

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“IMPLEMENTACION Y COMPARACION DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO EN EL COMPORTAMIENTO SISMICO DE UNA EDIFICACIÓN DE ONCE NIVELES UBICADO EN EL DISTRITO DE SURQUILLO - 2023.”

Trabajo de suficiencia profesional para optar el título

profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Cesar Hugo Mendoza Infante

Asesor:

Ing. Jose Alexander Ordoñez Guevara

<https://orcid.org/0000-0001-9184-6711>

Lima - Perú

2023

INFORME DE SIMILITUD

Revisión final de trabajo de suficiencia

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

ENCONTRAR COINCIDENCIAS CON TODAS LAS FUENTES (SOLO SE IMPRIMIRÁ LA FUENTE SELECCIONADA)

7%

★ repositorio.unh.edu.pe

Fuente de Internet

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias Apagado

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada con todo mi afecto a mi mamá Rosita a mi papá Ananías y a mis hermanos Coquí y Toño.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermanos por todo su apoyo tanto educativo y sobre todo como persona, mostrándome altos valores morales.

Al Ing. Barreda por su oportunidad laboral y adquirir los conocimientos de la presente tesis, como también mi gratitud hacia mi amigo Renzo.

Tabla de contenidos

INFORME DE SIMILITUD	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN EJECUTIVO.....	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Experiencia profesional.....	13
1.2. Descripción de la Empresa	13
1.2.1. ACADIO S.A.C.....	13
1.2.2. Misión	14
1.2.3. Visión.....	14
1.3. Servicios de la Empresa	14
1.4. Información de la Empresa	14
1.5. Proyectos Realizados	15
1.6. Organigrama de la Empresa	16
1.7. Realidad Problemática	16
1.8. Formulación del problema.....	20
1.9. Justificación.....	20
1.10. Objetivos	20
1.10.1. Objetivo general.....	20
1.10.2. Objetivos específicos.....	21
1.11. Hipótesis	21
1.11.1. Hipótesis general.....	21
1.11.2. Hipótesis específicas.....	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	23
2. Antecedentes	23
2.1. Antecedentes Internacionales.....	23
2.2. Antecedentes Nacionales	23
2.3. Bases teóricas.....	24
2.3.1. Diseño Sismorresistente.....	24
2.3.2. Sistemas Protección Sísmica	25
2.3.3. Disipadores de Energía	26
2.3.4. Disipadores de Fluido Viscoso	29
2.3.5. Partes y funciones de los disipadores de fluido viscoso	31
2.3.6. Incorporación en la estructura	32
2.3.7. En función a la estética de la estructura.....	32
2.3.8. Vida útil de la estructura	32

2.3.9.	<i>Criterios de ubicación y Disposición de los disipadores Viscosos</i>	33
2.4	Limitaciones para el presente estudio:	33
CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA		35
3.	Procedimiento del proyecto	35
3.1.	Diagrama de flujo de proyecto	37
3.2.	Descripción del proyecto	39
3.3.	Normativa	39
3.4.	Metrado de cargas	39
3.5.	Cargas estructurales	40
3.6.	Parámetros de diseño sísmico.....	41
3.6.1.	<i>Zonificación</i>	41
3.6.2.	<i>Parámetros de perfiles de suelo</i>	42
3.6.3.	<i>Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones</i>	43
3.7.	Sistemas estructurales.....	43
3.8.	Regularidad estructural	45
3.8.1.	<i>Irregularidades estructurales en altura</i>	45
3.8.1.1.	<i>Irregularidad de rigidez – piso blando</i>	45
3.8.1.2.	<i>Irregularidad de resistencia – piso débil</i>	48
3.8.2.	<i>Irregularidades estructurales en planta</i>	48
3.8.2.1.	<i>Irregularidad torsional e irregularidad torsional extrema</i>	48
3.8.2.2.	<i>Esquinas entrantes</i>	50
3.8.2.3.	<i>Discontinuidad del diafragma</i>	50
3.8.2.4.	<i>Sistemas no paralelos</i>	50
3.8.3.	<i>Introducción de datos al software Etabs</i>	51
3.8.3.1.	<i>Combinación de cargas empleadas:</i>	51
3.8.3.2.	<i>Introducción Gráfica de Cargas al ETABS:</i>	52
3.8.3.3.	<i>Modelo estructural</i>	53
3.8.3.4.	<i>Análisis modal de la estructura</i>	53
3.8.3.5.	<i>Modos de vibración de la estructura</i>	54
3.8.3.6.	<i>Desplazamiento y distorsiones</i>	56
3.8.3.7.	<i>Máximo Desplazamiento Relativo de Entrepiso</i>	57
3.8.3.8.	<i>Análisis estático</i>	60
3.8.3.9.	<i>Análisis dinámico</i>	61
3.9.	Análisis tiempo historia	62
3.9.1.	<i>Acelerogramas</i>	62
3.9.2.	<i>Ingreso de aceleraciones sísmicas</i>	64
3.9.3.	<i>Análisis sísmico dinámico modal – tiempo historia</i>	68
3.9.4.	<i>Cálculo de parámetros para la Implementación de amortiguadores de fluido viscoso</i>	69
3.9.4.1.	<i>Elección de deriva objetiva</i>	69
3.9.4.2.	<i>Definición de objetivo de desempeño</i>	69
3.9.5.	<i>Determinación de amortiguamiento efectivo.</i>	69
3.9.5.1.	<i>Amortiguamiento viscoso</i>	70

