonf	2020.24
Cortante de diseño Y	tonf	2020.24
Deriva máxima de entre piso X	1/1000	0.001494
Deriva máxima de entre piso Y	1/1000	0.001432
Relación entre derivas X/Y	%	4.15
Variación entre Deriva máxima inicial X	%	36.48%
Variación entre Deriva máxima inicial Y	%	6.22%
Desplaz. Total en dirección X	cm	2.0332
Desplaz. Total en dirección Y	cm	2.025975

Tabla 22 Factor de Masa Participativa Post-ref. con Muros y Arriostres

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
Modal	1	0.227	0.226	0.303	0.226	0.303	0.201	0.201
Modal	2	0.208	0.293	0.366	0.519	0.669	0.029	0.230
Modal	3	0.167	0.200	0.028	0.719	0.697	0.461	0.691
Modal	4	0.065	0.000	0.199	0.719	0.895	0.001	0.692
Modal	5	0.063	0.114	0.005	0.833	0.900	0.087	0.779
Modal	6	0.049	0.072	0.001	0.904	0.901	0.122	0.900
Modal	7	0.033	0.003	0.039	0.908	0.940	0.002	0.903
Modal	8	0.031	0.024	0.007	0.932	0.947	0.015	0.917
Modal	9	0.024	0.018	0.001	0.950	0.948	0.024	0.941
Modal	10	0.024	0.008	0.007	0.958	0.954	0.000	0.941
Modal	11	0.022	0.002	0.010	0.960	0.965	0.012	0.953
Modal	12	0.017	0.006	0.001	0.965	0.965	0.009	0.962

4.5.4. Evaluación y Selección de la Propuesta de Reforzamiento Estructural

En esta sección se evalúa el impacto de las estrategias de reforzamiento estructural en el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto. El enfoque principal es analizar cómo las intervenciones realizadas, específicamente el reforzamiento en la dirección X, han influido en los indicadores clave definidos previamente. Se unifican los análisis de los cambios observados en la estructura antes y después del reforzamiento y la evaluación detallada de los indicadores, proporcionando una visión integral del desempeño estructural.

Es importante destacar que el reforzamiento se ha aplicado únicamente en la **dirección X**, identificada como la más crítica. Las mejoras observadas en la **dirección Y** son externalidades positivas derivadas del reforzamiento en la dirección X.

4.5.4.1 Cambios Observados Pre y Post-Reforzamiento

a) Período Fundamental de Vibración

El período fundamental de vibración es un indicador de la rigidez global de la estructura. Un período más corto indica una mayor rigidez, lo cual es favorable para reducir desplazamientos durante un evento sísmico.

Tabla 23 Períodos Fundamentales Pre y Post-Reforzamiento

Estrategia	TX (seg)	TY (seg)	Reducción TX (%)	Reducción TY (%)
Pre-Reforzamiento	0.279	0.221	-	-
Post-Ref. con Muros	0.236	0.214	15.41%	3.17%
Post-Ref. con Arriostres	0.248	0.211	11.11%	4.52%
Post-Ref. con Muros y Arriostres	0.227	0.208	18.64%	5.88%

Análisis:

- El reforzamiento en la dirección X redujo significativamente el período fundamental en esa dirección, indicando un aumento en la rigidez estructural.

- La combinación de muros y arriostres logró la mayor reducción en TX con un 18.64%, categorizado como **Excelente** según la escala establecida.
- Las reducciones en TY, aunque menores, representan mejoras adicionales derivadas del reforzamiento en X.

b) Peso de la Edificación

El peso total de la edificación influye en la demanda sísmica. El reforzamiento con elementos estructurales adicionales puede aumentar el peso, afectando las fuerzas sísmicas.

Tabla 24 Peso de la Edificación Pre y Post-Reforzamiento

Estrategia	Peso Total (tonf)	Incremento de Peso (%)
Pre-Reforzamiento	9,298.87	-
Post-Reforzamiento con Muros	9,595.59	3.19%
Post-Reforzamiento con Arriostres	9,348.38	0.53%
Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres	9,620.16	3.46%

Análisis:

- El incremento de peso es mayor al agregar muros de concreto armado, debido a su mayor masa comparada con los arriostres metálicos.
- La combinación de muros y arriostres presenta un incremento de peso del 3.46%, que es un factor a considerar en el diseño sísmico.

4.5.4.2 Evaluación de los Indicadores

A continuación, se evalúan los indicadores clave definidos, utilizando las escalas de medición establecidas y considerando los resultados obtenidos.

1. Rigidez Estructural

Indicadores Evaluados:

- Período Fundamental de Vibración en dirección X (TX)
- Período Fundamental de Vibración en dirección Y (TY)

- Reducción del Período Fundamental (%)

Evaluación:

- Reducción del Período Fundamental en dirección X:
 - Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres: 18.64% (Excelente)
 - Post-Reforzamiento con Muros: 15.41% (Excelente)
 - Post-Reforzamiento con Arriostres: 11.11% (Buena)
- Reducción del Período Fundamental en dirección Y:
 - Las reducciones en TY son menores debido a que el reforzamiento se aplicó en dirección X.
 - Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres: 5.88% (Aceptable)
 - Post-Reforzamiento con Arriostres: 4.52% (Aceptable)
 - Post-Reforzamiento con Muros: 3.17% (No Aceptable)

Conclusión:

- El aumento de rigidez en dirección X es significativo, especialmente con la combinación de muros y arriostres.
- Las mejoras en dirección Y, aunque no tan pronunciadas, aportan beneficios adicionales al comportamiento estructural.

2. Deformaciones Estructurales

Indicadores Evaluados:

- Deriva Máxima de Entrepiso en dirección X (ΔX)
- Deriva Máxima de Entrepiso en dirección Y (ΔY)
- Reducción de la Deriva Máxima (%)

Resultados Obtenidos:

Tabla 25 Comparación de Deformaciones Pre y Post-Reforzamiento

Estrategia	ΔX	ΔY	Reducción ΔX (%)	Reducción ΔY (%)
Pre-Reforzamiento	0.002352	0.001527	-	-
Post-Reforzamiento con Muros	0.001782	0.00144	24.23%	5.70%
Post-Reforzamiento con Arriostres	0.001635	0.001436	30.48%	5.96%
Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres	0.001494	0.001432	36.48%	6.22%

Evaluación según la Escala de Medición:

- **Deriva Máxima en dirección X:**
 - Todos los casos post-reforzamiento cumplen con el nivel **Excelente** ($\Delta \leq 0.003$).
 - La mayor reducción de deriva se logró con la combinación de muros y arriostres (36.48%).
- **Reducción de la Deriva Máxima en dirección X:**
 - Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres: **36.48%** (Excelente)
 - Post-Reforzamiento con Arriostres: **30.48%** (Excelente)
 - Post-Reforzamiento con Muros: **24.23%** (Buena)
- **Deriva Máxima en dirección Y (Externalidad Positiva):**
 - Las reducciones en ΔY son menores y no alcanzan niveles aceptables según la escala establecida.

Conclusión:

- El reforzamiento en dirección X redujo significativamente las derivas máximas en esa dirección, mejorando la seguridad estructural.
- La combinación de muros y arriostres es la estrategia más efectiva en este aspecto.

3. Desplazamientos Estructurales

Indicadores Evaluados:

- Desplazamiento Total en dirección X
- Desplazamiento Total en dirección Y
- Reducción del Desplazamiento Total (%)

Resultados Obtenidos:

Tabla 26 Comparación de Desplazamientos Pre y Post-Reforzamiento

Estrategia	Desplazamiento X (cm)	Reducción X (%)	Desplazamiento Y (cm)	Reducción Y (%)
Pre-Reforzamiento	3.04	-	2.07825	-
Post-Reforzamiento con Muros	2.420375	20.43%	2.022575	2.68%
Post-Reforzamiento con Arriostres	2.206175	27.47%	2.000475	3.74%
Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres	2.0332	33.16%	2.025975	2.52%

Evaluación según la Escala de Medición:

- **Reducción del Desplazamiento Total en dirección X:**
 - Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres: **33.16%** (Excelente)
 - Post-Reforzamiento con Arriostres: **27.47%** (Excelente)
 - Post-Reforzamiento con Muros: **20.43%** (Buena)
- **Reducción del Desplazamiento Total en dirección Y:**
 - Las reducciones en desplazamientos en Y son menores y no alcanzan niveles aceptables según la escala.

Conclusión:

- Las estrategias de reforzamiento reducen significativamente los desplazamientos totales en dirección X. Nuevamente, la combinación de muros y arriostres es la estrategia más efectiva.

4. Capacidad de Resistencia Sísmica

Indicadores Evaluados:

- Nivel de Desempeño para Sismos Frecuente, Servicio, Diseño y Máximo

Tabla 27 Comparación de Desempeño Pre y Post-Reforzamiento

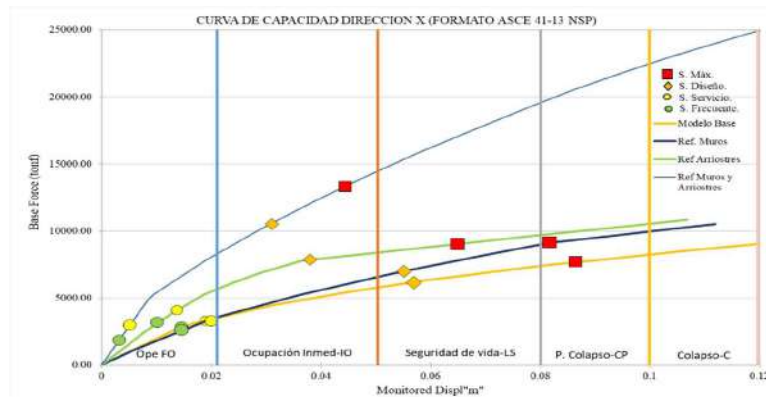


Tabla 28 Desempeños Obtenidos en la dirección X

Estrategia	Sismo Frecuente	Sismo Servicio	Sismo Diseño	Sismo Máximo
Pre-Reforzamiento	FO	FO	LS	CP
Post-Ref. con Muros	FO	FO	LS	CP
Post-Ref. con Arriostres	FO	FO	IO	LS
Post-Ref. Muros y Arriostres	FO	FO	IO	IO

Evaluación según VISION 2000:

- Nivel de Desempeño en Sismo Máximo para Edificaciones Esenciales:
 - Requisito Mínimo: LS (Seguridad de Vida)
 - Pre-Reforzamiento y Post-Reforzamiento con Muros: Alcanzan CP y LS respectivamente (No Aceptable)
 - Post-Reforzamiento con Arriostres: Alcanza LS (Aceptable)
 - Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres: Alcanza IO (Excelente)

Conclusión:

- La combinación de muros y arriostres no solo cumple, sino que supera el nivel de desempeño requerido para edificaciones esenciales en un sismo máximo.
- El reforzamiento con arriostres también cumple con el requisito mínimo.

5. Demanda Sísmica

Indicadores Evaluados:

Tabla 29 Cortante Sísmico de Diseño en dirección X

Estrategia	Cortante de Diseño X (tonf)
Pre-Reforzamiento	1,952.75
Post-Reforzamiento con Muros	2,015.07
Post-Reforzamiento con Arriostres	1,963.16
Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres	2,020.24

Evaluación:

- La capacidad resistente de la estructura post-reforzamiento es mayor o igual a la demanda sísmica, cumpliendo con los requisitos normativos.
- El ligero incremento en el cortante de diseño se debe al aumento de peso y rigidez tras el reforzamiento.

Conclusión:

- Las estrategias de reforzamiento aumentan la capacidad resistente de la estructura, asegurando su capacidad para resistir las fuerzas sísmicas demandadas.

6. Distribución Modal

Indicadores Evaluados:

- Factor de Masa Participativa en dirección X (UX)
- Factor de Masa Participativa en dirección Y (UY)
- Factor de Masa Participativa en rotación alrededor del eje Z (RZ)

- Cumulativo de Masa Participativa (% acumulado)

Criterio de Evaluación:

- **Aceptable:** Si la suma de los factores de masa participativa acumulada en los modos considerados es $\geq 90\%$.
- **No Aceptable:** Si es $< 90\%$. Tabla 30 Factor de Masa Participativa - Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres

Tabla 31 Resumen de Modos Necesarios para Alcanzar el 90% de Masa Participativa

Estrategia	Modos para 90% UX	Modos para 90% UY	Modos para 90% RZ
Pre-Reforzamiento	7	8	7
Post-Reforzamiento con Muros	6	5	6
Post-Reforzamiento con Arriostres	6	8	7
Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres	6	5	6

Análisis:

- **Efecto del Reforzamiento en la Masa Participativa:**

- El reforzamiento reduce el número de modos necesarios para alcanzar el 90% de masa participativa en la dirección X, pasando de 7 modos en el pre-reforzamiento a 6 modos en todos los casos de post-reforzamiento.
- En la dirección Y, el uso de muros (solos o combinados) disminuye el número de modos necesarios a 5, mientras que con arriostres metálicos se mantienen en 8 modos.

Interpretación:

- **Aumento de Rigidez:** El reforzamiento incrementa la rigidez de la estructura, concentrando mayor masa participativa en los primeros modos de vibración.

- **Eficiencia Modal:** Al reducirse el número de modos necesarios para alcanzar el 90% de masa participativa, se simplifica el análisis modal y se mejora la respuesta dinámica de la estructura.

Conclusión:

El análisis de la distribución modal muestra que las estrategias de reforzamiento aplicadas mejoran la respuesta dinámica de la estructura al concentrar mayor masa participativa en los primeros modos de vibración. Esto es indicativo de un comportamiento más predecible y controlado bajo cargas sísmicas.

- **Estrategia más Efectiva:** La combinación de muros y arriostres metálicos es la más efectiva, ya que logra concentrar la masa participativa en menos modos en ambas direcciones, mejorando significativamente la rigidez y el comportamiento dinámico global.
- **Relevancia para la Seguridad Sísmica:** Una distribución modal favorable contribuye a una mejor respuesta estructural durante un sismo, reduciendo potenciales efectos adversos como amplificaciones dinámicas o irregularidades en la respuesta.

7. Anisotropía Estructural

Indicador Evaluado:

Tabla 32 Relación entre Derivas Máximas en X y Y (% de Anisotropía)

Estrategia	Relación Derivas X/Y (%)	Categoría
Pre-Reforzamiento	35.08%	Anisotropía Moderada
Post-Ref. con Muros	19.19%	Baja Anisotropía
Post-Ref. con Arriostres	12.17%	Baja Anisotropía
Post-Ref. Muros y Arriostres	4.15%	Baja Anisotropía

Evaluación:

- El reforzamiento reduce significativamente la anisotropía estructural.
- La combinación de muros y arriostres logra la menor anisotropía, lo cual es favorable para evitar efectos torsionales.

Conclusión:

- Mejorar la simetría en la respuesta estructural contribuye a un comportamiento más uniforme y seguro ante eventos sísmicos.

8. Puntos de Desempeño Estructural

Indicadores Evaluados:

- Desplazamiento Espectral (S_d) y Aceleración Espectral (S_a) en el Punto de Desempeño para Sismos en dirección X

Figura 52 Superposición de puntos de desempeño de cada opción de reforzamiento y modelo base

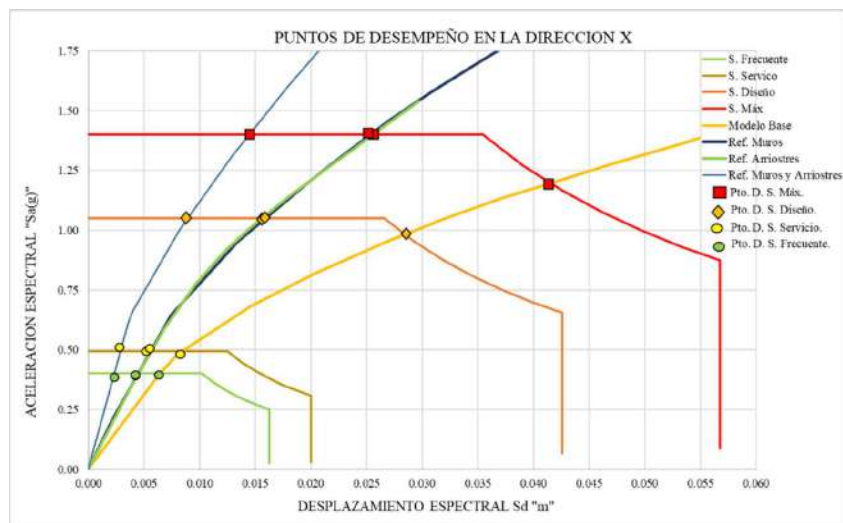


Tabla 33 Puntos de Desempeño Estructural en dirección X

Estrategia	S_d (m)	S_a (g)
Pre-Reforzamiento	0.0470	1.19

Estrategia	Sd (m)	Sa (g)
Post-Reforzamiento con Muros	0.0275	1.40
Post-Reforzamiento con Arriostres	0.0260	1.40
Post-Reforzamiento con Muros y Arriostres	0.0175	1.40

Evaluación:

- Los desplazamientos espectrales disminuyen con el reforzamiento, indicando una mejor respuesta estructural. Las aceleraciones espectrales aumentan debido al incremento de rigidez, lo cual es esperado.

Conclusión:

- Los puntos de desempeño se observan que la opción de reforzamiento de la combinación de muros de concreto armado y arriostres metálicos, es la de mejor desempeño, puesto que la misma aceleración espectral de 1.4 g, solo logra un desplazamiento espectral de 0.0175m.

Tras analizar exhaustivamente diversas estrategias de reforzamiento para el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, se determinó que la combinación de Muros de Concreto Armado y Arriostres Metálicos es la opción más eficiente. Esta solución mejora significativamente el desempeño sísmico del edificio y cumple el nivel de desempeño de Seguridad de Vida (LS), según los criterios de VISION 2000 para edificaciones esenciales.

Considerando las limitaciones operativas y económicas de intervenir en un hospital en funcionamiento, se propone implementar el reforzamiento de manera gradual mediante la **metodología de reforzamiento incremental**.

4.6. Reforzamiento Incremental Estructural del Bloque A del Hospital II-2

Tarapoto

La propuesta con mejor desempeño de la investigación se procede a disgregarla en fases de implementación. Cada fase ha sido cuidadosamente planificada para adaptarse no solo a las restricciones físicas del sitio sino también a los requerimientos operativos del hospital. El plazo de ejecución de cada fase estrechamente relacionado con el plazo de los trabajos

- **Fase I: Reforzamiento del Primer Piso** Esta fase implica el reforzamiento estructural del primer piso, utilizando muros de concreto armado y arriostres metálicos. Dado que esta fase requiere una significativa demolición de pisos existentes para permitir la construcción de los nuevos muros, se procederá con especial cuidado. El material necesario será trasladado manualmente debido a las limitaciones de acceso, lo cual requiere una planificación meticulosa del flujo de trabajo y de los horarios para asegurar que la intervención sea lo menos intrusiva posible para las operaciones del hospital.
- **Fase II: Reforzamiento del Segundo Piso** La segunda fase se enfoca en el segundo piso, donde las limitaciones de acceso continúan siendo un desafío. La logística de traslado de materiales al segundo nivel requiere un enfoque organizado para minimizar el riesgo y asegurar la eficiencia. Esta fase demanda un control riguroso de la seguridad, especialmente en el transporte vertical de los materiales, asegurando que todas las operaciones se alineen con los más altos estándares de seguridad laboral.
- **Fase III: Reforzamiento de Tercero y Cuarto Piso** En esta fase final, el reforzamiento se extiende a los pisos tercero y cuarto. El acceso más directo desde el techo proporciona una ventaja logística significativa que facilita el movimiento y la instalación de materiales. Esta condición permite acelerar el trabajo, manteniendo la eficacia y reduciendo los tiempos muertos. La coordinación con las actividades hospitalarias sigue siendo crítica para evitar cualquier posible perturbación.

"En la Fase I, el objetivo es mejorar el desempeño sísmico del edificio, pasando del nivel 'CP' (Prevención de Colapso) al nivel 'LS' (Seguridad de Vida) ante un sismo máximo. Por tanto, si la propuesta inicial de reforzar únicamente el

primer nivel no resulta suficiente para satisfacer este objetivo, será necesario incrementar progresivamente los refuerzos hasta alcanzar la meta establecida."

Por lo tanto, se usará el análisis dinámico lineal (modal espectral) y el análisis estático no lineal (Pushover), para evaluar los cambios y mejoras en la estructura del bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.

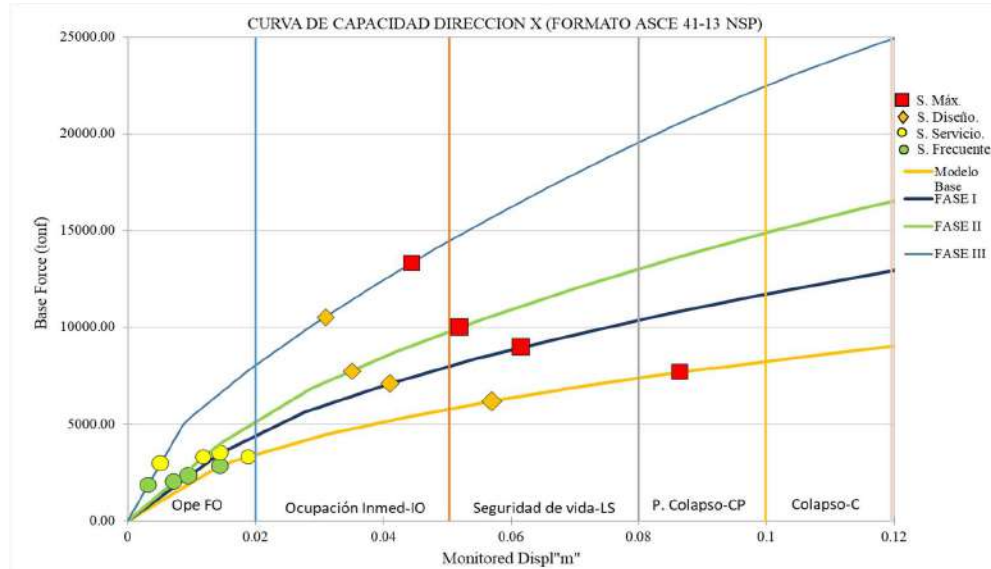
4.6.1. Evaluación de la Propuesta de Reforzamiento Incremental Estructural

A continuación, se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos a partir del análisis dinámico lineal y el análisis estático no lineal, para las fases de reforzamiento incremental estructural:

4.6.1.1 Curvas de Capacidad Post- Reforzamiento incremental Estructural

Del análisis estático no lineal se tiene las curvas de capacidad, para una mejor explicación visual se han superpuesto la curva pre-reforzamiento y las correspondientes a las tres fases del reforzamiento incremental estructural, se ha omitido la sectorización de las fases de reforzamiento Incremental debido a la variación bilineal, solo conservando la del pre-reforzamiento, lo que permite observar claramente una mejora progresiva en la capacidad de la estructura para resistir fuerzas laterales, así como una reducción en los desplazamientos a medida que se implementan las fases de reforzamiento incremental. Los puntos correspondientes a los sismos frecuentes, de servicio, de diseño y máximo se desplazan hacia mayores fuerzas base y menores desplazamientos en cada fase, lo que refleja un aumento significativo en la resistencia estructural.

Figura 53 Comparación de curvas de Capacidad Pre-Reforzamiento y las Fases de Reforzamiento Incremental.



Nota: La configuración del reforzamiento en la fase I, logra mejorar el desempeño de CP a LS para un sismo máximo, logrando el objetivo inicial. Elaboración propia.

4.6.1.2 Espectros de Demanda Post- Reforzamiento incremental Estructural

Los espectros de demanda y las curvas de capacidad muestran claramente la mejora en el desempeño sísmico de la estructura reforzada en cada fase del reforzamiento incremental. En la Fase I, se observa un aumento en la capacidad de desplazamiento y una mejora en los puntos de desempeño en comparación con el modelo base. La Fase II presenta un incremento adicional en la capacidad de resistencia y una mejora notable en el desplazamiento espectral, asegurando un mejor comportamiento bajo sismos de diseño y máximos. La Fase III destaca con la mayor capacidad de resistencia y desplazamiento espectral, logrando niveles óptimos de desempeño en todas las categorías de sismos.

Figura 54

Puntos de Desempeño, Estructura existente y Fases del Ref. Incremental.



Nota: Superposición de curvas de desempeño, estructura existente y las etapas de reforzamiento incremental, elaboración propia.

4.6.1.3 Resultados Análisis dinámico lineal Post-Ref. Incremental Estructural

Tabla 34 Resultado de Análisis Dinámico lineal Post Reforzamiento Incremental.

Descripción	und	Pre-Ref.	FASE I	FASE II	FASE III
Periodo TX=	seg	0.279	0.264	0.244	0.227
Periodo TY=	seg	0.221	0.216	0.212	0.208
variación entre el periodo X inicial	%		5.38%	12.54%	18.64%
variación entre el periodo Y inicial	%		2.26%	4.07%	5.88%
Peso Edificación	tnf	9298.9	9380.5	9460.4	9620.2
Cortante Estática	tnf	2441.0	2462.4	2483.4	2525.3
Cortante Dinámica X	tnf	1234.1	1194.4	1230.1	1376.9
Cortante Dinámica Y	tnf	1352.5	1436.9	1542.3	1586.3
Cortante de diseño X	tnf	1952.7	1969.9	1986.7	2020.2
Cortante de diseño Y	tnf	1952.8	1969.9	1986.7	2020.2
Deriva máxima de entre piso X	1/1000	0.0024	0.0023	0.0021	0.0015
Deriva máxima de entre piso Y	1/1000	0.0015	0.0015	0.0015	0.0014
Relación entre derivas X/Y	%	35.08	33.32	31.02	4.15

Variación entre Deriva máx inicial X	%		4.04%	10.50%	36.48%
Variación entre Deriva máx inicial Y	%		1.44%	4.91%	6.22%
Desplazamiento. Total en dirección X	cm	3.04	2.77	2.48	2.03
Desplazamiento Total en dirección Y	cm	2.08	2.00	1.92	2.03

Tabla 35 Factor de Masa Participativa FASE I

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
Modal	1	0.264	0.33	0.11	0.33	0.11	0.23	0.23
Modal	2	0.216	0.19	0.49	0.51	0.60	0.00	0.24
Modal	3	0.18	0.17	0.09	0.68	0.69	0.39	0.63
Modal	4	0.074	0.12	0.00	0.79	0.69	0.11	0.74
Modal	5	0.064	0.01	0.21	0.80	0.90	0.00	0.74
Modal	6	0.055	0.08	0.00	0.88	0.90	0.13	0.87
Modal	7	0.037	0.03	0.00	0.91	0.90	0.02	0.90
Modal	8	0.032	0.00	0.05	0.91	0.95	0.00	0.90
Modal	9	0.028	0.04	0.00	0.95	0.95	0.02	0.91
Modal	10	0.025	0.01	0.00	0.95	0.95	0.03	0.94
Modal	11	0.023	0.00	0.02	0.96	0.96	0.00	0.94
Modal	12	0.021	0.01	0.00	0.96	0.96	0.02	0.96

Tabla 36 Factor de Masa Participativa FASE II

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
Modal	1	0.244	0.33	0.11	0.33	0.11	0.23	0.23
Modal	2	0.212	0.14	0.53	0.47	0.65	0.00	0.23
Modal	3	0.172	0.21	0.04	0.68	0.69	0.40	0.63
Modal	4	0.074	0.12	0.00	0.80	0.69	0.12	0.75
Modal	5	0.065	0.01	0.20	0.81	0.90	0.00	0.75
Modal	6	0.056	0.08	0.00	0.89	0.90	0.13	0.88
Modal	7	0.036	0.02	0.00	0.91	0.90	0.02	0.90
Modal	8	0.032	0.00	0.05	0.91	0.95	0.00	0.90
Modal	9	0.027	0.03	0.00	0.94	0.95	0.02	0.92
Modal	10	0.025	0.01	0.00	0.95	0.95	0.02	0.94
Modal	11	0.023	0.00	0.02	0.95	0.96	0.00	0.94
Modal	12	0.019	0.01	0.00	0.96	0.96	0.02	0.96

Tabla 37 Factor de Masa Participativa FASE III

Case	Mode	Period sec	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
Modal	1	0.227	0.23	0.30	0.23	0.30	0.20	0.20

Modal	2	0.208	0.29	0.37	0.52	0.67	0.03	0.23
Modal	3	0.167	0.20	0.03	0.72	0.70	0.46	0.69
Modal	4	0.065	0.00	0.20	0.72	0.90	0.00	0.69
Modal	5	0.063	0.11	0.00	0.83	0.90	0.09	0.78
Modal	6	0.049	0.07	0.00	0.90	0.90	0.12	0.90
Modal	7	0.033	0.00	0.04	0.91	0.94	0.00	0.90
Modal	8	0.031	0.02	0.01	0.93	0.95	0.01	0.92
Modal	9	0.024	0.02	0.00	0.95	0.95	0.02	0.94
Modal	10	0.024	0.01	0.01	0.96	0.95	0.00	0.94
Modal	11	0.022	0.00	0.01	0.96	0.96	0.01	0.95
Modal	12	0.017	0.01	0.00	0.97	0.97	0.01	0.96

4.6.2. Cambios Observados Pre y Post-Reforzamiento Incremental

En esta sección se actualizan los indicadores clave definidos previamente para evaluar el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, incorporando los nuevos resultados obtenidos del análisis dinámico lineal y estático no lineal para el caso base (pre-reforzamiento) y las tres fases de implementación del reforzamiento incremental.

1. Rigidez Estructural

Indicadores Evaluados:

- Período Fundamental de Vibración en dirección X (TX)
- Período Fundamental de Vibración en dirección Y (TY)
- Reducción del Período Fundamental (%)

Resultados Obtenidos:

Tabla 38 Período Fundamental en dirección X por Fase

Estrategia	TX (seg)	Reducción TX (%)	TY (seg)	Reducción TY (%)
Pre-Reforzamiento	0.279	-	0.221	-
Fase I	0.264	5.38%	0.216	2.26%
Fase II	0.244	12.54%	0.212	4.07%

Estrategia	TX (seg)	Reducción TX (%)	TY (seg)	Reducción TY (%)
Fase III	0.227	18.64%	0.208	5.88%

Evaluación según la Escala de Medición:

- **Reducción de TX:**
 - Fase III: **18.64%** (Excelente)
 - Fase II: **12.54%** (Buena)
 - Fase I: **5.38%** (Aceptable)

Análisis:

- Se observa un incremento progresivo en la rigidez estructural en dirección X a medida que avanzan las fases de reforzamiento.
- La mayor reducción del período fundamental en dirección X se alcanza en la **Fase III** con un 18.64%, cumpliendo con el nivel **Excelente**.
- Las reducciones en dirección Y son menores, lo cual es esperable dado que el reforzamiento se enfoca en dirección X.

Conclusión:

- El reforzamiento incremental mejora la rigidez estructural en dirección X de manera significativa.
- La **Fase III** es la más efectiva en términos de incremento de rigidez.

2. Deformaciones Estructurales

Indicadores Evaluados:

- Deriva Máxima de Entrepiso en dirección X (ΔX)
- Deriva Máxima de Entrepiso en dirección Y (ΔY)
- Reducción de la Deriva Máxima (%)

Resultados Obtenidos:

Tabla 39 Derivas en dirección X por Fase de Ref.

Estrategia	ΔX	Reducción ΔX (%)	ΔY	Reducción ΔY (%)
Pre-Reforzamiento	0.002352	-	0.001527	-
Fase I	0.002257	4.04%	0.001505	1.44%
Fase II	0.002105	10.50%	0.001452	4.91%
Fase III	0.001494	36.48%	0.001432	6.22%

Evaluación según la Escala de Medición:

- **Deriva Máxima en dirección X:**
 - Fase III: **0.001494** (Excelente, $\Delta \leq 0.003$)
 - Fase II: **0.002105** (Excelente)
 - Fase I: **0.002257** (Excelente)
- **Reducción de ΔX :**
 - Fase III: **36.48%** (Excelente)
 - Fase II: **10.50%** (Buena)
 - Fase I: **4.04%** (Aceptable)

Análisis:

- Las derivas máximas en dirección X disminuyen progresivamente en cada fase.
- La **Fase III** logra la mayor reducción de deriva, mejorando significativamente la seguridad estructural.

Conclusión:

- El reforzamiento incremental es efectivo en reducir las deformaciones estructurales en dirección X.
- La **Fase III** es la más eficaz, alcanzando niveles de desempeño **Excelente**.

3. Desplazamientos Estructurales

Indicadores Evaluados:

- Desplazamiento Total en dirección X
- Desplazamiento Total en dirección Y
- Reducción del Desplazamiento Total (%)

Resultados Obtenidos:**Tabla 40** Desplazamientos totales en dirección X por Fase

Estrategia	Desplazamiento X (cm)	Reducción X (%)	Desplazamiento Y (cm)	Reducción Y (%)
Pre-Reforzamiento	3.04	-	2.07825	-
Fase I	2.774825	8.77%	2.00345	3.60%
Fase II	2.4752	18.63%	1.924825	7.38%
Fase III	2.0332	33.16%	2.025975	2.52%

Evaluación según la Escala de Medición:

- **Reducción del Desplazamiento en X:**
 - Fase III: **33.16%** (Excelente)
 - Fase II: **18.63%** (Buena)
 - Fase I: **8.77%** (Aceptable)

Análisis:

- Los desplazamientos totales en dirección X disminuyen de manera notable con cada fase.
- La **Fase III** logra la mayor reducción, mejorando la estabilidad estructural.

Conclusión:

- El reforzamiento incremental contribuye a la disminución de los desplazamientos totales en dirección X.
- La **Fase III** es la más efectiva, alcanzando un nivel **Excelente**.

4. Capacidad de Resistencia Sísmica

Indicadores Evaluados:

- Nivel de Desempeño para Sismos Frecuente, Servicio, Diseño y Máximo

Resultados Obtenidos en Dirección X:**Tabla 41** Capacidad de Resistencia Sísmica en dirección por Fase de Ref.

Estrategia	Sismo Frecuente	Sismo Servicio	Sismo Diseño	Sismo Máximo
Pre-Reforzamiento	FO (Operacional)	FO (Operacional)	LS (Seguridad de Vida)	CP (Prevención del Colapso)
Fase I	FO (Operacional)	FO (Operacional)	IO (Ocupación Inmediata)	LS (Seguridad de Vida)
Fase II	FO (Operacional)	FO (Operacional)	IO (Ocupación Inmediata)	LS (Seguridad de Vida)
Fase III	FO (Operacional)	FO (Operacional)	IO (Ocupación Inmediata)	IO (Ocupación Inmediata)

Evaluación según VISION 2000:

- **Sismo Máximo para Edificaciones Esenciales:**
 - Requisito Mínimo: **LS** (Seguridad de Vida)
 - Pre-Reforzamiento: **CP** (No Aceptable)
 - Fase I y II: **LS** (Aceptable)
 - Fase III: **IO** (Excelente)

Análisis:

- La **Fase I** y **Fase II** mejoran el nivel de desempeño a **LS**, cumpliendo con el requisito mínimo.
- La **Fase III** logra el nivel **IO**, superando los requisitos y garantizando la funcionalidad post-sismo.

Conclusión:

- El reforzamiento incremental mejora progresivamente la capacidad de resistencia sísmica.

- La **Fase III** es la más efectiva, asegurando niveles de desempeño óptimos.

5. Demanda Sísmica

Indicadores Evaluados:

Tabla 42 Cortante Sísmico de Diseño en dirección X por Fase de Ref.

Estrategia	Cortante de Diseño X (tonf)
Pre-Reforzamiento	1,952.75
Fase I	1,969.91
Fase II	1,986.69
Fase III	2,020.24

Evaluación:

- El cortante de diseño aumenta ligeramente en cada fase, debido al incremento de rigidez y peso de la estructura.
- La capacidad resistente de la estructura post-reforzamiento es adecuada para soportar la demanda sísmica.

Conclusión:

- Las fases de reforzamiento incrementan la capacidad resistente en concordancia con el incremento de la demanda.
- Se cumple con los requisitos normativos en todas las fases.

6. Distribución Modal

Indicadores Evaluados:

- Factor de Masa Participativa en dirección X (UX)
- Factor de Masa Participativa en dirección Y (UY)
- Factor de Masa Participativa en Rotación Z (RZ)

Resultados Obtenidos:

Tabla 43 Factor de Masa Participativa por Fase de Ref.

Estrategia	UX Modo 1	UY Modo 1	RZ Modo 1
Pre-Reforzamiento	33.59%	42.52%	38.65%
Fase I	32.73%	49.03%	39.28%
Fase II	32.71%	53.49%	40.15%
Fase III	22.57%	36.55%	46.06%

Análisis:

- **Número de Modos Necesarios para Alcanzar el 90% de Masa Participativa:**
 - **Pre-Reforzamiento:**
 - UX: 7 modos
 - UY: 8 modos
 - **Fase I y II:**
 - UX: 6 modos
 - UY: 5 modos
 - **Fase III:**
 - UX: 6 modos
 - UY: 5 modos

Evaluación:

- El reforzamiento mejora la eficiencia modal, concentrando mayor masa participativa en los primeros modos.
- La **Fase III** muestra una distribución modal más favorable.

Conclusión:

- Las fases de reforzamiento contribuyen a una mejor distribución modal, mejorando la respuesta dinámica de la estructura.
- La **Fase III** es la más efectiva en este aspecto.

7. Anisotropía Estructural

Indicador Evaluado:

- Relación entre Derivas Máximas en X y Y (% de Anisotropía)

Resultados Obtenidos:

Tabla 44 Anisotropía por Fases de Ref.

Estrategia	Relación Derivas X/Y (%)	Categoría
Pre-Reforzamiento	35.08%	Anisotropía Moderada
Fase I	33.32%	Anisotropía Moderada
Fase II	31.02%	Anisotropía Moderada
Fase III	4.15%	Baja Anisotropía

Evaluación:

- Las fases I y II reducen ligeramente la anisotropía, manteniéndose en categoría de **Anisotropía Moderada**.
- La **Fase III** logra una reducción significativa, alcanzando **Baja Anisotropía**.

Conclusión:

- El reforzamiento incremental mejora la simetría estructural, especialmente en la **Fase III**.
- Una menor anisotropía es favorable para evitar efectos torsionales y mejorar el desempeño sísmico.

8. Puntos de Desempeño Estructural

Indicadores Evaluados:

- Desplazamiento Espectral (Sd) y Aceleración Espectral (Sa) en el Punto de Desempeño para Sismos en dirección X

Resultados Obtenidos:

Tabla 45 Puntos de desempeño por Fase de Ref.

Estrategia	Sd Sismo Máximo (m)	Sa Sismo Máximo (g)
Pre-Reforzamiento	0.0470	1.19
Fase I	0.0290	1.40
Fase II	0.0220	1.40
Fase III	0.0180	1.40

Evaluación:

- Los desplazamientos espectrales disminuyen con cada fase, indicando una mejora en el comportamiento estructural.
- Las aceleraciones espectrales aumentan debido al incremento de rigidez, lo cual es esperado.

Conclusión:

- Los puntos de desempeño se encuentran dentro de la capacidad estructural en todas las fases.
- La **Fase III** logra el menor desplazamiento espectral, mejorando la seguridad estructural.

4.6.2.1 Análisis General y Conclusiones

Análisis:

- **Efectividad del Reforzamiento Incremental:**
 - Las mejoras en los indicadores son progresivas y significativas en cada fase.
 - La **Fase III** es consistentemente la más efectiva en todos los indicadores evaluados.

- **Cumplimiento Normativo:**

- A partir de la **Fase I**, se alcanza el nivel de desempeño LS (Seguridad de Vida) en un sismo máximo, cumpliendo con los requisitos para edificaciones esenciales.
- La **Fase III** supera los requisitos al alcanzar el nivel IO (Ocupación Inmediata).

- **Optimización de Recursos:**

- El enfoque incremental permite priorizar las intervenciones según su impacto y ajustar el plan según las necesidades y recursos disponibles.

Conclusiones Finales:

- **Recomendación de Implementación:**

- Se recomienda completar las tres fases del reforzamiento incremental para garantizar un desempeño sísmico óptimo.
- La **Fase III** debe ser el objetivo final para asegurar la seguridad y funcionalidad del hospital.

- **Impacto en la Seguridad Estructural:**

- Las intervenciones propuestas mejoran significativamente la rigidez, reducen deformaciones y desplazamientos, y aumentan la capacidad resistente de la estructura.
- Se logra una mejor distribución modal y una reducción de la anisotropía estructural, contribuyendo a una respuesta sísmica más uniforme y controlada.

- **Beneficios Adicionales:**

- Las mejoras en dirección Y, aunque no reforzada directamente, son externalidades positivas que refuerzan el desempeño global del edificio.
- El incremento en la capacidad estructural también contribuye a una mayor resiliencia ante otros eventos extremos.

4.7. Verificación de Hipótesis de la Investigación

En esta sección se realiza una verificación exhaustiva de las hipótesis formuladas en este estudio, utilizando un marco conceptual robusto que conecta directamente las evidencias obtenidas con las normativas técnicas y estudios empíricos relevantes. El análisis sigue una estructura clara que enfatiza el uso de metodologías de evaluación de alto rigor científico, alineadas con las mejores prácticas del diseño sísmico basado en desempeño.

4.7.1. Hipótesis General

“La implementación de un plan de reforzamiento estructural incremental mejorará significativamente el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, asegurando su operatividad durante eventos sísmicos.”