3.10. Elección del perfil metálico	71
3.11. Modelamiento con los dispositivos implementados	71
CAPÍTULO IV. RESULTADOS	76
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFIA	80
ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Comportamiento histórico, modelos físicos, ventajas, y desventajas de los dispositivos de disipación pasiva como aplicación de protección sísmica (Adecuado de: Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments)	28
Tabla 2 - Obtención de la cortante de las placas para el eje X	44
Tabla 3 - Obtención de la cortante de las placas para el eje Y	44
Tabla 4 - Promedio de derivas en el sentido X.....	46
Tabla 5 - Promedio de derivas en el sentido Y.....	46
Tabla 6 - Verificación 1 para piso blando	47
Tabla 7 - Verificación 2 para piso blando	47
Tabla 8 - Verificación piso débil	48
Tabla 9 - Verificación irregularidad torsional	49
Tabla 10 - Máximas derivas	58
Tabla 11 - Cálculo de peso.....	60
Tabla 12 - Verificación de cortante basal.....	61
Tabla 13 – Registros sísmicos utilizados en el análisis tiempo- historia.....	61
Tabla 14 – Derivas máximas del análisis dinámico.	69
Tabla 15 – Derivas inelásticas máximas en dirección X, Y de los 3 registros	69
Tabla 16 – Amortiguamiento para el sentido en X.....	61
Tabla 17 – Amortiguamiento para el sentido en Y.....	69
Tabla 18 – Características de brazo metálico	72
Tabla 19 - Cuadro de derivas finales obtenidas del análisis con disipadores.	76
Tabla 20 – Porcentaje de reducción del desplazamiento lateral en eje “X”	77
Tabla 21 – Porcentaje de reducción del desplazamiento lateral en eje “Y”.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Organigrama de la Empresa	16
Figura 2 - Mapa de sismicidad global y ubicación de las principales fuentes sismogénicas en el mundo	17
Figura 3 - Zonas Sísmicas del Perú Fuente: (Norma E 030 Diseño Sismorresistente).....	18
Figura 4 - Edificaciones sin y con disipadores de fluido viscoso.....	19
Figura 5 - Clasificación de los sistemas modernos de protección sísmica	25
Figura 6 - Clasificación de dispositivos de disipación de energía pasivo	27
Figura 7 - Disipador de fluido viscoso	30
Figura 8 - Partes de un disipador de fluido viscoso.....	30
Figura 9 - Diagrama de flujo de proyecto	37
Figura 10 - Modelo de estructura en ETABS.....	38
Figura 11 - Factores de zona “Z” Fuente: (Norma E 030 Diseño Sismorresistente)	41
Figura 12 - Factores de suelos “S” y periodos (Norma E 030 Diseño Sismorresistente)	42
Figura 13 - Cortante dinámica para espectro.....	44
Figura 14 - Espectro para el parámetro de uso común (U=1.00).....	51
Figura 15 - Carga muerta las losas (tn/m2)	52
Figura 16 - Carga viva las losas (tn/m2)	52
Figura 17 – Vista de modelado de estructura	53
Figura 18 – Masa aplicada	54
Figura 19- Periodo 1.....	55
Figura 20 -Periodo 2.....	55
Figura 21 -Periodo 3.....	56
Figura 22 - Limite para la distorsión de entrepiso.....	57
Figura 23 - Desplazamiento absoluto	59
Figura 24 - Desplazamiento relativo	59
Figura 25 - Cortante basal dinámico	60
Figura 26 - Cortante basal dinámico escalados	61
Figura 27- registros sísmicos (1966) escalados.....	64
Figura 28- registros sísmicos (1974) escalados.....	64

Figura 29- registros sísmicos (2007) escalados	65
Figura 30 - Ingreso de las aceleraciones corregidas y escalas de sismo de 1966.	66
Figura 31 - Ingreso de las aceleraciones corregidas y escalas de sismo de 1974.	67
Figura 32 - Ingreso de las aceleraciones corregidas y escalas de sismo de 2007.	68
Figura 33 - Definición de propiedades de los disipadores.....	74
Figura 34 - Ubicación y disposición de los dispositivos de amortiguamiento	74
Figura 35 - Ubicación y disposición de los dispositivos de amortiguamiento en planta y vista 3D	75
Figura 36 - Grafica de porcentaje de reducción del desplazamiento lateral en eje “X”.	77
Figura 37 - Grafica de porcentaje de reducción del desplazamiento lateral en eje “Y”.	78

RESUMEN EJECUTIVO

La presente investigación tiene como objetivo principal implementar el uso de disipadores de fluido viscoso (DFV) en el contexto de la ingeniería sísmica en el Perú. Los DFV son dispositivos que permiten disipar la energía generada por los movimientos sísmicos, reduciendo la respuesta estructural y mejorando la capacidad de resistencia de las edificaciones ante terremotos.

En el estudio se realiza una revisión de la literatura técnica existente, así como un análisis de casos de estudio de proyectos que han implementado DFV en el Perú y afuera. Se examinan aspectos relevantes como el diseño, la selección y la ubicación óptima de los disipadores, considerando las características sísmicas propias del país.

Además, se evalúa la eficiencia y los beneficios que aportan los DFV en términos de reducción de las fuerzas sísmicas, los desplazamientos y las aceleraciones en las estructuras. Asimismo, se analiza su influencia en la protección de vidas humanas y la preservación del patrimonio construido.

Los resultados obtenidos demuestran que el uso de DFV en el Perú puede ser una estrategia efectiva para mejorar la resiliencia de las edificaciones frente a los eventos sísmicos. Se identifican las ventajas, limitaciones y consideraciones específicas para su implementación en diferentes tipos de estructuras, como edificios de viviendas, puentes y estructuras industriales.

Palabras claves: disipadores de fluido viscoso, análisis dinámico, análisis tiempo historia

ABSTRACT

The main objective of this research is to implement the use of viscous fluid dissipators (VFD) in the context of seismic engineering in Peru. VFDs are devices that allow the energy generated by seismic movements to be dissipated, reducing the structural response and improving the resistance capacity of buildings against earthquakes.

In the study, a review of the existing technical literature is carried out, as well as an analysis of case studies of projects that have implemented DFV in Peru and abroad. Relevant aspects such as the design, selection and optimal location of the dissipators are examined, considering the seismic characteristics of the country.

In addition, the efficiency and benefits provided by DFVs in terms of reduction of seismic forces, displacements and accelerations in the structures are evaluated. Likewise, its influence on the protection of human lives and the preservation of built heritage is analyzed.

The results obtained show that the use of DFV in Peru can be an effective strategy to improve the resilience of buildings against seismic events. The advantages, limitations and specific considerations for its implementation in different types of structures, such as residential buildings, bridges and industrial structures, are identified.

Keywords: viscous fluid dissipators, dynamic analysis, time history analysis

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Experiencia profesional.

Mis inicios con Acadio S.A.C. comienza desde Enero del 2020 ingresando a apoyar en el desarrollo del área estructural diseñando vigas , placas escaleras, muros, cisternas posteriormente el diseño en 3d utilizando el programa de Etabs analizando el de desarrollo estructural de diversos inmuebles y verificando las irregularidades (en planta y altura) que podría presentar dichas edificaciones utilizando siempre la normativa peruana sismorresistente E-030 posteriormente de los planos, me encargo en el desarrollo de la memoria estructural.

1.2. Descripción de la Empresa

1.2.1. ACADIO S.A.C.

ACADIO SAC. Es una empresa peruana creada el 2015 especializada en consultoría, desarrollo de proyectos de ingeniería estructural y supervisión de proyectos de construcción.

Desde su fundación se ha desarrollado importantes Proyectos que incluyen Viviendas Unifamiliares, Multifamiliares, Edificios de Oficinas, Hoteles, Industria, Comercio, Salud, Educación, entre otros.

Colaborando con las principales Empresas Constructoras aportando experiencia y conocimiento, facilitando las mejores soluciones de ingeniería en sus proyectos.

ACADIO SAC. Cuenta con un equipo de profesionales, conformados por ingenieros, arquitectos y técnicos titulados. Haciendo uso de programas de diseño y cálculos que garantizan la calidad y seguridad de nuestros proyectos

1.2.2. Misión: Es aplicar el conocimiento de Ingeniería Estructural en búsqueda de las mejores soluciones para los proyectos de los clientes, brindándoles un servicio eficiente, oportuno y personalizado.

1.2.3. Visión: Es que sea reconocido como una Empresa líder en el rubro de Diseño Estructural, que pueda contribuir al desarrollo de la Ingeniería en nuestro país, velando siempre por la seguridad y el cumplimiento de las normas nacionales vigentes.

1.3. Servicios de la Empresa

Área de ingeniería

- Evaluación, diseño y análisis de cálculos estructurales.
- Desarrollo de planos estructurales bajo la normativa.

Área de Obra Civil

- Evaluación, diseño y análisis de cálculos estructurales.
- Modificación y reestructuración de concreto existente.
- Movimiento de tierras, incluyendo excavación, corte, relleno y eliminación.
- Obras de hormigón armado, como cimentaciones superficiales, columnas, placas, muros de contención, lasas colaborantes.
- Estudios sobre la mecánica de suelos para pavimentación y cimentación.

1.4. Información de la Empresa

Razón social: ACADIO S.A.C.

Ruc: 20600619901

Dirección: Av. La Mar nro. 333 int. 204 - Miraflores - Lima

Teléfono: (01) 2216239

correo: contabilidad.acadio@gmail.com

Contactos

Gerente General: Carlos Barreda Guzmán

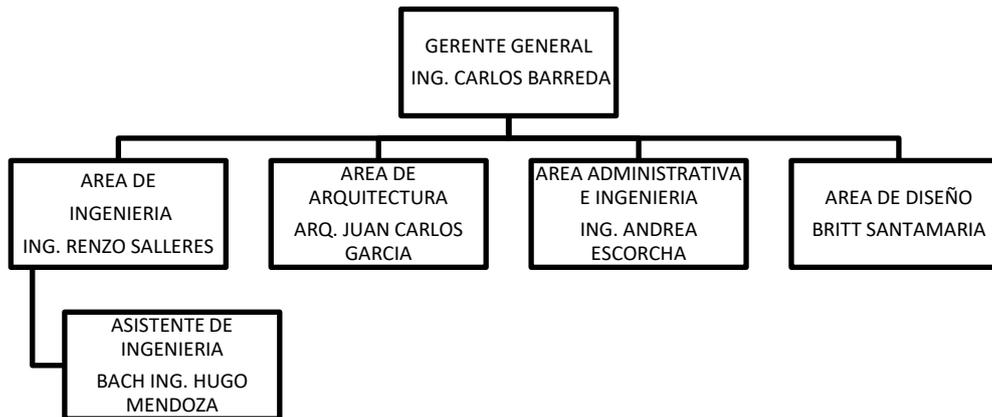
1.5. Proyectos Realizados

- Diseño Estructural Club Residencial Huarochirí, Plaza Ferretero “Las Malvinas”.
- Diseño Estructural de Remodelación GUE Alfonso Ugarte.
- Diseño Estructural de Remodelación GUE Ricardo Bertín.
- Diseño Estructural Conjunto Habitacional Barranco.
- Diseño Estructural Edificio Multifamiliar Residencial Alameda.
- Diseño Estructural Agencias BCP en Cañete, Cajamarca, Lima.
- Diseño Estructural Centro Cultural Peruano Norteamericano ICPNA Lima Sur.
- Diseño Planta recicladora de plásticos ubicada en Lurín.