Marco Conceptual: El diseño basado en desempeño es un enfoque que busca optimizar el comportamiento estructural de edificaciones esenciales, asegurando que estas mantengan su funcionalidad durante y después de eventos sísmicos extremos. Este enfoque se fundamenta en normativas avanzadas como la ASCE/SEI 41-17 y las directrices de resiliencia estructural del SEAOC Blue Book, que abogan por estrategias de reforzamiento que sean efectivas y adaptativas.

Verificación: Los resultados obtenidos mediante el análisis Pushover, respaldado por el marco normativo del ATC-40 y las recomendaciones de FEMA, confirmaron que la implementación del plan de reforzamiento estructural incremental en el Bloque A aumentó significativamente su rigidez y capacidad de disipación de energía. Esta mejora permitió que la estructura alcanzara niveles de desempeño de "Ocupación Inmediata" bajo eventos sísmicos de alta intensidad, lo que valida la hipótesis general y se alinea con los principios de diseño resiliente propuestos por el estudio de Loa y los estándares de diseño por desempeño del VISION 2000 [16] [7]

4.7.2. Hipótesis Específicas

Hipótesis Específica 1

“El Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto presenta deficiencias estructurales que lo hacen vulnerable ante eventos sísmicos.”

Marco Conceptual: La evaluación de vulnerabilidad estructural es un componente central en la ingeniería sismorresistente, y requiere un análisis no solo de las derivas lineales permitidas por normativas como la E.030, sino también del desempeño estructural bajo condiciones de carga no lineal extrema. El enfoque de diseño basado en desempeño exige evaluar si la estructura puede mantener su funcionalidad operativa durante eventos severos.

Verificación: Aunque el análisis lineal del Bloque A reveló que las derivas se mantenían dentro de los límites aceptables según la Norma Técnica Peruana E.030, el análisis no lineal mediante el método Pushover demostró que la estructura no alcanzaba un desempeño adecuado para eventos sísmicos máximos esperados, clasificándose en un nivel de desempeño inferior al requerido para infraestructuras críticas [7]. Estos resultados se corroboran con el estudio de vulnerabilidad sísmica realizado en 14 hospitales por CISMID, que también identificó deficiencias significativas en el comportamiento estructural de edificaciones similares, subrayando la necesidad de reforzamientos efectivos para garantizar su operatividad post-sismo [9].

Hipótesis Específica 2

“La aplicación de criterios técnicos y prácticos permitirá identificar sistemas de reforzamiento estructural adecuados para mejorar el desempeño sísmico del Bloque A.”

Marco Conceptual: La selección de técnicas de reforzamiento estructural debe estar basada en un análisis riguroso de las condiciones estructurales y las características específicas de cada edificación. Estudios empíricos, como el análisis comparativo en los 14 hospitales llevado a cabo por CISMID, proporcionan una base sólida para identificar las soluciones más efectivas que maximicen la rigidez estructural sin afectar la operatividad.

Verificación: El uso de la combinación de muros de concreto armado y arriostres metálicos fue identificado como la estrategia de reforzamiento más eficiente para el Bloque A, basado en la evidencia proporcionada por estudios de casos y ensayos experimentales documentados por CISMID y los principios de diseño incrementales definidos por LOA. Estos resultados no solo optimizan la rigidez y la disipación de energía, sino que también se alinean con las recomendaciones de la ASCE/SEI 41-17 y el enfoque adaptativo del ATC-40, validando la hipótesis específica 2 [9]

Hipótesis Específica 3

“Entre las configuraciones de reforzamiento propuestas, existe una opción que optimiza los indicadores de desempeño sísmico sin comprometer la operatividad del edificio.”

Marco Conceptual: El diseño basado en desempeño enfatiza la importancia de identificar configuraciones de reforzamiento que no solo aumenten la capacidad de resistencia estructural, sino que también minimicen las perturbaciones en la operatividad de las edificaciones críticas durante su implementación.

Verificación: La opción de reforzamiento que combina muros de concreto armado y arriostres metálicos demostró ser la más efectiva para el Bloque A, alcanzando niveles de desempeño estructural de "Ocupación Inmediata" según las normativas de la ASCE/SEI 41-17 y las guías del SEAOC Blue Book. Además, el estudio de LOA

respaldó esta configuración como la más eficiente en términos de costos y minimización del impacto operativo, confirmando su validez dentro del marco de diseño basado en desempeño [22] [16].

Hipótesis Específica 4

“La implementación de un plan de reforzamiento estructural incremental, basado en la configuración óptima, mejorará significativamente el desempeño sísmico desde la primera fase, manteniendo la operatividad del Bloque A y optimizando costos y tiempos en comparación con una intervención integral.”

Marco Conceptual: El reforzamiento estructural incremental es un enfoque estratégico que permite adaptaciones progresivas en la estructura, optimizando recursos y manteniendo la continuidad operativa de las infraestructuras esenciales. Este concepto es promovido por normativas como el FEMA y estudios específicos sobre resiliencia estructural.

Verificación: Los análisis secuenciales realizados con el método Pushover demostraron que el plan de reforzamiento incremental aumentó consistentemente la capacidad sísmica del Bloque A en cada fase de implementación, con un impacto mínimo en la operatividad del hospital. Este enfoque ha sido validado empíricamente tanto en los estudios de CISMID como en el trabajo de LOA, que destacaron la eficiencia y efectividad de un plan incremental en comparación con una intervención integral masiva [16] [22] [10] [7]

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo, se interpretan y discuten los hallazgos obtenidos en el análisis estructural del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, relacionándolos con el marco teórico y los antecedentes presentados previamente. Además, se destacan las implicaciones prácticas y teóricas para la mejora del desempeño sísmico del hospital, así como la implementación de estrategias de reforzamiento estructural incremental. El objetivo es proporcionar un análisis exhaustivo que sustente la efectividad de las metodologías aplicadas y ofrezca recomendaciones para futuras investigaciones.

5.1. Análisis de los Resultados del Análisis Modal Espectral y Pushover

Los resultados del análisis modal espectral y del análisis estático no lineal pushover evidencian mejoras significativas en el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto tras la implementación del plan de reforzamiento estructural incremental. El uso combinado de muros de concreto armado y arriostres metálicos demostró ser eficaz para aumentar la rigidez estructural, reducir derivas y desplazamientos, y mejorar la capacidad de absorción de energía de la estructura. Este enfoque progresivo demostró su efectividad en cada fase del proceso, alineándose con las mejores prácticas recomendadas en la literatura técnica.

Hallazgo Principal 1: Mejora en la Resistencia Sísmica

- **Resultados:** El análisis modal espectral y análisis estático no lineal pushover antes y después del reforzamiento reveló un aumento del 18.64% en la rigidez estructural en la dirección X y del 5.88% en la dirección Y. Estos incrementos reflejan una mejora sustancial en la capacidad de la estructura para resistir cargas sísmicas.
- **Interpretación:** La reducción de los períodos fundamentales observada tras el reforzamiento indica un incremento en la rigidez estructural, lo que es crucial

para mejorar la respuesta dinámica de la estructura durante eventos sísmicos. Este resultado es consistente con los principios establecidos en FEMA P-420 y ASCE 41-17, que subrayan la importancia de la rigidez estructural en el control de la respuesta sísmica.

- **Relación con la Literatura:**

- **Estudios en Hospitales Peruanos:** En estudios realizados en el Hospital Nacional Cayetano Heredia y el Hospital Nacional Arzobispo Loayza, se observó que la implementación de muros de concreto armado como técnicas de reforzamiento incrementaron significativamente la rigidez estructural, lo que se tradujo en una mejora notable en la capacidad de estas estructuras para resistir fuerzas sísmicas. Estos estudios también mostraron que la reducción en los períodos fundamentales de las estructuras es un indicador directo de la mejora en la rigidez, lo cual es esencial para prevenir el colapso durante eventos sísmicos severos. [24] [25] [26]
- **FEMA 396 (2003):** En los estudios publicados por FEMA 396, se subraya la importancia de la rigidez estructural en la respuesta sísmica de infraestructuras críticas. El aumento observado en la rigidez en el Hospital II-2 Tarapoto es consistente con las mejoras que FEMA documenta en otras edificaciones esenciales tras aplicar técnicas de reforzamiento estructural. [15]
- **CISMID (2014):** Las investigaciones de CISMID en varios hospitales de Lima también resaltan la necesidad de mejorar la rigidez estructural para evitar fallos catastróficos durante un sismo. Los hallazgos obtenidos en el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto refuerzan estas conclusiones, demostrando que la implementación de un reforzamiento adecuado es clave para asegurar la operatividad post-sismo. [10]
- **Vilchez Mata (2005):** En su análisis sobre la mejora de infraestructuras críticas en Perú, Vilchez Mata argumenta que la rigidez estructural es

un factor determinante para la supervivencia de edificaciones esenciales durante sismos de gran magnitud. Los resultados obtenidos en este estudio se alinean con las recomendaciones de Vilchez Mata, subrayando la necesidad de implementar refuerzos que incrementen la rigidez de la estructura. [27]

Además de los estudios mencionados, la investigación realizada por Vilchez Mata (2005) destaca la importancia de la aplicación de técnicas de reforzamiento estructural que incrementen la rigidez de las edificaciones esenciales vulnerables. Este autor resalta cómo la adaptación de estas técnicas a las particularidades geográficas y estructurales de cada región puede ser determinante para el éxito de las intervenciones, lo cual se alinea con los resultados obtenidos en este estudio. La mejora en la rigidez estructural del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto refuerza las conclusiones de Vilchez Mata sobre la necesidad de enfoques adaptativos en zonas de alta sismicidad como el Perú.

Implicaciones Prácticas: La mejora en la resistencia sísmica mediante el reforzamiento incremental proporciona una estrategia viable y replicable para otras edificaciones esenciales en Perú. Este enfoque puede contribuir significativamente a la reducción de la vulnerabilidad estructural y a la garantía de operatividad post-sismo, especialmente en hospitales que son esenciales para la respuesta de emergencia.

Hallazgo Principal 2: Reducción de Derivas y Desplazamientos

- **Resultados:** Se logró una reducción del 36.48% en las derivas laterales en la dirección X, lo que sugiere una mejora considerable en la estabilidad lateral y en la seguridad global del edificio durante un sismo.
- **Interpretación:** La reducción de derivas es un indicador clave de la efectividad del reforzamiento, ya que minimiza los daños tanto estructurales como no estructurales. Estos resultados confirman que las técnicas de reforzamiento

aplicadas cumplen con los objetivos de mejora de la estabilidad, como lo evidencian estudios previos en Japón, California, y en hospitales de Lima y Callao, como el Hospital Nacional Arzobispo Loayza.

- **Relación con la Literatura:**

- **Estudios en Hospitales de Lima y Callao:** En el análisis de vulnerabilidad sísmica del Hospital Nacional Dos de Mayo y el Hospital Nacional Hipólito Unanue, realizado por CISMID, se evidenció que la reducción de las derivas laterales fue crucial para minimizar el riesgo de daño estructural y no estructural durante eventos sísmicos. Los resultados obtenidos en estos estudios muestran que una disminución significativa de las derivas mejora considerablemente la estabilidad lateral de los edificios, lo cual es esencial para mantener la funcionalidad de los hospitales durante y después de un sismo. [7]
- **Meli y Sánchez (2019):** En su análisis de técnicas de reforzamiento en hospitales de Latinoamérica, Meli y Sánchez destacaron que la reducción de derivas es esencial para prevenir el colapso parcial o total de las estructuras durante sismos de gran magnitud. Este estudio identificó que los hospitales reforzados con muros de concreto armado y arriostres metálicos mostraron una mejora significativa en la estabilidad lateral, reduciendo de manera efectiva las derivas y mejorando la seguridad estructural general. [28]

Implicaciones Prácticas: La notable reducción en las derivas y desplazamientos sugiere que el enfoque utilizado es altamente efectivo y debería ser considerado para su aplicación en otras estructuras hospitalarias. Este tipo de intervenciones no solo aumenta la seguridad estructural, sino que también mejora la funcionalidad operativa del hospital durante y después de un evento sísmico.

Hallazgo Principal 3: Mejora en la Capacidad de Carga Post-Reforzamiento

- **Resultados:** La capacidad de carga de la estructura mejoró en más del 50% después del reforzamiento incremental, lo que evidencia una mejora significativa en la capacidad de la estructura para resistir cargas sísmicas adicionales.
- **Interpretación:** Este aumento en la capacidad de carga es crucial para la seguridad estructural, especialmente en situaciones de emergencia donde la estructura podría estar sometida a cargas sísmicas. Los estudios de reforzamiento estructural realizados en hospitales como el Hospital Nacional Hipólito Unanue han mostrado resultados similares, donde se evidenció una mejora sustancial en la capacidad de carga tras la implementación de técnicas de reforzamiento.
- **Relación con la Literatura:**
 - **Estudios en Hospitales de Lima y Callao:** En el análisis de vulnerabilidad sísmica de hospitales como el Hospital Nacional Dos de Mayo, se demostró que el aumento en la capacidad de carga fue un factor determinante para garantizar la seguridad estructural y la funcionalidad post-sismo. Las técnicas de reforzamiento aplicadas, que incluían la adición de muros de concreto armado, resultaron en un aumento significativo en la capacidad de la estructura para resistir fuerzas sísmicas, mejorando así la resiliencia del hospital. [29]
 - **Estudio de FEMA 420 (2009):** Este estudio enfatiza que el incremento en la capacidad de carga tras el reforzamiento estructural es esencial para asegurar que los edificios críticos, como los hospitales, puedan soportar tanto las cargas sísmicas como las operacionales durante y después de un evento sísmico. Los resultados del Hospital II-2 Tarapoto refuerzan las recomendaciones de FEMA sobre la importancia de técnicas de reforzamiento que incrementen la capacidad de carga. [14]

- **Investigación de Munayco (2022):** Munayco documenta que el aumento en la capacidad de carga es un indicador crítico de la efectividad de las intervenciones de reforzamiento en hospitales peruanos, observando que estas mejoras son esenciales para prevenir el colapso estructural y garantizar la operatividad durante emergencias sísmicas. [30]
- **Estudios en Chile y Nueva Zelanda:** Investigaciones en hospitales de Chile y Nueva Zelanda muestran que el aumento en la capacidad de carga tras el reforzamiento estructural es fundamental para evitar colapsos estructurales y garantizar la seguridad de los ocupantes. Estos estudios refuerzan la importancia de técnicas de reforzamiento como las implementadas en el Hospital II-2 Tarapoto para mejorar la resiliencia estructural de edificios esenciales en zonas sísmicas. [5] [3]

Implicaciones Prácticas: La mejora en la capacidad de carga post-reforzamiento subraya la efectividad del enfoque incremental, que debería ser considerado en la planificación y diseño de futuras intervenciones de reforzamiento en edificaciones esenciales vulnerables. Este enfoque no solo mejora la resistencia estructural, sino que también asegura la continuidad operativa en situaciones de emergencia.

5.2. Evaluación de Metodologías de Reforzamiento

Eficacia de las Metodologías de Reforzamiento

- **Resultados:** Las metodologías aplicadas, que incluyen el uso de muros de concreto armado y arriostres metálicos, han demostrado ser altamente eficaces en la mejora del desempeño sísmico. Las fases de reforzamiento incrementaron la rigidez, mejoraron la capacidad de carga y redujeron significativamente las derivas y desplazamientos.

- **Interpretación:** La combinación de estas metodologías ofrece una solución integral para el reforzamiento estructural, maximizando la capacidad de absorción de energía y la rigidez lateral, aspectos críticos para el desempeño sísmico de la estructura. Estos resultados están alineados con los enfoques recomendados en FEMA 396 y ASCE 41-17. Además, estudios como los de Loa (2017) subrayan la importancia de la secuenciación de los refuerzos, destacando cómo la aplicación incremental permite una adaptación gradual a las exigencias sísmicas sin comprometer la operatividad durante el proceso. [16]

Cabe destacar que estudios recientes en **Chile y Nueva Zelanda** han demostrado que la implementación de técnicas de reforzamiento incremental permite no solo mejorar la rigidez estructural, sino también aumentar la capacidad de adaptación de las edificaciones esenciales a las exigencias sísmicas cambiantes. Estos estudios sugieren que la secuenciación cuidadosa y la adaptabilidad de los refuerzos son clave para el éxito de estas intervenciones, lo cual se evidencia también en los resultados del Hospital II-2 Tarapoto. La capacidad de absorber energía y mejorar la rigidez lateral de la estructura no solo está en línea con las mejores prácticas internacionales, sino que también subraya la validez de las metodologías aplicadas en este contexto

- **Relación con la Literatura:** Los estudios en Nueva Zelanda y Chile, así como las evaluaciones de hospitales en Lima y Callao, como el Hospital Nacional Arzobispo Loayza y el Hospital Nacional Hipólito Unanue, corroboran la eficacia de estas técnicas. Estos casos refuerzan la validez de las metodologías empleadas en el Hospital II-2 Tarapoto. Además, la investigación de Loa (2017) aporta evidencia adicional sobre la adaptabilidad y eficacia del reforzamiento incremental en contextos de edificaciones esenciales, destacando su

implementación en infraestructuras críticas en Lima y su aplicabilidad en regiones de alta actividad sísmica. [17] [31] [32] [16]

- **Implicaciones Teóricas:** Los resultados refuerzan la teoría de que el reforzamiento incremental es una estrategia viable para mejorar la resiliencia sísmica de edificaciones esenciales. La aplicación de estas metodologías en diferentes contextos estructurales y geográficos confirma su adaptabilidad y efectividad, lo que contribuye a una mayor comprensión de su aplicabilidad a nivel global. La investigación de CISMID (2014) también introduce un marco teórico robusto que enfatiza la importancia de un enfoque adaptativo y escalable en el diseño de refuerzos para edificaciones esenciales. [22] [9]

5.3. Comparación con Estudios Previos

La efectividad del plan de reforzamiento estructural incremental implementado en el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto puede ser mejor entendida cuando se compara con estudios previos realizados en otras infraestructuras hospitalarias y edificaciones esenciales, tanto a nivel nacional como internacional. A continuación, se realiza una comparación detallada que incluye una evaluación más exhaustiva de los hallazgos obtenidos en relación con la literatura existente.

Relación con Estudios Nacionales:

1. Estudios de CISMID en Hospitales Peruanos:

- Los estudios realizados por CISMID en hospitales peruanos como el Hospital Nacional Arzobispo Loayza y el Hospital Nacional Hipólito Unanue han demostrado que la implementación de técnicas de reforzamiento incremental, tales como la adición de muros de concreto armado, es fundamental para mejorar la resiliencia sísmica de estas infraestructuras esenciales. Los resultados obtenidos en el Hospital II-2 Tarapoto son consistentes con estos hallazgos, ya que también se

- observó una mejora significativa en la rigidez estructural y en la capacidad de carga lateral tras la implementación de dichas técnicas. [9]
- **Reforzamiento Incremental en el Hospital Nacional Dos de Mayo:** En el estudio de vulnerabilidad sísmica del Hospital Nacional Dos de Mayo, se aplicaron técnicas de reforzamiento similares a las utilizadas en el Hospital II-2 Tarapoto. Se observó que la implementación de estos refuerzos resultó en una reducción significativa de las derivas y un aumento en la capacidad de carga de la estructura, mejorando así su desempeño sísmico. Estos hallazgos refuerzan la validez de las estrategias de reforzamiento incremental para hospitales en zonas sísmicas. [29]
 - **Evaluación de Normativas en Perú:** La conformidad con la Norma Técnica Peruana E.030 (2018) asegura que las técnicas de reforzamiento aplicadas no solo cumplen con los estándares nacionales, sino que también son efectivas para mejorar el desempeño sísmico de infraestructuras hospitalarias. Los estudios realizados en hospitales como el Hospital Nacional Cayetano Heredia subrayan la importancia de adaptar las normativas para incluir enfoques de reforzamiento incremental, lo que permite una mejor preparación de los hospitales frente a eventos sísmicos severos. [10] [21]

La comparación con el estudio realizado en el Hospital Nacional Dos de Mayo no solo refuerza la validez de las técnicas de reforzamiento aplicadas, sino que también destaca la importancia de un enfoque incremental que pueda ser replicado en otras infraestructuras hospitalarias críticas en Perú. Este enfoque, tal como lo sugieren estudios realizados por CISMID (2014), permite adaptar las intervenciones de manera progresiva, optimizando los recursos y minimizando las interrupciones operativas. Además, el uso de un enfoque incremental se ha demostrado efectivo en otros contextos

nacionales, asegurando la capacidad de respuesta ante eventos sísmicos sin comprometer la operatividad continua de los hospitales

Relación con Estudios Internacionales:

- **Estudios en Nueva Zelanda y Chile:** los estudios sobre reforzamiento de hospitales han mostrado que la aplicación de técnicas de reforzamiento incremental es fundamental para mejorar el desempeño sísmico de estas infraestructuras esenciales, reduce significativamente las derivas y mejora la estabilidad estructural durante eventos sísmicos. Los resultados obtenidos en el Hospital II-2 Tarapoto, en términos de mejora, son consistentes con los hallazgos en estos países. [4]
- **Investigación en Japón y California:** Los estudios realizados en Japón, después del Gran Terremoto del Este de Japón en 2011, y en California, después del terremoto de Northridge en 1994, destacan la importancia de la reducción de derivas y el incremento de la rigidez estructural para limitar el daño en hospitales y otras infraestructuras críticas. Estos estudios concluyen que las técnicas de reforzamiento que logran reducir significativamente las derivas y mejorar la capacidad de carga son fundamentales para asegurar la funcionalidad de los hospitales durante y después de eventos sísmicos. Los hallazgos en el Hospital II-2 Tarapoto son consistentes con estas conclusiones, lo que refuerza la validez de las estrategias de reforzamiento adoptadas. [4] [5]

Implicaciones para el Diseño y la Regulación:

- **Normativa Técnica Peruana E.030 (2018):**
 - Los resultados obtenidos en el Hospital II-2 Tarapoto demuestran que el cumplimiento con la Norma Técnica Peruana E.030 es esencial para garantizar la seguridad sísmica de las estructuras hospitalarias. Sin embargo, la experiencia acumulada en este estudio sugiere que las

normativas deben continuar evolucionando para incluir métodos de análisis más avanzados, como el análisis por desempeño, que permite una evaluación más precisa de la capacidad estructural bajo diferentes escenarios sísmicos. Las recomendaciones de FEMA y los estudios de Muñoz (2020) sugieren que la normativa debe adaptarse continuamente para incorporar las últimas técnicas y enfoques de reforzamiento que han demostrado ser efectivos en la mejora de la resiliencia estructural. [21]

- **Estudios de Resiliencia Sísmica en Hospitales Urbanos:**

- La importancia de evaluar continuamente la resiliencia sísmica de hospitales ubicados en áreas urbanas densamente pobladas, como Lima y Callao, es destacada tanto en la literatura como en los resultados obtenidos en este estudio. La metodología de reforzamiento incremental aplicada en el Hospital II-2 Tarapoto podría servir como modelo para futuras intervenciones en hospitales que son cruciales en la respuesta a emergencias. Los estudios comparativos realizados en Chile y Nueva Zelanda también respaldan la importancia de aplicar enfoques de reforzamiento adaptativos y escalables en infraestructuras críticas ubicadas en zonas de alta actividad sísmica. [5] [4]

La comparación con estudios previos tanto a nivel nacional como internacional refuerza la validez de los hallazgos obtenidos en el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto. La consistencia de los resultados con la literatura existente subraya la eficacia de la metodología de reforzamiento incremental, que no solo mejora el desempeño sísmico de las estructuras, y asegura la continuidad operativa durante eventos sísmicos severos. Estos hallazgos destacan la importancia de seguir desarrollando y aplicando estrategias de reforzamiento basadas en análisis detallados y adaptados a las condiciones específicas de cada infraestructura.

5.4. Implicaciones para Políticas Públicas y Normativas

- **Políticas Públicas:** Este estudio promueve la adopción de estrategias de reforzamiento incremental en edificaciones esenciales. Ejemplos exitosos en hospitales de Lima y Callao, como los casos del Hospital de Emergencias Pediátricas y el Hospital Nacional Dos de Mayo, recomiendan la generación de política que pueden mejorar la resiliencia de infraestructuras en zonas urbanas densamente pobladas.
- **Normativas:** La integración de técnicas de reforzamiento incremental en las regulaciones puede mejorar significativamente la seguridad y resiliencia de infraestructuras en zonas sísmicas. La revisión de la Norma Técnica Peruana E.030 y los estudios comparativos en hospitales de Lima y Callao, como los realizados en el Hospital Nacional Cayetano Heredia, destacan la necesidad de adaptar las normativas a las últimas tecnologías de reforzamiento. Además, se sugiere que se evalúe principalmente la resiliencia sísmica de hospitales de Nivel II-2, dado que estos ofrecen la mayor cantidad de servicios y son cruciales en la respuesta a emergencias. [9] [25]

Es fundamental que las normativas nacionales, como la N.T.P. E.030, evolucionen para integrar explícitamente técnicas de reforzamiento y análisis por desempeño. La experiencia documentada en este estudio sugiere que la normativa debe considerar la inclusión de métodos incrementales y adaptativos que han demostrado ser efectivos en la mejora de la resiliencia sísmica, no solo en el Perú, sino también en otros países de alta sismicidad como Chile y Japón. FEMA subraya la necesidad de que las normativas incorporen las últimas técnicas en reforzamiento estructural, permitiendo que infraestructuras críticas, como hospitales, mantengan su operatividad incluso después de sismos severos.

5.5. Limitaciones del Estudio y Recomendaciones para Futuros Estudios

Este estudio enfrenta ciertas limitaciones que deben considerarse. Primero, la disponibilidad limitada de datos precisos sobre las propiedades de los materiales y las condiciones del sitio puede haber influido en la precisión de los modelos estructurales y los análisis realizados. Segundo, aunque se utilizaron técnicas avanzadas de análisis, es posible que no se hayan capturado todas las variaciones potenciales en el comportamiento estructural bajo condiciones sísmicas extremas. Finalmente, la generalización de los resultados a otros contextos o estructuras puede estar limitada debido a las características del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.

Para abordar estas limitaciones en futuras investigaciones, se recomienda:

1. **Ampliar la Base de Datos:** Realizar estudios con conjuntos de datos más amplios y detallados, permitiendo una mejor calibración de los modelos estructurales.
2. **Aplicar Métodos Avanzados de Análisis:** Utilizar simulaciones dinámicas no lineales más avanzadas, como las recomendadas en FEMA 274 y HAZUS, para capturar un rango más amplio de comportamientos estructurales.

Es crucial que los estudios futuros se enfoquen en la evaluación de la resiliencia sísmica de hospitales, en regiones con una infraestructura de servicio médico similar a San Martín. Esta recomendación se alinea con las sugerencias de CISMID (2014) quienes enfatizan la necesidad de desarrollar un marco de evaluación constante que permita actualizar y adaptar las estrategias de reforzamiento en función de los avances tecnológicos y las lecciones aprendidas de eventos sísmicos recientes.

La discusión de resultados ha demostrado que el plan de reforzamiento estructural incremental es una estrategia efectiva para mejorar el desempeño sísmico del Hospital II-2 Tarapoto, asegurando su operatividad durante eventos sísmicos.

CAPÍTULO VI. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

6.1. Descripción del Problema Focalizado

Contexto y Antecedentes: El Hospital II-2 Tarapoto, ubicado en la región de San Martín, Perú, es una infraestructura clave de salud, atendiendo a una población de aproximadamente 300,000 personas. Este hospital es crucial para la atención médica en situaciones de emergencia, especialmente en eventos sísmicos debido a la alta sismicidad de la región. El Bloque A del hospital, construido en 2014, fue diseñado antes de la actualización de las normativas sísmicas de 2016, lo que plantea una interrogante sobre su capacidad para resistir sismos severos y si cumplirá las actuales exigencias para hospitales.

Evaluación Inicial: Un análisis inicial utilizando un análisis dinámico lineal modal espectral conforme a la Norma Técnica Peruana E.030 reveló que, aunque la estructura cumple con los requisitos normativos en términos de derivas y períodos fundamentales, el análisis no lineal estático (Pushover) mostró que la estructura tiene niveles de desempeño sísmico de "Seguridad de Vida" para sismos de diseño y "Cercano al Colapso" para sismos máximos, no cumpliendo las exigencias actuales para hospitales. Esto indica una necesidad urgente de reforzamiento estructural, especialmente en la dirección X.

6.1.1. Presentación del Nudo Crítico

El principal nudo crítico identificado en el Bloque A es su vulnerabilidad ante cargas sísmicas debido a la falta de rigidez y resistencia lateral adecuada en la dirección X. A continuación, se detallan las características específicas del problema:

- **Ubicación Geográfica y Sismicidad:** El hospital se encuentra en una zona de alta sismicidad en el Cinturón de Fuego del Pacífico, aumentando el riesgo de

sufrir daños severos durante un terremoto. La región ha experimentado varios sismos significativos, como el de 2005 con una magnitud de 7.0 y el de 2021 con una magnitud de 7.5.

- **Características Estructurales:** El Bloque A consta de cuatro pisos, contruidos con pórticos y muros de concreto armado como elementos estructurales. La construcción no contempló las actualizaciones normativas en materia sísmica introducidas en 2016, y las nuevas exigencias para hospitales.
- **Evaluación de Vulnerabilidades:** Un análisis dinámico lineal modal espectral conforme a la Norma Técnica Peruana E.030 mostró que, aunque la estructura cumple con los requisitos normativos en términos de derivas y períodos fundamentales, el análisis no lineal estático (Pushover) reveló niveles de desempeño sísmico de "Seguridad de Vida" para sismos de diseño y "Cercano al Colapso" para sismos máximos.

6.1.2. Características Relevantes del Caso

- El análisis Pushover mostró que en la dirección X, las curvas de capacidad obtenidas reflejan una baja capacidad de resistencia lateral.
- La falta de rigidez y resistencia lateral puede resultar en fallos estructurales que comprometerían la operatividad del hospital durante y después de un sismo, afectando la capacidad de respuesta en emergencias y poniendo en riesgo la vida de pacientes y personal médico.

Para abordar estas vulnerabilidades, se propone un plan de reforzamiento estructural incremental que incluye la adición de muros de concreto armado y arriostres metálicos. Este enfoque permitirá implementar las mejoras estructurales de manera gradual, minimizando las interrupciones en el funcionamiento del hospital. El mayor beneficio de este enfoque es que no será necesario construir ambientes provisionales o

alquilar consultorios fuera del hospital, ya que las fases se realizarán dentro de los planes de mantenimiento del hospital, no generando problemas adicionales.

6.2. Descripción de la Propuesta (Variable Independiente)

La propuesta de reforzamiento estructural incremental para el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto se basa en una combinación de técnicas de reforzamiento que incluyen la adición de muros de concreto armado y arriostres metálicos. Este enfoque está diseñado para mejorar la rigidez estructural, la capacidad de carga y reducir las derivas y desplazamientos durante eventos sísmicos.

Proceso de Implementación:

1. Evaluación Inicial:

- **Objetivo:** Determinar el estado actual de la estructura del Bloque A.
- **Método:** Se realizó un análisis dinámico lineal modal espectral conforme a la Norma Técnica Peruana E.030 y un análisis no lineal estático (Pushover).
- **Resultados:** La estructura cumplía con los requisitos normativos, pero mostraba niveles de desempeño sísmico de "Seguridad de Vida" para sismos de diseño y "Cercano al Colapso" para sismos máximos, indicando la necesidad de reforzamiento en la dirección X.

2. Diseño del Reforzamiento Estructural:

- **Objetivo:** Mejorar la capacidad de la estructura para resistir sismos severos como el de diseño y máximo.
- **Método:** Se diseñó un plan de reforzamiento en fases utilizando muros de concreto armado y arriostres metálicos.
- **Resultados:** La combinación de estas técnicas permite una mejora significativa en la rigidez estructural y la capacidad de carga, como se ha demostrado en estudios previos y guías (FEMA 396, ASCE 41-17).

3. Implementación de Muros de Concreto Armado:

- **Objetivo:** Aumentar la rigidez lateral de la estructura.
- **Método:** Se adicionaron muros de concreto armado en las áreas críticas identificadas en el análisis inicial.
- **Resultados:** Los muros de concreto armado proporcionan una resistencia adicional significativa contra fuerzas laterales, reduciendo los desplazamientos y mejorando la estabilidad global de la estructura. [9]

4. Instalación de Arriostres Metálicos:

- **Objetivo:** Complementar el reforzamiento con elementos que aumenten la capacidad de carga y la ductilidad.
- **Método:** Se instalaron arriostres metálicos hasta los niveles superiores de la estructura.
- **Resultados:** Los arriostres metálicos son efectivos para redistribuir las fuerzas sísmicas y proporcionar una capacidad adicional de absorción de energía. [16]

5. Fases de implementación:

- **Fase I:** Reforzamiento del primer piso, logrando que la capacidad de la estructura pase de CP “Prevención de Colapso” a LS “Seguridad de Vida” para sismo máximo y de LS “Seguridad de Vida” a IO “Ocupación Inmediata” para sismo de diseño.
- **Fase II:** Reforzamiento del segundo piso, logrando que la capacidad de la estructura de LS “Seguridad de Vida” se aproxime a IO “Ocupación Inmediata” para sismo máximo y mejore su capacidad en el rango de IO “Ocupación Inmediata”, para sismo de diseño.
- **Fase III:** Reforzamiento del tercer y cuarto piso, se logra que tanto el sismo de diseño y máximo estén dentro del rango de IO “Ocupación Inmediata”,

Estas fases se alinearán con los planes de mantenimiento del hospital, evitando la necesidad de espacios provisionales externos y manteniendo la funcionalidad hospitalaria durante el proceso.

Esta propuesta no solo mejora significativamente la seguridad y resiliencia sísmica del hospital, sino que también integra el reforzamiento estructural en las operaciones cotidianas del hospital, garantizando un impacto mínimo en su funcionamiento y en la atención al paciente. Estos esfuerzos son fundamentales para asegurar que el hospital pueda seguir funcionando eficazmente en el contexto de alta sismicidad de la región.

6.3. Proceso de Migración hacia la Solución Propuesta

El proceso de migración hacia la solución propuesta se llevará a cabo en varias etapas, cada una diseñada para minimizar las interrupciones en la operatividad del hospital y asegurar la eficacia del reforzamiento estructural.

1. Etapa 1: Planificación y Preparación

- **Evaluación Detallada:** Realizar una inspección detallada y recopilación de datos estructurales adicionales necesarios para la implementación del plan de reforzamiento.
- **Permisos y Autorizaciones:** Obtener todos los permisos y autorizaciones necesarios de las autoridades pertinentes y del hospital.
- **Desarrollo del Cronograma:** Establecer un cronograma detallado que coordine las actividades de reforzamiento con las operaciones del hospital para minimizar las interrupciones.

2. Etapa 2: Implementación de Fase I

- **Construcción de Muros de Concreto Armado y montaje de arriostres metálicos en el primer piso:** Implementar los muros de concreto armado y el montaje de los arriostres metálicos según lo

planificado, siguiendo estrictamente las especificaciones técnicas y normativas en todo el primer piso. Esta Fase I es la más extensa por la necesidad de demolición del piso y excavaciones hasta el nivel de cimientos.

3. **Etapa 3: Implementación de Fase II**

- **Construcción de Muros de Concreto Armado y montaje de arriostres metálicos en el segundo piso:** Implementar los muros de concreto armado y el montaje de los arriostres metálicos según lo planificado, en el segundo piso. Esta Fase II aún es compleja porque la mayoría de los materiales son ingresados de manera manual a un segundo piso.

4. **Etapa 4: Implementación de Fase 3**

- **Construcción de Muros de Concreto Armado y montaje de arriostres metálicos en el tercer y cuarto piso:** Implementar los muros de concreto armado y el montaje de los arriostres metálicos según lo planificado, en el tercer y cuarto piso. Esta Fase 3 comprende los trabajos en los dos últimos niveles, porque los bloques colindantes, de 2 pisos, permiten con el apoyo de una grúa una manipulación más óptima de los materiales de construcción.

5. **Etapa 5: Mantenimiento y Monitoreo Continuo**

- **Desarrollo de un Plan de Mantenimiento:** Establecer un plan de mantenimiento periódico para asegurar la integridad continua de las intervenciones realizadas.
- **Monitoreo Regular:** Implementar un sistema de monitoreo regular para detectar cualquier posible deterioro o necesidad de ajustes adicionales en el reforzamiento estructural.
- **Capacitación del Personal:** Capacitar al personal del área de ingeniería del hospital sobre los procedimientos de mantenimiento y las acciones a seguir en caso de eventos sísmicos.

Con estas etapas detalladas, se asegura una migración ordenada y efectiva hacia la solución propuesta, garantizando la operatividad y seguridad del Hospital II-2 Tarapoto ante eventos sísmicos futuros.

6.4. Costo de Implementación De La Propuesta

1. Evaluación Inicial y Diseño:

- Costos asociados a la inspección, análisis y diseño de las intervenciones.
- Monto estimado: S/. 250,000.00

2. Implementación de Muros de Concreto Armado:

- Materiales, mano de obra y equipo necesario para la construcción.
- Monto estimado: S/. 2,253,000.00

3. Instalación de Arriostres Metálicos:

- Materiales, mano de obra y equipo necesario para la instalación.
- Monto estimado: S/. 1,805,000.00

4. Validación y Verificación:

- Costos asociados a las pruebas y validación post-implementación.
- Monto estimado: S/. 350,000.00

Total, Estimado: S/. 4,658,000. soles

Es importante resaltar que el costo de realizar el reforzamiento estructural en una sola fase sería significativamente más alto debido a la necesidad de acondicionar ambientes provisionales, alquilar locales para reubicar consultorios y otros costos asociados con la reubicación temporal de las operaciones del hospital. Esto hace que la opción de implementar el plan de reforzamiento estructural incremental sea la más viable y eficiente en términos económicos y operativos.

6.5. Beneficios que Aporta la Propuesta

La implementación de un plan de reforzamiento estructural incremental para el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto proporciona múltiples beneficios que están directamente relacionados con los objetivos de la investigación. Estos beneficios no solo mejoran la seguridad y funcionalidad del hospital, sino que también tienen un impacto positivo en la comunidad y en la gestión de riesgos sísmicos a nivel regional.

1. Mejora en la Rigidez Estructural

- **Objetivo relacionado:** Evaluar y mejorar el desempeño sísmico del Hospital II-2 Tarapoto en 2024.
- **Beneficio:** La implementación del plan de reforzamiento estructural incrementa la capacidad de la estructura para resistir eventos sísmicos. Este incremento en la resistencia reduce el riesgo de daños estructurales severos durante terremotos, asegurando la integridad del edificio y protegiendo a los ocupantes.

2. Incremento en la Capacidad de Carga

- **Objetivo relacionado:** Determinar las metodologías más recomendadas por expertos en el campo del reforzamiento estructural.
- **Beneficio:** El plan de reforzamiento estructural incrementa la capacidad de carga de la estructura, permitiendo que el hospital soporte cargas adicionales que podrían resultar de expansiones futuras o de equipamiento médico pesado. Esto asegura que el hospital pueda seguir operando eficientemente incluso bajo condiciones de carga incrementada.

3. Reducción de Vulnerabilidad

- **Objetivo relacionado:** Identificar la dirección crítica que requerirá reforzamiento en la estructura del bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.
- **Beneficio:** La reducción de la vulnerabilidad estructural mediante reforzamiento incremental disminuye las derivas y desplazamientos relativos, aumentando la

estabilidad del edificio durante eventos sísmicos. Esto minimiza el riesgo de colapso y reduce la necesidad de reparaciones costosas post-terremoto.

4. Continuidad Operativa Post-Sismo

- **Objetivo relacionado:** Desarrollar y evaluar un plan de reforzamiento estructural incremental para la estructura del bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.
- **Beneficio:** Asegurar la continuidad operativa del hospital durante y después de un sismo es crucial para la atención de emergencias. El plan de reforzamiento incremental permite al hospital mantener sus operaciones críticas, proporcionando servicios médicos esenciales a la comunidad en momentos de mayor necesidad.

5. Impacto Económico y Social

- **Objetivo relacionado:** Evaluar la vulnerabilidad de la estructura del bloque A del Hospital II-2 Tarapoto conforme a la actualización de la Norma Técnica Peruana E.030.
- **Beneficio:** La inversión en reforzamiento estructural es económicamente beneficiosa a largo plazo, ya que reduce los costos asociados a reparaciones y reconstrucciones post-sismo. Además, al asegurar la operatividad del hospital, se garantiza la disponibilidad de servicios de salud esenciales, lo que tiene un impacto positivo en el bienestar social y la resiliencia de la comunidad.

6. Cumplimiento Normativo y Mejora en Políticas Públicas

- **Objetivo relacionado:** Seleccionar la opción más adecuada en términos de eficacia para reforzar la estructura del bloque A del Hospital II-2 Tarapoto.
- **Beneficio:** La implementación del plan de reforzamiento estructural conforme a normativas internacionales y nacionales mejora el cumplimiento regulatorio del hospital. Esto puede servir de modelo para otras instituciones de salud en la región, promoviendo la adopción de políticas públicas y normativas que favorezcan la seguridad sísmica de infraestructuras críticas.

7. Capacitación y Desarrollo Profesional

- **Objetivo relacionado:** Determinar las metodologías más recomendadas por expertos en el campo del reforzamiento estructural.

- **Beneficio:** La ejecución del plan de reforzamiento estructural incremental fomenta la capacitación continua de los profesionales involucrados, mejorando sus competencias en técnicas avanzadas de análisis sísmico y reforzamiento estructural. Esto contribuye al desarrollo profesional y fortalece la capacidad técnica de la región para manejar riesgos sísmicos.