1.6. Organigrama de la Empresa

Figura 1

Organigrama de la Empresa



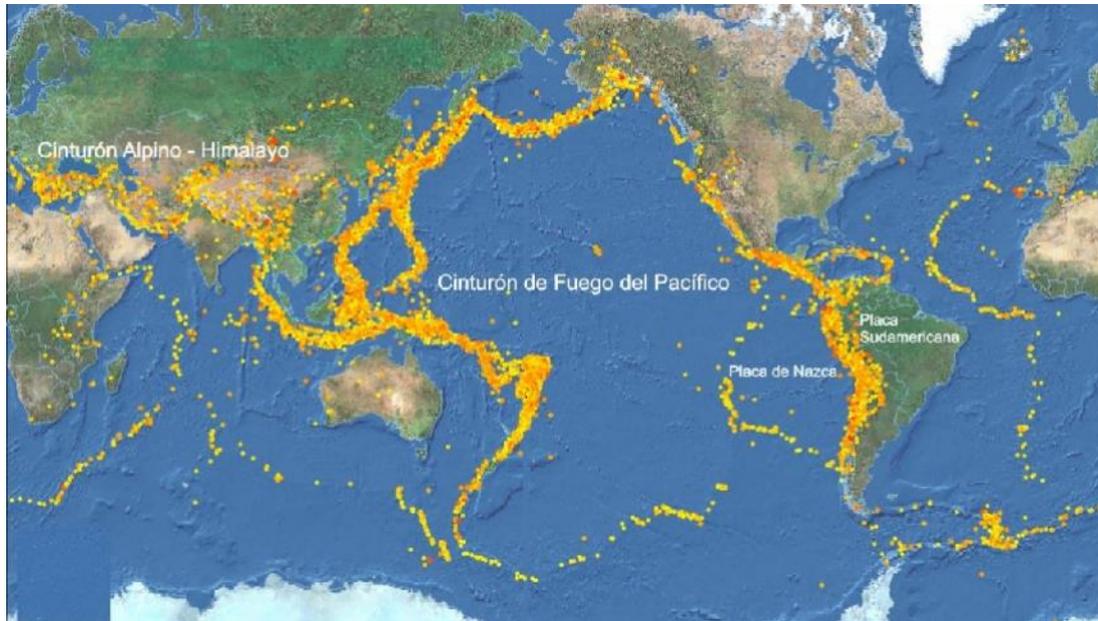
1.7. Realidad Problemática

Un sismo es un conjunto de vibraciones de la tierra provocadas por la liberación de energía acumulada durante un periodo prolongado. Estos intensos movimientos en la corteza terrestre provocados por la colisión de placas tectónicas dan lugar a esfuerzos de fricción que impiden el movimiento de un lado a otro, provocando una ruptura catastrófica y la liberación de la energía almacenada de forma repentina dejando daños materiales y pérdidas de vidas como lo fue en febrero del 2023 en Turquía y Siria superando las 41,000 víctimas y 1,5 millones de personas quedando sin hogar.

Debido a su ubicación dentro de la bola de fuego del Pacífico, el territorio peruano está situado en una zona de alto riesgo sísmico. Esto da lugar a que se produzcan con frecuencia una gran variedad de terremotos, cada uno con una magnitud diferente y que se producen a profundidades de hasta 700 km. Incurriendo en pérdidas económicas (Instituto Geofísico del Perú, 2017).

Figura 2.

Mapa de zonas sísmicas mundiales



Según Hernando Tavera, presidente del IGP (Instituto Geofísico del Perú), "los sismos son climáticos y, en la medida en que el periodo de retorno sea más largo, mayor será la cantidad de energía que se libere". El más potente de estos terremotos registrados se produjo en 1746 y alcanzó una magnitud de 8,8, destruyendo gran parte de las viviendas de la capital peruana.

Figura 3.

Zonas Sísmicas del Perú Fuente: (Norma E 030 Diseño Sismorresistente)



Por lo señalado es necesario evaluar y reacondicionar las edificaciones de manera prioritaria y sobre todo hacer uso de las normativas sismorresistente.

Las normativas sismorresistentes, tienen como filosofía de diseño, de evitar el colapso de las edificaciones frente a movimientos sísmicos de baja, mediana y gran intensidad producidos mediante la disipación de energía sísmica a través del comportamiento inelástico en los elementos estructurales.

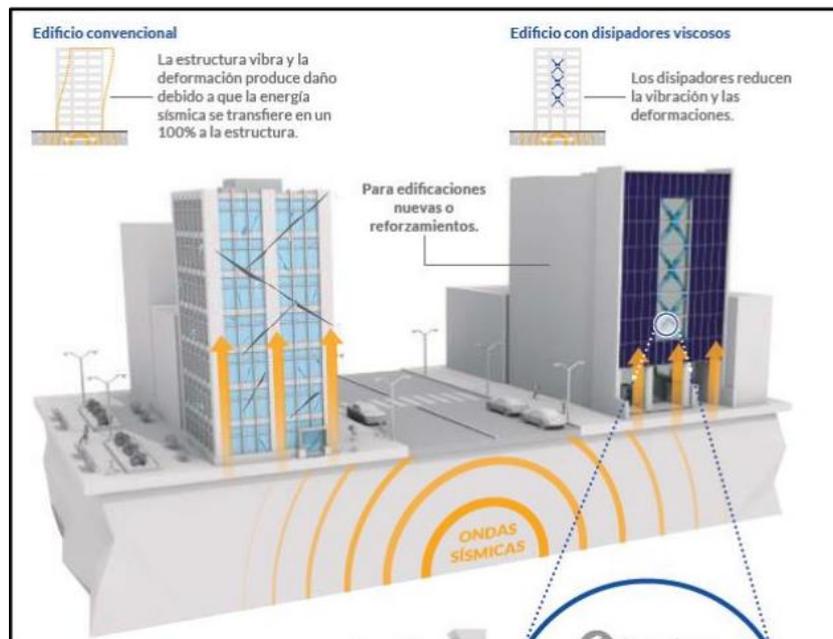
Según la normativa peruana E030 (Diseño sismorresistente) tienen como principios de diseño evitar pérdidas de vidas humanas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad, no obstante cuando se presenta un movimiento sísmico el daño se produce en las estructuras cuando al disipar la energía sísmica a través del comportamiento inelástico en los elementos estructurales mediante la aparición de rótulas plásticas, ya que por medio de estas se tiende a disipar la energía histerética generando así