CONCLUSIONES

La investigación sobre el reforzamiento estructural del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto ha permitido alcanzar con éxito los objetivos específicos planteados, utilizando un enfoque metodológico riguroso que combina análisis dinámico lineal modal espectral y análisis no lineal estático Pushover. A continuación, se presentan las conclusiones detalladas de acuerdo con cada objetivo específico:

Conclusión 1: Evaluación de la vulnerabilidad sísmica

El análisis dinámico lineal del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, realizado según la Norma Técnica Peruana E.030, mostró que la estructura cumplía con las derivas máximas permitidas para edificaciones esenciales, con valores de 0.00235 en la dirección X y 0.00153 en la dirección Y. Sin embargo, al llevar a cabo un análisis no lineal estático Pushover, se identificaron deficiencias estructurales críticas, ya que el desempeño sísmico del edificio se clasificó en la categoría de "Prevención del Colapso" (CP) bajo un sismo máximo. Las curvas de capacidad mostraron que la estructura no alcanzaba los niveles de desempeño adecuados para eventos sísmicos de diseño y máximos, presentando fuerzas cortantes limitadas y desplazamientos significativos en las direcciones X e Y. Además, el análisis indicó que el comportamiento estructural del Bloque A no era suficiente para garantizar su operatividad como infraestructura hospitalaria crítica durante sismos de alta intensidad. Estos hallazgos validan la hipótesis específica 1, al confirmar que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica permitió identificar deficiencias estructurales críticas que comprometían tanto la estabilidad como la operatividad del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, resaltando la necesidad imperiosa de un reforzamiento estructural para mejorar su respuesta ante sismos máximos y asegurar su funcionamiento continuo durante eventos sísmicos.

Conclusión 2: Selección de sistemas de reforzamiento

La selección del sistema de reforzamiento estructural para el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto se realizó mediante un análisis detallado de criterios técnicos, incluyendo resistencia, ductilidad y alineación con experiencias previas en hospitales peruanos y lineamientos internacionales de FEMA. La evaluación rigurosa llevó a la elección de muros de concreto armado y arriostres metálicos como las opciones más viables para mejorar la rigidez y capacidad sísmica del edificio. Esta selección se justificó en su capacidad demostrada para incrementar la rigidez estructural, como lo evidencian reducciones del período fundamental de hasta un 18.64% en la dirección X y un 5.88% en la dirección Y. El respaldo de estudios en otras infraestructuras críticas similares proporcionó una base sólida para validar esta elección. Estos resultados confirman la hipótesis específica 2, asegurando que esta selección no solo maximiza la eficiencia estructural del Bloque A, sino que también establece un enfoque técnicamente viable para reforzar infraestructuras críticas ante eventos sísmicos

Conclusión 3: Análisis de configuraciones estructurales

El diseño y análisis de distintas configuraciones estructurales del sistema de reforzamiento seleccionado para el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto reveló que la combinación de muros de concreto armado y arriostres metálicos es la opción óptima para maximizar el desempeño sísmico del edificio. Este enfoque específico redujo las derivas de entrepiso en un 36.48% en la dirección X y un 6.22% en la dirección Y, alcanzando un nivel de desempeño 'Ocupación Inmediata' bajo sismos máximos, lo cual es esencial para la operatividad continua del hospital. Además, se logró una mejora significativa en la respuesta dinámica del edificio, disminuyendo la anisotropía estructural de 35.08% a 4.15% y optimizando la distribución de la masa participativa. Estos hallazgos no solo validan la hipótesis específica 3, sino que también reafirman que el enfoque metodológico y la selección de configuraciones estructurales fueron

claves para lograr una respuesta sísmica balanceada y eficiente, asegurando así la resiliencia estructural del Bloque A.

Conclusión 4: Implementación del plan de reforzamiento incremental

La implementación del plan de reforzamiento incremental en el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto mostró resultados significativos en cada fase en términos de derivas y desempeño sísmico. Durante la primera fase, las derivas máximas disminuyeron en un 4.04% en la dirección X y un 1.44% en la dirección Y, mejorando el nivel de desempeño sísmico a "Seguridad de Vida" para sismos máximos. En la segunda fase, las mejoras se intensificaron, con una reducción adicional de las derivas del 10.50% en la dirección X y del 4.91% en la dirección Y, manteniendo el nivel de desempeño en "Seguridad de Vida". Finalmente, en la tercera fase, se alcanzó una reducción del 36.48% en las derivas máximas de la dirección X y del 6.22% en la dirección Y, logrando mejorar el nivel de desempeño sísmico a "Ocupación Inmediata" para sismos máximos, asegurando así la operatividad del hospital tras un evento sísmico severo. Este enfoque incremental no solo permitió controlar de manera efectiva las derivas en cada fase del reforzamiento, sino que también maximizó el desempeño sísmico global del edificio, validando la hipótesis específica 4 al demostrar que un enfoque progresivo mejora sustancialmente la capacidad sísmica desde la primera fase hasta la fase final, optimizando la seguridad y funcionalidad estructural del hospital.

RECOMENDACIONES

Recomendación 1: Implementación de análisis no lineal para la evaluación estructural en edificaciones esenciales

Se recomienda que el Gobierno Regional de San Martín, en coordinación con el Ministerio de Salud (MINSA) y la Dirección de Ingeniería del Hospital II-2 Tarapoto, adopten el uso obligatorio de métodos de análisis no lineal, como el análisis Pushover y el análisis dinámico Time-Historia, en todas las evaluaciones estructurales de infraestructuras hospitalarias y críticas. Estos métodos son fundamentales para obtener una comprensión precisa del comportamiento estructural ante sismos máximos, permitiendo identificar deficiencias que los métodos lineales no pueden detectar. Asimismo, estos análisis permiten una mejor predicción de los puntos de desempeño estructural, lo que contribuye a mejorar significativamente la capacidad de respuesta sísmica y la resiliencia de estas edificaciones. La implementación de esta recomendación podría incluir un plan de capacitación y actualización para los ingenieros estructurales que realizan las evaluaciones, con el objetivo de asegurar que todos los involucrados estén familiarizados con estas metodologías avanzadas.

Recomendación 2: Establecimiento del enfoque incremental como estrategia estándar de reforzamiento estructural

Se sugiere que el Gobierno Regional de San Martín, junto con el MINSA y la Dirección de Ingeniería del Hospital II-2 Tarapoto, implementen el enfoque incremental como estrategia estándar en los proyectos de reforzamiento estructural de hospitales y otras edificaciones críticas. Este enfoque ha demostrado ser altamente eficiente para incrementar la capacidad sísmica de las estructuras de manera gradual, optimizando el uso de recursos, reduciendo interrupciones operativas y garantizando la continuidad de los servicios esenciales durante el proceso de mejora estructural. Además, se recomienda documentar y monitorear los proyectos que adopten esta estrategia para

crear un repositorio de "lecciones aprendidas", que sirva de referencia para futuros trabajos de reforzamiento, fomentando la mejora continua de esta metodología.

Recomendación 3: Diseño optimizado de sistemas de reforzamiento estructural

Se recomienda a la Dirección de Ingeniería del Hospital II-2 Tarapoto, en estrecha colaboración con el Gobierno Regional de San Martín y el MINSA, priorizar el diseño de configuraciones estructurales que integren muros de concreto armado y arriostres metálicos en futuras intervenciones. Esta combinación ha demostrado ser la más efectiva para controlar las derivas de entrepiso y aumentar la rigidez estructural del Bloque A, alcanzando el nivel de desempeño "Ocupación Inmediata" bajo sismos máximos. Asimismo, se sugiere realizar estudios comparativos adicionales que evalúen nuevas combinaciones de sistemas de reforzamiento, especialmente para infraestructuras de distintos usos, tamaños y antigüedades, con el objetivo de adaptar las soluciones a las necesidades específicas de cada edificación crítica. Se podría incluir el desarrollo de herramientas de evaluación preliminar para determinar rápidamente la viabilidad técnica y económica de cada configuración en distintos escenarios.

Recomendación 4: Desarrollo de un programa integral de monitoreo y mantenimiento estructural

Se recomienda al Gobierno Regional de San Martín, en coordinación con el MINSA y la Dirección de Ingeniería del Hospital II-2 Tarapoto, establecer un programa integral de monitoreo y mantenimiento continuo para todas las infraestructuras reforzadas. Este programa debe incluir inspecciones periódicas, evaluación de la condición estructural y ajustes estratégicos basados en el comportamiento del edificio durante eventos sísmicos menores. Para su implementación, se sugiere utilizar tecnologías de monitoreo, como sensores de deformación y aceleración, que permitan el seguimiento en tiempo real de las condiciones estructurales. Además, debe establecerse un protocolo claro para las intervenciones preventivas y correctivas, con el objetivo de

garantizar que las mejoras estructurales implementadas se mantengan efectivas a lo largo del tiempo, preservando la seguridad y operatividad de las instalaciones hospitalarias ante futuros sismos. La documentación y evaluación de cada actividad de mantenimiento serán cruciales para mejorar la efectividad del programa y reducir riesgos en futuras evaluaciones.

REFERENCIAS

1. **A. K. Chopra**, Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering., California, Estados Unidos, 2011. [33]
2. **A. Muñoz**, "Comentarios a la Norma E.030 Diseño Sismorresistente," LIMA, 2020. [21]
3. **D. I. C. Zavala**, "Propuesta de Mejoramiento Estructural," LIMA: CISMID UNI, 2021. [22]
4. **E. C. H. y T. Nakamura**, "Comparative Study of Seismic Retrofitting Techniques for Hospitals in High Seismic Zones: Case Studies from Japan and California," California, Estados Unidos, 2016. [11]
5. **F. E. M. Agency**, FEMA P-420 Manual para Reforzamiento Sísmico Incremental, Washington D.C., Estados Unidos, 2009. [14]
6. **F. E. M. Agency**, FEMA 369 Manual de Reforzamiento Sísmico Incremental, Washington D.C., Estados Unidos, 2003. [15]
7. **F. Ríos**, "Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de 14 centros de salud en la provincia de Lima," LIMA, 2015. [10]
8. **G. J. F. L. Canales**, "Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997," LIMA, 2017. [16]
9. **INGEMMET/M. S. Vélchez Mata**, "Informe de inspección de efectos del sismo del 25 de setiembre del 2005 en Rioja, Moyobamba, Lamas y Tarapoto," LIMA, 2005. [17]
10. **INGEMMET/S. Nuñez**, "Boletín C42 'Riesgo Geológico en la Región San Martín'," LIMA, 2010. [18]
11. **INGEMMET/S. Nuñez**, "Informe técnico N° A7233 'Efectos Geológicos Asociados al Sismo 7.5 Mw del 28 de noviembre 2021 en el Departamento de San Martín'," LIMA, 2021. [19]
12. **J. M. Sarah Johnson**, "Seismic Retrofitting of Hospitals: Lessons Learned from Recent Earthquakes in New Zealand and Chile," CHILE, 2019. [12]
13. **M. García y A. Hidalgo**, "Obtención de funciones de confiabilidad sísmica mediante el índice de confiabilidad B de Cornell en el hospital 2 - II Tarapoto," TARAPOTO, 2022. [20]
14. **M. S. V. Mata**, "Evaluación de la Resiliencia Sísmica en Infraestructuras Esenciales en Perú," LIMA, 2005. [27]
15. **MINSA**, "Hospitales de región San Martín en 'Alerta verde' debido a temblor ocurrido anoche," TARAPOTO, 2018. [23]
16. **MINSA**, "Ministro de Salud inaugura moderna infraestructura hospitalaria en Región San Martín," TARAPOTO, 2017. [2]
17. **MINSA**, Proyecto NTS N° 021-MINSA / DGSP-V.02 "Categorías de Establecimientos del Sector Salud", LIMA, 2003. [1]

18. **MINSA/ECHO/OPSOMS**, "Vulnerabilidad sísmica en los hospitales del Perú," LIMA, 1997. [6]
19. **N. Morales**, "Simposio Emergencias y Desastres," 2008. [8]
20. **N. Morales-Soto**, "Vulnerabilidad sísmica del componente organizativo y funcional de grandes hospitales," Rev Peru Med Exp Salud Publica, LIMA, 2008. [23]
21. **OPS/MINSA/CISMID**, "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural, No Estructural y Funcional Hospital Nacional Arzobispo Loayza," LIMA, 2013. [26]
22. **OPS/MINSA/CISMID**, "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural, No Estructural y Funcional Hospital Nacional Cayetano Heredia," LIMA, 2013. [25]
23. **OPS/MINSA/CISMID**, "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural, No Estructural y Funcional Hospital Nacional Dos de Mayo," LIMA, 2013. [29]
24. **OPS/MINSA/CISMID**, "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural, No Estructural y Funcional Hospital Nacional Hipólito Unanue," LIMA, 2013. [32]
25. **OPS/MINSA/CISMID**, "Vulnerabilidad sísmica de 10 hospitales en el Perú," LIMA, 2001. [7]
26. **P. B. F. D. L. S. M. M. F. M. P. David O. Prevatt**, "Seismic Performance Assessment of Italian Hospitals Using Displacement-Based Vulnerability Analysis," Earthquake Spectra, ITALIA, 2014. [5]
27. **P. Meli y L. Sánchez**, "Reforzamiento Estructural en Hospitales de Latinoamérica," MEXICO, 2019. [28]
28. **R. A. y S. M. M. Jalayer**, "Seismic Vulnerability Assessment of Hospital Buildings: A Comprehensive Review," Earthquake Spectra, vol. 30, no. 1, pp. 31-68, Estados Unidos, 2014. [3]
29. **T. Matsuo, S. Toshimitsu, y H. Shiwaku**, "Seismic Vulnerability Assessment of Hospital Buildings: A Case Study of Kesenuma City, Japan," Bulletin of Earthquake Engineering, Kesenuma, Japón, 2016. [4]
30. **W. Bank**, "Proposed Update of the National Building Regulations to Incorporate the Incremental Reinforcement in Type 780 School Buildings Built Before 1997," LIMA, PERÚ, 2016. [13]
31. **OPS/MINSA/CISMID**, "Estudio de Vulnerabilidad Sísmica Estructural, No Estructural y Funcional Hospital Nacional Arzobispo Loayza," LIMA: MINSA, 2013. [31]
32. **J. Munayco**, "Estimación de la Confiabilidad de Edificaciones Escolares Típicas con Reforzamiento Incremental considerando Daño Sísmico Acumulado," LIMA: PUCP, 2020. [30]
33. **MINSA**, "Hospitales de región San Martín en 'Alerta verde' debido a temblor ocurrido anoche," TARAPOTO, Plataforma Institucional del MINSA, 2005. [24]

APÉNDICES

Apéndice A: Matriz de consistencia del informe final de tesis.

MATRIZ DE CONSISTENCIA PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO INCREMENTAL DEL BLOQUE A DEL HOSPITAL II-2 TARAPOTO, PERÚ, PARA MEJORAR SU DESEMPEÑO SÍSMICO.					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>PROBLEMA PRINCIPAL</p> <p>¿De qué manera la implementación de un plan de reforzamiento incremental puede mejorar significativamente el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, garantizando su operatividad continua durante y después de eventos sísmicos en una zona de alta sismicidad como Tarapoto?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar y mejorar el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto en 2024 mediante la implementación de estrategias de reforzamiento estructural incremental, garantizando su operatividad continua durante y después de eventos sísmicos en la Región de San Martín.</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL</p> <p>La implementación de un plan de reforzamiento incremental puede mejorar significativamente el desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, manteniendo su operatividad durante eventos sísmicos.</p>	<p>Variable independiente (X)</p> <p>Variables dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Estrategias de reforzamiento estructural con énfasis en el reforzamiento incremental. Reforzamiento incremental. 	<p>1. Tipo de Reforzamiento Aplicado</p> <p>2. Tipo de Indicador: Categoría de estrategia de reforzamiento.</p>	<p>Tipo de Investigación</p> <p>Aplicado, explicativo y cuantitativo</p>
<p>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <p>1. ¿Cuáles son las deficiencias estructurales críticas que presenta el Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto y cómo contribuyen a su vulnerabilidad sísmica en el contexto de la sismicidad de la Región de San Martín?</p> <p>2. ¿Qué sistemas de reforzamiento estructural, considerando criterios técnicos (compatibilidad estructural y eficacia sísmica) y prácticos (como viabilidad económica y mínima interferencia operativa), son los más adecuados para mejorar el desempeño sísmico del Bloque A sin interrumpir sus funciones esenciales?</p> <p>3. ¿Cuál es la configuración óptima de reforzamiento estructural que, a través de un análisis dinámico lineal modal espectral y análisis no lineal, maximiza los indicadores de desempeño sísmico del Bloque A y asegura su funcionalidad durante eventos sísmicos?</p> <p>4. ¿Cómo puede desarrollarse un plan de reforzamiento estructural incremental basado en la configuración óptima que permita abordar las deficiencias más críticas desde la primera fase y optimizar costos y tiempos de intervención, comparado con una intervención integral, en un hospital esencial como el II-2 Tarapoto?</p>	<p>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>1. Evaluar la vulnerabilidad sísmica actual del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto, identificando deficiencias estructurales críticas que puedan comprometer su comportamiento y operatividad durante eventos sísmicos.</p> <p>2. Seleccionar los sistemas de reforzamiento estructural más adecuados para el Bloque A, basándose en criterios como compatibilidad con la estructura existente, eficacia sísmica, viabilidad técnica y económica, alineamiento con los lineamientos de FEMA y experiencias previas en el Perú.</p> <p>3. Diseñar, modelar y analizar diferentes configuraciones estructurales de reforzamiento, aplicando análisis dinámico lineal modal espectral y análisis no lineal, para evaluar su impacto en los indicadores de desempeño sísmico del edificio.</p> <p>4. Desarrollar un plan de reforzamiento estructural incremental basado en la configuración óptima que permita abordar las deficiencias más críticas y logre una mejora significativa en la operatividad del hospital, optimizando costos y tiempos de intervención, comparado con una intervención integral.</p>	<p>HIPOTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>1. El Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto presenta deficiencias estructurales que lo hacen vulnerable ante eventos sísmicos.</p> <p>2. La aplicación de criterios técnicos y prácticos permitirá identificar sistemas de reforzamiento estructural adecuados para mejorar el desempeño sísmico del Bloque A.</p>	<p>Variable Dependiente (Y)</p> <p>Variables dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> Desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto. 	<p>0. Indicadores de Desempeño Sísmico:</p> <p>1. Períodos de Vibración (Tx, Ty)</p> <p>2. Derivos Modales (Mx, My)</p> <p>3. Desplazamientos Totales</p> <p>4. Niveles de Desempeño Sísmico (FO, IO, LS, CP)</p> <p>5. Criterios de Diseño</p> <p>6. Factores de Masa Participativa</p> <p>7. Anisotropía Estructural</p> <p>8. Puntos de Desempeño Espectral (Sd, Sa)</p>	<p>Diseño de Investigación</p> <p>Cuasi-experimental, con un enfoque pretest-posttest de grupo único, complementado por un análisis cuantitativo de los datos.</p> <p>Ámbito del estudio: Departamento San Martín</p> <p>Publicación de estudio: Constituida por todas las estructuras hospitalarias de segundo nivel en la Región de San Martín. Muestra: Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto</p>
<p>Relevancia de la investigación</p> <p>CONTRIBUCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN AL LOGRO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS): Esta investigación avanza en la ingeniería sísmica y el reforzamiento estructural, mejorando la seguridad de hospitales en zonas sísmicas y protegiendo vidas. Contribuye a los ODS 3, 9 y 11 al fortalecer la capacidad de respuesta ante desastres, desarrollar infraestructuras resilientes y asegurar la continuidad de servicios críticos. Además, puede influir en la actualización de normativas y políticas públicas para promover el reforzamiento incremental y la resiliencia comunitaria.</p>					

Apéndice B: Matriz de datos.

MATRIZ DE CONSISTENCIA PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN EVALUACIÓN Y REFORZAMIENTO INCREMENTAL DEL BLOQUE A DEL HOSPITAL II-2 TARAPOTO, PERÚ, PARA MEJORAR SU DESEMPEÑO SÍSMICO.				
VARIABLE	INDICADOR	FUENTE DE DATOS	MÉTODO DE RECOLECCIÓN	FRECUENCIA DE MEDICIÓN
Variable Independiente: Estrategias de reforzamiento estructural con énfasis en el enfoque de reforzamiento incremental	1. Períodos de Vibración (TX, TY)	Análisis modal y espectral	Simulación y análisis estructural utilizando software ETABS	Antes y después del reforzamiento
	2. Derivas Máximas (ΔX, ΔY)	Análisis Pushover y evaluación de derivas inter-piso	Simulación y análisis estructural utilizando software ETABS	Antes y después del reforzamiento
	3. Desplazamientos Totales	Análisis de desplazamientos a nivel global	Simulación y análisis estructural utilizando software ETABS	Antes y después del reforzamiento
	4. Niveles de Desempeño Sísmico (FO, IO, LS, CP)	Curva de capacidad y evaluación de desempeño sísmico	Simulación y análisis estructural utilizando software ETABS	Después del reforzamiento y simulaciones sísmicas
Variable Dependiente: Desempeño sísmico del Bloque A del Hospital II-2 Tarapoto	5. Cortantes de Diseño	Análisis dinámico y espectro de respuesta	Simulación y análisis estructural utilizando software ETABS	Antes y después del reforzamiento
	6. Factores de Masa Participativa	Análisis modal de distribución de masas	Simulación y análisis estructural utilizando software ETABS	Antes y después del reforzamiento
	7. Anisotropía Estructural	Evaluación de la rigidez y respuesta estructural diferencial	Simulación y análisis estructural utilizando software ETABS	Antes y después del reforzamiento
	8. Puntos de Desempeño Espectral (Sd, Sa)	Curva espectral de capacidad y demanda sísmica	Simulación y análisis estructural utilizando software ETABS	Después del reforzamiento y evaluaciones específicas de demanda sísmica

Apéndice C: Panel fotográfico (Elaboración propia)

Figura 55 *Fachada del Hospital II-2 Tarapoto*



Figura 56 *Fachada del Hospital II-2 Tarapoto*



Figura 57 *Fachada del Hospital II-2 Tarapoto*



Figura 58 *Pasadizos típicos del Hospital II-2 Tarapoto*



Figura 59 *Fachada del Hospital II-2 Tarapoto*



Figura 60 *Ductos del Hospital II-2 Tarapoto*



Figura 61 *Escaleras y cajas de Ascensor Hospital II-2 Tarapoto*



Figura 62 *Fachada y ductos del Hospital II-2 Tarapoto*



Apéndice D: Modelos en ETABS (Elaboración propia)

Figura 63 Modelo Pushover dirección X pre-reforzamiento, Método Calculo Manual de fuerzas laterales aplicadas a los diafragmas.

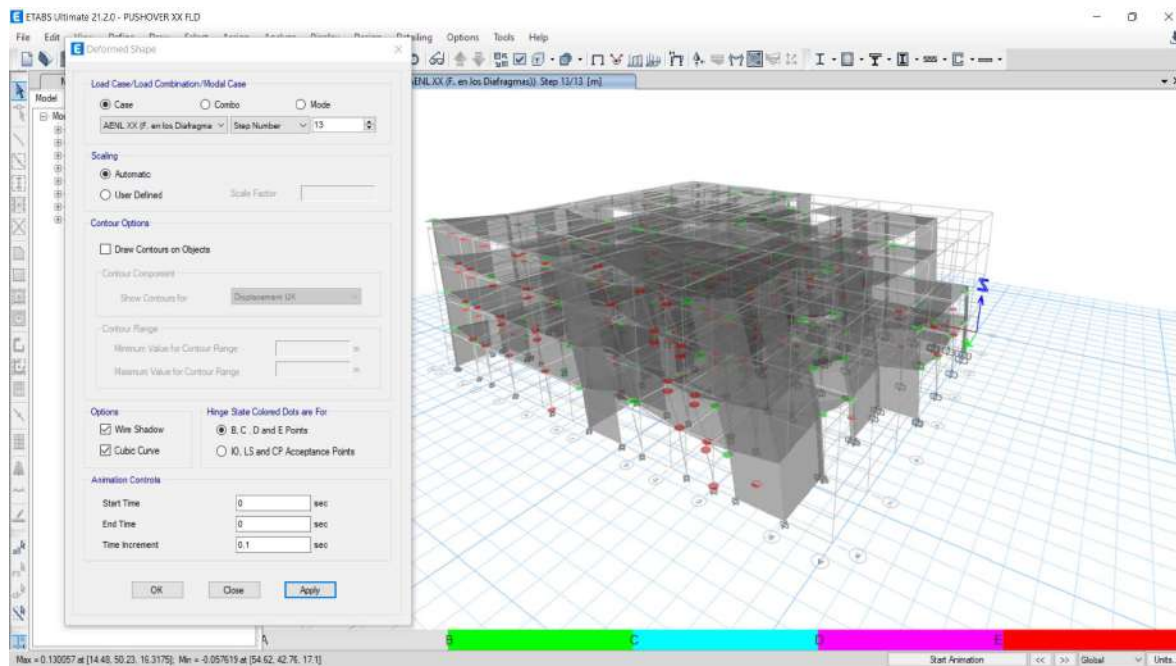


Figura 64 Modelo Pushover dirección X pre-reforzamiento, Método Primer Modo

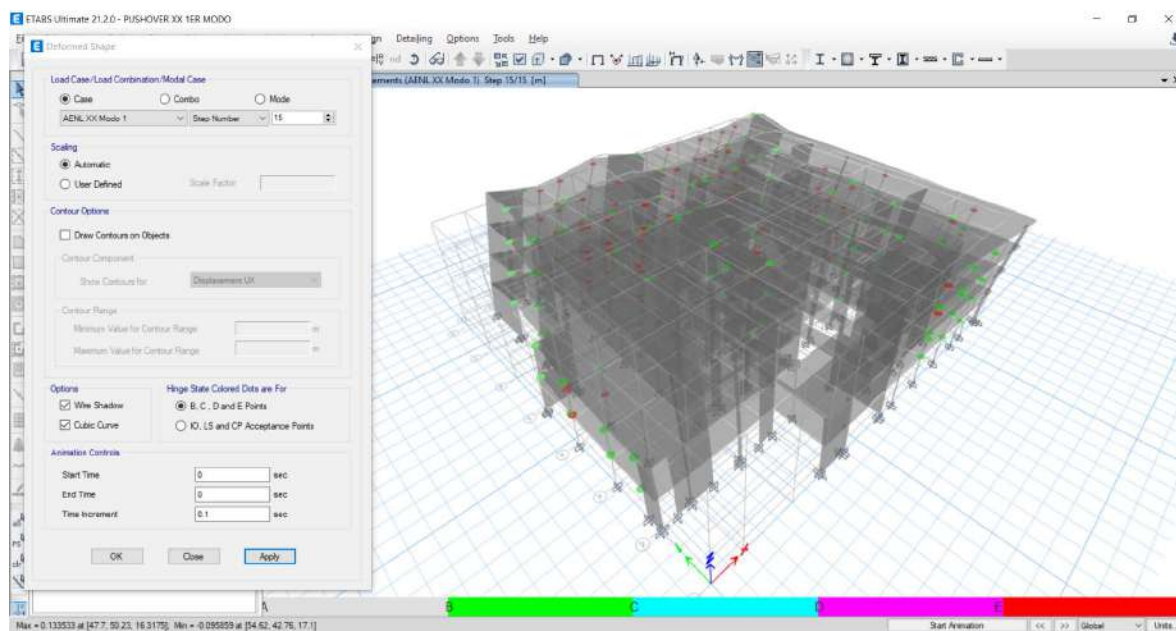


Figura 65 Modelo Pushover en dirección X pre-reforzamiento, Método de Modos Significativos.

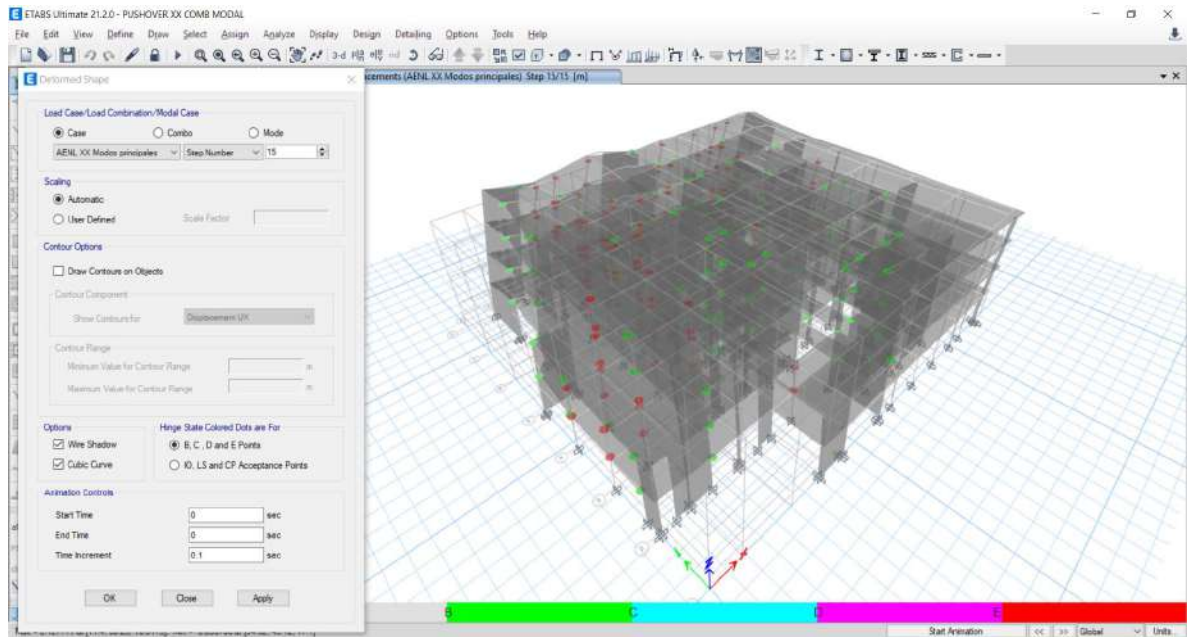


Figura 66 Modelo Pushover en dirección Y pre-reforzamiento, Método Calculo Manual de fuerzas laterales aplicadas a los diafragmas.

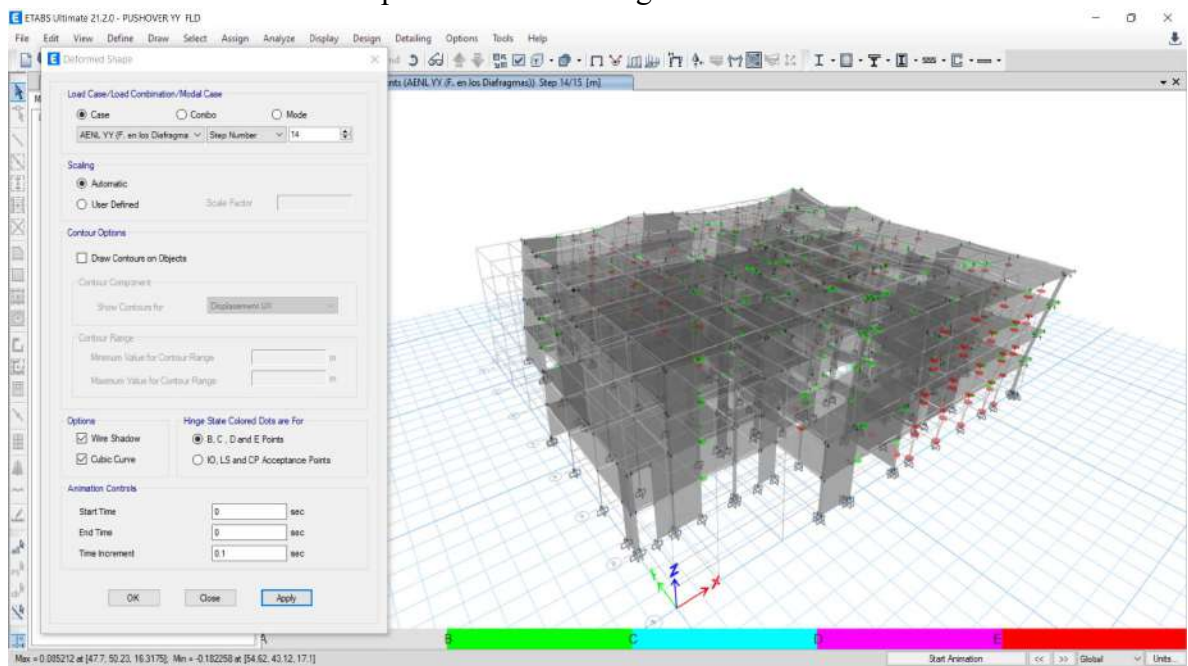


Figura 67 Modelo Pushover en dirección Y pre-ref. Método del Primer Modo

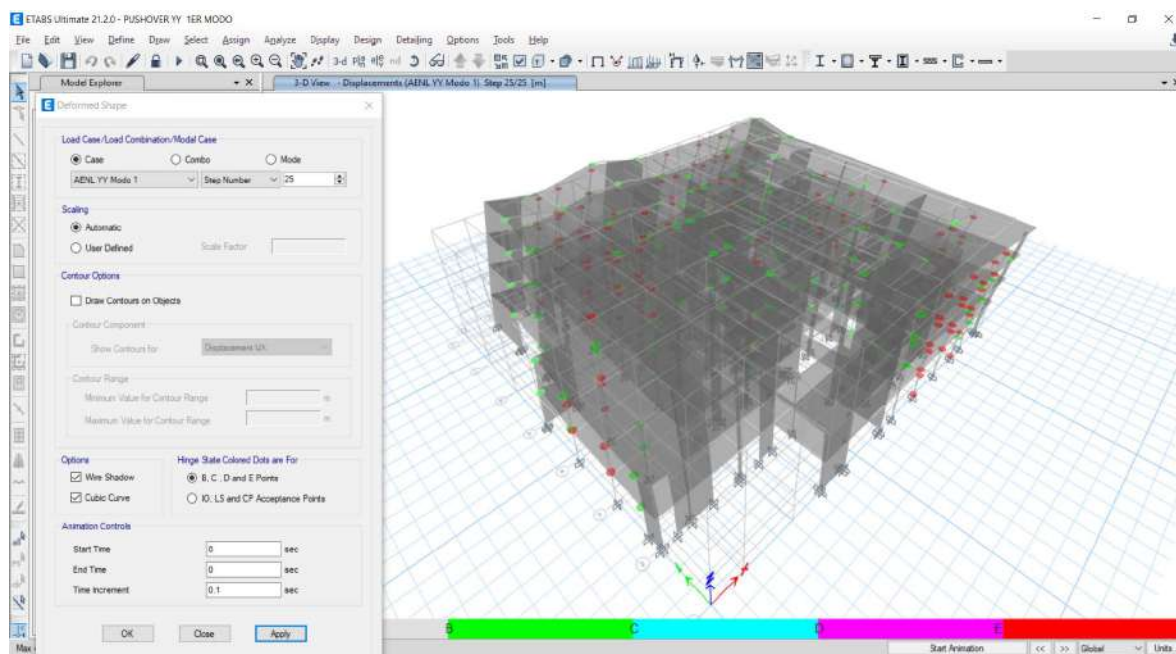


Figura 68 Modelo Pushover en dirección Y pre-ref. Método de Modos Significativos.

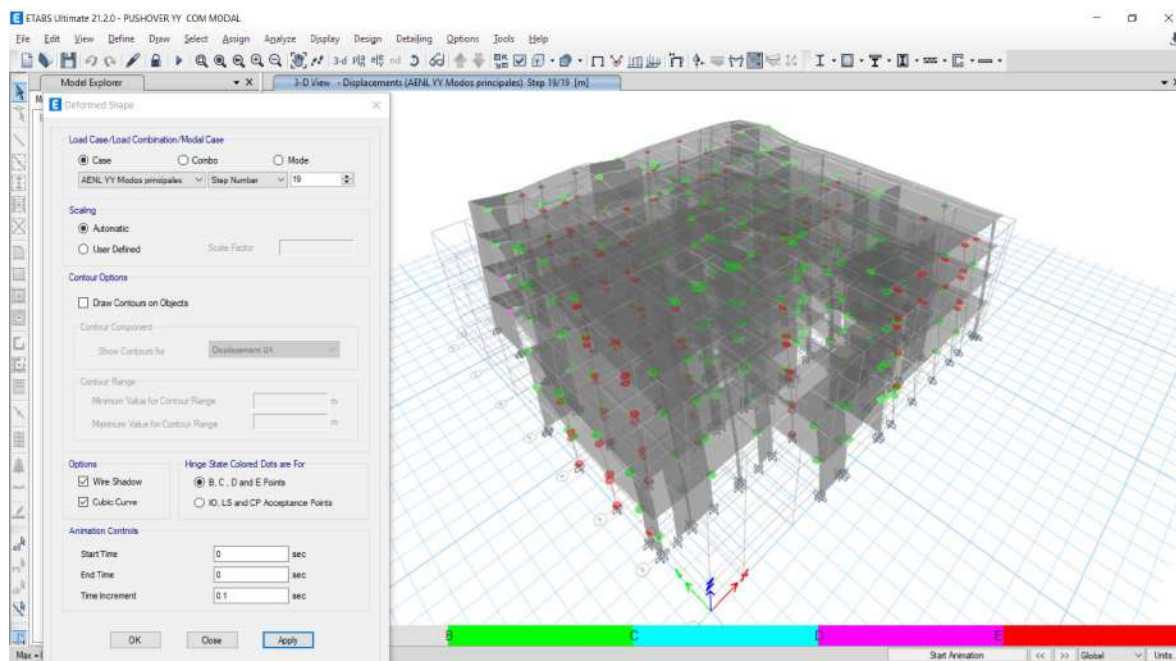


Figura 69 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. con muros de concreto. Método Calculo Manual de fuerzas laterales aplicadas a los diafragmas.

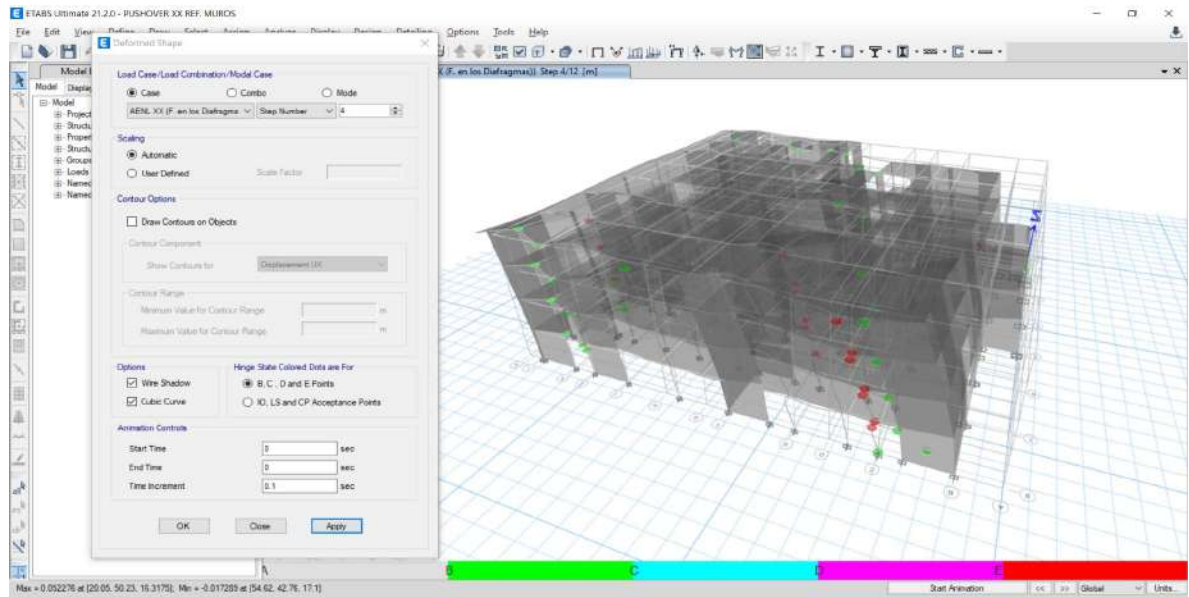


Figura 70 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. con muros de concreto, Método del Primer Modo

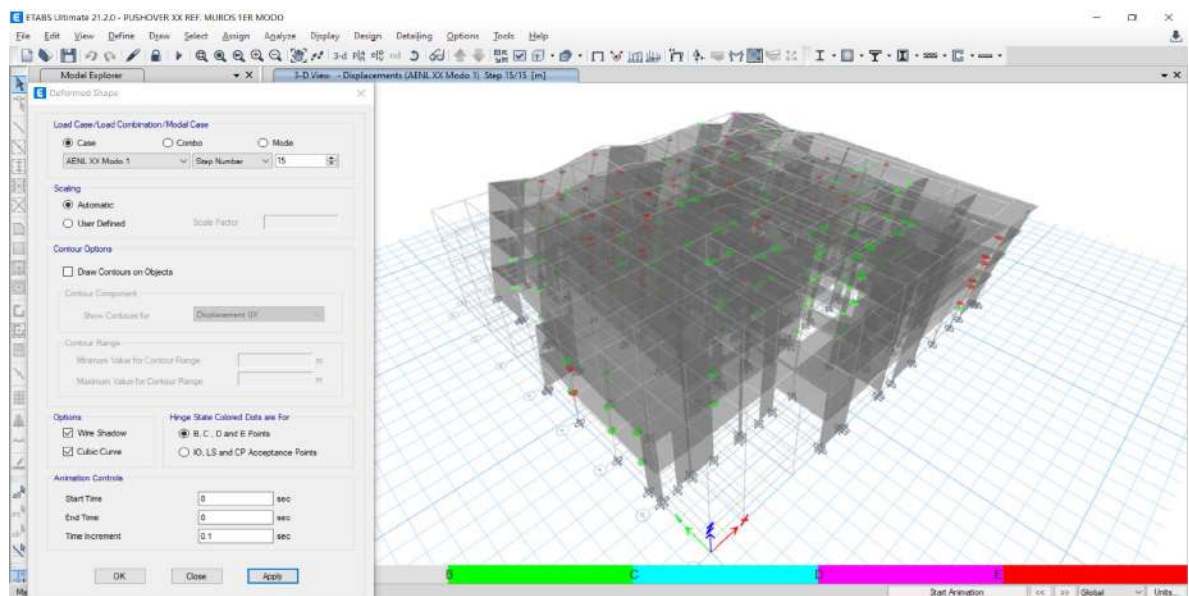


Figura 71 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. con muros de concreto, Método de Modos Significativos.