deformaciones de grandes proporciones comprometiendo al colapso de la estructura y por ende la integridad de las personas que habitan la edificación afectada.

Para lograr el cumplimiento de los principios mencionados, se han desarrollado dispositivos de protección sísmica estructural, como los disipadores de fluidos viscosos. Estos dispositivos permiten disipar la energía entrante, lo que permite aumentar la amortización suplementaria y disminuir la demanda sísmica de los componentes estructurales.

Figura 4.

Edificaciones sin y con disipadores de fluido viscoso



Fuente: (Ingeniería Antisísmica (CDV), 2018)

Es por ello que, mediante esta investigación se propone como alternativa el uso de disipadores. Según(Núñez, 2019) “Mediante el uso de amortiguadores sísmicos, cuyo objetivo es mejorar el comportamiento de los edificios para evitar cualquier daño a la estructura, ya que estas tienden a ser diseñadas y cuando se presentan sismos leves la edificación no sufra daño, aunque en presencia de un sismo fuerte es posible que se

deterioreen, pero deberán soportar el colapso de la estructura salvaguardando la vida de los personas que habitan dicha edificación y puedan lograr evacuar la vivienda”

1.8. Formulación del problema

¿Cuál será la respuesta estructural en la implementación y comparación de disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico de una edificación de once niveles ubicado en el distrito de Surquillo - 2023?

1.9. Justificación

Por lo mencionado se desea proponer e implementar en ACADIO SAC, empresa especializada en diseño estructural, nuevas tecnologías y soluciones modernas frente al comportamiento sismorresistente, considerando que nos encontramos en un país altamente sísmico y en una ciudad como lo es Lima que está a la espera de un sismo de gran magnitud. Hacer uso de disipadores de fluido viscoso, y aplicarlas en la estructura de una edificación ya elaborada por la empresa y analizar el comportamiento estructural en diversos puntos como la disipación de energía sísmica, en determinar si efectivamente disminuyen los esfuerzos dinámicos de la estructura, si las derivas de entrepiso logran disminuir.

Es por ello que se ha propuesto comprobar su aplicación por medio de la presente investigación Logrando así a la empresa ACADIO SAC ofrecer diseños que incorporen tecnologías avanzadas y que garanticen un mejor rendimiento sísmico pudiendo ser un diferenciador clave para atraer clientes y proyectos de mayor envergadura permitiendo a la empresa destacarse en el mercado y mantenerse competitiva.

1.10. Objetivos

1.10.1. Objetivo general

Realizar el diseño y evaluar el comportamiento sísmico estructural implementando disipadores de fluido viscoso en un edificio de once pisos ubicado en el distrito de surquillo – 2023.

1.10.2. Objetivos específicos

- Evaluar la magnitud del aumento en la capacidad de disipación de energía al emplear disipadores de fluido viscoso en un edificio de once pisos ubicado en el distrito de surquillo – 2023.
- Determinar el grado en que disminuyen las derivas de entrepiso al emplear disipadores de fluido viscoso en un edificio de once pisos ubicado en el distrito de surquillo – 2023.
- Analizar la respuesta modal dinámica de una estructura convencional de once pisos ubicada en el distrito de Surquillo, utilizando los parámetros de diseño estructural al implementar disipadores de fluido viscoso.
- Analizar el comportamiento estructural y las distorsiones al emplear disipadores de fluido viscoso en un edificio de once pisos ubicado en el distrito de surquillo – 2023.

1.11. Hipótesis

1.11.1. Hipótesis general

La Incorporación de los disipadores de energía de fluido viscoso, disminuirá los desplazamientos laterales alrededor de un 30% con respecto al desempeño del sistema convencional, en un edificio de 11 pisos ubicado en el distrito de surquillo – 2023.

1.11.2. Hipótesis específicas

- Basándose en los parámetros de diseño estructural, será posible reducir la torsión a menos de 1,3 veces el desplazamiento relativo entre el centro del mismo entrepiso y los extremos para la misma condición de carga, para una edificación de 11 pisos ubicado en el distrito de surquillo – 2023.

- Serán significativas las diferencias del comportamiento estructural ya que el sistema de disipadores será sumamente favorable ante los desplazamientos laterales siendo inferiores al 0.007, para una edificación de 11 pisos ubicado en el distrito de surquillo – 2023.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2. Antecedentes

2.1. Antecedentes Internacionales

(Chalarca et al., 2020) en su investigación afirma que al incluir disipadores de fluido viscoso en sus resultados la respuesta sísmica mejoró notablemente como también la probabilidad de desplome se redujo gracias al aumento de amortiguación suplementaria.

(Kumar & Chakraborty, 2020) en su investigación señala que los dispositivos de amortiguadores viscosos generan una disipación estable y eficaz con bajo mantenimiento y demostró ser una tecnología idónea para el control de una edificación en caso de presencia de sismo como también pueden ser utilizados para edificaciones dañadas por sismos severos.

(Xu et al., 2020) en su investigación afirma que los disipadores o amortiguadores son sumamente importante a la hora de su instalación la ubicación y la cantidad a usar como también señala que los disipadores de energía o también los disipadores viscoelásticos son reconocidos por su capacidad de absorción de alta energía y por su economía.

2.2. Antecedentes Nacionales

Casana (2018) en su tesis cuyo objetivo fue “Determinar el desempeño sísmico de un edificio haciendo uso de disipadores de energía” concluyo en su tesis que: “la energía del sismo es absorbida por el conjunto de elementos estructurales en edificaciones tradicionales, por lo contrario, en un sismo la edificación con disipadores la energía es absorbida por esos dispositivos sísmicos”.

(Fernandez & Mendo, 2020) Señalan que el edificio de la Torre de Control del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez en el 2007 fue el primer edificio en implementar amortiguadores viscosos ya que son sistemas de protección sísmica en tendencia de diseño sísmico además recalco que desde el 2018 se incluyó en la normativa E-030 (Diseño Sismorresistente) el uso de sistemas de aislamiento sísmico en los hospitales.

(Santos Flores, 2018) En su investigación arrojó que las derivas tanto en "X", como en "Y" no sobrepasen el 0.007 establecido en la norma E.030 logrando resultados mejores que los esperados y concluyendo que el uso de disipadores representa una gran alternativa frente al funcionamiento de la estructura y del ahorro económico a futuro y sobre todo es sumamente idóneo su uso ya que evitaría el colapso de las edificaciones y por ende reduciría las probabilidades de pérdidas humanas.

(Carranza & Calderón, 2015) Los objetivos de ambos investigadores en sus tesis eran establecer cómo reducir los daños de un evento sísmico severo consiguiendo que la deriva fuera inferior a 5,8, que es el valor determinado por la metodología HAZUS (Metodología para la Estimación de Pérdidas y Catástrofes). Haciendo uso de los disipadores redujo la deriva de entre piso a menos de 5,8 (4,55). Por último, se determinó que una estructura reforzada se comporta mejor frente a un sismo severo que una estructura no reforzada

2.3. Bases teóricas

2.3.1. Diseño Sismorresistente

El principal objetivo es garantizar la seguridad y la integridad de las edificaciones en áreas propensas a la actividad sísmica, utilizando principios de la ingeniería estructural y conocimientos avanzados sobre el comportamiento de los materiales y las fuerzas sísmicas para desarrollar estructuras capaces de resistir las fuerzas dinámicas generadas por los

terremotos. Esto implica considerar factores como la ubicación geográfica, las características del suelo, los códigos y regulaciones sísmicas, así como los requisitos específicos del proyecto.

Así también se realiza análisis detallados de las cargas sísmicas esperadas y se emplean técnicas de modelado y simulación para evaluar la respuesta estructural ante los movimientos sísmicos. Con base en estos análisis, se selecciona y dimensiona los sistemas estructurales adecuados, como sistemas de resistencia lateral, muros de corte, sistemas de disipación de energía y otros elementos de refuerzo, para garantizar que la energía sísmica pueda ser disipada por la estructura.

Según (Villarreal & Diaz, 2016) El rendimiento de una estructura puede gestionarse de dos maneras si suponemos que el aporte de energía permanece constante. La primera consiste en hacer el sistema más rígido y dúctil, lo que aumenta la energía de deformación inelástica (DE). La segunda opción implica aumentar la amortización interna (EA) mediante la implantación de dispositivos suplementarios. Esto permite reducir el esfuerzo dinámico sobre los elementos estructurales mediante la inelasticidad (ED), previniendo posibles fallos o daños.

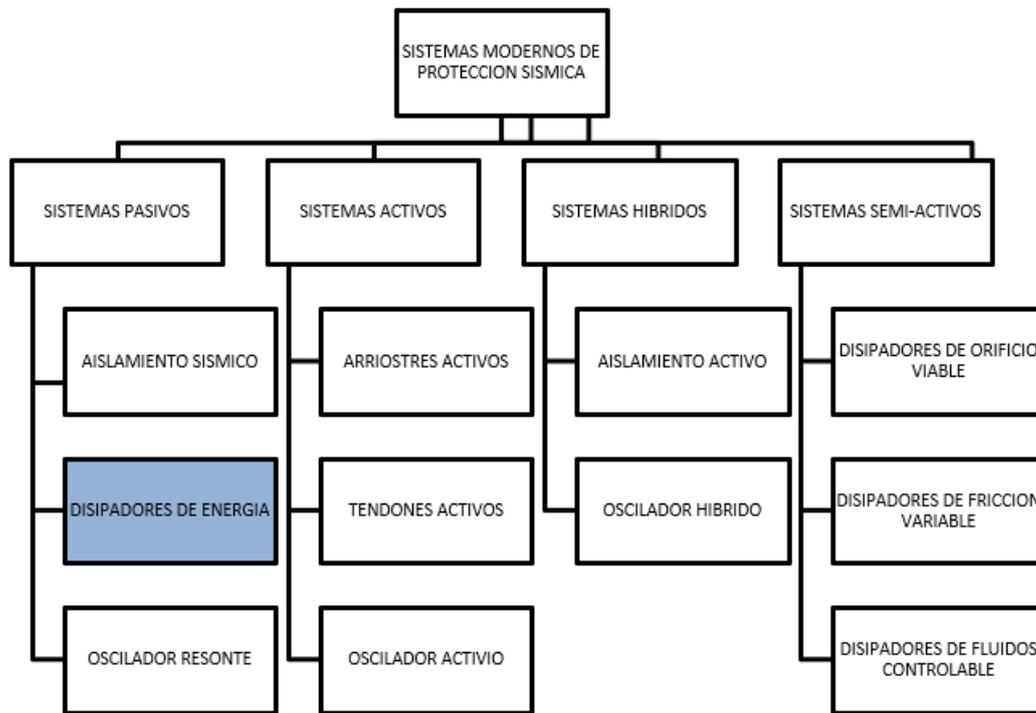
2.3.2. Sistemas Protección Sísmica

Según (Villarreal & Diaz, 2016) La instalación de dispositivos adicionales de protección antisísmica en la estructura es uno de los métodos para hacer frente a los terremotos. Estos dispositivos aumentan la amortiguación del sistema, lo que reduce las tensiones internas que actúan sobre los elementos resistentes, evitando potencialmente daños y fallos. Estas medidas de seguridad están diseñadas para reducir los desplazamientos absorbiendo una parte significativa de la fuerza del terremoto.