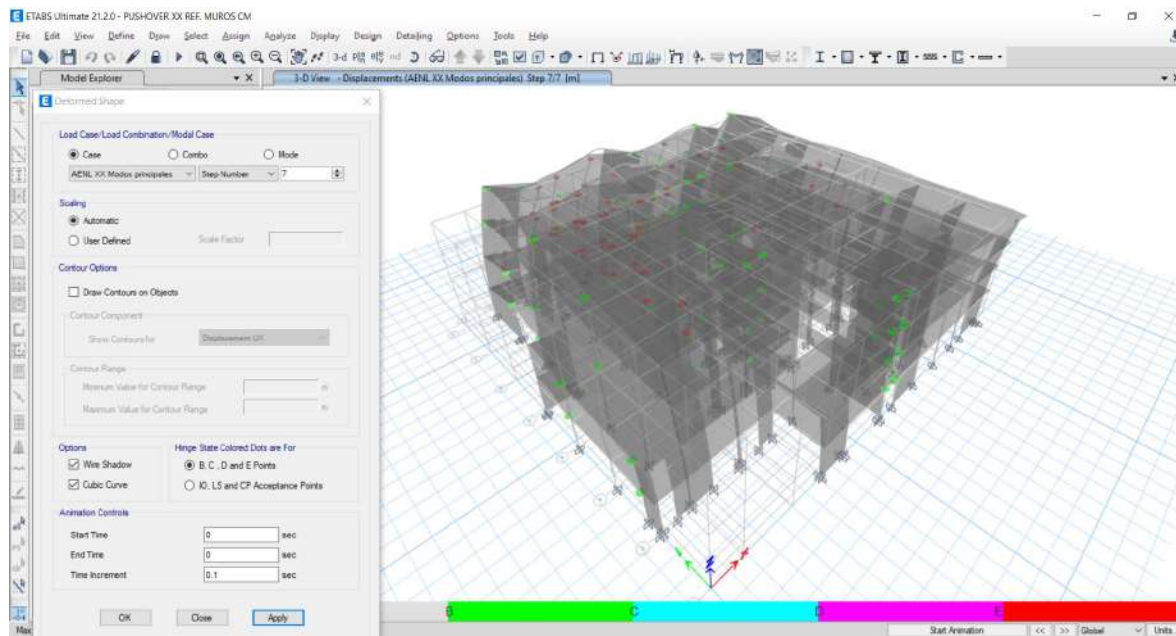


Figura 72 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos, Método C. Manual de fuerzas laterales aplicados a los diafragmas.

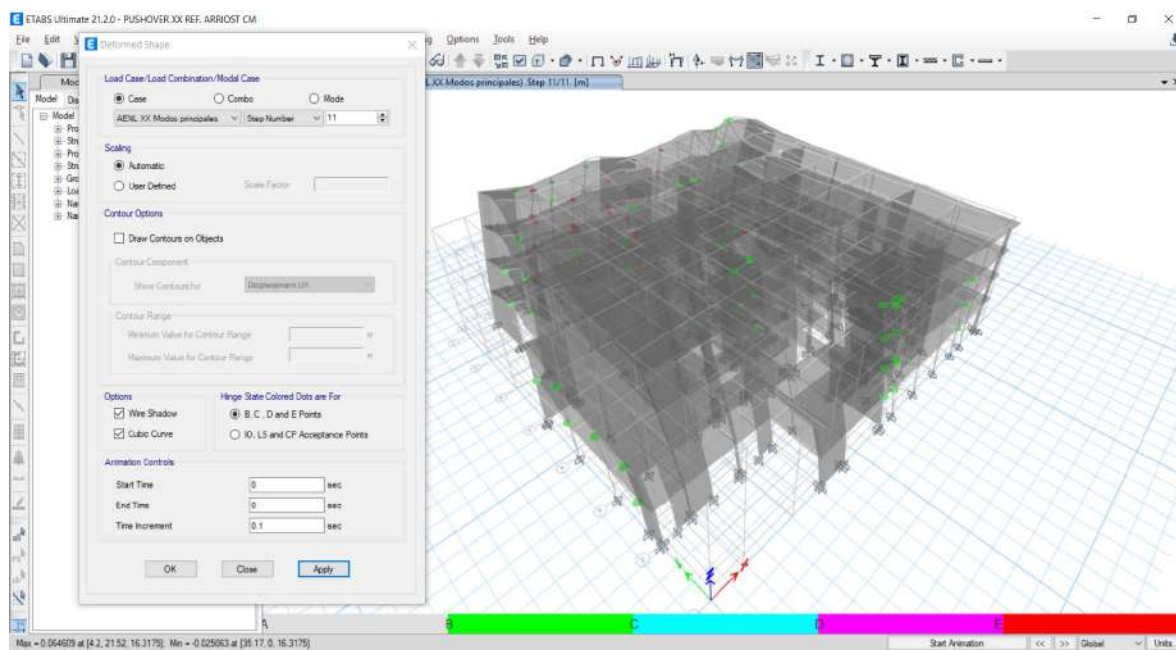


Figura 73 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos, Método del Primer Modo

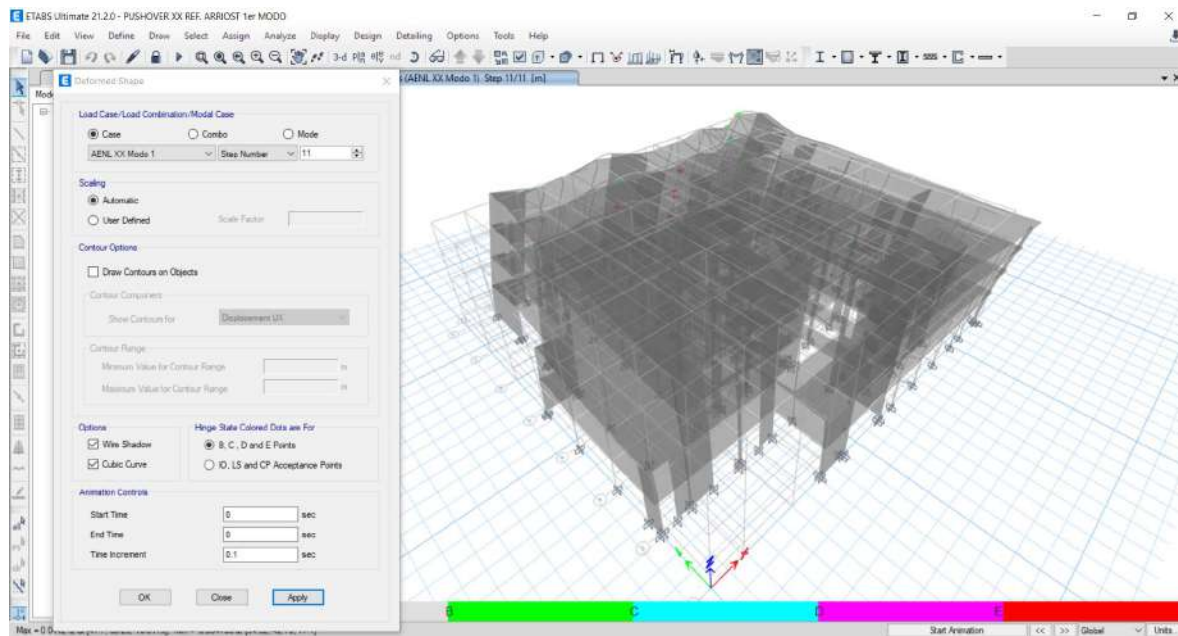


Figura 74 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos, Método de Modos Significativos.

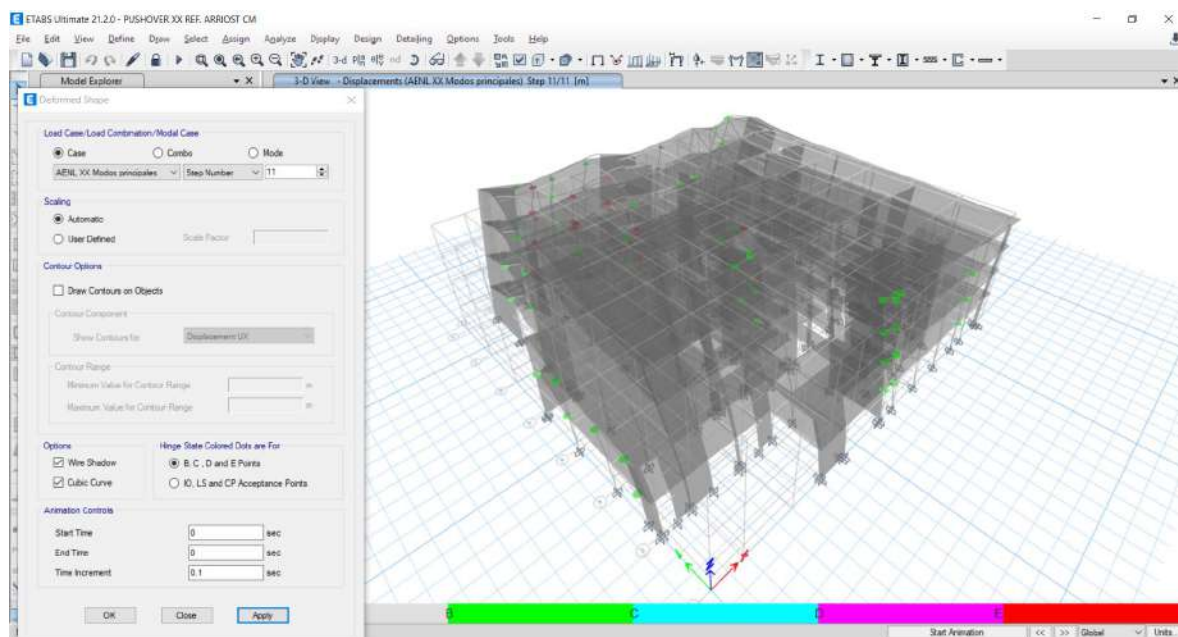


Figura 75 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos y Muros de concreto, Método C. Manual de fuerzas laterales aplicadas al diafragma.

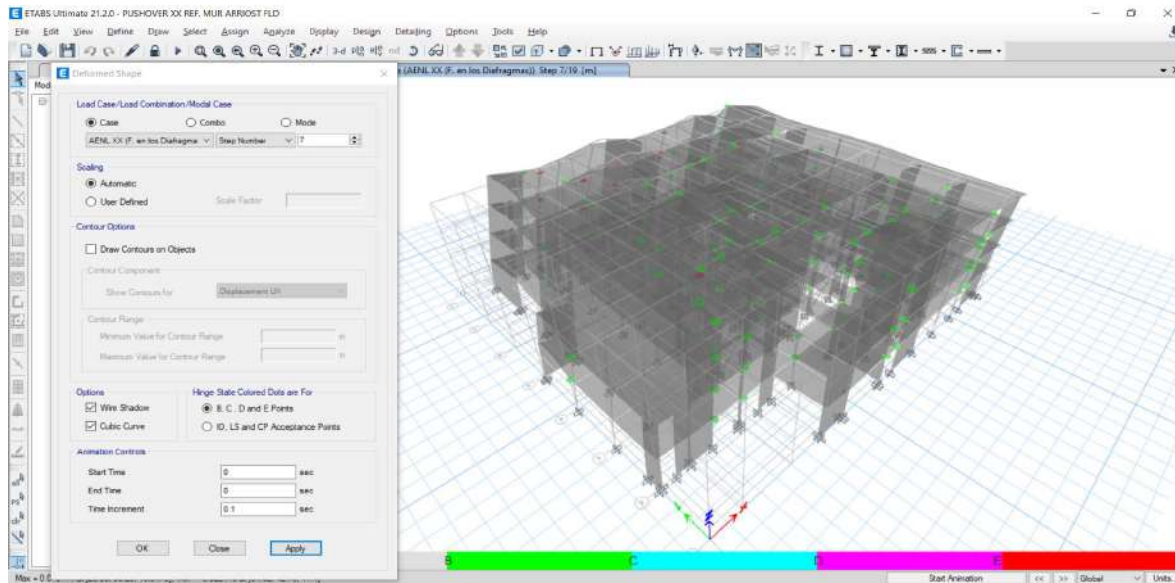


Figura 76 Modelo Pushover en dirección X Post-ref. Arriostres Metálicos y Muros de concreto, Método del Primer Modo

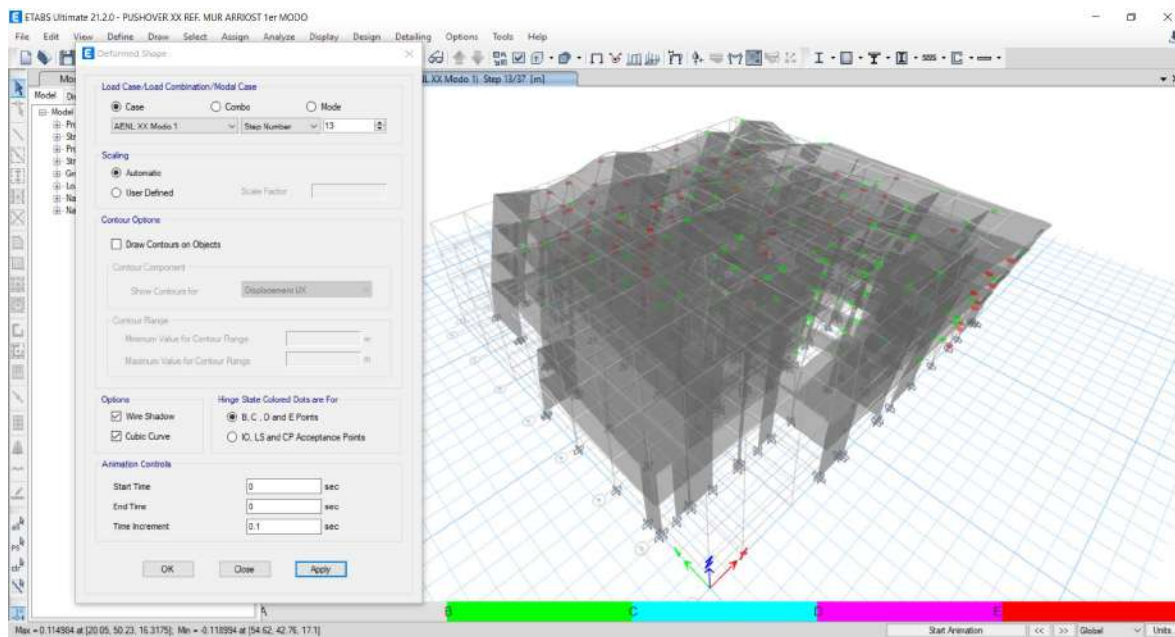


Figura 77 Modelo Pushover en dirección X, Post-ref. Arriostres Metálicos y Muros de concreto, Métodos de Modos Significativos

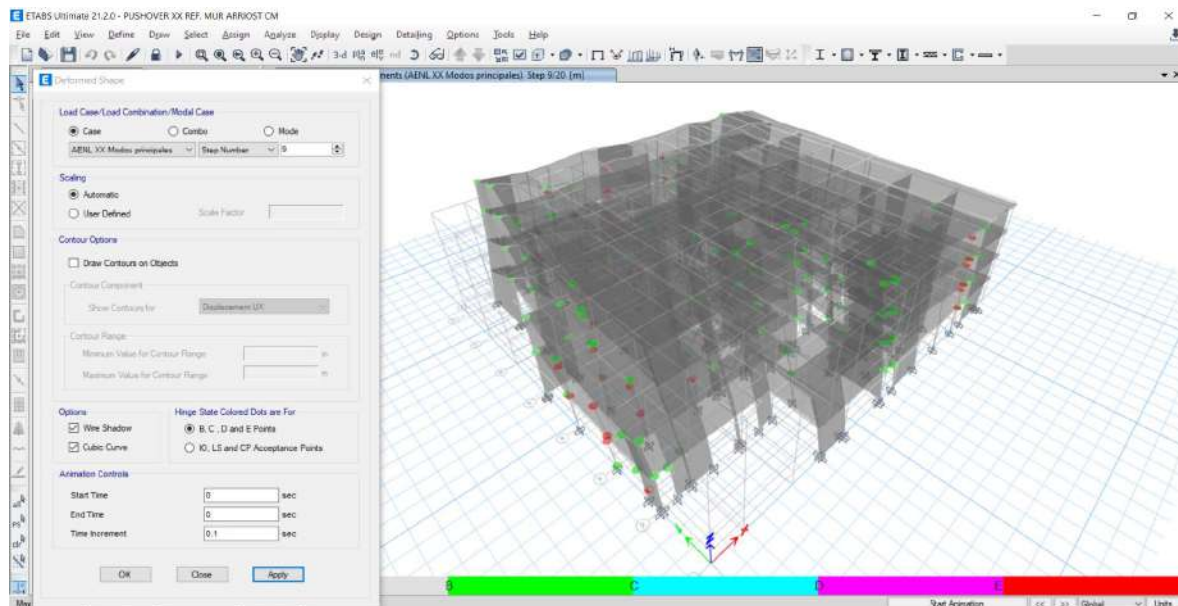


Figura 78 Modelo Pushover en dirección X (FASE I), Método C. Manual de fuerzas laterales aplicadas al diafragma.

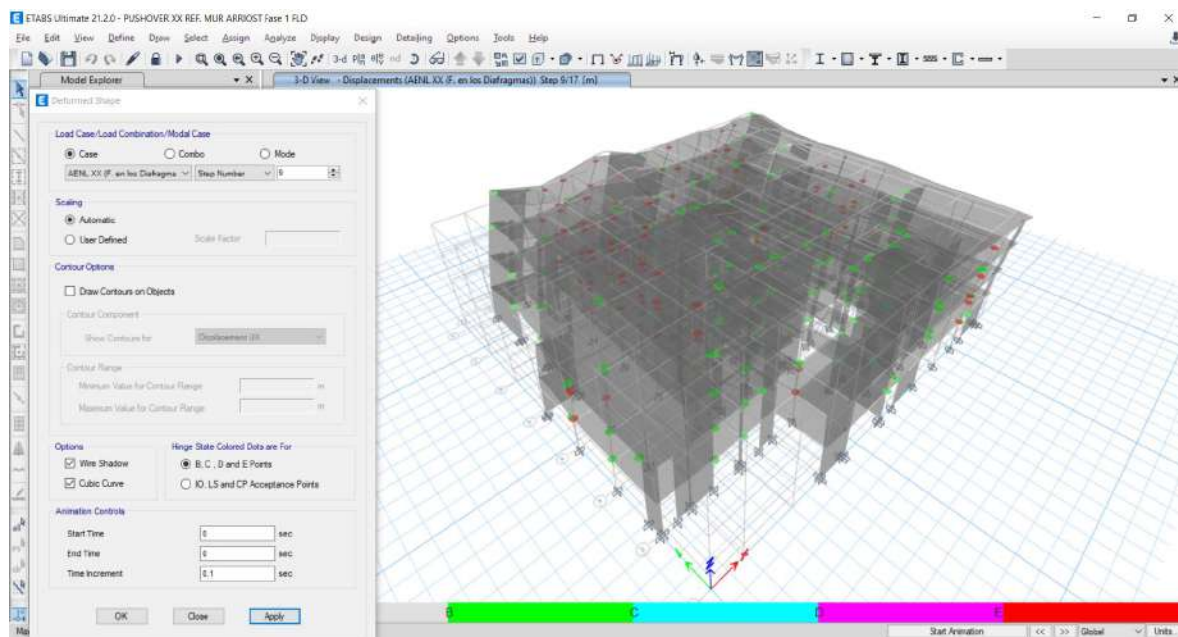


Figura 79 Modelo Pushover en dirección X (FASE I), Método del Modo Principal

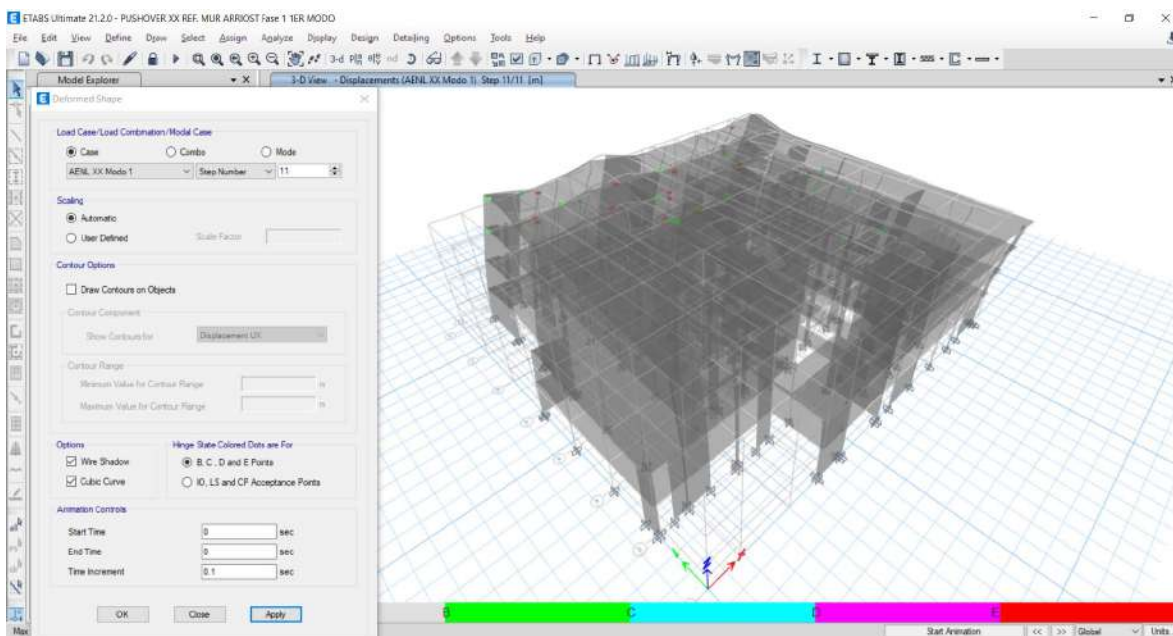


Figura 80 Modelo Pushover en dirección X (FASE I), Método de Modos Significativos

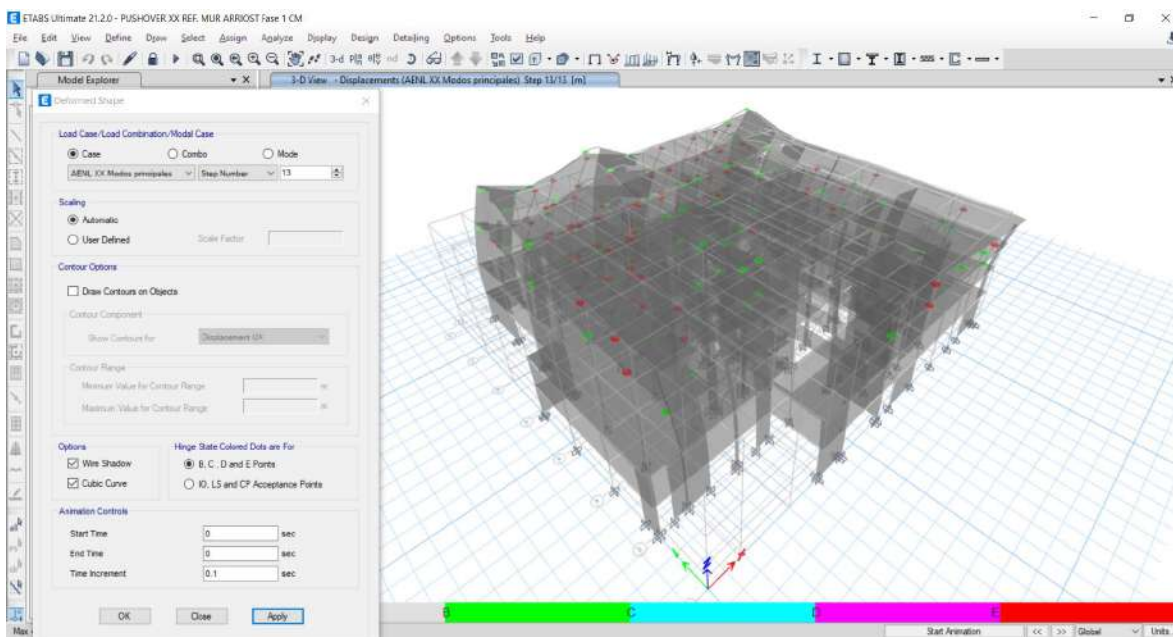


Figura 81 Modelo Pushover en dirección X (FASE II) Método C. Manual de fuerzas laterales aplicadas al diafragma.

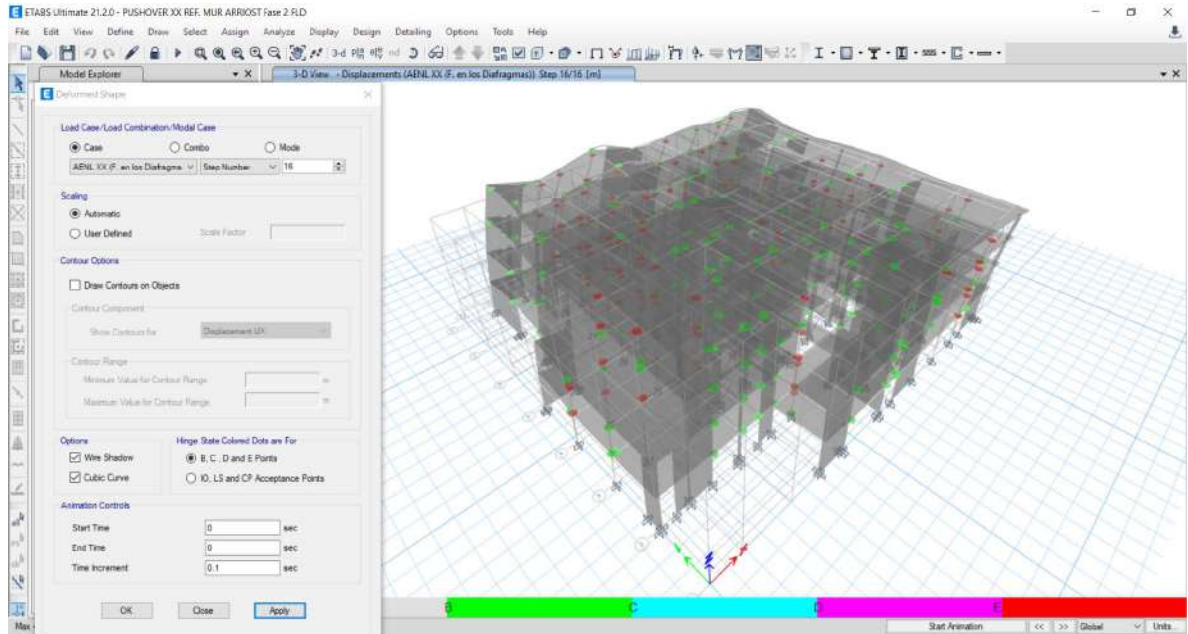


Figura 82 Modelo Pushover en dirección X (FASE II), Método del Modo Principal

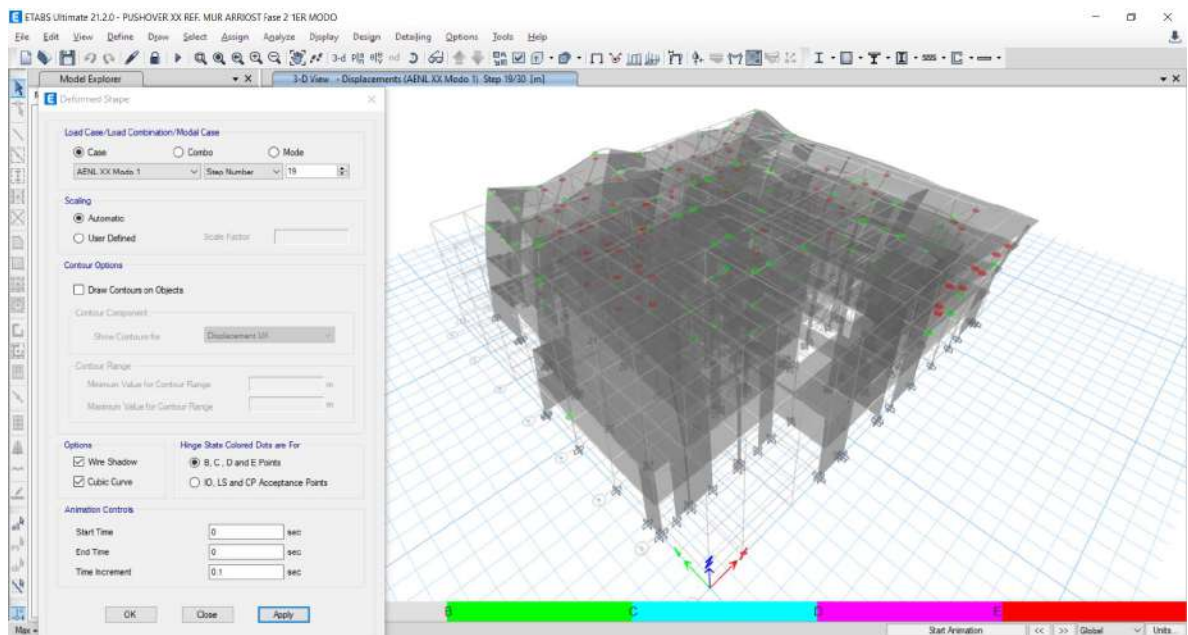
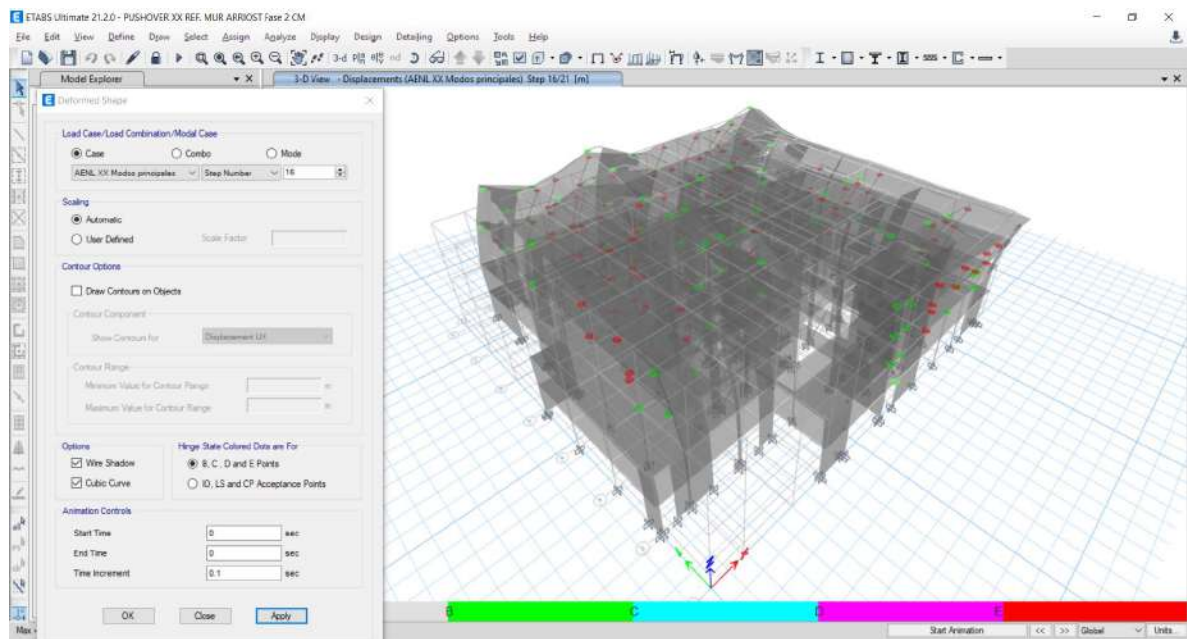


Figura 83 Modelo Pushover en dirección X (FASE II), Método Modos Significativos

Apéndice E: Expediente Técnico Estructuras del Hospital II-2 Tarapoto

**EXPEDIENTE TECNICO
ESTRUCTURAS**



GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA



**MEJORAMIENTO DE LOS SERVICIOS
DEL HOSPITAL II-2**



**Consorcio Proyecto
Hospital Tarapoto**



CHUNG & TONG

CILIBERTO ILLIZA AICUALO
Arquitecto - Consultor

1. GENERALIDADES


El proyecto desarrollado consiste en el diseño de 17 estructuras independientes de concreto armado y estructuras metálicas que conforman 13 bloques destinados al uso de un Hospital ubicado en la ciudad de Tarapoto, departamento de San Martín.

De acuerdo al estudio de suelos desarrollado por el Ing. Pedro E. Alarcón Farfán con CIP 41251, el tipo de cimentación es con zapatas conectadas y cimientos corridos rígidos para las edificaciones de 1 y 2 pisos, y una platea de cimentación para las edificaciones de 3 y 4 pisos. La profundidad de la cimentación es de 1.20m. respecto del nivel de terreno actual para las zapatas aisladas conectadas y de 0.50m Y 0.40m para la platea de cimentación. En el caso las edificaciones de 1 piso, la cimentación estará apoyada sobre un material afirmado compactado de relleno hasta llegar al nivel de -2.50, mientras que para las edificaciones de 2, 3 y 4 pisos se deberá bajar hasta el nivel -3.50. El estrato de apoyo es una arcilla inorgánica de muy baja plasticidad (CL). La presión admisible del suelo se determinó de 0.92 kg/cm² para todo el proyecto. No se considera tomar precauciones específicas respecto a la agresividad de sulfatos y sales en el concreto.

En esta Memoria Descriptiva se definen las normas, los materiales, las cargas y los métodos de análisis y diseño. El sistema de unidades a emplear es el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI). Se incluyen algunas equivalencias entre el sistema SI y el sistema Métrico tradicional (MKS)

2. ESTRUCTURACIÓN Y ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El hospital fue dividido en 13 bloques, a continuación se describen los elementos estructurales de cada uno de ellos:

 **PABLO PEDRO GUILLERMO MARTÍNEZ**
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros CIP. 1165

 **GUILLERMO CORIASCO TURPA**
ARQUITECTO CAP 834

2.1. BLOQUE A.- EMERGENCIAS, CENTRO QUIRURGICO, HOSPITALIZACIÓN

En el Bloque A se tiene una edificación de concreto armado de cuatro pisos con una configuración estructural de muros de concreto armado en los dos sentidos de análisis. Las placas de concreto armado se localizaron en planta de tal manera de cumplir con los requerimientos arquitectónicos y diseño Sismorresistente. Se ha separado la estructura de las estructuras adyacentes mediante juntas de separación sísmicas.

La estructura está diseñada para poder soportar las cargas de gravedad y sísmicas de cuatro pisos.

Los techos están conformados por losas aligeradas y macizas de 20 y 25cm. de peralte. Para el diseño se ha considerado una sobrecarga de 300 Kg/m² en sala de operaciones, laboratorios, zona de servicios y último techo, 400 Kg/m² en corredores y escaleras y 200 Kg/m² para el resto de ambientes.

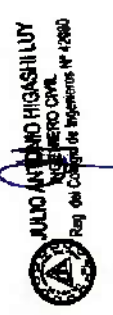
Las vigas son de 30cm de ancho con un peralte de 60cm. de acuerdo a las luces que cubren. Las vigas se apoyan en las columnas o placas de concreto armado.

 **JORGE KALLMAN RATTER**
ARQUITECTO CAP 0507
GERENTE DE PROYECTOS

 **JUAN ERNESTO ROMUALDO SÁNCHEZ MAYORA**
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

JUAN ERNESTO ROMUALDO SÁNCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

LIQ CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

 **JULIO ANÍBAL HIGASHILUY**
INGENIERO CIVIL N° 4280
Reg. del Colegio de Ingenieros

 **LUIS ENRIQUE ESCOBAR CARRANZA**
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 041697



Las columnas han sido dimensionadas según los requerimientos arquitectónicos y estructurales (carga axial de gravedad y/o sismo).

En ambas direcciones del análisis los elementos sismorresistentes principales son los muros de concreto armado, los cuales proporcionan adecuada rigidez lateral, lo que hace que se cumpla con los lineamientos dados por la Norma Peruana Sismorresistente vigente. Las placas tienen un espesor de 30cm.

La tabiquería está formada por muros de albañilería confinada de 15cm. de espesor y se encuentra aislada de la estructura principal del edificio mediante juntas rellenas con tecnopor. Los muros se encuentran confinados con columnetas de concreto de distintas secciones transversales y por soleras de concreto armado de 15x20cm, en la mayoría de los casos

La cimentación está constituida por una platea de cimentación de concreto armado de 50cm Y 40cm. de peralte y vigas de cimentación de 30x120cm y 30x90cm respectivamente

2.2. BLOQUE B.- ANATOMIA PATOLOGICA, CENTRO OBSTETRICO, HOSPITALIZACION PEDIATRICA

En el Bloque B se tiene una edificación de concreto armado de tres pisos con una configuración estructural de muros de concreto armado y pórticos (sistema dual) en ambos sentidos. Las placas y los pórticos de concreto armado se localizaron en planta de tal manera de cumplir con los requerimientos arquitectónicos y diseño Sismorresistente. Se ha separado la estructura de las estructuras adyacentes mediante juntas de separación sísmicas.

La estructura está diseñada para poder soportar las cargas de gravedad y sísmicas de tres pisos.

Los techos están conformados por losas aligeradas de 20cm. de peralte. Para el diseño se ha considerado una sobrecarga de 300 Kg/m² en sala de operaciones, laboratorios, zona de servicios y azotea, 400 Kg/m² en corredores y escaleras y 200 Kg/m² para el resto de ambientes.

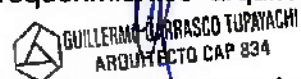
Las vigas son de 30cm de ancho con un peralte de 50cm. Las vigas se apoyan en las columnas o placas de concreto armado.

Las columnas han sido dimensionadas según los requerimientos arquitectónicos y estructurales (carga axial de gravedad y/o sismo).

En ambas direcciones de análisis los elementos sismorresistentes son los muros y pórticos de concreto armado (sistema dual). Ambos sistemas proporcionan una adecuada rigidez lateral, lo que hace que se cumpla con los lineamientos dados por la Norma Peruana Sismorresistente vigente. Las placas tienen un espesor de 30cm.



JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54533



CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO

JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

"Mejoramiento de los Servicios del Hospital II-2 Tarapoto, Provincia y Región San Martín"

PABLO PEDRO GUAYANITA SANCHEZ
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros CIP 7168

JULIO ANTONIO HIGASHI LUY
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 42096

JUAN ERNESTO ROMUALDO SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros CIP 54533

La tabiquería está formada por muros de albañilería confinada de 15cm. de espesor y se encuentra aislada de la estructura principal del edificio mediante juntas rellenas con tecnopor. Los muros se encuentran confinados con columnetas de concreto de distintas secciones transversales y por soleras de concreto armado de 15x40cm. en la mayoría de los casos

La cimentación está constituida por zapatas aisladas ó combinadas conectadas mediante vigas de cimentación y cimientos corridos armados para la tabiquería.

2.13.- BLOQUE M.- ALMACEN VACUNAS

En el Bloque M se tiene una edificación de concreto armado de un piso con una configuración estructural de muros de concreto armado en los dos sentidos de análisis de la estructura. Las placas de concreto armado se localizaron en planta de tal manera de cumplir con los requerimientos arquitectónicos y diseño sismorresistente.

La estructura está diseñada para poder soportar las cargas de gravedad y sísmicas de dos pisos.

Los techos están conformados por losas aligeradas de 20cm. de peralte. Para el diseño se ha considerado una sobrecarga de 300 Kg/m² en el techo del primer piso.

Las vigas son de 25 y 30cm. de ancho con un peralte de 50 ó 60cm. Las vigas se apoyan en las columnas o placas de concreto armado.

Las columnas han sido dimensionadas según los requerimientos arquitectónicos y estructurales (carga axial de gravedad y/o sismo).

En ambas direcciones, los elementos sismorresistentes principales son los muros de concreto armado, los cuales proporcionan una adecuada rigidez lateral, lo que hace que se cumpla con los lineamientos dados por la Norma Peruana Sismorresistente vigente. Las placas tienen un espesor 15 ó 25cm.

La tabiquería está formada por muros de albañilería confinada de 15cm. de espesor y se encuentra aislada de la estructura principal del edificio mediante juntas rellenas con tecnopor. Los muros se encuentran confinados con columnetas de concreto de distintas secciones transversales y por soleras de concreto armado de 15x40cm. en la mayoría de los casos


La cimentación está constituida por zapatas aisladas ó combinadas conectadas mediante vigas de cimentación y cimientos corridos armados para la tabiquería.