Los sistemas de protección sísmica se dividen en cuatro grupos: pasivos, semi- activos, activos e híbridos como se muestra en el siguiente cuadro.

Figura 5.

Clasificación de los sistemas modernos de protección sísmica



(Edificaciones con disipadores Viscosos - Villarreal & Díaz)

2.3.3. Disipadores de Energía

Según (Villarreal & Diaz, 2016) Los disipadores de energía son dispositivos diseñados para disminuir significativamente las fuerzas generadas por un sismo en los elementos estructurales. Estos dispositivos se ubican estratégicamente en la estructura, de modo que sean los primeros en absorber y disipar la mayor parte de la acción sísmica. Existen diversos tipos de disipadores de energía, que se seleccionan según el tipo de estructura, con el objetivo de reducir las deformaciones en la misma.

Los disipadores de energía pueden adoptar diferentes formas y mecanismos de funcionamiento. Algunos ejemplos comunes incluyen:

1. Disipadores de fricción: Utilizan la fricción entre dos elementos para disipar la energía generada por el movimiento sísmico. Estos dispositivos suelen estar compuestos por placas metálicas o materiales de fricción que se deslizan entre sí, transformando la energía cinética en calor.
2. Amortiguadores viscosos: Emplean fluidos viscosos que se desplazan a través de orificios o conductos, generando una resistencia que absorbe la energía sísmica. El fluido viscoso proporciona una disipación controlada y gradual de la energía, reduciendo los efectos del sismo en la estructura.
3. Disipadores de masa sintonizada: Consisten en añadir una masa adicional a la estructura, que oscila en fase opuesta a las vibraciones del sismo, contrarrestando las fuerzas y disipando la energía. Esta masa sintonizada absorbe y desvía la energía sísmica, minimizando así los desplazamientos y la respuesta estructural.

A continuación, se muestra un cuadro de distintos tipos de disipadores de energía según su comportamiento

Figura 6.

Clasificación de dispositivos de disipación de energía pasivo

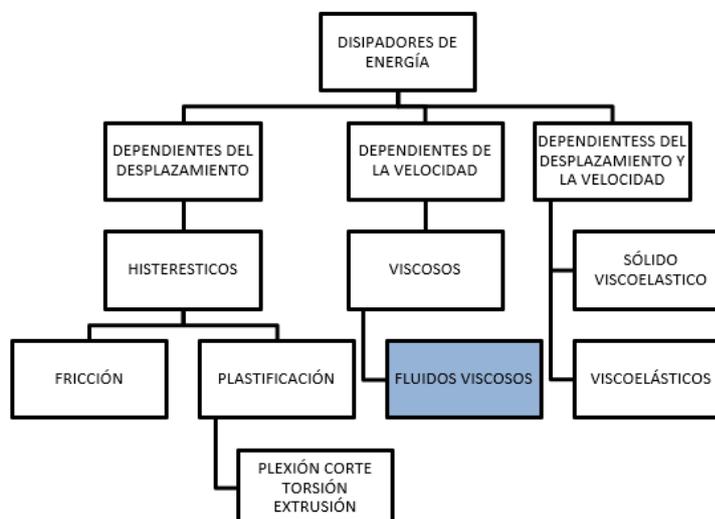
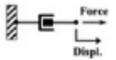
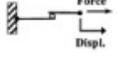
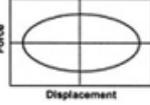
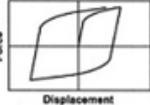
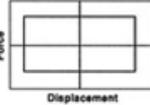


Tabla 1

Características de dispositivos de disipación de protección sísmica (Adecuado de: *Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments*)

Tipo de amortiguadores	Amortiguador de Fluido Viscoso	Amortiguador Sólido Visco elástico	Amortiguador Metálico	Amortiguador de Fricción
Construcción Básica				
Modelo Físico Idealizado			No se cuenta con un modelo idealizado	
Comportamiento Histerético Idealizado				
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Activado a bajos desplazamientos. • Mínima fuerza de restauración. • Para amortiguadores lineales, el modelo es simple. • Las propiedades son independientes de la frecuencia y temperatura. • Desempeño probado en aplicaciones militares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Activado a bajos desplazamientos • Provee fuerzas Restitutivas. • Comportamiento lineal, por lo que su modelo es simple. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comportamiento histerético estable. • Confiabilidad en tiempo prolongado. • Insensibilidad a la temperatura ambiental. • Materiales y comportamiento familiar a la práctica de ingeniería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran energía disipada por ciclo. • Insensibilidad a la Temperatura ambiental.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Posibles fugas del líquido sellado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de deformación limitada. • Las propiedades dependen de la frecuencia y temperatura. • Posible desunión y desprendimiento del material viscoelástico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivo dañado después de un terremoto, posiblemente se requiera reemplazar. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las condiciones de la interfaz de deslizamiento pueden cambiar con el tiempo. • Comportamiento no lineal muy grande; puede excitar modos más altos y requiere un análisis no lineal. • Desplazamientos permanentes si no se provee de un mecanismo de restauración de fuerza.