3. NORMAS UTILIZADAS

General: **Reglamento Nacional de Construcciones de Perú (RNC)**
Suelos y Cimentaciones: **Norma Técnica de Edificación NTE-E.050**

"Mejoramiento de los Servicios del Hospital II-2 Tarapoto, Provincia y Región San Martín"

 **GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI**
ARQUITECTO CAP 834


**JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORA**
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO


JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

- Cargas:** Norma Técnica de Edificación NTE-E.020
- Estructuras Metálicas:** Norma Técnica de Edificación NTE-E.090
American Institute of Steel Construction (AISC)
- Concreto Estructural:** American Concrete Institute - Code Requirements for
Environmental Engineering Concrete Structures (ACI350-01)
Norma Técnica de Edificación NTE-E.060
- Materiales:** American Society for Testing and Materials (ASTM)

Diseño en Concreto Armado

Para determinar la resistencia nominal requerida, se emplearon las siguientes combinaciones de cargas:

- | | |
|------------------|--------------------|
| 1.4 M + 1.7 V | M = carga muerta |
| 1.25 (M + V) + S | V = carga viva |
| 1.25 (M + V) - S | S = carga de sismo |
| 0.90 M + S | |
| 0.90 M - S. | |

Además, el Reglamento establece factores de reducción de resistencia en los siguientes casos:

Solicitud	Factor ϕ de Reducción
- Flexión	0.90
- Tracción y Tracción + Flexión	0.90
- Cortante	0.85
- Torsión	0.85
- Cortante y Torsión	0.85
- Compresión y Flexo compresión	
Elementos con espirales	0.75
Elementos con Estribos	0.7

Reg. del Colegio de Ingenieros CIP 7165
 GUILLERMO IRIZA A. CIVIL
 INGENIERO CIVIL

Resumiendo, para el diseño de los elementos estructurales se debe cumplir que:

Resistencia de Diseño \geq Resistencia Requerida (U)
 Resistencia de Diseño = ϕ Resistencia Nominal

JULIO ANTONIO HIGASHI LUY
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 42060

DIRECCION DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
DIRECCION GENERAL DE OBRAS Y SERVICIOS URBANOS Y RURALES
GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN

4. MATERIALES

GUILLERMO IRIZA A. CIVIL
ARQUITECTO CAP 834

JUAN ERNESTO ROMUALDO SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

Para realizar el diseño se han considerado los siguientes materiales:

4.1 ACERO DE REFUERZO

Se usó barras de acero corrugado y/o barras de acero liso del tipo grado 60. Las principales propiedades de estas barras son las siguientes:

Límite de Fluencia: $f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$

JORGES STRATER
GERENTE DE PROYECTOS
ARQUITECTO CAP 0507

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO
 JULIO CHUNG RIOS
 REPRESENTANTE LEGAL

Módulo de Elasticidad: $E_s = 2' 000,000 \text{ kg/cm}^2$

4.2 CONCRETO ARMADO

Llamado así porque dentro del concreto se tiene acero corrugado de refuerzo para que ambos sean un solo material, puedan resistir los esfuerzos aplicados a los elementos estructurales. Sus propiedades varían de acuerdo al tipo de concreto y acero:

Resistencia especificada a la compresión: $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (Ver en planos)

Módulo de Poisson: $\nu = 0.15$

Módulo de Elasticidad: $E_c = 15,000 \sqrt{f_c} = 217,000 \text{ kg/cm}^2$.

4.3 COMPONENTES DEL CONCRETO ARMADO

Cemento Portland.- El cemento a usarse para la preparación del concreto será Cemento Portland, el cual debe cumplir los requisitos impuestos por el ITINTEC para cemento Portland del Perú.

Agua.- El agua a emplearse en la preparación del concreto debe encontrarse libre de materia orgánica, fango, sales ácidos y otras impurezas y si se tiene duda del agua a emplear realizar los ensayos químicos de determinación de la calidad.

Agregados.- Son primordiales en los agregados las características de densidad, resistencia, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas llamada también granulometría o gradación.

Aditivos.- Se usarán de acuerdo a las modificaciones de las propiedades del concreto que uno desee menos la resistencia, los aditivos son muy sensitivos y dependen de la arena, piedra, agua y cemento que se utilicen.

4.4 ALBAÑILERÍA

Material estructural conformado por unidades de albañilería de características definidas asentadas con morteros especificados. Dentro de los tipos de albañilería empleados en nuestro edificio tenemos los siguientes:

Muros no portantes.- Muro diseñado y construido en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio. Este tipo de albañilería se usa en parapetos y tabiques.

4.4.1 COMPONENTES DE LA ALBAÑILERÍA CONFINADA

Mortero.- Constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado (Tipo P2) en la siguiente proporción: cemento: cal hidratada: arena 1:1/2: 4.

"Mejoramiento de los Servicios del Hospital II-2 Tarapoto, Provincia y Región San Martín"

PROYECTO DE MEJORA DE SERVICIOS
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros CIP. 7165

JULIO ANTONIO AGASHI LUY
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 42880

PROCESO SAN MARTÍN
DIRECCION DE ESTUDIOS Y PROYECTOS
DIRECCION DE INGENIERIA CIVIL Y BARRIO UNIFICADO

GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI
ARQUITECTO CAP 834

JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

JORGE KIMURA CABRISTAR
INGENIERO CIVIL
DIRECCION DE PROYECTOS

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO
JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

5.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE PLACAS

La Norma NTE-060 en el acápite 15.4.1.1 especifica que las placas serán dimensionadas teniendo especial cuidado con los esfuerzos de compresión en sus extremos y su resistencia al pandeo, por esta razón se evaluó con sumo cuidado los puntos donde llegan las vigas transversales.

Para las placas se asumió inicialmente dimensiones tentativas y se verificó que la resistencia requerida a la sollicitación principal a la que están sometidas, que son las fuerzas cortantes por efecto de fuerzas sísmicas, sean menores a la resistencia de diseño.

A. CÁLCULO DE RESISTENCIA REQUERIDA:

Para evaluar la resistencia requerida en cada una de las placas se asume que la fuerza cortante basal definida por la NTE-030 será absorbida proporcionalmente a la rigidez de la placa.

Se calcula la cortante basal: $V = 0.35 P$

$$V = \frac{ZUSC \times P}{R}$$

Donde:

Z = Factor de zona

U = Factor de uso e importancia

S = Factor de suelo

C = Coeficiente de amplificación Sísmica

R = Factor de reducción

P = Peso de la edificación

Teniendo en cuenta las siguientes características:

GUILLERMO LIZZA ALCANTARA
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros CIP 7165

GUILLERMO CARRASCO TUPAYAC
ARQUITECTO CAP 834

5.3 EJEMPLO DE PREDIMENSIONAMIENTO DE PLACAS DEL BLOQUE A.

Número de pisos	4	
Área del 1º nivel	2296	m ²
Área del 2º nivel	2358	m ²
Área del 3º nivel	2187	m ²
Área del 4º nivel	2113	m ²
Altura del bloque (hn)	17 m	m ²
Peso total de edificio	11035	Ton



JULIO ANTONIO HIGASHI LUY
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 42080

JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO

JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

Se evaluó la cortante basal para las direcciones X-X e Y-Y como se muestra en la tabla siguiente:

Parámetros	Dirección	Dirección
	X-X	Y-Y
Factor de zona (Z)	0.30	0.40
Factor de uso (U)	1.5	1.50
Factor de suelo (S)	1.40	1.40
Periodo del suelo en seg. (Tp)	0.90	0.90
Periodo de la estructura (seg)	60	60
Periodo de la estructura (T)	0.22	0.28
$C=2.5(TP / T)$, $C < 2.5$	2.5	2.5
Coefficiente de reducción (R)	6	6
Cortante Basal "V=ZUCSP/R" ton	2896	2896

En ambas direcciones el sistema estructural se puede clasificar como Muros de Concreto Armado el cual está asociado a un coeficiente de reducción de fuerza sísmica de 6.

Cálculo de Resistencia de Diseño

Para poder evaluar la resistencia de diseño se consideró el aporte del concreto y el acero según:

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b d$$

$$V_c = 7.6 \text{Kg/cm}^2 * (b*d)$$

Más el aporte del acero será: $V_c = 10 \text{Kg/cm}^2 * (b*d) = (100 \text{Ton/m}^2) * b*d$

La primera parte de la fórmula considera el aporte del concreto y la segunda parte el aporte del acero, además:

$$\Phi = 0.85, \quad d = 0.8 L \text{ (placas)}$$

Del resultado de la tabla se requiere soportar 2896 Ton por lo tanto:

$$T = V/A = 100 \text{ton/m}^2 = 2896 \text{ ton/A} \Rightarrow A = 2896 \text{ ton} / 100 \text{ton/m}^2 = 28 \text{ m}^2$$

(Área total de placas).

Mejoramiento de los Servicios del Hospital II-2 Tarapoto, Provincia y Región San Martín

GUILLELMO RIVERA ALCAYDE
ARQUITECTO CAP 834



JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Espec. CIP N° 54583

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO

JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

En la dirección X-X:

Área total de placas = $100m \times 0.30m = 30.2 m^2$

$30 m^2 > 28 m^2$ Si cumple.

En la dirección Y-Y:

Área total de placas = $84m \times 0.30m = 25 m^2$

$25 m^2 > 28 m^2$ ok. Aproximadamente con el modelo se confirma la veracidad de la cantidad de placas que se necesita.

6. METRADO DE CARGAS

En este capítulo, se mostrará el cálculo de las cargas de gravedad que se aplican a la estructura. Las cargas de gravedad son la Carga Muerta y la Carga Viva.

Como regla general, al metrar cargas se debe pensar en la manera como se apoya un elemento sobre otro, las cargas existentes en un nivel se transmiten a través de la losa del techo hacia las vigas que la soportan, luego estas vigas al apoyarse sobre las columnas, le transfieren su carga, posteriormente las columnas transfieren las cargas hacia sus elementos de apoyo que son las zapatas, finalmente las cargas pasan a actuar sobre el suelo de cimentación.

El metrado se hará mediante el método de área tributaria o zonas de influencia separando la carga muerta de la carga viva. Los valores de cargas y pesos unitarios a usar son los siguientes y han sido tomados de la NTE E.020 de Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Peso Unitario		
Losa Aligerada (20cm)	300	Kg/m ²
Losa Aligerada (25cm)	350	Kg/m ²
Piso Terminado	100	Kg/m ²
Concreto Armado	2400	Kg/m ³
Albañilería Hueca (1400x0.15)	210	Kg/m ²

Sobrecarga	
Sala de operaciones, Laboratorios y sala de servicios	
	300 Kg/m ²
Corredores y escaleras	400 Kg/m ²
Estructura liviana	50 Kg/m ²

El análisis se ha desarrollado haciendo uso del programa ETABS Nonlin v.8.5.4 elaborado por Computers and Estructures Inc. Y permite colocar las cargas de gravedad y definir la carga sísmica. Adicionalmente al colocar las dimensiones de los elementos y definir la densidad del concreto como parámetro me permite modelar de una manera muy cercana a la realidad estos elementos.

Como ejemplo se muestran a continuación la forma como se colocaron las cargas muertas y vivas en las losas con el programa ETABS 8.5.4. Este programa reparte las cargas colocadas en el Bloque F.



JUAN ERNESTO ROMUALDO SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

"Mejoramiento de los Servicios del Hospital II-2 Tarapoto, Provincia y Región San Martín"

GUILLERMO CALDERAS TIPAVACHI
ARQUITECTO CAP. B34

JULIO ANTONIO TRIGASHI LUY
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 42090



7. ANALISIS SISMICO

7.1 MODELO ESTRUCTURAL

El análisis se ha desarrollado haciendo uso del programa ETABS Nonlin v.8.5.4 elaborado por Computers and Structures Inc. La carga sísmica total se ha calculado tomando el 100% de la Carga Muerta y el 50% de la carga viva (para hospitales), tal como lo señala la norma NTE-030 de diseño Sismorresistente.

El análisis sísmico se desarrolló de acuerdo a las indicaciones de la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE-030.

Se empleo un modelo espacial con diafragmas rígidos en cada sistema de piso. Como coordenadas dinámicas se consideraron 3 traslaciones y 3 giros. De estos 6 grados de libertad, los desplazamientos horizontales y el giro en la vertical se establecieron dependientes del diafragma. Se consideraron la deformación por fuerza axial, cortante, flexión y torsión.

La Norma NTE-030 señala que al realizar el análisis sísmico empleando el método de superposición espectral se debe considerar como criterio de superposición el ponderado entre la suma de absolutos y la media cuadrática según se indica en la siguiente ecuación:

$$r = 0.25 \sum |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum r_i^2}$$

Alternativamente se puede utilizar como criterio de superposición la combinación cuadrática completa (CQC). En el presente análisis se utilizó este último criterio.

7.2 NORMAS Y PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO

El análisis sísmico se efectuó siguiendo las indicaciones de la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE.030 del 2006.

La respuesta sísmica se determinó empleando el método de superposición espectral considerando como criterio la "Combinación Cuadrática Completa", (CQC) de los efectos individuales de todos los modos.



7.3 PARÁMETROS SÍSMICOS PARA TODOS LOS PABELLONES

Tal como lo indica la Norma E.030, y de acuerdo a la ubicación de la estructura y las consideraciones de suelo proporcionadas, los parámetros para definir el espectro de diseño fueron:



JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
CIP N° 54533

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO

JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL



GUILLELMO LUIZA AICWIC
ARQUITECTO CAP 834



JULIO ANTONIO HIGASHI LUY
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 42088





Factor de zona (Zona 3): $Z = 0.3 \text{ g}$

Perfil de Suelo (Tipo S3): $S = 1.4 \quad T_p = 0.9$

Factor de Categoría (Categoría A): $U = 1.5$

Factor de Reducción:

$R_{xx} = 6$ (Factor de Reducción para estructuras donde prevalece las placas de Concreto Armado).

$R_{yy} = 7$ (Factor de Reducción para estructuras DUALES donde prevalece las placas de Concreto Armado y los Pórticos de concreto Armado).

$R_{yy} = 8$ (Factor de Reducción para estructuras donde prevalece los Pórticos de concreto Armado).

7.4 MODELOS DE ANÁLISIS Y RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO

Para el análisis sísmico y de gravedad, la edificación se modeló con elementos con deformaciones por flexión, fuerza cortante y carga axial.

Para cada nudo se consideraron 6 grados de libertad estáticos y para el conjunto tres grados de libertad dinámicos correspondientes a dos traslaciones horizontales y a una rotación plana asumida como un diafragma rígido en cada nivel.

El cálculo de los desplazamientos elásticos se realizó considerando todos los modos de vibración y 5 % de amortiguamiento en la Combinación Cuadrática Completa.

Los desplazamientos inelásticos se estimaron multiplicando los desplazamientos de la respuesta elástica por el factor de reducción correspondiente, de acuerdo al esquema estructural adoptado en cada dirección. Las siguientes figuras presentan las vistas de los modelos de análisis estructural empleado en cada sector:



CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO
.....
JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

**JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORA**
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

GUILERMO TORO TORO
ARQUITECTO CAP 634

.....
LUIS ESTEBAN TORO TORO
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

Modelo - Bloque A

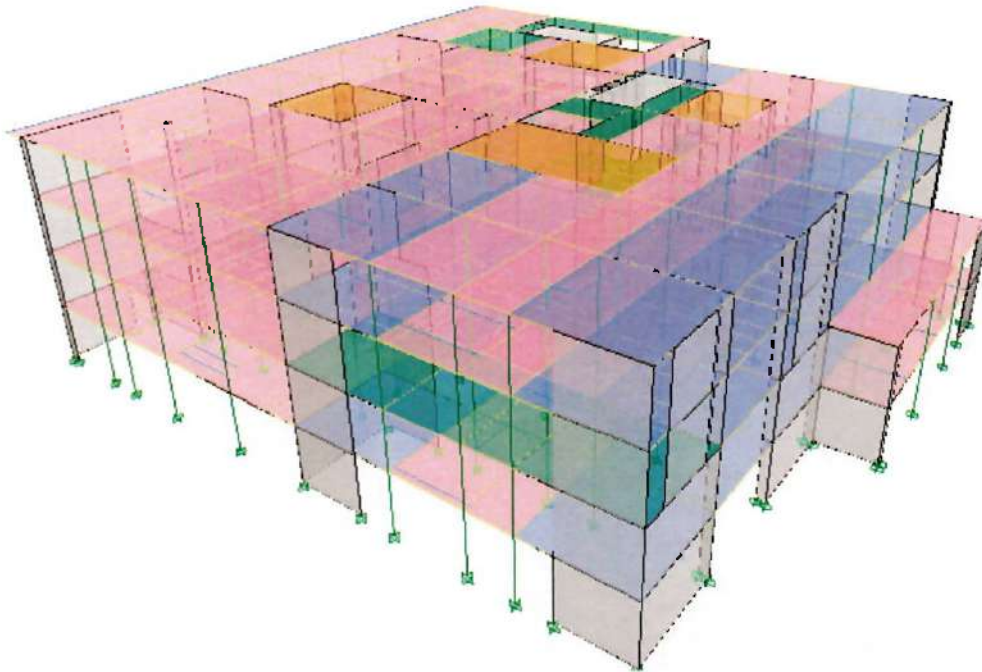


Figura Vista tridimensional del modelo estructural

A continuación se presentan los máximos desplazamientos en las dos direcciones obtenidos:

	Nivel	Relat. Al Suelo (cm)	Despl. de Entrepiso Δ (cm)	Distorsión	Permitido
				Δ/h (‰)	Δ/h (‰)
Sismo X-X	01TECHO	0.36	0.36	0.8	7
	02TECHO	0.99	0.63	1.5	7
	03TECHO	1.89	0.90	2.1	7
	04TECHO	2.61	0.72	1.7	7
Sismo Y-Y	01TECHO	0.54	0.54	1.3	7
	02TECHO	1.53	0.99	2.3	7
	03TECHO	2.93	1.40	3.3	7
	04TECHO	4.37	1.44	3.4	7



JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 54583

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO

JULIO CHUNG RIOS
REPRESENTANTE LEGAL

"Mejoramiento de los Servicios del Hospital II-2 Tarapoto, Provincia y Región San Martín"

GUILLERMO CARRASCO TUPPAACHI
ARQUITECTO CAP 634

JULIO ANTONIO HIGASHI LUY
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 42180

JUAN CARLOS CANZANZA
INGENIERO CIVIL
Reg. del Colegio de Ingenieros N° 211207



ANEXOS

Análisis Sísmico Bloque A Dirección X-X.

Bloque A
VERSION: 1 FECHA: 15/06/2012 Unidades : Ton-m

NIVEL	MassX	Peso (Ton)	ALTURA	AREA	γ (Peso/Area)
01TECHO	316.6	3105.6	4.25	2296	1.35
02TECHO	308.3	3024.5	4.25	2358	1.28
03TECHO	297.5	2918.9	4.25	2187	1.33
04TECHO	202.5	1906.0	4.25	2113	0.94
		11034.9	17.0		

SISMO X-X

PARAMETROS SISMICOS

Z =	0.30		
U =	1.5		
S =	1.4	TP =	0.90
T =	0.22		
C =	2.50		
R =	6.00		
C/R =	0.42		
Entonces C/R =	0.417		

ANALISIS

ESTATICO $V = \frac{ZUCS}{R} \cdot P = 0.26 P =$ **2897** Ton

Nivel	hi	Pi	Pihi	Fx	Mx
01TECHO	4.25	3106	13199	348	54028.4
02TECHO	8.50	3024	25708	678	102481.4
03TECHO	12.75	2919	37216	981	143176.5
04TECHO	17.00	1986	33763	890	88380.3
		11035	109885	2897	

DINAMICO Espectro:

$Sa = \frac{ZUCS}{R} \cdot g =$ **2.58** (Plataforma)

FUERZAS BASALES

	T (s)	V _{dinamico}	V _{estatico}	REGULAR	0.8Vest	Factor
SISMO X-X	0.22	1738	2897	0.80	2317	1.33

DESPLAZAMIENTO DE LOS CENTROS DE MASA $\Delta/h_{e,mto} =$ **7** ‰

NIVEL	Point	UX	U _{inelastico} (cm)	Δ (cm)	D/he ‰	Resultado
01TECHO	808	6.00E-04	0.27	0.27	0.64	PASA
02TECHO	807	1.60E-03	0.72	0.45	1.06	PASA
03TECHO	806	2.90E-03	1.31	0.59	1.38	PASA
04TECHO	805	4.10E-03	1.85	0.54	1.27	PASA

DESPLAZAMIENTO MAXIMOS

NIVEL	Point	UX	U _{inelastico} (cm)	Δ (cm)	D/he ‰	Resultado
01TECHO	8	8.00E-04	0.36	0.36	0.85	PASA
02TECHO	8	2.20E-03	0.99	0.63	1.48	PASA
03TECHO	778	4.20E-03	1.89	0.90	2.12	PASA
04TECHO	45	5.80E-03	2.61	0.72	1.69	PASA

JUNTA SISMICA $S(\text{fórmula}) \times X = 3 + 0.004(h-500) =$ **7.8**
 $S_{min} =$ **3.0**
 $2/3(D_{max} + D_{vecinc})$ **?**
 $S =$ **7.8**

entonces $2/3 \times D_{max}$ **1.74**
 $S/2$ **3.90**

El edificio necesita una junta de: **3.9** cm



JULIO ANTONIO HIGASHI LL
 INGENIERO CIVIL
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 429

JULIO ANTONIO HIGASHI LL
 INGENIERO CIVIL
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 429

JUAN ERNESTO ROMUALDO
 SANCHEZ MAYORA
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 54583

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO

JULIO CHUNG RÍOS
 REPRESENTANTE LEGAL

GUILLERMO CARRASCO TUPPACH
 ARQUITECTO, CAP 834



79

Análisis Sísmico Bloque A. Dirección Y-Y.

Bloque A
VERSION: 1 FECHA: 15/06/2012 Unidades: Ton-m

NIVEL	MassX	Peso (Ton)	ALTURA	AREA	γ (Peso/Area)
01TECHO	316.6	3105.6	4.25	2296	1.35
02TECHO	308.3	3024.5	4.25	2358	1.28
03TECHO	297.5	2918.9	4.25	2187	1.33
04TECHO	202.5	1986.0	4.25	2113	0.94
		11035	17.00		

SISMO Y-Y

PARAMETROS SISMICOS

Z =	0.30		
U =	1.5		
S =	1.4	TP =	0.90
T =	0.28		
C =	2.50		
R =	6.00		
C/R =	0.42		
Entonces C/R =	0.417		

ANALISIS

ESTATICO

$$V = \frac{ZUCS}{R} P = 0.26 P = 2897 \text{ Ton}$$

Nivel	hi	Pi	Pihi	Fy	My
1	4.25	3106	13199	348	5507.3
02TECHO	8.50	3024	25708	678	10446.6
03TECHO	12.75	2919	37216	981	14595.0
04TECHO	17.00	1986	33763	890	9009.2
		11035	109885	2897	

DINAMICO

Espectro:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g = 2.58 \text{ (Plataforma)}$$

FUERZAS BASALES

	T (s)	V _{dinamico}	V _{estatico}	REGULAR	0.8V _{est}	Factor
SISMO Y-Y	0.28	1770	2897	0.80	2317	1.31

DESPLAZAMIENTO DE LOS CENTROS DE MASA

$$\Delta/h_{\text{limite}} = 7 \text{ ‰}$$

NIVEL	Point	UY	U _{inelastico} (cm)	Δ (cm)	D/h _e ‰	Resultado
01TECHO	808	8.00E-04	0.36	0.36	0.85	PASA
02TECHO	807	2.40E-03	1.08	0.72	1.69	PASA
03TECHO	806	4.50E-03	2.03	0.95	2.22	PASA
04TECHO	805	6.50E-03	2.93	0.90	2.12	PASA

DESPLAZAMIENTO MAXIMOS

NIVEL	Point	UY	U _{inelastico} (cm)	Δ (cm)	D/h _e ‰	Resultado
01TECHO	692	1.20E-03	0.54	0.54	1.27	PASA
02TECHO	692	3.40E-03	1.53	0.99	2.33	PASA
03TECHO	692	6.50E-03	2.93	1.40	3.28	PASA
04TECHO	692	9.70E-03	4.37	1.44	3.39	PASA

JUNTA SISMICA

$$S(\text{fórmula}) XX = 3 + 0.004(n-500) = 7.8$$

$$S_{\text{min}} = 3.0$$

$$2/3(D_{\text{max}} + D_{\text{vecino}}) = ?$$

$$S = 7.8$$

**JUAN ERNESTO ROMUALDO
SANCHEZ MAYORCA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 5450**

Entonces

$$2/3 \times D_{\text{max}} = 2.9$$

$$S/2 = 3.9$$

El edificio necesita una junta de: 3.9 cm

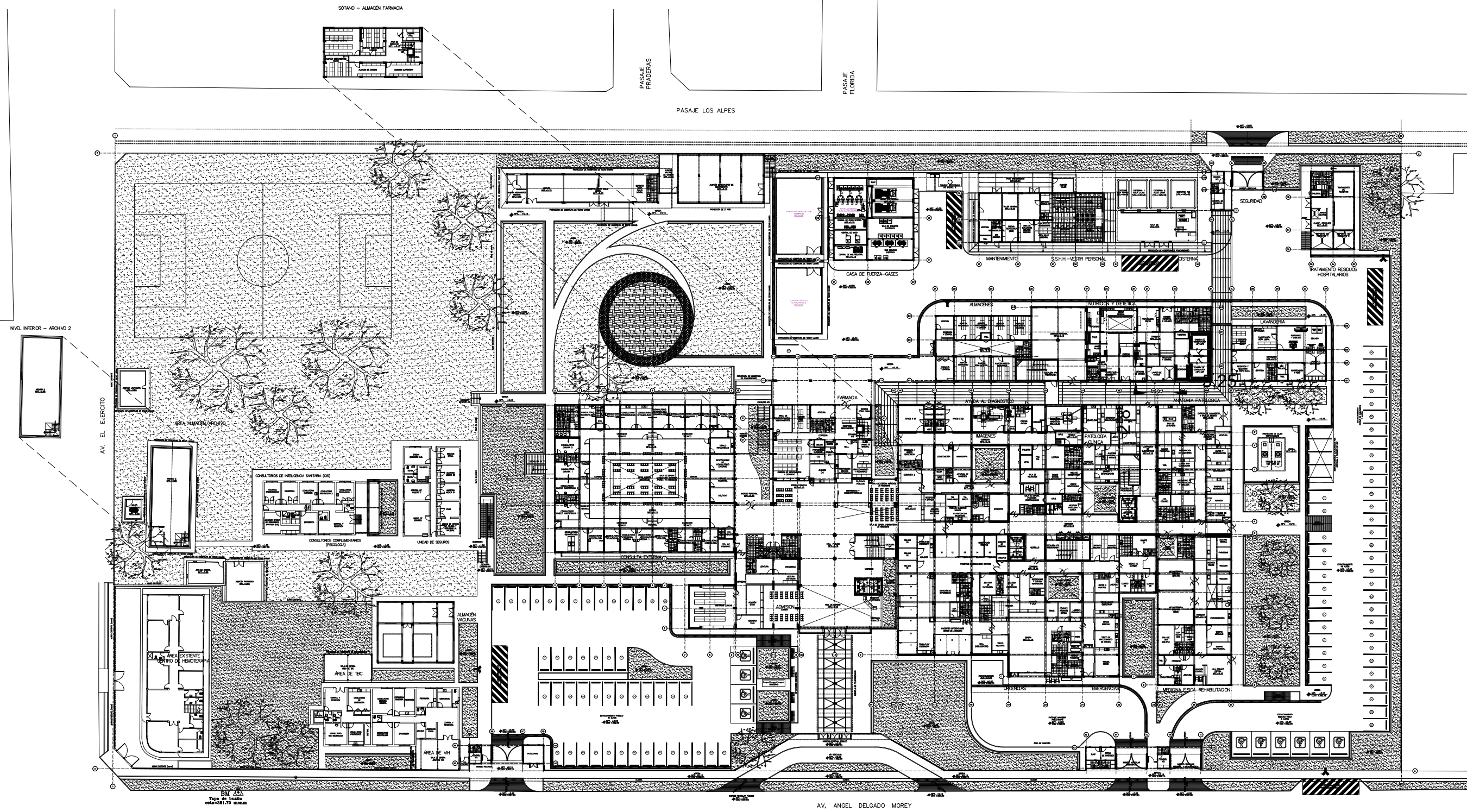
CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL DE TARAPOTO

JULIO CHUNG RIOS
INGENIERO CIVIL

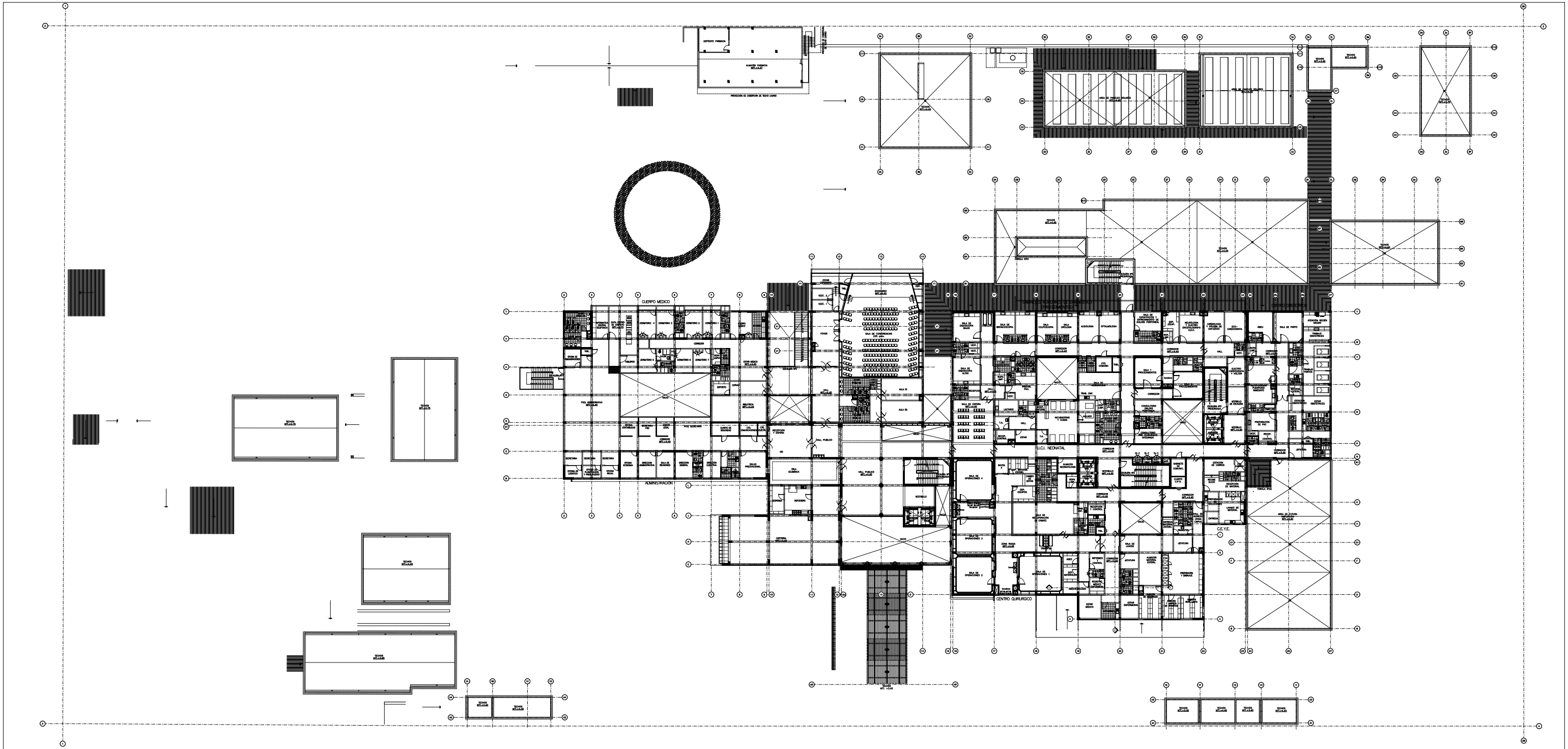


Apéndice F: Planos

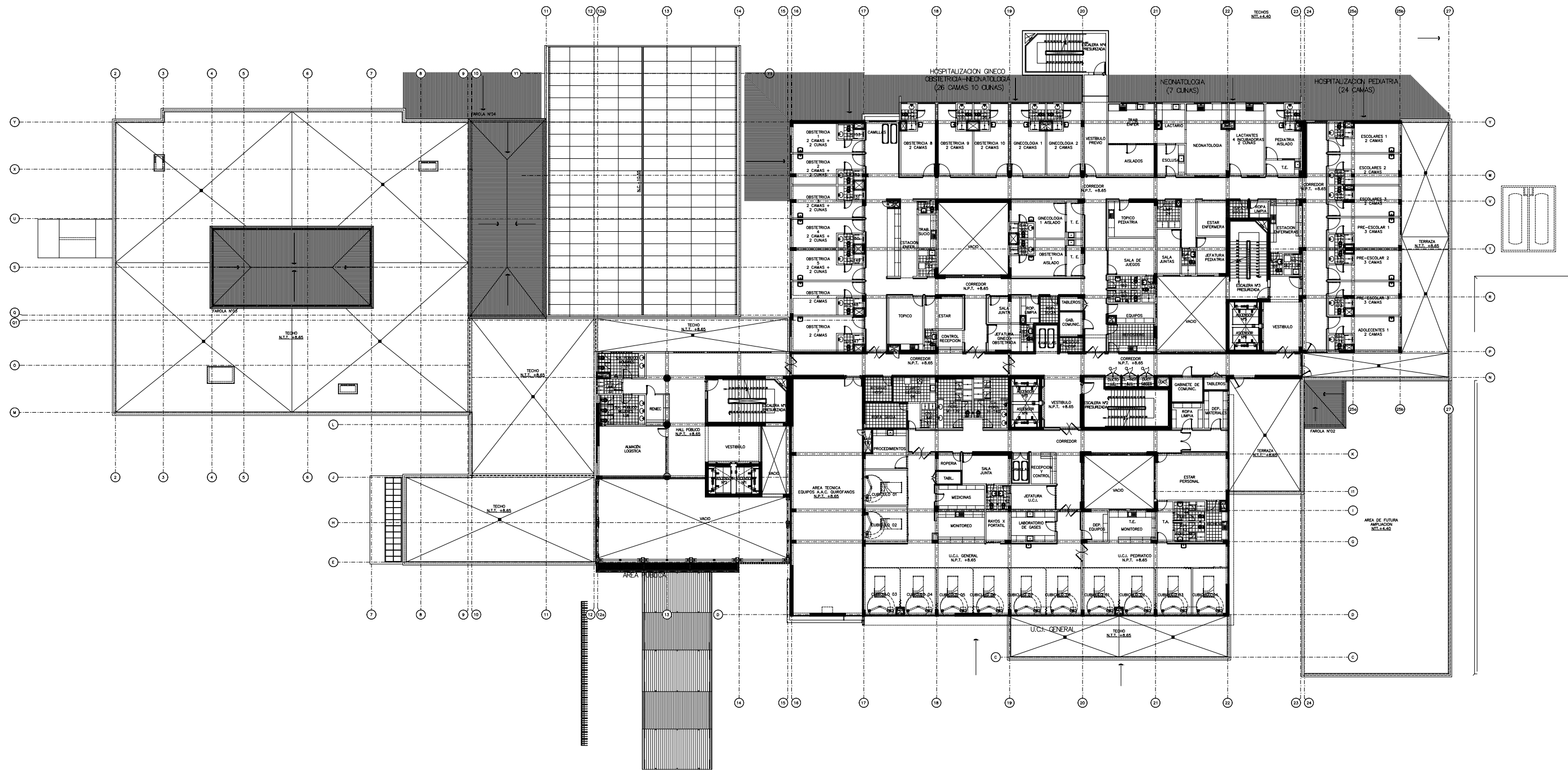
1. PLANTA GENERAL PRIMER PISO
2. PLANTA GENERAL SEGUNDO PISO
3. PLANTA GENERAL TERCER PISO
4. PLANTA GENERAL CUARTO PISO
5. PLANTA GENERAL QUINTO PISO
6. E1 DETALLES GENERALES
7. E2 CIMENTACIÓN (BLOQUE A-1)
8. E3 CIMENTACIÓN (BLOQUE A-2)
9. E10 VIGAS DE CIMENTACIÓN Y MUROS
10. E13 VIGAS DE CIMENTACIÓN Y MUROS
11. E15 PLACAS
12. E16 COLUMNAS Y PLACAS HOSPITAL
13. E21 ENCOFRADO PRIMER PISO -BLOQUE A-1
14. E22 ENCOFRADO PRIMER PISO -BLOQUE A-2
15. E29 ENCOFRADO SEGUNDO PISO -BLOQUE A-1
16. E30 ENCOFRADO SEGUNDO PISO -BLOQUE A-2
17. E34 ENCOFRADO TERCER PISO -BLOQUE A-1
18. E35 ENCOFRADO TERCER PISO -BLOQUE A-2
19. E37 ENCOFRADO CUARTO PISO -BLOQUE A-1
20. E38 ENCOFRADO CUARTO PISO -BLOQUE A-2
21. E39 VIGAS HOSPITAL A-VIGAS A
22. E40 VIGAS HOSPITAL A-VIGAS A
23. E41 VIGAS HOSPITAL A-VIGAS A
24. E61 UBICACIÓN HOSPITAL



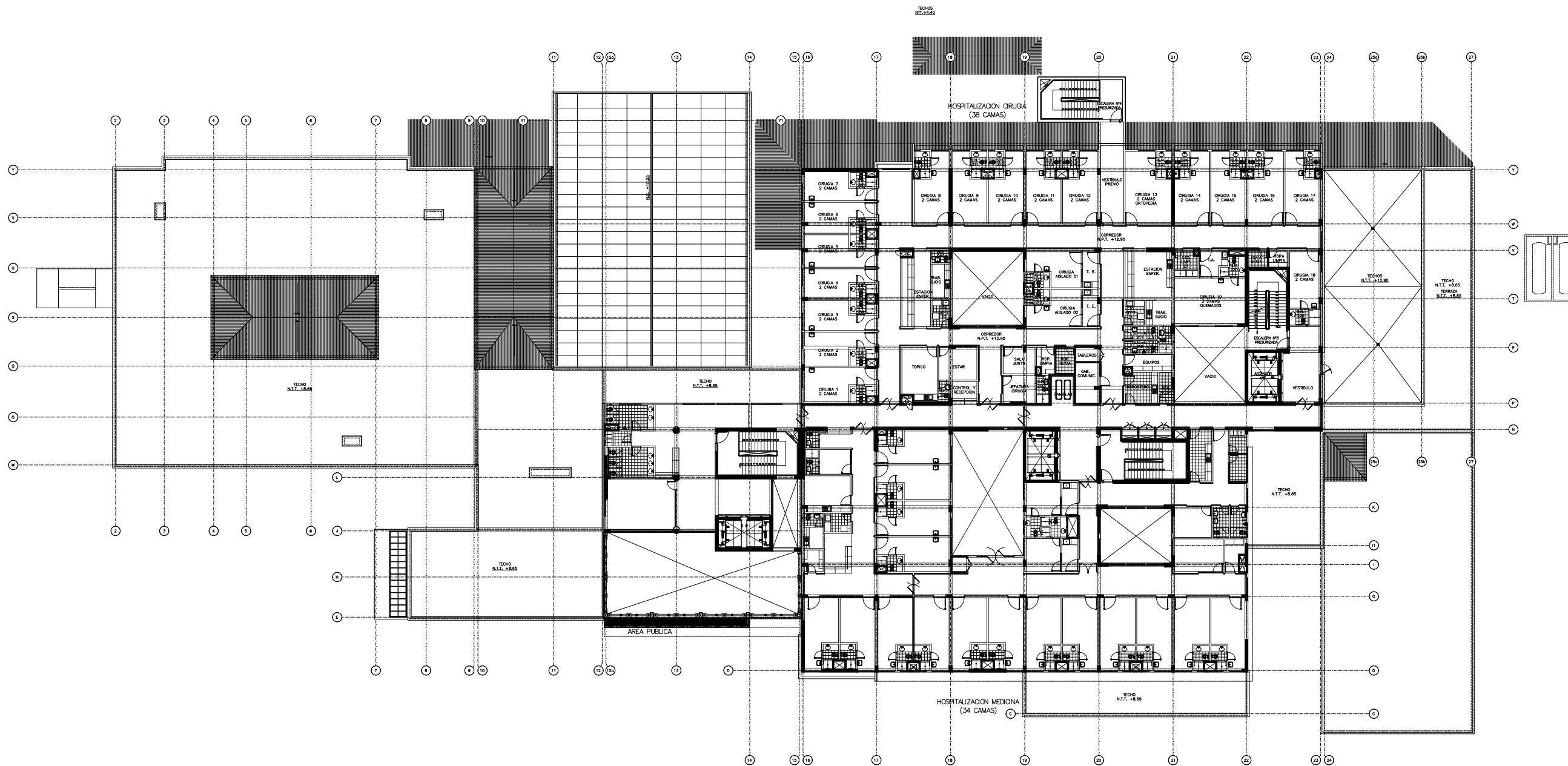
GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN UNIDAD EJECUTORA HOSPITAL N.º 2 TARAPOTO INGENIERIA HOSPITALARIA					
SERVICIO 1	"PLANOS ACTUALIZADOS 2023 DE LA DISTRIBUCION GENERAL DE ARQUITECTURA DEL HOSPITAL N.º 2 TARAPOTO"				LAMINA 1
PLANO 1	ARQUITECTURA - PLANTA GENERAL PRIMER PISO				AG-01
DISTRITO 1 TARAPOTO	PROVINCIA 1 SAN MARTIN	DEPARTAMENTO 1 SAN MARTIN	DIBUJO 1 DSP	ESCALA 1 1/250	FECHA 1 MAYO 2023



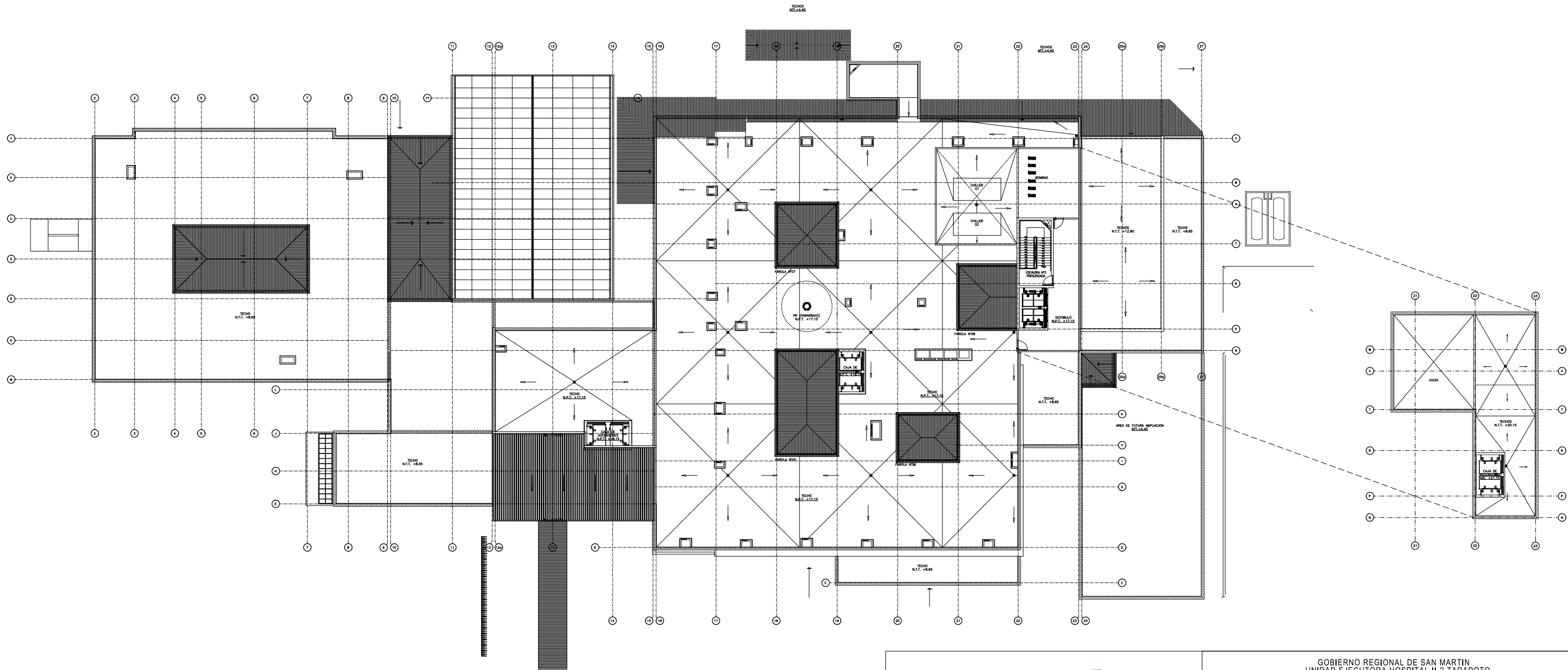
GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN UNIDAD EJECUTORA HOSPITAL II-2 TARAPOTO INGENIERIA HOSPITALARIA				
SERVICIO :	"PLANOS ACTUALIZADOS 2023 DE LA DISTRIBUCION GENERAL DE ARQUITECTURA DEL HOSPITAL II.2 TARAPOTO"			LAMINA :
PLANO :	ARQUITECTURA - PLANTA GENERAL SEGUNDO PISO			AG-02
DISTRITO :	PROVINCIA :	DEPARTAMENTO :	DIBUJO :	ESCALA :
TARAPOTO	SAN MARTIN	SAN MARTIN	DSP	1/250
				FECHA :
				MAYO 2023



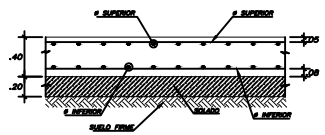
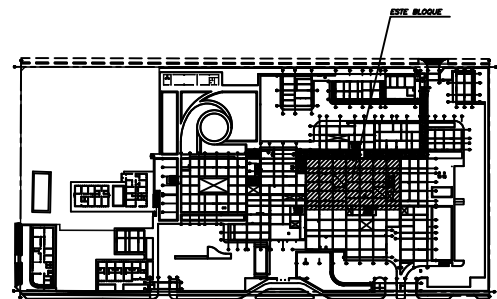
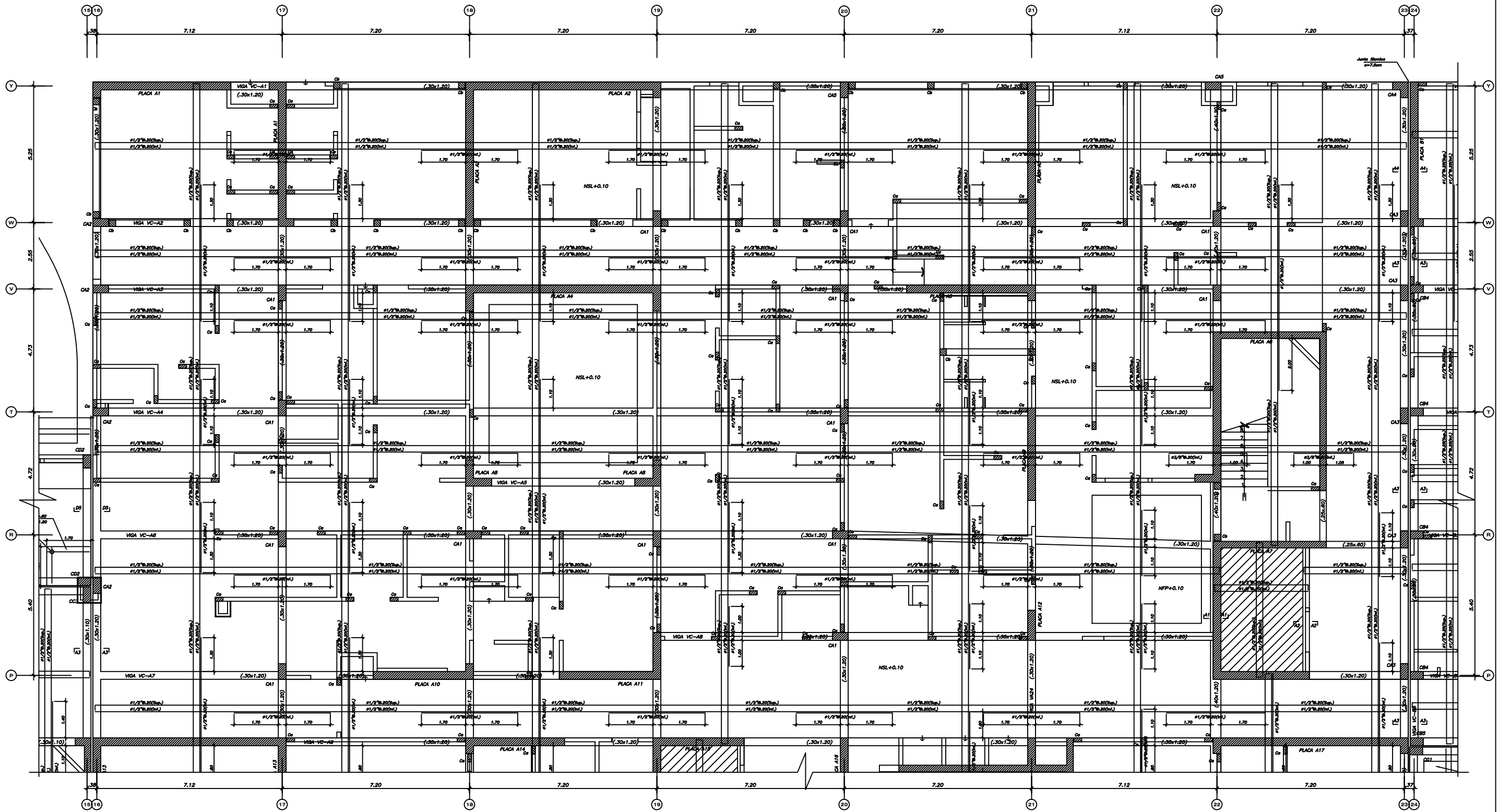
GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTÍN UNIDAD EJECUTORA HOSPITAL II-2 TARAPOTO INGENIERÍA HOSPITALARIA					
SERVICIO :	"PLANOS ACTUALIZADOS 2023 DE LA DISTRIBUCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA DEL HOSPITAL II-2 TARAPOTO"				LÁMINA :
PLANO :	ARQUITECTURA - PLANTA GENERAL TERCER PISO				AG-03
DISTRITO :	PROVINCIA :	DEPARTAMENTO :	DIBUJO :	ESCALA :	FECHA :
TARAPOTO	SAN MARTÍN	SAN MARTÍN	DSP	1/250	MAYO 2023



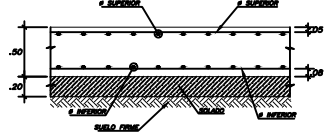
GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN UNIDAD EJECUTORA HOSPITAL II-2 TARAPOTO INGENIERIA HOSPITALARIA					
SERVICIO :					LAMINA :
"PLANOS ACTUALIZADOS 2023 DE LA DISTRIBUCIÓN GENERAL DE ARQUITECTURA DEL HOSPITAL II.2 TARAPOTO"					AG-04
PLANO :					
ARQUITECTURA - PLANTA GENERAL CUARTO PISO					
DISTRITO :	PROVINCIA :	DEPARTAMENTO :	DIBUJO :	ESCALA :	FECHA :
TARAPOTO	SAN MARTIN	SAN MARTIN	DSP	1/250	MAYO 2023



GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN UNIDAD EJECUTORA HOSPITAL II-2 TARAPOTO INGENIERIA HOSPITALARIA					
SERVICIO : "PLANOS ACTUALIZADOS 2023 DE LA DISTRIBUCION GENERAL DE ARQUITECTURA DEL HOSPITAL II-2 TARAPOTO"					LAMINA :
PLANO : ARQUITECTURA - PLANTA GENERAL QUINTO PISO					AG-05
DISTRITO : TARAPOTO	PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN	DIBUJO : DSP	ESCALA : 1/250	FECHA : MAYO 2023



DETALLE DE LOSA DE CIMENTACION h=40

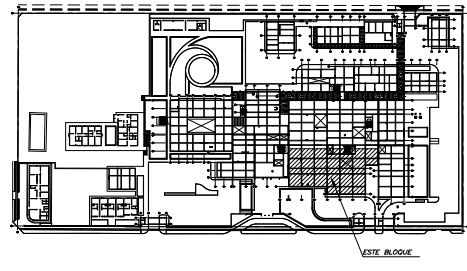
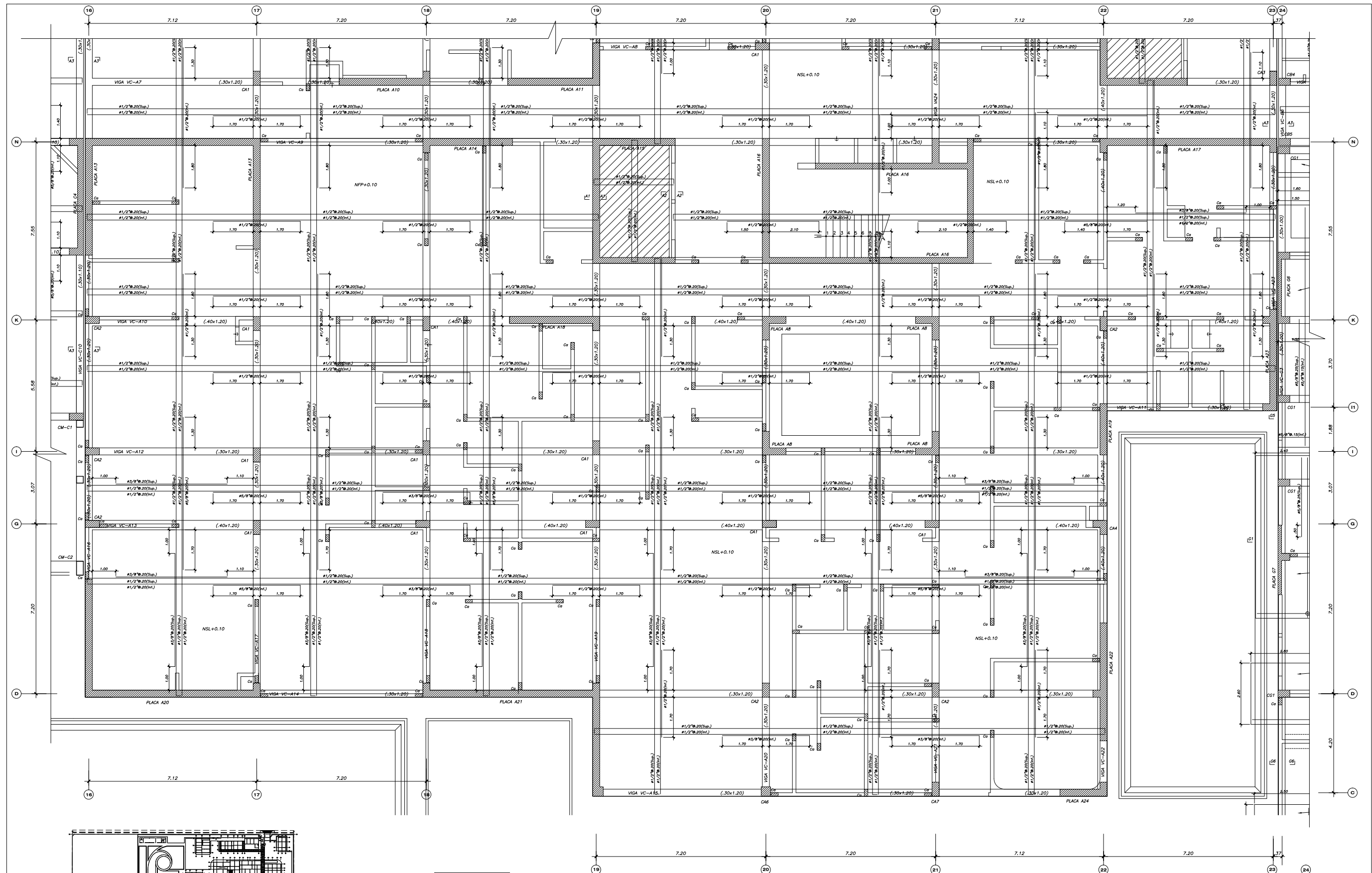


DETALLE DE LOSA DE CIMENTACION h=50

PLATEA DE CIMENTACION (Bloque A)

- PARA EL TRAZO DE CIMENTACION VER ARQUITECTURA
- LA PLATEA SE APOYARA SOBRE UNA BASE DE AFIRMADO COMPACTADO EN CAPAS DE 20cm AL 95% DE LA MAXIMA DENSIDAD SECA DEL PROCTOR MODIFICADO HASTA EL NIVEL DE FONDO DE AFIRMADO DE -3.40
- PLATEA DE CIMENTACION h=50
- ESCALA 1/75

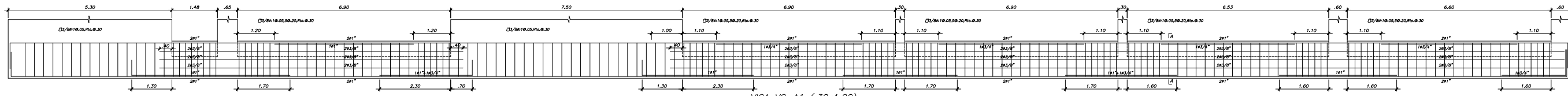
CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO		SUPERVISION GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"	
PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR ING LUIS ESPINOSA ORRIZA CLP 41807 COORDINADOR: ING GILBERTO ORRIZO TUPICH CAP. 0834		ESTRUCTURA PLATEA DE CIMENTACION (Bloque A) 1		LAMINA 1 E-2	
DISTRITO: TARAPOTO	PROVINCIA: SAN MARTIN	DEPARTAMENTO: SAN MARTIN	DISEÑO: EMIR	ESCALA: 1/50	FECHA: MAYO 2012



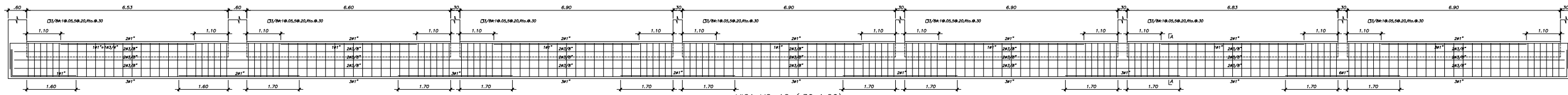
LEYENDA
 NTN = NIVEL TERRENO NATURAL
 NFP = NIVEL FALSO PISO
 NFZ = NIVEL FONDO ZANJA
 NFC = NIVEL FONDO CEMENTO
 NFA = NIVEL FONDO DE ARMADO
 NL = NIVEL UNIÓN
 NSL = NIVEL SUPERIOR DE LOSA

**CONSORCIO
 PROYECTO
 HOSPITAL
 TARAPOTO**

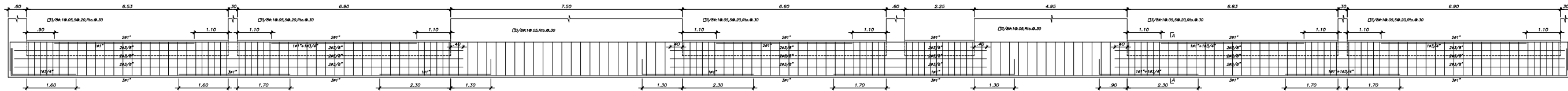
SUPERVISIÓN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LÁMINA:
GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN	DESCRIPCIÓN:	ESTRUCTURA PLATA DE CIMENTACION (BLOQUE A) 2		E-3
PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR ING JULIO ESPINOZA CARRANZA C.I.P. 41807	PROFESIONAL RESPONSABLE:	ING JULIO HIGASHI LUY ING RODRIGO ALVARADO BARZOLA		
COORDINADOR: ING. GUILLERMO GARRIDO TURPKACH C.A.P. 0834	DISTRITO:	PROVINCIA:	DEPARTAMENTO:	C.I.P. 42080 94591
	TARAPOTO	SAN MARTIN	SAN MARTIN	ESCALA: 1/50 FECHA: MAYO 2012



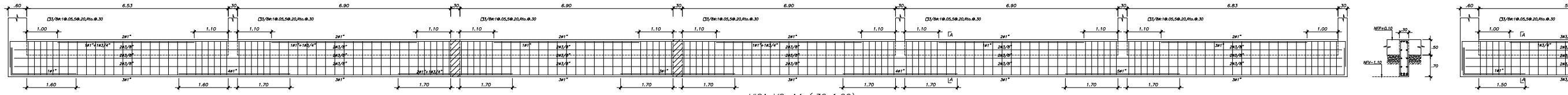
VIGA VC-A1 (30x1.20)
ESC: 1/50



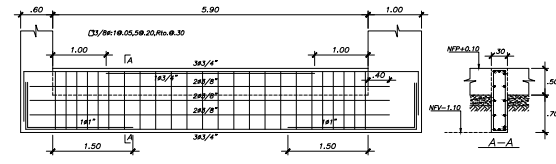
VIGA VC-A2 (30x1.20)
ESC: 1/50



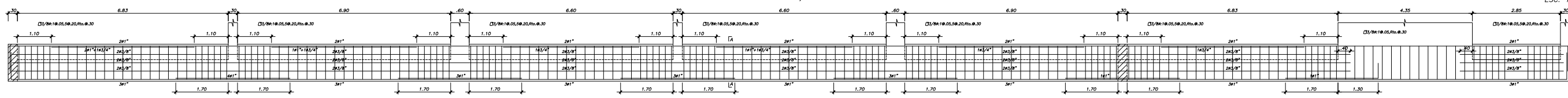
VIGA VC-A3 (30x1.20)
ESC: 1/50



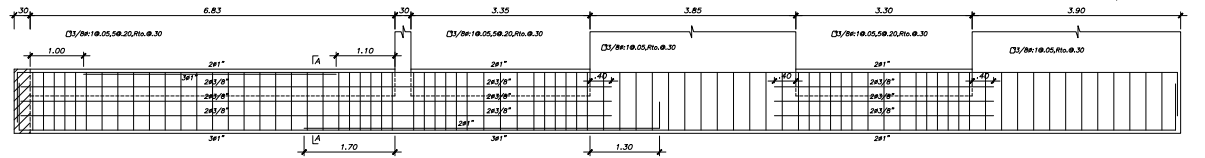
VIGA VC-A4 (30x1.20)
ESC: 1/50



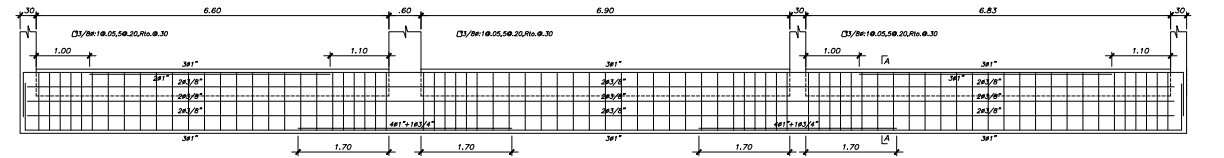
VIGA VC-A5 (30x1.20)
ESC: 1/50



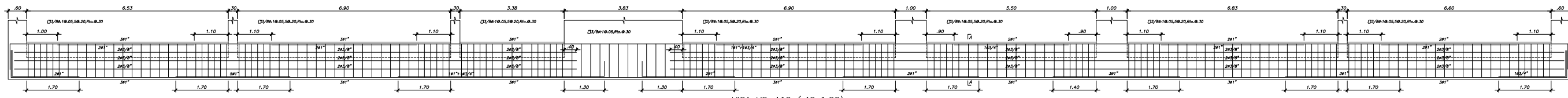
VIGA VC-A6 (30x1.20)
ESC: 1/50



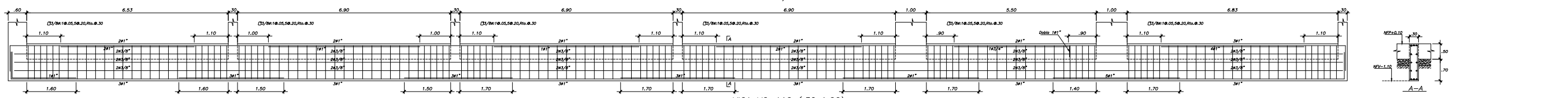
VIGA VC-A7 (30x1.20)
ESC: 1/50



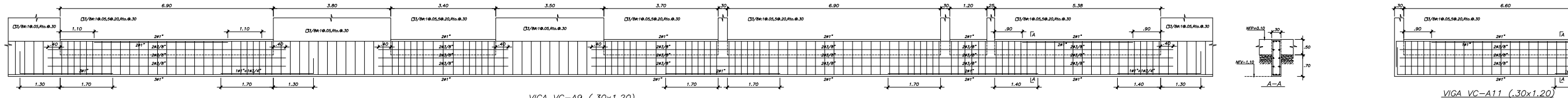
VIGA VC-A8 (30x1.20)
ESC: 1/50



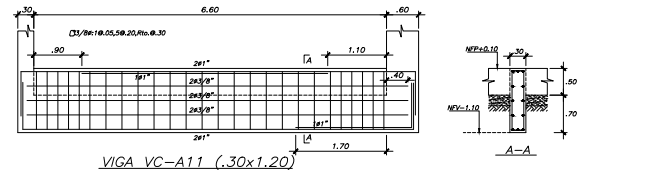
VIGA VC-A10 (40x1.20)
ESC: 1/50



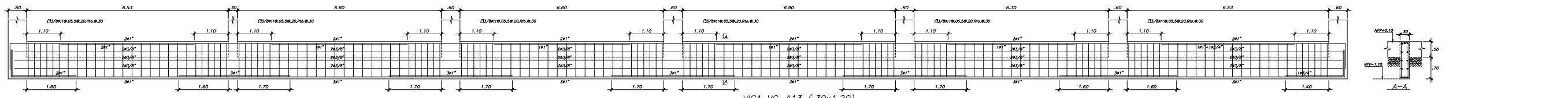
VIGA VC-A12 (30x1.20)
ESC: 1/50



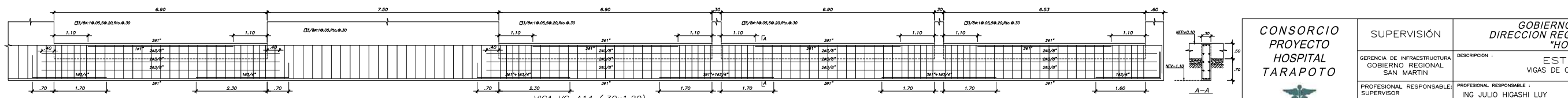
VIGA VC-A9 (30x1.20)
ESC: 1/50



VIGA VC-A11 (30x1.20)
ESC: 1/50



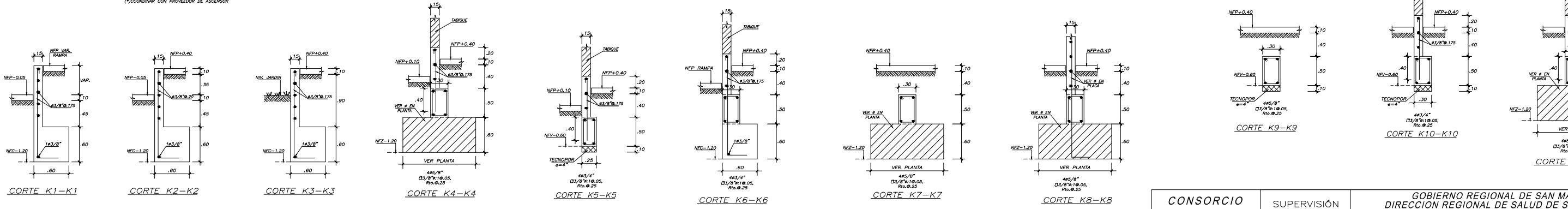
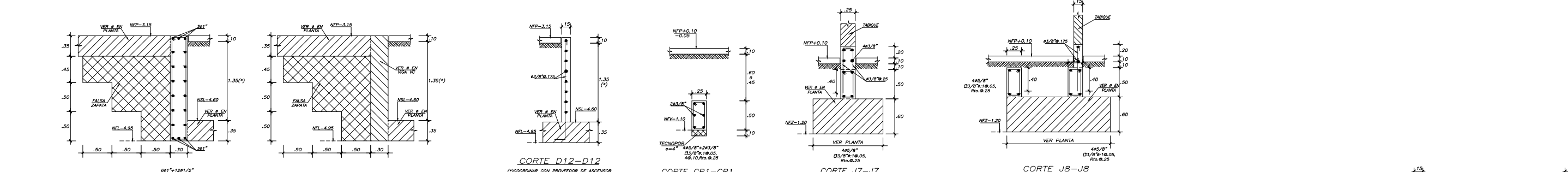
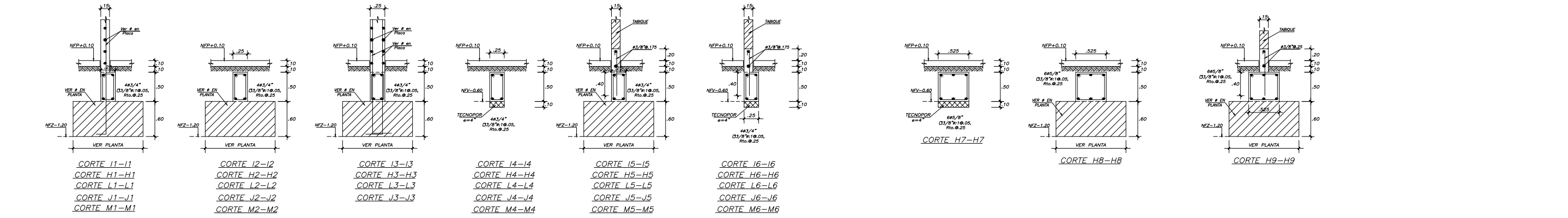
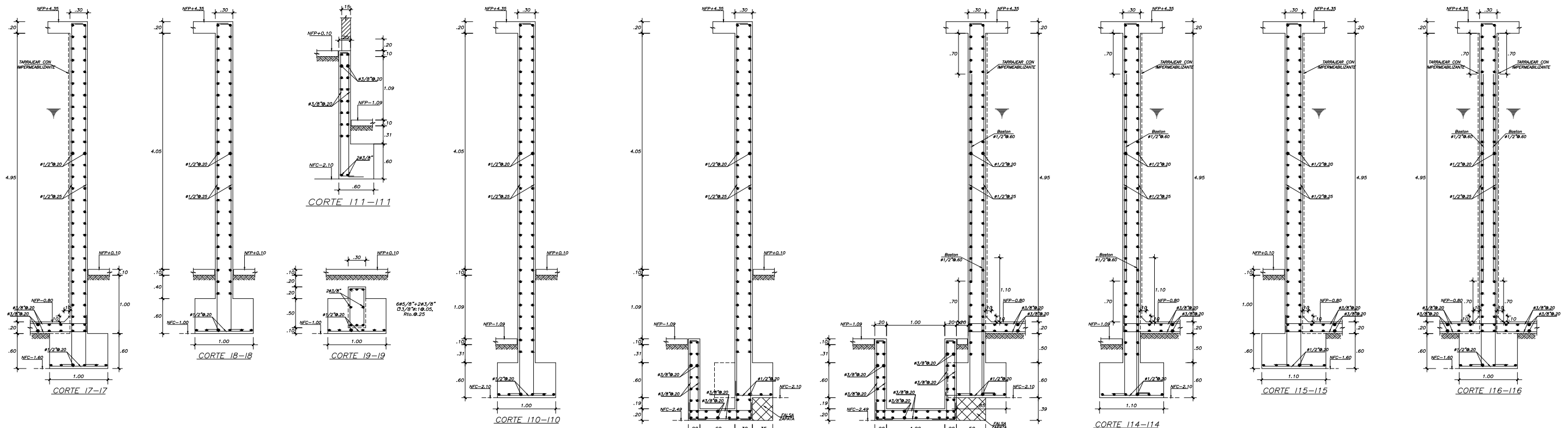
VIGA VC-A13 (30x1.20)
ESC: 1/50




VIGA VC-A14 (30x1.20)
ESC: 1/50

CONSORCIO
PROYECTO
HOSPITAL
TARAPOTO

SUPERVISIÓN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LAMINA :
GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN		DESCRIPCION : ESTRUCTURA VIGAS DE CIMENTACION (A)		E-10
PROFESIONAL RESPONSABLE : SUPERVISOR ING. LUIS ESPINOLA C.I.P. 41807		PROFESIONAL RESPONSABLE : ING. JULIO HIGASUY LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA		
COORDINADOR: ARQ. GUILLEMO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834		DISTRITO : TARAPOTO		
PROVINCIA : SAN MARTIN		DEPARTAMENTO : SAN MARTIN		C.I.P. 42080 94591
DIBUJO : EMIR		ESCALA : 1/50:1/25		FECHA : MAYO 2012



CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO 	SUPERVISIÓN	GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LAMINA :
	GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN	DESCRIPCION :	ESTRUCTURA MUROS DE CIMENTACION (A)	E-13
PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA C.I.P. 41807	PROFESIONAL RESPONSABLE: ING. JULIO HIGASHI LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA	C.I.P. 42080 94591		
COORDINADOR: ARQ. GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834	DISTRITO : TARAPOTO	PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN	DIBUJO : EMIR
		ESCALA : 1/50:1/25	FECHA : MAYO 2012	

COLUMNAS Bloque A						
NIVEL	CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	CA-5	CA-6
1° PISO	.30x.60 10#1" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.60 8#1" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.60 4#1"+4#3/4" 203/8"Ø.25 (II)	VER CLAVE 8#1"+4#3/4" 20+2(3/8"Ø.25 (III)	.40x.40 8#3/4" 203/8"Ø.25 (IV)	.30x.60 8#3/4" 203/8"Ø.25 (II)
2° PISO	.30x.60 10#1" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.60 8#1" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.60 4#1"+4#3/4" 203/8"Ø.25 (II)	VER CLAVE 8#1"+4#3/4" 20+2(3/8"Ø.25 (III)	.40x.40 8#3/4" 203/8"Ø.25 (IV)	.30x.60 8#3/4" 203/8"Ø.25 (II)
3° PISO	.30x.60 8#1" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.60 4#1"+4#3/4" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.60 8#3/4" 203/8"Ø.25 (II)	VER CLAVE 12#3/4" 20+2(3/8"Ø.25 (III)		
4° PISO	.30x.60 8#1" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.60 4#1"+4#3/4" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.60 8#3/4" 203/8"Ø.25 (II)	VER CLAVE 12#3/4" 20+2(3/8"Ø.25 (III)		

COLUMNAS Bloque B					
NIVEL	CB-1	CB-2	CB-3	CB-4	CB-5
1° PISO	.30x.50 4#3/4"+4#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.50 4#3/4"+4#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.50 10#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.30x.50 4#1"+4#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (II)
2° PISO	.30x.50 4#3/4"+4#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.50 4#3/4"+4#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.50 10#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.30x.50 4#3/4"+4#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (II)
3° PISO			.30x.30 4#5/8" Ø3/8"Ø.25 (II)	.30x.30 4#5/8" Ø3/8"Ø.25 (II)	

COLUMNAS Bloque C				
NIVEL	CC-1	CC-2	CC-3	CC-4
1° PISO	.45x.45 4#1"+8#3/4" 303/8"Ø.25 (VI)	.45x.45 12#3/4" 303/8"Ø.25 (VI)	.30x.60 10#3/4" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.60 8#1" 303/8"Ø.25 (II)
2° PISO	.45x.45 4#1"+8#3/4" 303/8"Ø.25 (VI)	.45x.45 12#3/4" 303/8"Ø.25 (VI)	.30x.60 10#3/4" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.60 8#1" 303/8"Ø.25 (II)
3° PISO				
4° PISO	.45x.45 4#1"+8#3/4" 303/8"Ø.25 (VI)	.45x.45 12#3/4" 303/8"Ø.25 (VI)		.30x.60 8#1" 303/8"Ø.25 (II)

COLUMNAS Bloque D				
NIVEL	CD-1	CD-2	CD-3	CD-4
Sotano			.30x.75 10#3/4" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (VII)
1° PISO	.30x.75 10#3/4" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (VI)	.30x.75 10#3/4" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (VII)
2° PISO	.30x.75 10#3/4" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (VI)	.30x.75 10#3/4" 303/8"Ø.25 (I)	.30x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (VII)

COLUMNAS Bloque E			
NIVEL	CE-1	CE-2	CE-3
1° PISO	.30x.60 4#3/4"+4#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.30x.60 10#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.30x.30 4#5/8"+4#1/2" 203/8"Ø.25 (IV)
2° PISO	.30x.60 4#3/4"+4#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.30x.60 10#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.30x.30 4#5/8"+4#1/2" 203/8"Ø.25 (IV)

COLUMNAS Bloque F			
NIVEL	CF-1	CF-2	CF-3
1° PISO	.30x.30 4#5/8"+4#1/2" 203/8"Ø.25 (IV)	.30x.50 4#5/8"+4#1/2" 203/8"Ø.25 (II)	VER CLAVE 12#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (XV)
2° PISO	.30x.30 4#5/8"+4#1/2" 203/8"Ø.25 (IV)	.30x.50 4#5/8"+4#1/2" 203/8"Ø.25 (II)	VER CLAVE 12#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (XV)

COLUMNAS Bloque G		
NIVEL	CG-1	CG-2
1° PISO	.30x.50 8#3/4" 203/8"Ø.25 (II)	.30x.50 4#1"+4#3/4" 203/8"Ø.25 (II)

CUADRO DE COLUMNETAS				
C-a	C-b	C-c	C-d	C-e

COLUMNAS Bloque H					
NIVEL	CH-1	CH-2	CH-3	CH-4	CH-5
1° PISO	.25x.30 4#5/8" Ø3/8"Ø.25 (II)	.25x.60 8#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	.25x.50 4#3/4"+2#5/8" Ø+3/8"Ø.25 (VIII)	.25x.65 8#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	D=.50 10#5/8" Ø3/8"Ø.075 (IX)

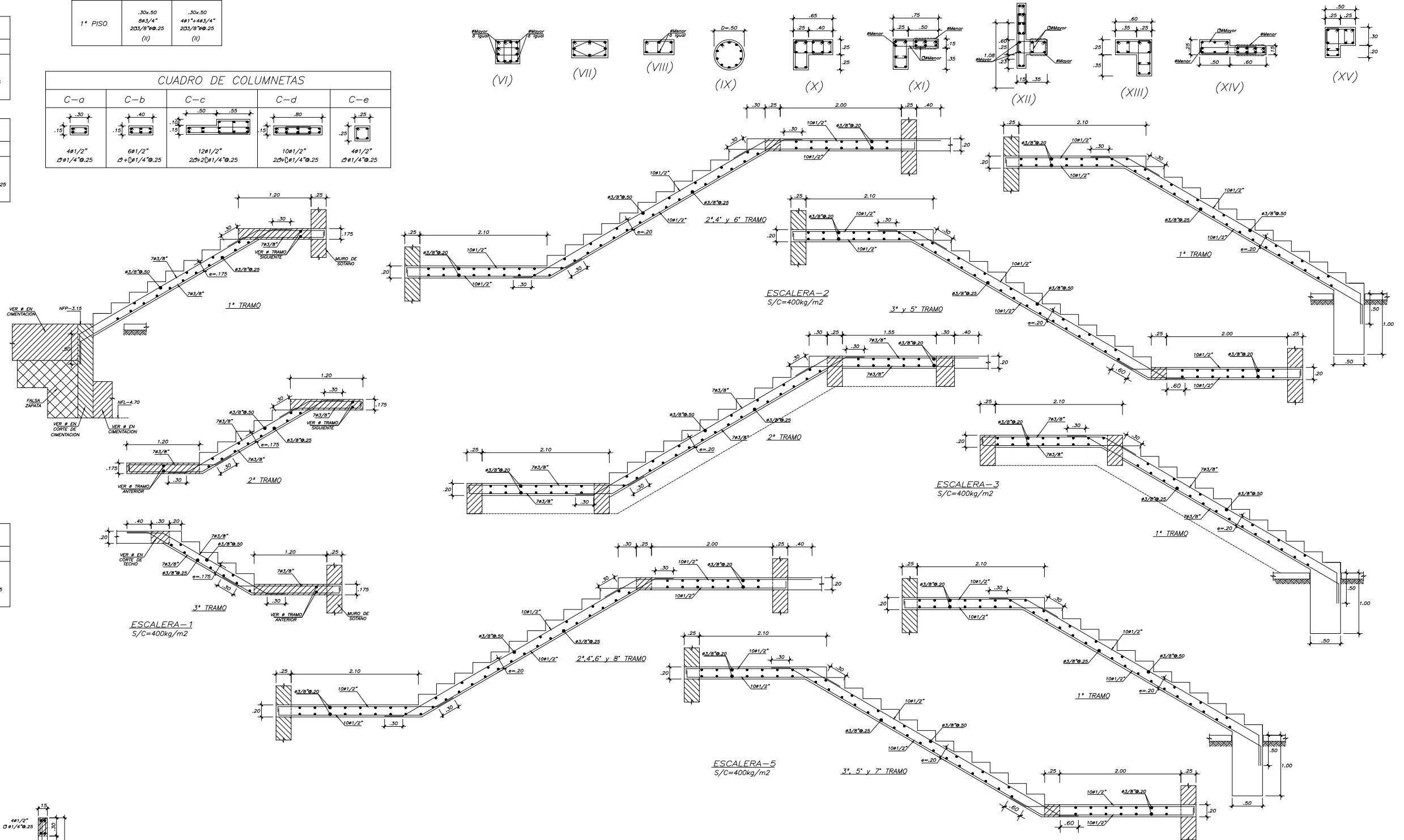
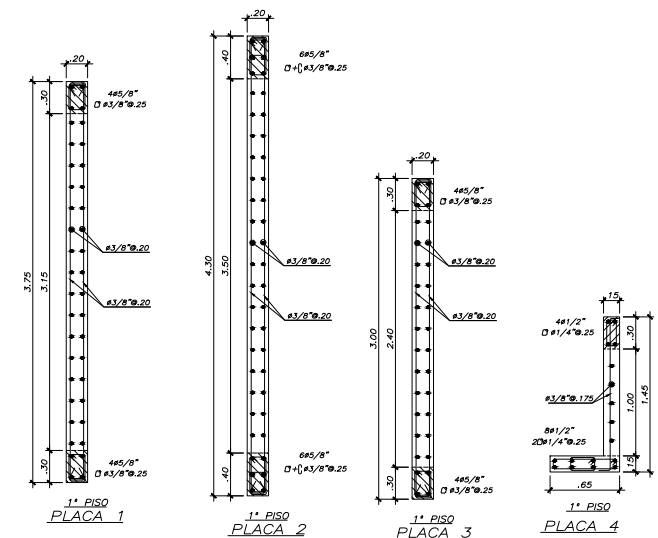
COLUMNAS Bloque I					
NIVEL	CI-1	CI-2	CI-3	CI-4	CI-5
1° PISO	VER CLAVE 12#5/8" 303/8"Ø.25 (X)	VER CLAVE 6#5/8"+7#1/2" Ø+3/8"Ø.25 (XI)	.25x.50 4#3/4"+2#5/8" Ø+3/8"Ø.25 (VIII)	.30x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (VII)	.30x.80 10#3/4" 20+2(3/8"Ø.25 (V)

COLUMNAS Bloque J				
NIVEL	CJ-1	CJ-2	CJ-3	CJ-4
1° PISO	.30x.60 4#3/4"+4#5/8" 203/8"Ø.25 (II)	.25x.70 6#5/8"+10#1/2" 203/8"Ø.25 (II)	VER CLAVE 6#5/8"+10#1/2" Ø+3/8"Ø.25 (XII)	.25x.32 4#1/2" Ø1/4"Ø.25 (XIII)

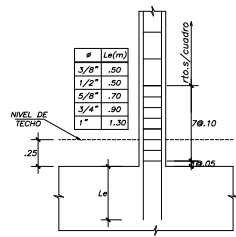
Bloque K		COLUMNAS Bloque M	
NIVEL	CK-1	NIVEL	CM-1
1° PISO	.30x.50 4#3/4"+2#5/8" Ø+3/8"Ø.25 (VIII)	1° PISO	.25x.50 4#3/4"+4#5/8" 203/8"Ø.25 (II)
			.25x.50 8#5/8" 203/8"Ø.25 (VI)

CUADRO DE COLUMNAS Ingresos				
NIVEL	C-1	C-2	C-3	C-4
1° PISO	.15x.25 4#1/2" Ø1/4"Ø.25 (VIII)	.25x.75 10#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.25x.70 10#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.15x.65 8#1/2" 201/4"Ø.25 (II)

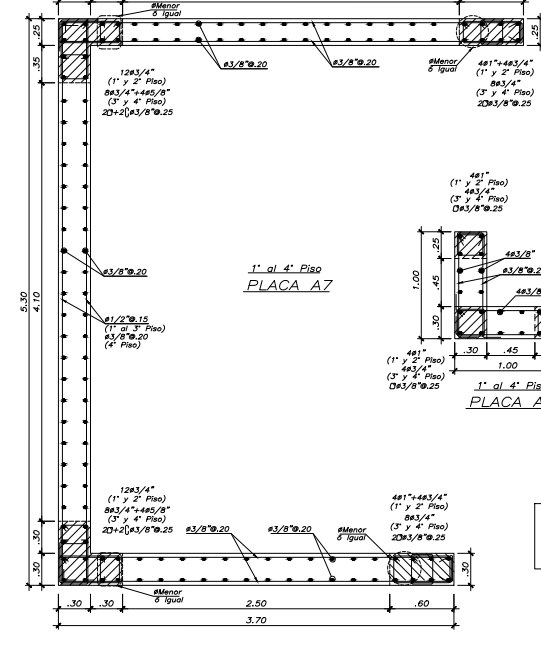
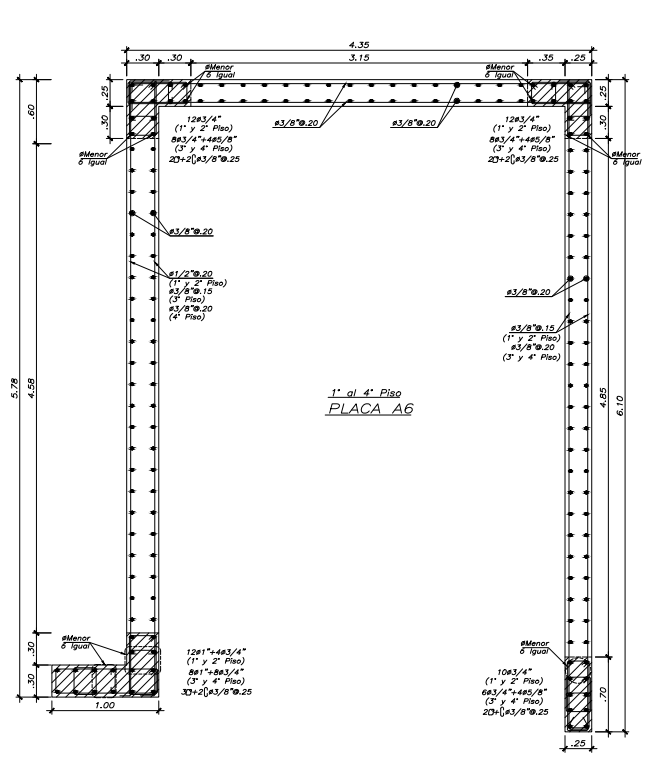
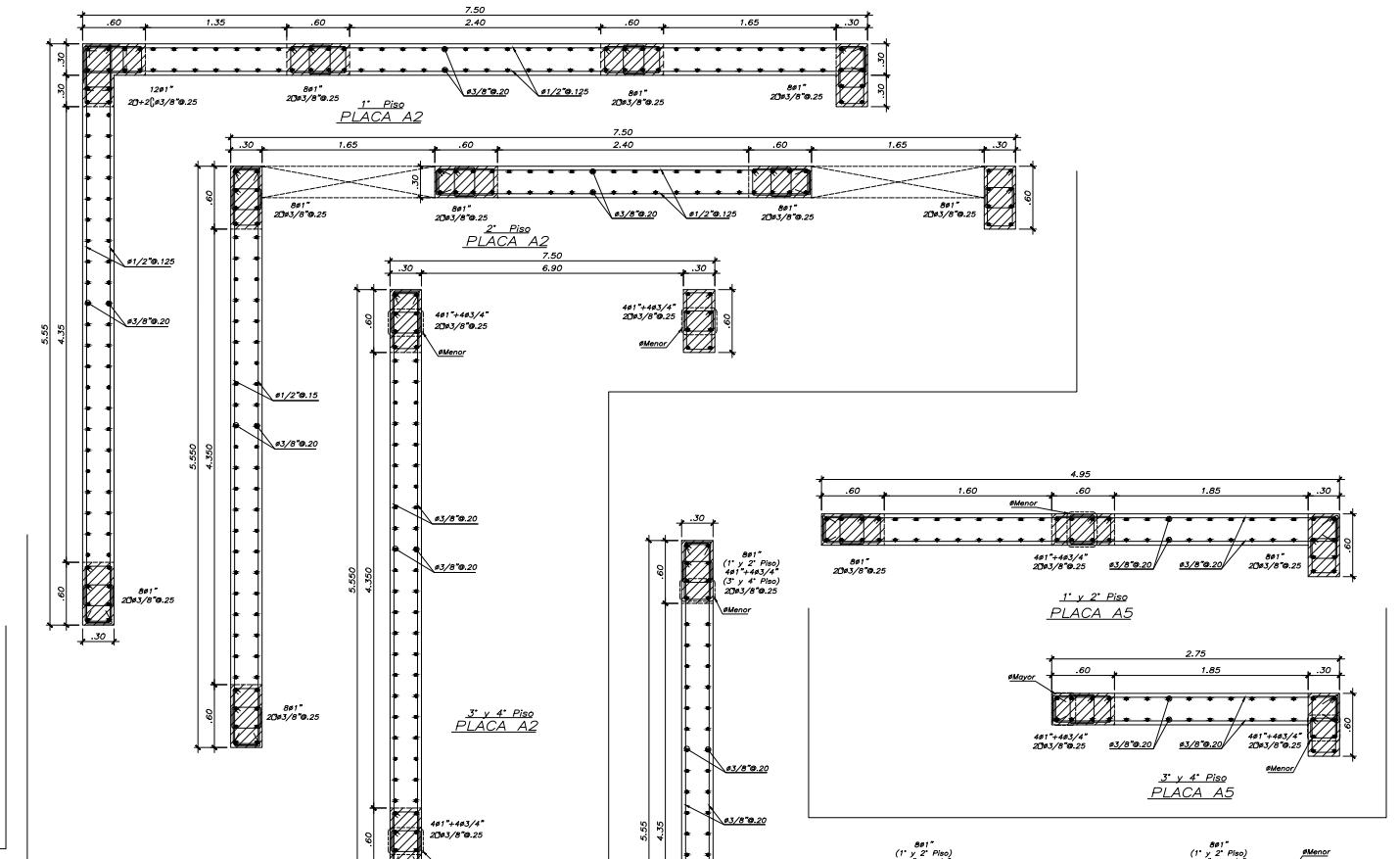
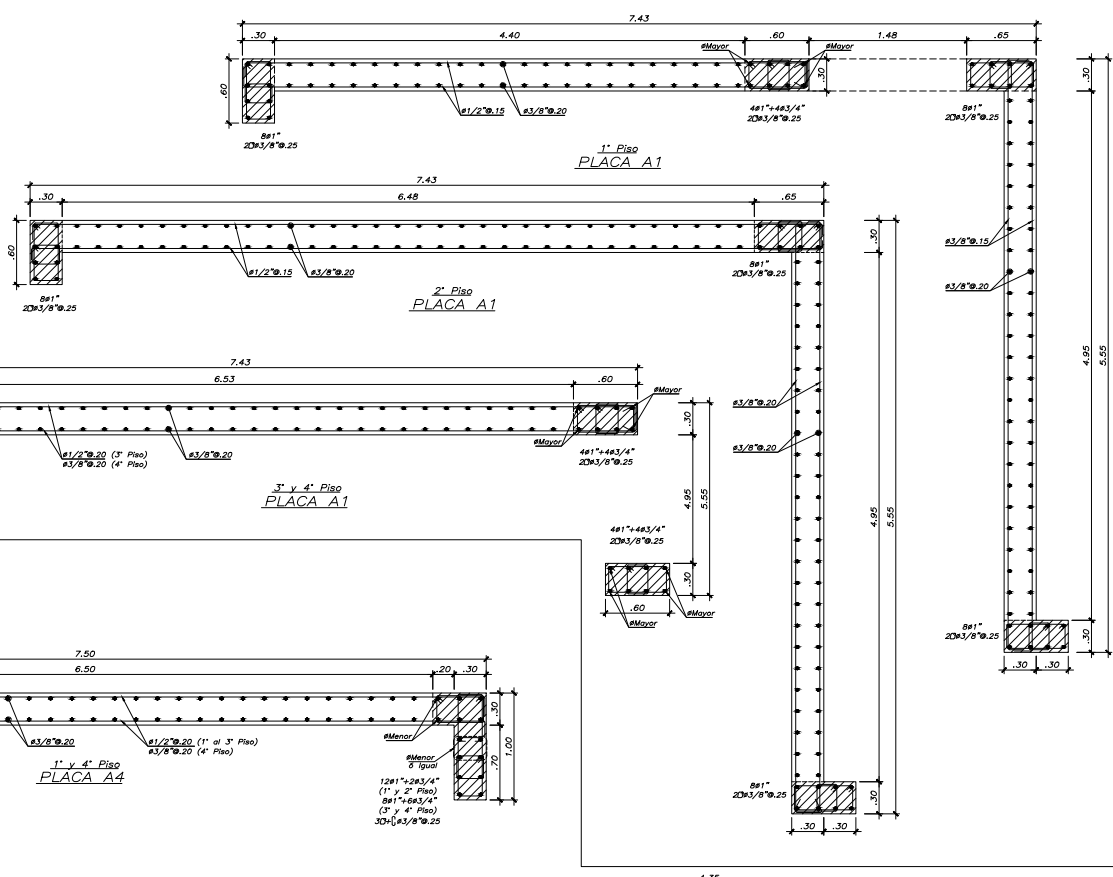
CUADRO DE COLUMNAS Ingresos				
NIVEL	C-1	C-2	C-3	C-4
1° PISO	.15x.25 4#1/2" Ø1/4"Ø.25 (VIII)	.25x.75 10#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.25x.70 10#5/8" 20+2(3/8"Ø.25 (V)	.15x.65 8#1/2" 201/4"Ø.25 (II)



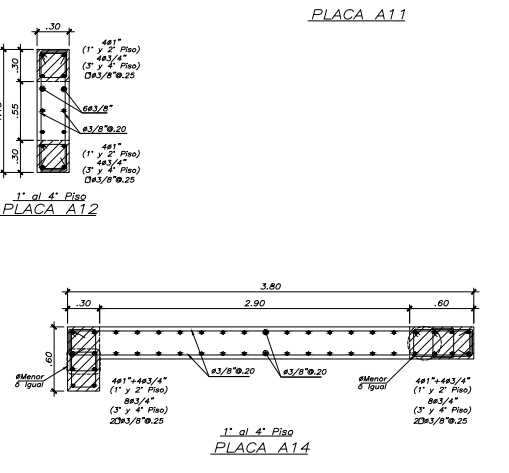
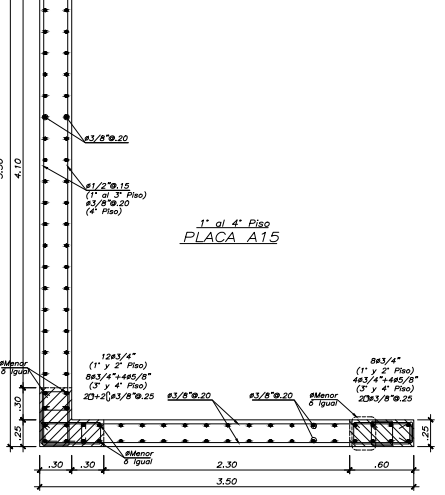
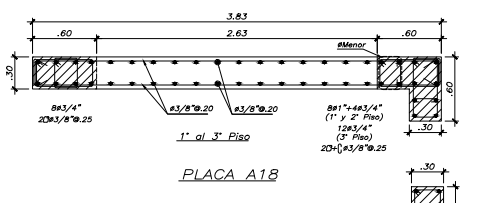
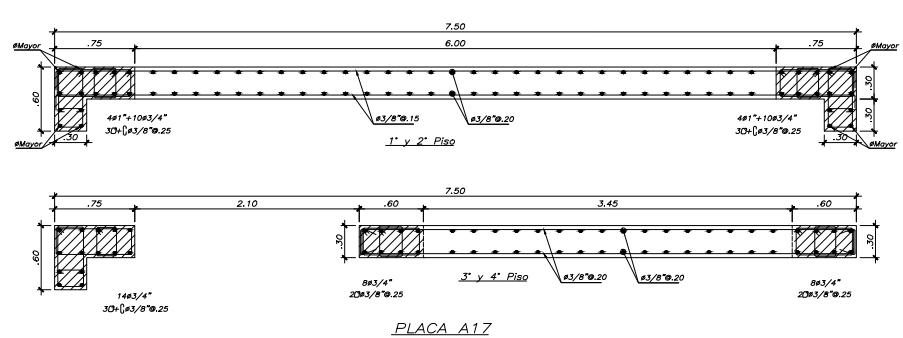
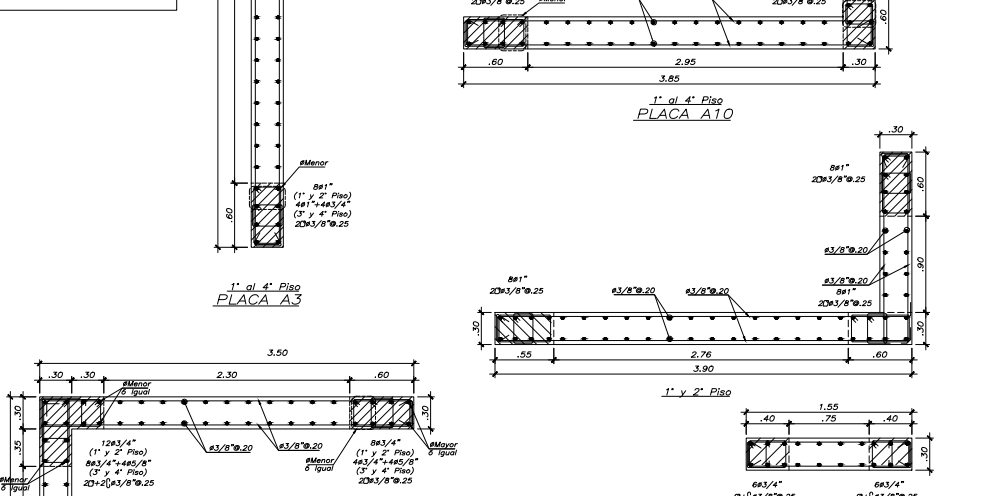
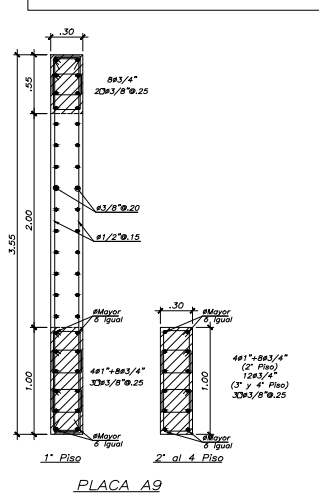
CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO 	SUPERVISIÓN GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN	DESCRIPCIÓN: ESTRUCTURA COLUMNAS y ESCALERAS	LAMINA: E-15	
	PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR: ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA C.I.P. 41807 COORDINADOR: ARO. GUILLEMO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834	PROFESIONAL RESPONSABLE: ING. JULIO HIGASHI LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA	C.I.P.: 42080 94591	
	DISTRITO: TARAPOTO PROVINCIA: SAN MARTIN DEPARTAMENTO: SAN MARTIN DIBUJO: EMIR ESCALA: 1/50:1/25 FECHA: MAYO 2012			
	Gobierno Regional de San Martín Dirección Regional de Salud de San Martín "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"			



DETALLE DE NACIMIENTO DE NÚCLEO DE PLACA Y SUS LONGITUDES DE ANCLAJE

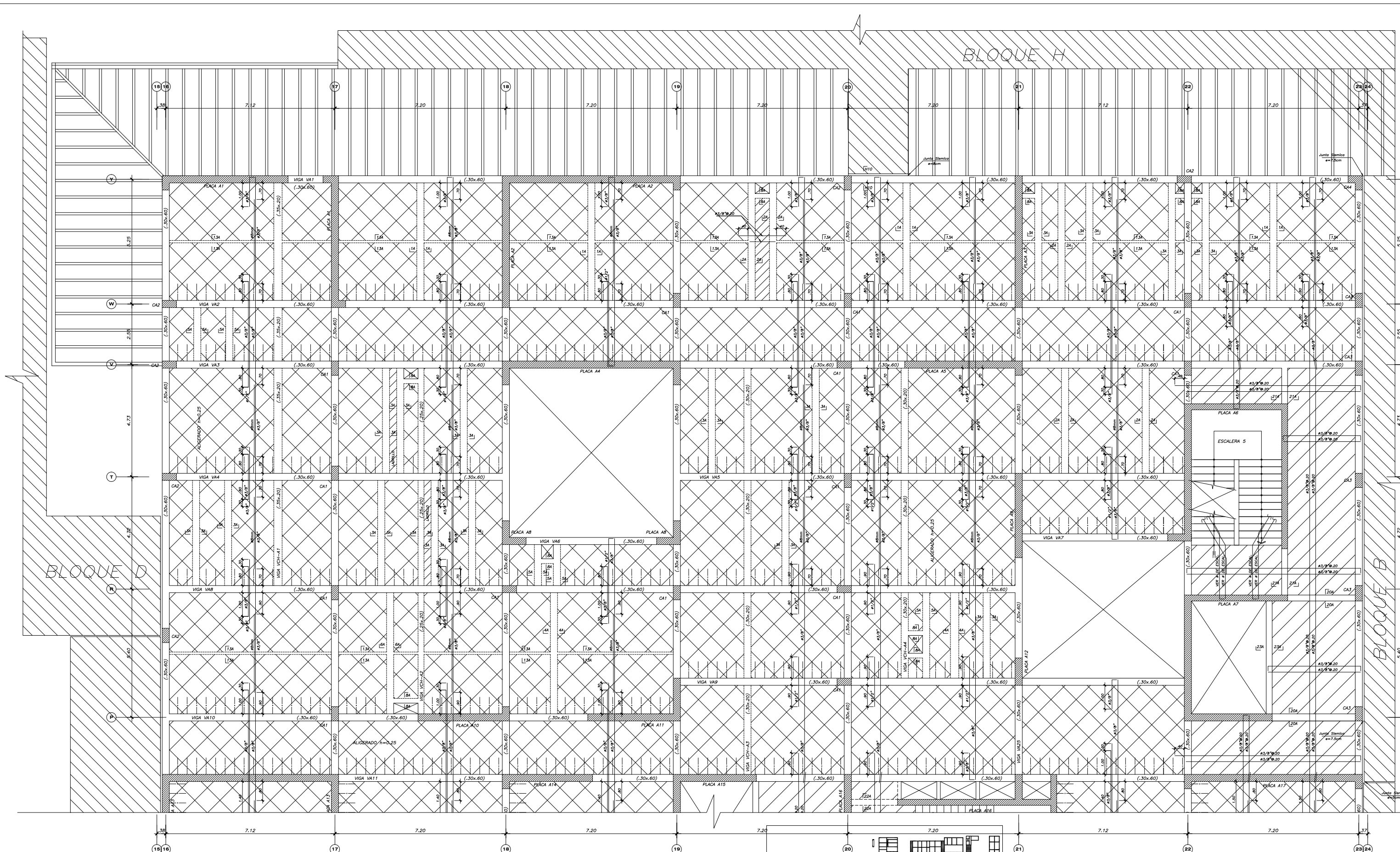


NOTA:
LOS NÚCLEOS INDICADOS COMO ACHURADOS SE CONFINARÁN COMO SE INDICA EN EL DETALLE DE CONFINAMIENTO DE PLACA



DETALLE DE ANCLAJE DE FIERRO PLACA EN VIGA DE CIMENTACION

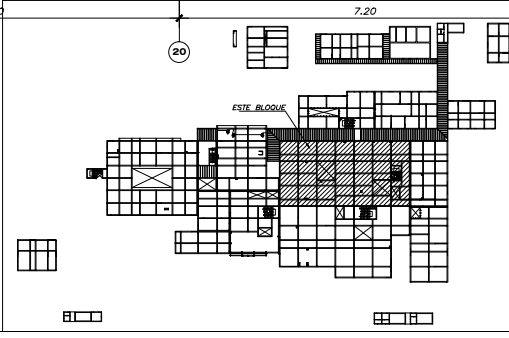
CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO 	SUPERVISIÓN	GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LAMINA :
	GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN	DESCRIPCION :	ESTRUCTURA PLACAS (A)	E-16
	PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA C.I.P. 41807	PROFESIONAL RESPONSABLE :	ING. JULIO HIGASHI LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA	C.I.P. 42080 94591
	COORDINADOR: ARQ. GUILLEMO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834	DISTRITO : TARAPOTO	PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN
	ESCALA : 1/50:1/25	FECHA : MAYO 2012		



ENCOFRADO 1° PISO (BLOQUE A)

- ALIGERADO h=0.25
- LOSA h=0.20
- S/C=400 Kg/m² (CORREDORES Y ESCALERAS)
- S/C=300 Kg/m² (SALA DE OPERACIONES LABORATORIOS Y ZONA DE SERVICIOS)
- S/C=200 Kg/m² (RESTO)

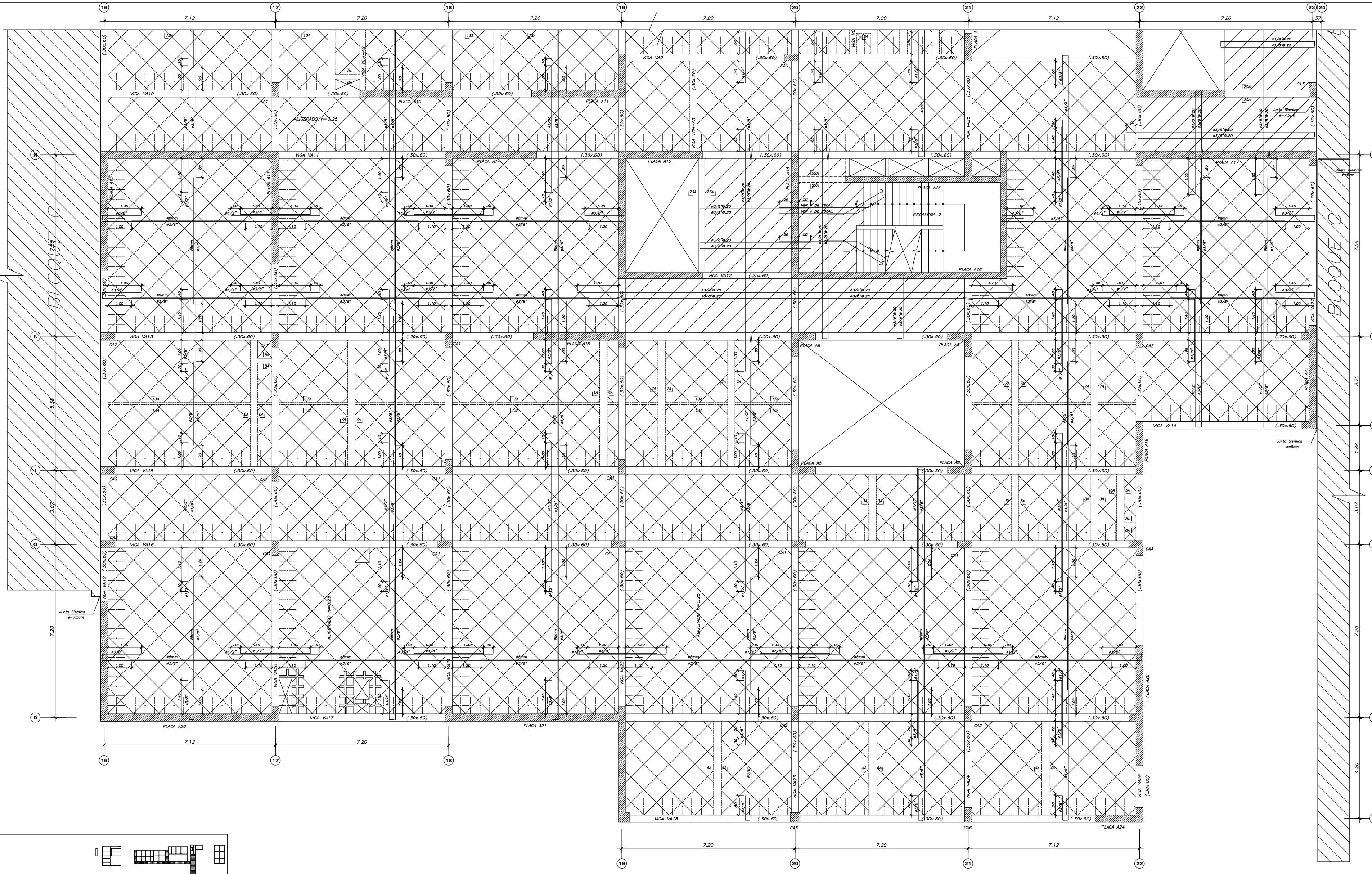
NFP+4.35



**CONSORCIO
PROYECTO
HOSPITAL
TARAPOTO**

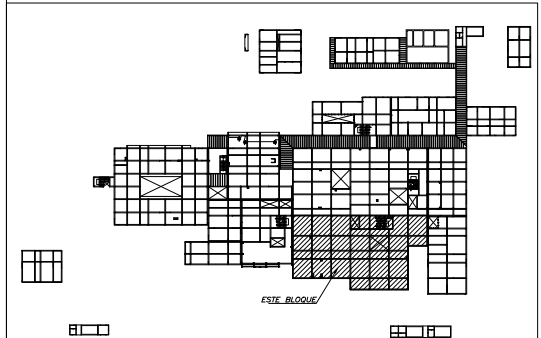


SUPERVISIÓN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LAMINA
GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN		DESCRIPCION : ESTRUCTURA ENCOFRADO 1° PISO (BLOQUE A) 1		E-21
PROFESIONAL RESPONSABLE : SUPERVISOR ING. LUIS ESPINOLA CARRIZA C.I.P. 41807		PROFESIONAL RESPONSABLE : ING. JULIO HIGASHI LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA		
COORDINADOR: ING. GUILLERMO GARRASCO TUFRINCH C.A.P. 0834		DISTRITO : TARAPOTO		
PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN	DIBUJO : EMIR	ESCALA : 1/50	FECHA : MAYO 2012

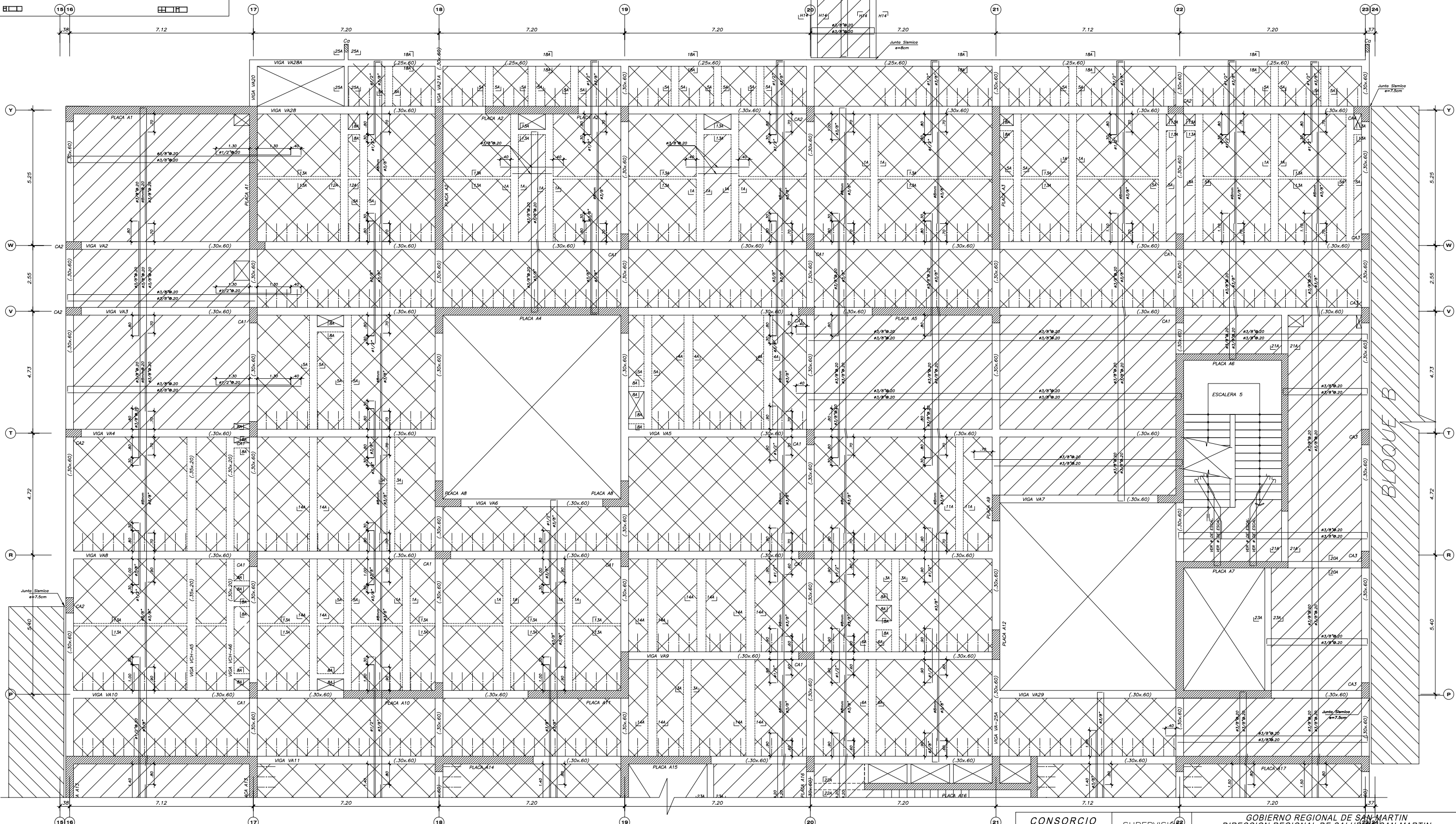
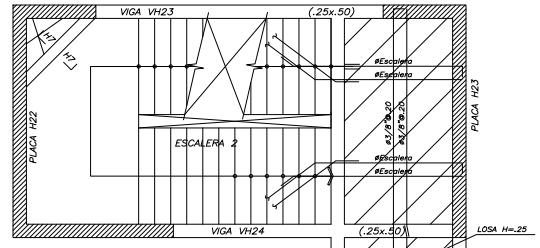
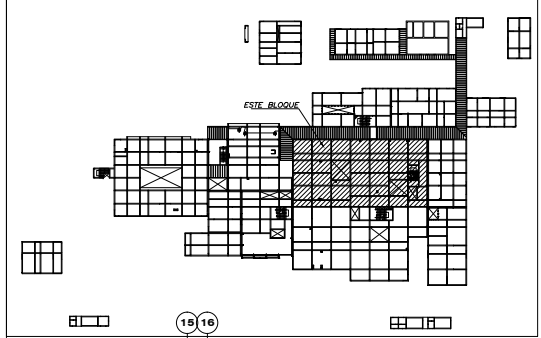


ENCOFRADO 1° PISO (BLOQUE A)

ALIGERADO h=0.25
 LOSA h=0.20
 S/C=400 Kg/m² (CORREDORES Y ESCALERAS)
 S/C=300 Kg/m² (SALA DE OPERACIONES
 LABORATORIOS Y ZONA DE SERVICIOS)
 S/C=200 Kg/m² (RESTO)
 NFP+4.35



CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO	SUPERVISIÓN GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTÍN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTÍN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTÍN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LAMINA : E-22
	PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA C.I.P. 41807		DESCRIPCIÓN : ESTRUCTURA ENCOFRADO 1° PISO (BLOQUE A) 2		
COORDINADOR: ARQ. GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834		PROFESIONAL RESPONSABLE : ING. JULIO HIGASHI LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA		C.I.P. 42080 94591	
		DISTRITO : TARAPOTO		PROVINCIA : SAN MARTÍN	
		DEPARTAMENTO : SAN MARTÍN		DIBUJO : EMIR	
		ESCALA : 1/50		FECHA : MAYO 2012	



ENCOFRADO 2° PISO (BLOQUE A)

- ALIGERADO h=0.20
- ALIGERADO h=0.25
- LOSA MACIZA h=0.20
- S/C=400 Kg/m² (CORREDORES Y ESCALERAS)
- S/C=300 Kg/m² (SALA DE OPERACIONES, LABORATORIOS Y ZONA DE SERVICIOS)
- S/C=200 Kg/m² (RESTO)

**CONSORCIO
PROYECTO
HOSPITAL
TARAPOTO**



SUPERVISOR
GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA
GOBIERNO REGIONAL
SAN MARTIN

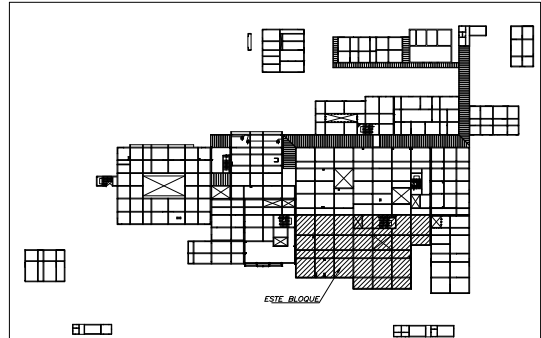
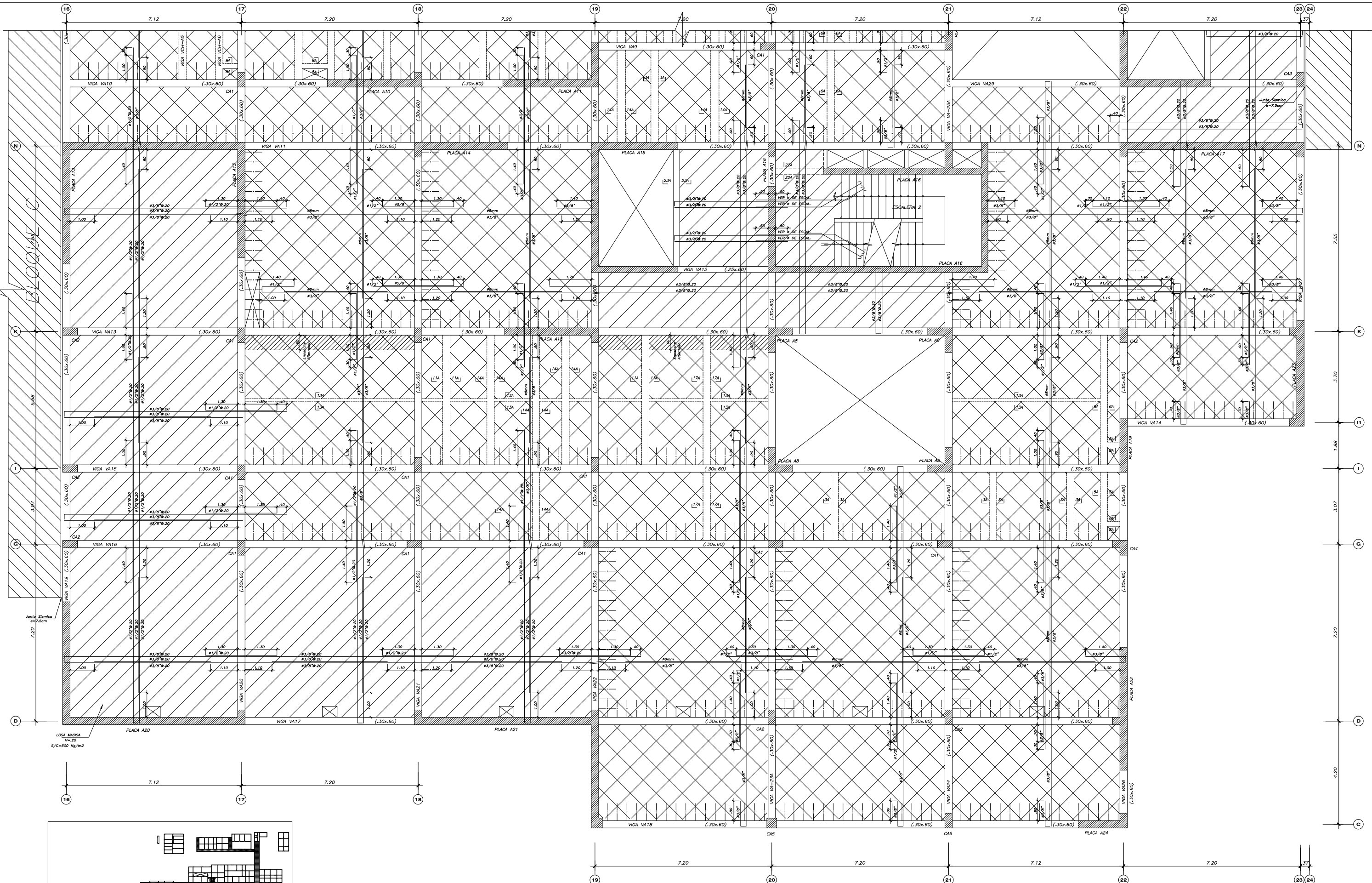
PROFESIONAL RESPONSABLE:
SUPERVISOR
ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA
C.I.P. 41807

**GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN
DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN
"HOSPITAL II-2 TARAPOTO"**

DESCRIPCION: **ESTRUCTURA ENCOFRADO 2° PISO (BLOQUE A) 1**

PROFESIONAL RESPONSABLE:
ING. JULIO HIGASHI LUY
ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA

LAMINA: **E-29**
C.I.P. 42080
94591
COORDINADOR:
ARQ. GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI
C.A.P. UR34
DISTRITO: TARAPOTO
PROVINCIA: SAN MARTIN
DEPARTAMENTO: SAN MARTIN
EMIR
ESCALA: 1/50
FECHA: MAYO 2012



ENCOFRADO 2° PISO (BLOQUE A)

ALIGERADO h=0.20 NFP+8.60

ALIGERADO h=0.25 NFP+8.60

LOSA MACIZA h=0.20 NFP+8.60

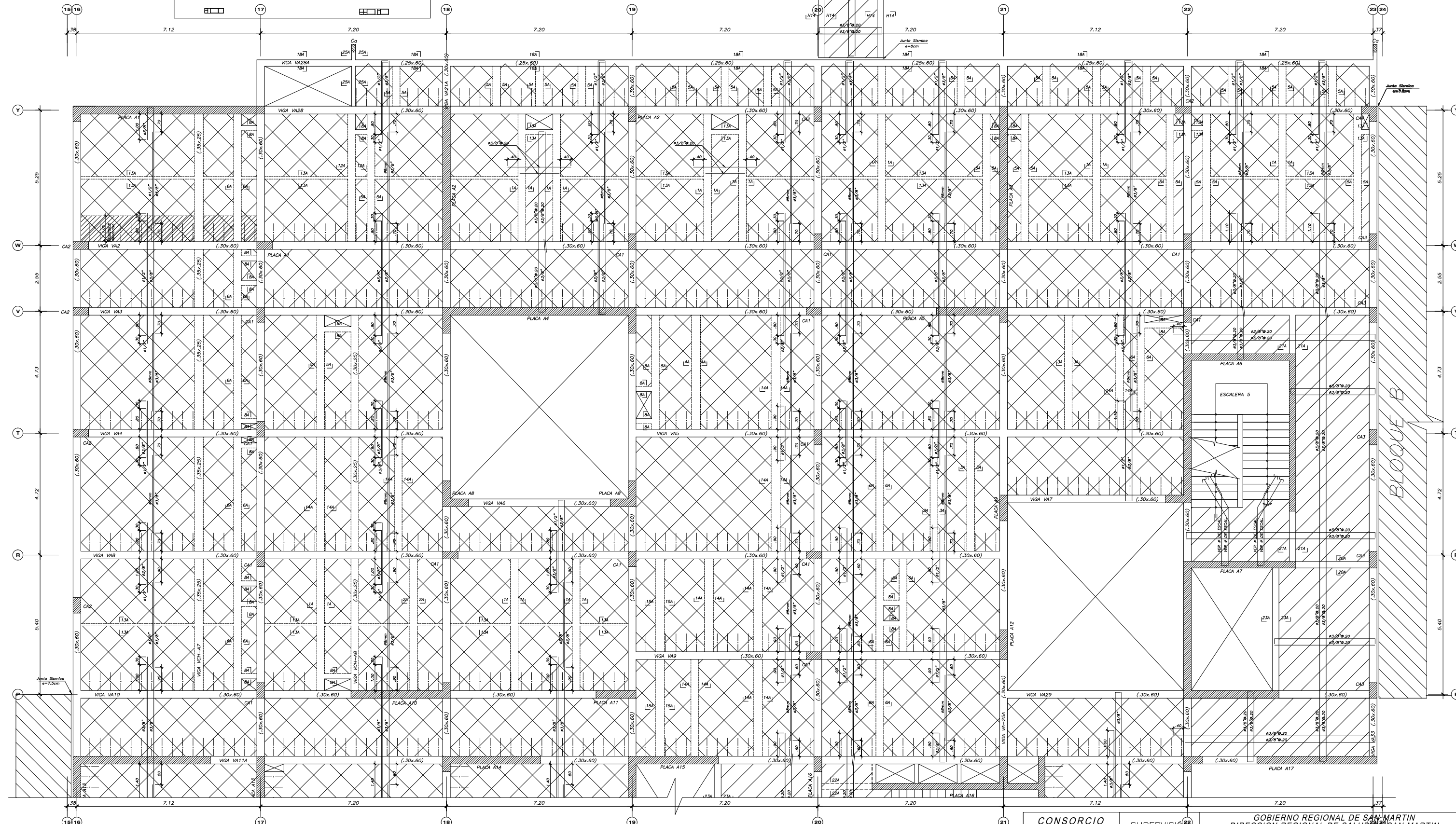
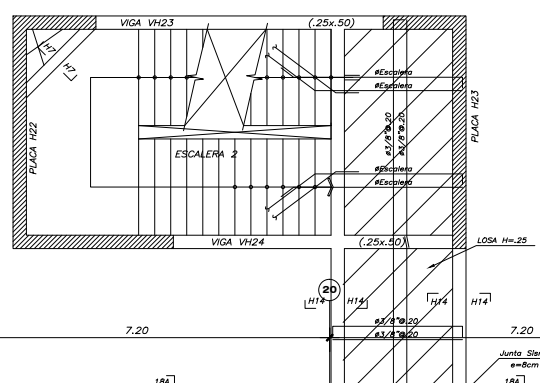
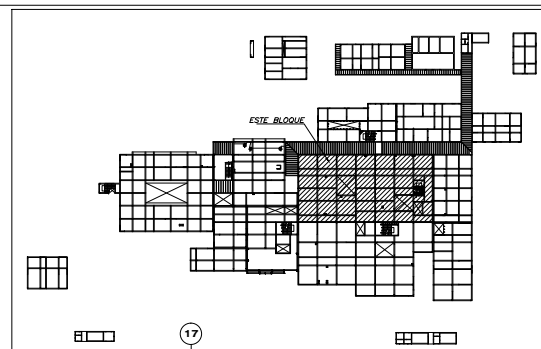
S/C=400 Kg/m² (CORREDORES Y ESCALERAS)

S/C=300 Kg/m² (SALA DE OPERACIONES)

LABORATORIOS Y ZONA DE SERVICIOS)

S/C=200 Kg/m² (RESTO)

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO 	SUPERVISIÓN GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LAMINA :
	PROFESIONAL RESPONSABLE : SUPERVISOR ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA C.I.P. 41807		PROFESIONAL RESPONSABLE : ING. JULIO HIGASHI LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA		C.I.P. 42080 94591
COORDINADOR: ARQ. GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834		DISTRITO : TARAPOTO	PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN	DIBUJO : EMIR
		ESCALA : 1/50	FECHA : MAYO 2012	E-30	



ENCOFRADO 3° PISO (BLOQUE A)

ALIGERADO h=0.20 S/C=400 Kg/m² (CORREDORES Y ESCALERAS)

ALIGERADO h=0.25 S/C=300 Kg/m² (SALA DE OPERACIONES)

LOSA h=0.20 LABORATORIOS Y ZONA DE SERVICIOS

S/C=200 Kg/m² (RESTO)

NFP+12.85

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO

SUPERVISOR

GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN

PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR
ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA
C.I.P. 41807

COORDINADOR:
ARQ. GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI
C.A.P. 0834

GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"

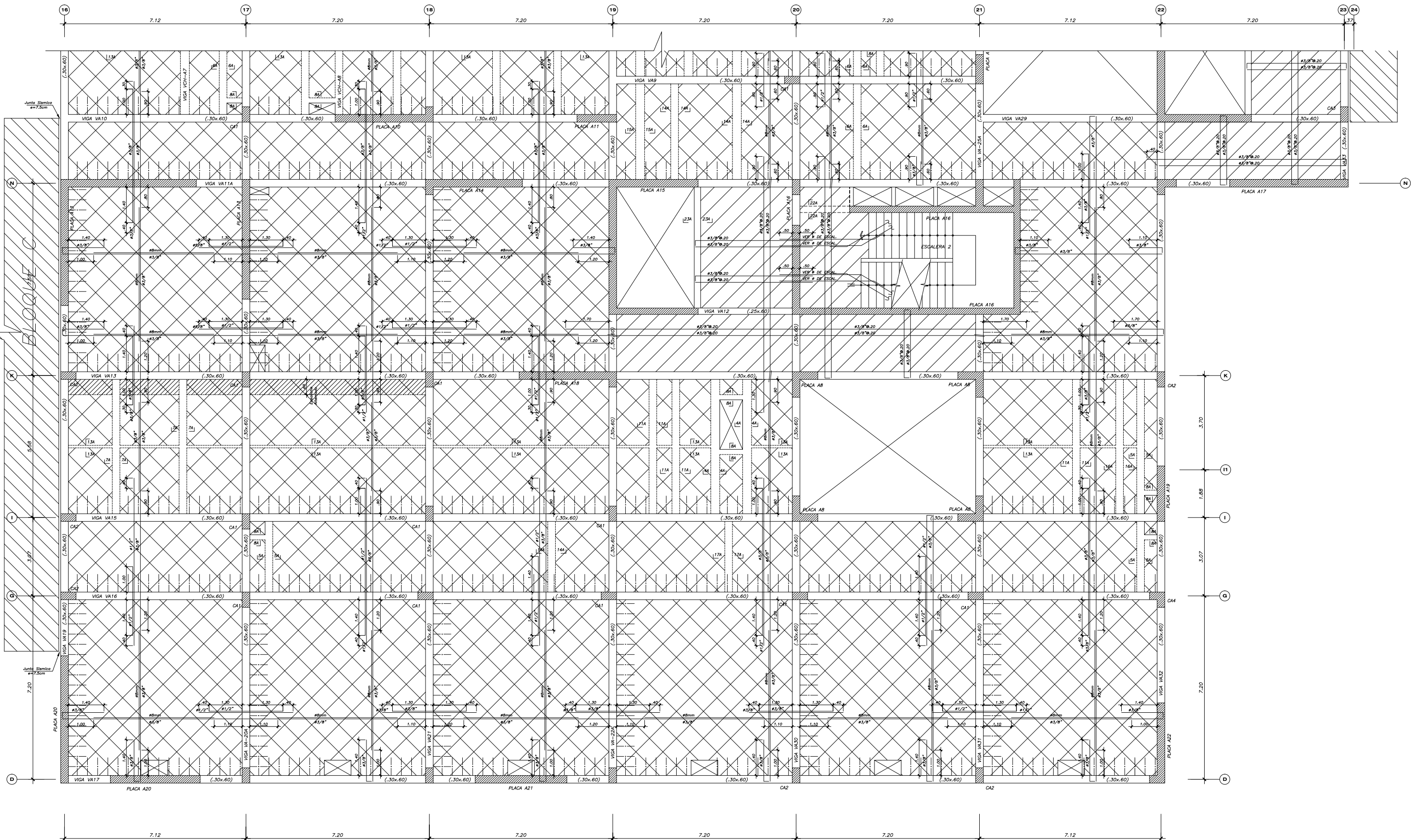
DESCRIPCION: ESTRUCTURA ENCOFRADO 3° PISO (BLOQUE A) 1

PROFESIONAL RESPONSABLE: ING. JULIO HIGASHI LUY
ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA

DISTRITO: TARAPOTO PROVINCIA: SAN MARTIN DEPARTAMENTO: SAN MARTIN EMIR: ESCALA: 1/50 FECHA: MAYO 2012

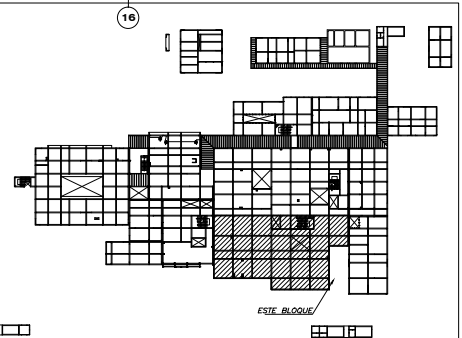
LAMINA: **E-34**

BLOQUE B

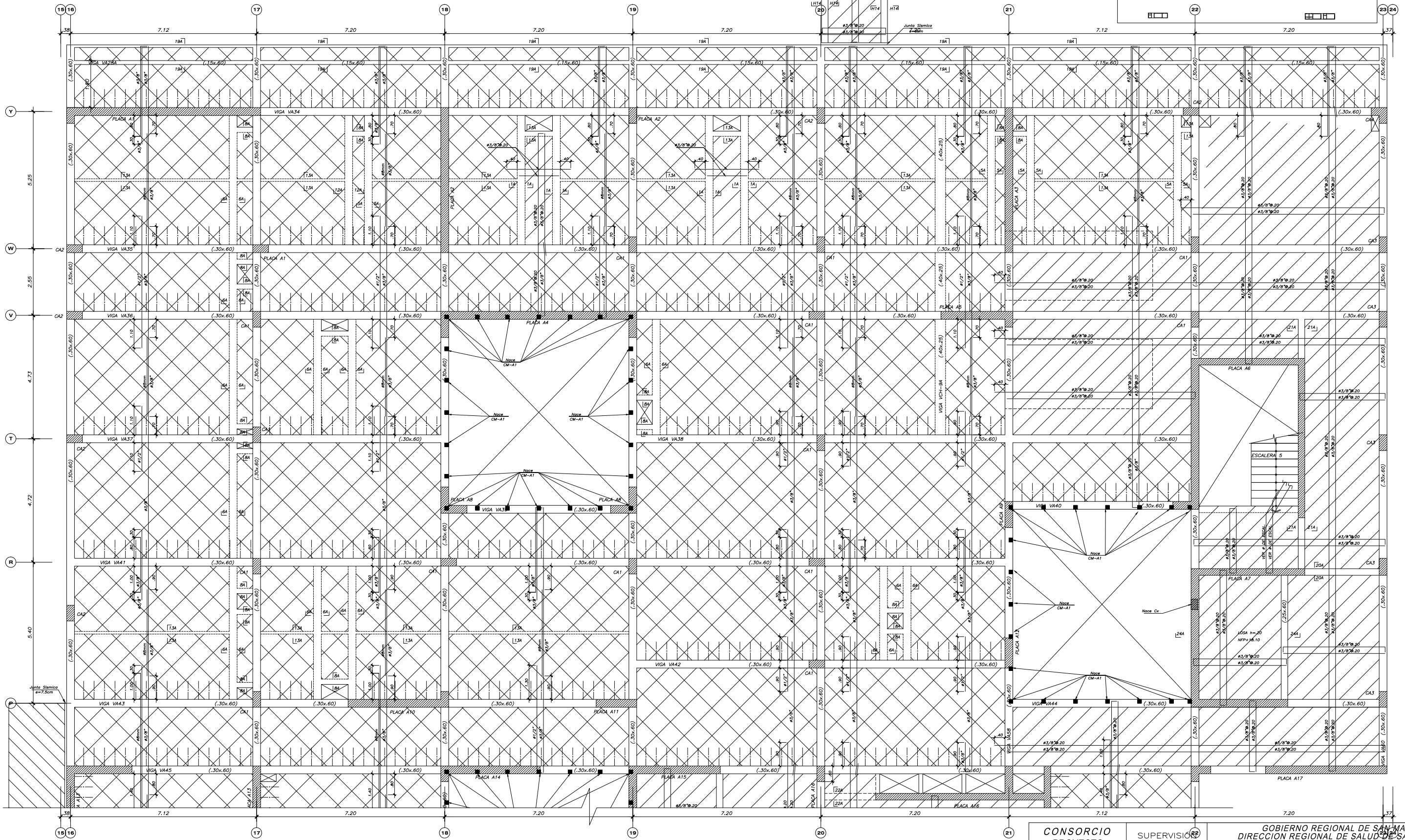
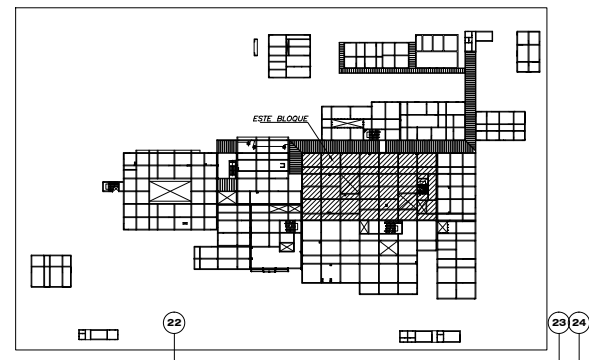
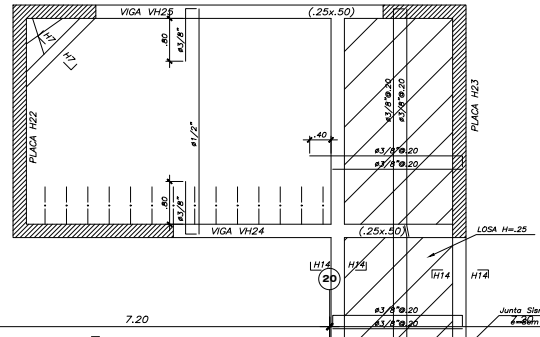
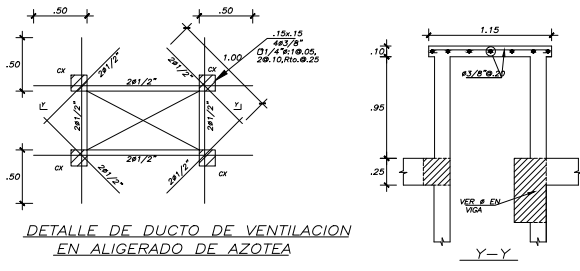


ENCOFRADO 3° PISO (BLOQUE A)

- ALIGERADO h=0.20 S/C=400 Kg/m² (CORREDORES Y ESCALERAS)
 - ALIGERADO h=0.25 S/C=300 Kg/m² (SALA DE OPERACIONES
LABORATORIOS Y ZONA DE SERVICIOS)
 - LOSA h=0.20 S/C=200 Kg/m² (RESTO)
- NFP+12.85

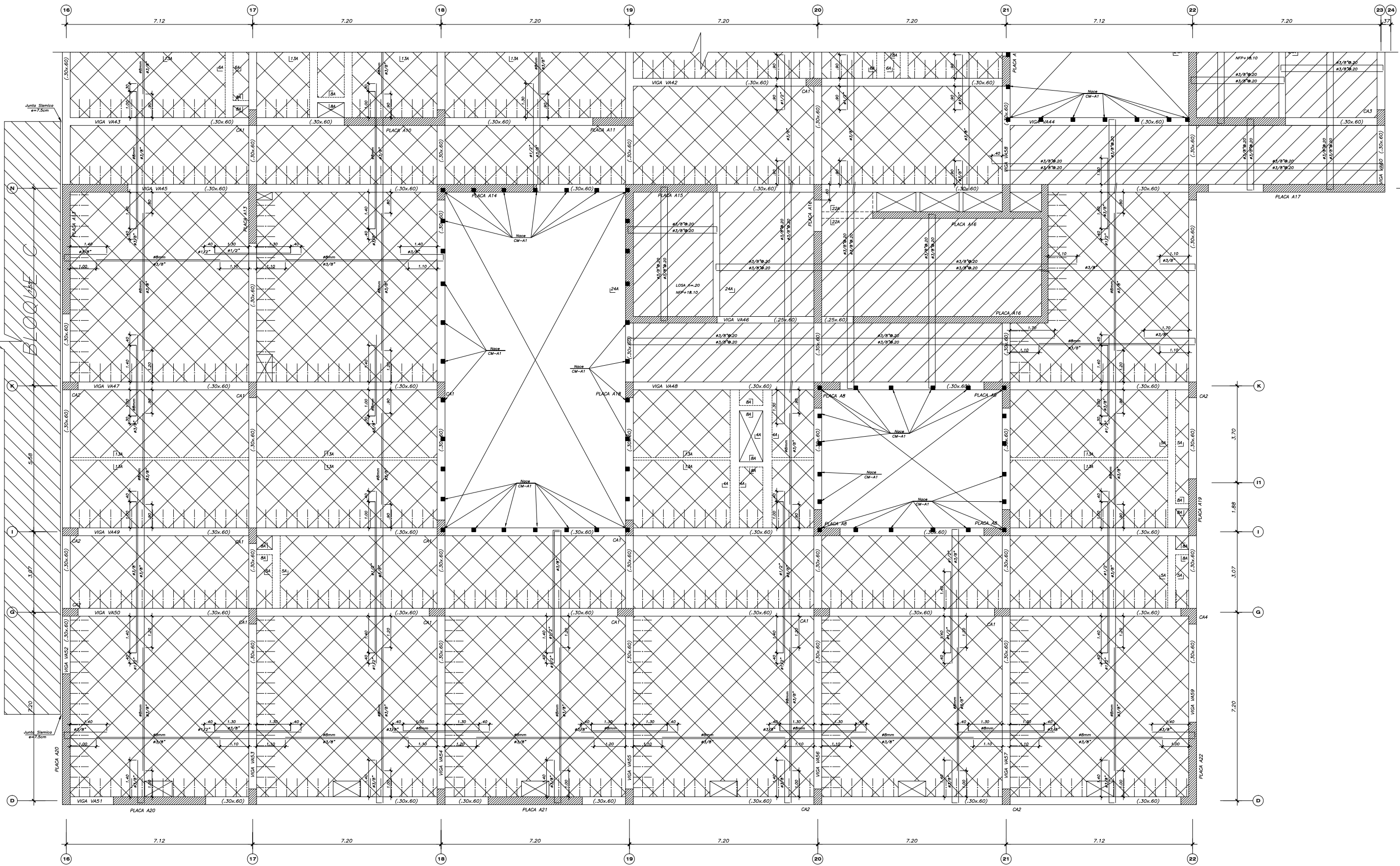


 CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO	SUPERVISIÓN	GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LAMINA :
	GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN	DESCRIPCION : ESTRUCTURA ENCOFRADO 3° PISO (BLOQUE A) 2		E-35
	PROFESIONAL RESPONSABLE : SUPERVISOR ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA C.I.P. 41807	PROFESIONAL RESPONSABLE : ING. JULIO HIGASHI LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA		C.I.P. 42080 94591
	COORDINADOR: ARQ. GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834	DISTRITO : TARAPOTO	PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN
	ESCALA : 1/50	FECHA : MAYO 2012		

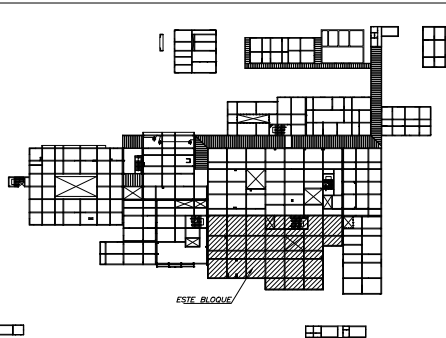


ENCOFRADO 4° PISO (BLOQUE A)
 ALIGERADO h=0.25, S/C=300 Kg/m²
 LOSA h=0.20, S/C=300 Kg/m²
 NFP+17.10

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO 	SUPERVISOR	GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"				LAMINA :	
	GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN	DESCRIPCION :	ESTRUCTURA ENCOFRADO 4° PISO (BLOQUE A) 1				E-37
	PROFESIONAL RESPONSABLE : SUPERVISOR ING. LUIS ESPINOLA CARRANZA C.I.P. 41807	PROFESIONAL RESPONSABLE : ING. JULIO HIGASHI LUY ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA	C.I.P.				
	COORDINADOR: ARQ. GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834	DISTRITO : TARAPOTO	PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN	DIBUJO : EMIR	ESCALA : 1/50	



ENCOFRADO 4° PISO (BLOQUE A)
 ALIGERADO $h=0.25$, $S/C=300$ Kg/m²
 LOSA $h=0.20$, $S/C=300$ Kg/m²
 NFP+17.10



CONSORCIO
 PROYECTO
 HOSPITAL
 TARAPOTO



SUPERVISIÓN
 GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA
 GOBIERNO REGIONAL
 SAN MARTIN

PROFESIONAL RESPONSABLE:
 SUPERVISOR
 ING. LUIS ESPINOZA CARRANZA
 C.I.P. 41807
 COORDINADOR:
 ARQ. GUILLERMO CARRASCO TUPAYACHI
 C.A.P. 0834

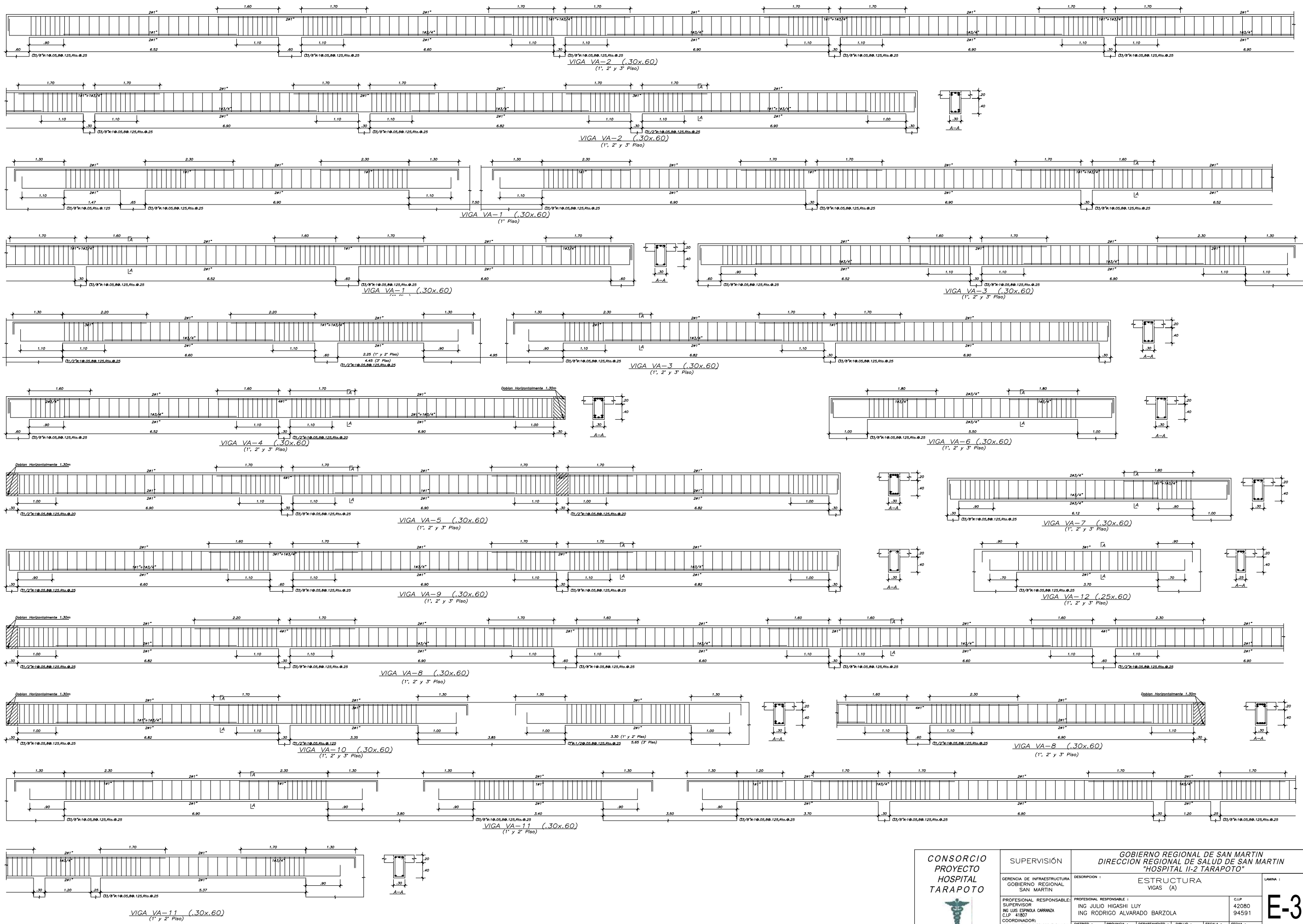
GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN
 DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN
 "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"

DESCRIPCION :
 ESTRUCTURA
 ENCOFRADO 4° PISO (BLOQUE A) 2

PROFESIONAL RESPONSABLE :
 ING. JULIO HIGASHI LUY
 ING. RODRIGO ALVARADO BARZOLA
 DISTRITO : TARAPOTO
 PROVINCIA : SAN MARTIN
 DEPARTAMENTO : SAN MARTIN
 DIBUJO : EMIR
 ESCALA : 1/50
 FECHA : MAYO 2012

LAMINA :

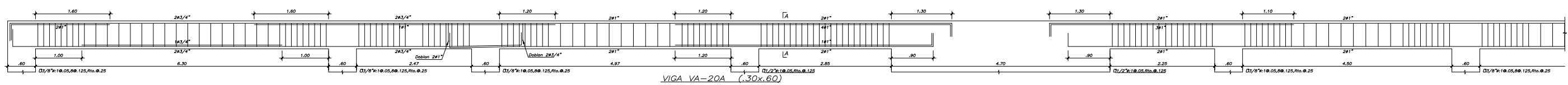
E-38



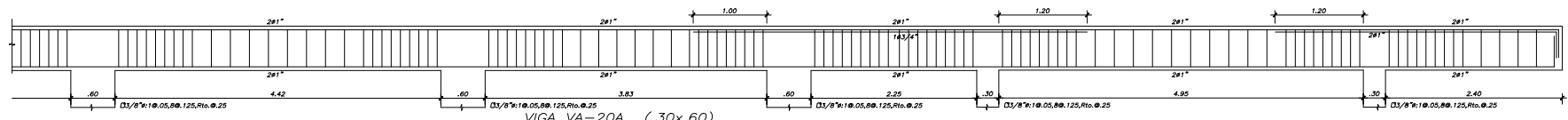
CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO	SUPERVISIÓN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"	
	GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN	DESCRIPCION : ESTRUCTURA VIGAS (A)	PROFESIONAL RESPONSABLE : SUPERVISOR ING JULIO HIGASHI LUY ING RODRIGO ALVARADO BARZOLA	C.I.P. 42080 94591
COORDINADOR: ING. GILBERTO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834	DISTRITO : TARAPOTO	PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN	DIBUJO : EMIR
		ESCALA : 1/30	FECHA : MAYO 2012	



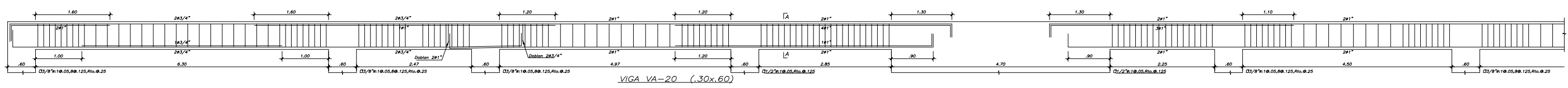
CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO	SUPERVISIÓN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		
	GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN		DESCRIPCION : ESTRUCTURA VIGAS (B)		
	PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR ING LUIS ESPINOSA CARRANZA C.I.P. 41807		PROFESIONAL RESPONSABLE : ING JULIO HIGASHI LUY ING RODRIGO ALVARADO BARZOLA		
COORDINADOR: ING. GILBERTO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834		DISTRITO : TARAPOTO	PROVINCIA : SAN MARTIN	DEPARTAMENTO : SAN MARTIN	DIRIJO : EMIR
		ESCALA : 1/30	FECHA : MAYO 2012	E-40	



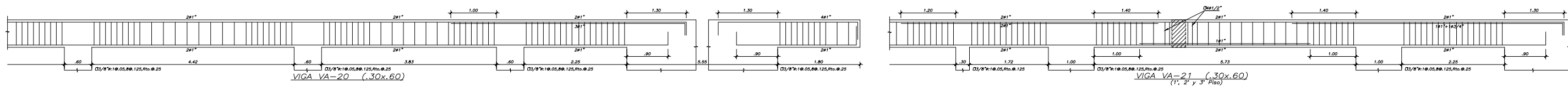
VIGA VA-20A (.30x.60)



VIGA VA-20 (.30x.60)

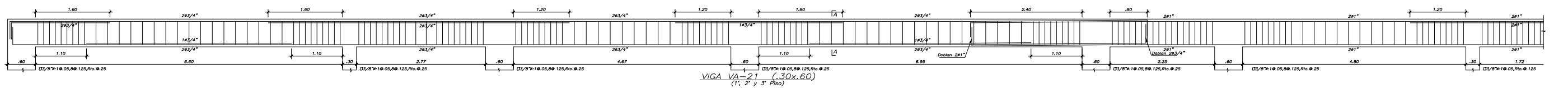


VIGA VA-20 (.30x.60)

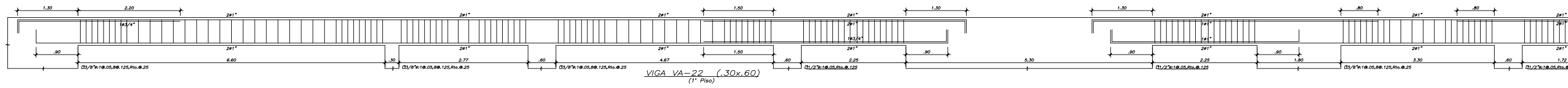


VIGA VA-20 (.30x.60)

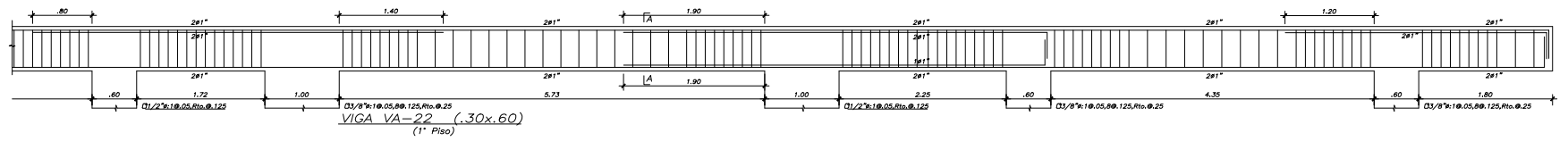
VIGA VA-21 (.30x.60)
(1°, 2° y 3° Piso)



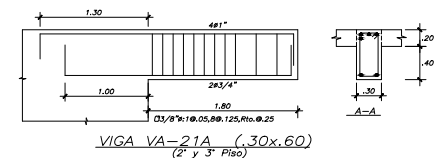
VIGA VA-21 (.30x.60)
(1°, 2° y 3° Piso)



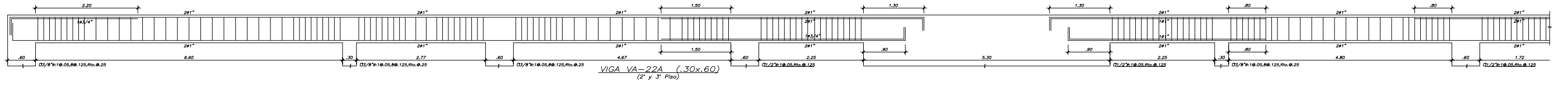
VIGA VA-22 (.30x.60)
(1° Piso)



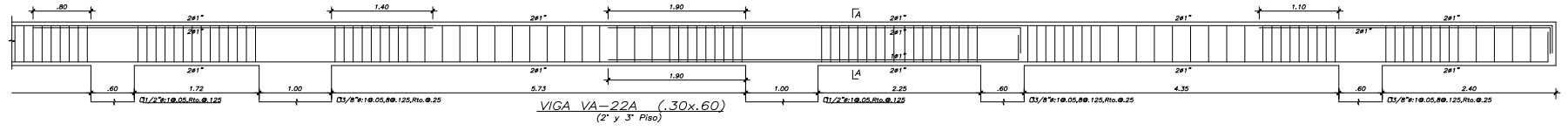
VIGA VA-22 (.30x.60)
(1° Piso)



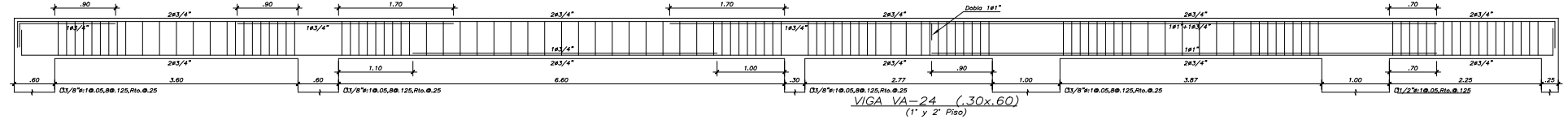
VIGA VA-21A (.30x.60)
(2° y 3° Piso)



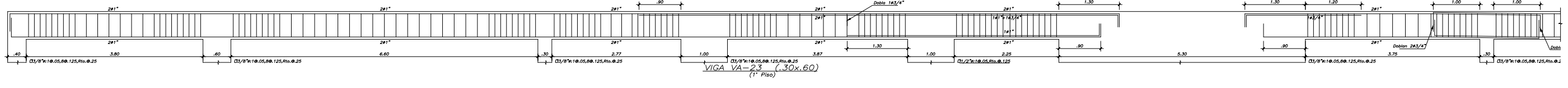
VIGA VA-22A (.30x.60)
(2° y 3° Piso)



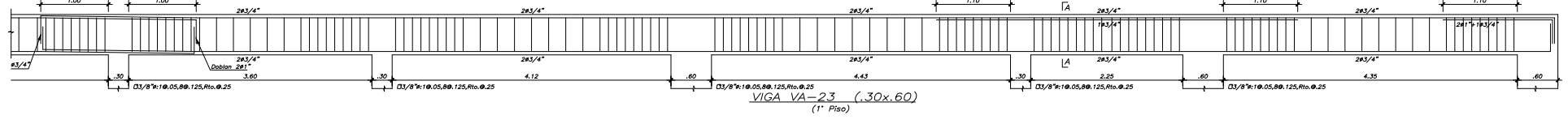
VIGA VA-22A (.30x.60)
(2° y 3° Piso)



VIGA VA-24 (.30x.60)
(1° y 2° Piso)



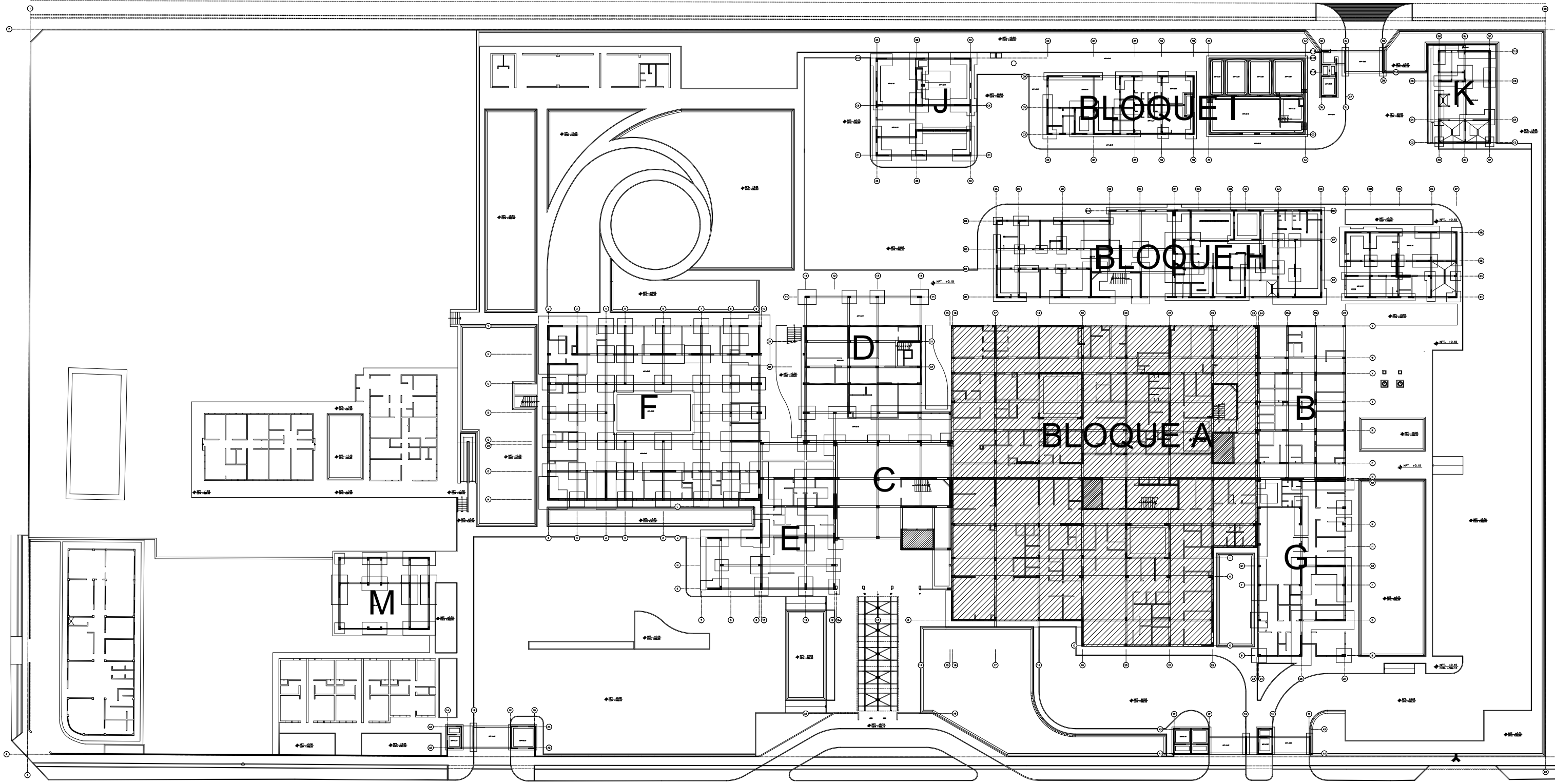
VIGA VA-23 (.30x.60)
(1° Piso)




VIGA VA-23 (.30x.60)
(1° Piso)



CONSORCIO HOSPITAL TARAPOTO		SUPERVISIÓN GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"	
		DESCRIPCION : ESTRUCTURA VIGAS (C)		LAMINA : E-41	
PROFESIONAL RESPONSABLE : SUPERVISOR ING JULIO HIGASHI LUY NO LUIS ESPINOSA CARRANZA C.I.P. 41807		PROFESIONAL RESPONSABLE : ING JULIO HIGASHI LUY ING RODRIGO ALVARADO BARZOLA		C.I.P. 42080 94591	
COORDINADOR: ING. GILBERTO CARRASCO TUPAYACHI C.A.P. 0834		DISTRITO : TARAPOTO		PROVINCIA : SAN MARTIN DEPARTAMENTO : SAN MARTIN DIRIJO : EMIR ESCALA : 1/30 FECHA : MAYO 2012	



PLANTA GENERAL DE CIMENTACION DE BLOQUES
 NOTA: LOS BLOQUES ACHURADOS INDICAN EL USO DE PLATEA DE CIMENTACION
 ESC 1/200

CONSORCIO PROYECTO HOSPITAL TARAPOTO 	SUPERVISIÓN		GOBIERNO REGIONAL DE SAN MARTIN DIRECCION REGIONAL DE SALUD DE SAN MARTIN "HOSPITAL II-2 TARAPOTO"		LÁMINA 1 E-61
	GERENCIA DE INFRAESTRUCTURA GOBIERNO REGIONAL SAN MARTIN		DESCRIPCIÓN : ESTRUCTURA PLANTA GENERAL DE CIMENTACION DE BLOQUES		
	PROFESIONAL RESPONSABLE: SUPERVISOR: ING LUIS ESPINOLA CARRANZA C.I.P. 41807 COORDINADOR: ING. GUILLERMO CARRISO TURKACHI C.A.P. 0834		PROFESIONAL RESPONSABLE: ING JULIO HIGASHI LUY ING RODRIGO ALVARADO BARZOLA DISTRITO : TARAPOTO PROVINCIA : SAN MARTIN DEPARTAMENTO : SAN MARTIN DIBUJO : EMR ESCALA : 1/75 FECHA : MAYO 2012		
	C.I.P. 42080 94591				