2.3.4. Disipadores de Fluido Viscoso

Según Fuentes (2015) el país americano creó los disipadores de fluidos viscosos basados en la idea del flujo de fluidos a través de orificios en la década de 1960. Estos artilugios se utilizaban sobre todo en los sectores aeroespacial y militar. Estos artilugios se hicieron accesibles comercialmente y se modificaron para su uso en estructuras de uso cotidiano a partir de 1990. El Centro Nacional de Investigación en Ingeniería Sísmica (NCEER) llevó a cabo programas de investigación. El objetivo de este estudio era examinar cómo se utilizan los disipadores en la construcción de estructuras civiles, como edificios y puentes, susceptibles de sufrir cargas sísmicas y de viento. Además, las normas de construcción estadounidenses empezaron a incorporar prácticas de diseño y ensayo de estos dispositivos. Según Villareal (2016) Estos disipadores están hechos para reaccionar principalmente a la velocidad de movimiento y no al desplazamiento, por lo que no modifican la rigidez de la estructura ni ejercen más presión sobre los elementos estructurales. Su estructura fundamental consiste en un cilindro hueco lleno de un fluido, normalmente silicona. El fluido se ve obligado a fluir a través de orificios situados cerca o a través de la cabeza del pistón cuando éste se mueve. Existen fuertes fuerzas que impiden el movimiento como resultado de las diferentes presiones a lo largo del pistón. Se crean fuerzas de fricción entre las partículas de fluido y la cabeza del pistón cuando el fluido se mueve a altas velocidades. Estas fuerzas de fricción inician el proceso de disipación de energía, que da lugar a la emisión de calor.

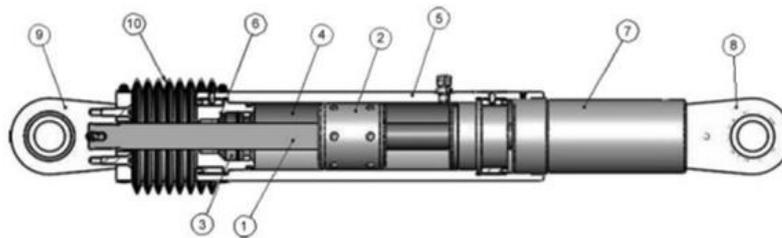
Figura 7.

Disipador de fluido viscoso



Figura 8.

Partes de un disipador de fluido viscoso



- 1) pistón, 2) cabeza del pistón, 3) sellos, 4) fluido, 5) cilindro, 6) tapa, 7) extensor, 8) horquillas, 9) cojinete esférico y 10) fuelle.

La estimulación sísmica pone en funcionamiento el sumidero de fluido viscoso. El pistón se desplaza por el interior del cilindro durante un movimiento telúrico, haciendo que el fluido fluya a través de las perforaciones de la cabeza del pistón de una cámara a la siguiente. La diferencia de presión creada por este movimiento del fluido da lugar, en última instancia, a la fuerza de amortiguación.

2.3.5. Partes y funciones de los disipadores de fluido viscoso

Según Fuentes (2015), en su investigación define cada elemento que forma parte del disipador.

a) Barra del pistón (Pistón Rod)

El vástago del pistón es resistente y, a ser posible, de acero inoxidable. Se fija a una brida de montaje y a la cabeza del pistón. Se desplaza a través de la junta y el soporte de la junta durante el movimiento para reducir las fuerzas.

b) Fluido

Los disipadores de calor para fluidos viscosos exigen fluidos con características especializadas y estrictos requisitos de seguridad. Los mejores candidatos son los fluidos de la familia de la silicona cuando cumplen estos requisitos. Estos fluidos son termoestables, inertes, totalmente atóxicos e ignífugos. Además, tienen un punto de inflamación superior a 340 °C.

c) Cilindro

Es un recipiente a presión es el componente encargado de contener el fluido en el sistema. Por lo general, se fabrica a partir de un tubo de acero. Se evita soldar o ensamblar partes en los cilindros de los disipadores para prevenir la fatiga y el agrietamiento a lo largo del tiempo debido a los esfuerzos a los que están sometidos.

d) Cabeza del pistón (Pistón Head)

Las dos cámaras de presión del cilindro deben dividirse. Cuando la cabeza del pistón se mueve, el fluido es forzado a través de las perforaciones del diafragma, creando la presión de amortiguación.

e) Acumulador

El acumulador proporciona flexibilidad y estabilidad al sistema, permitiendo el desplazamiento de la barra del pistón y compensando las variaciones térmicas del fluido.

f) Orificios

El diseño de los orificios de los disipadores utiliza una serie patentada de pasajes de formas complejas y se basa en los principios de control de fluidos para optimizar el rendimiento del disipador y mejorar su eficiencia en el control del flujo del fluido.

2.3.6. Incorporación en la estructura

De acuerdo con Navarro (2017), estos dispositivos se utilizan en diferentes países con el propósito de reforzar estructuras existentes. Esto significa que no solo se pueden incorporar en el diseño original de un proyecto, sino también añadirlos a una estructura ya construida. Esta opción resulta atractiva porque mejora el rendimiento de la estructura sin necesidad de agregar elementos rígidos como muros de concreto armado o arriostres metálicos.

2.3.7. En función a la estética de la estructura

Según Navarro (2017), Estos dispositivos suelen tener un impacto mínimo o nulo en la integridad estructural del edificio porque pueden ocultarse fácilmente bajo las paredes de drywall y se colocan dentro de pórticos. Es importante señalar que algunos profesionales del sector están pensando en exponer las mejoras arquitectónicas para dar a conocer los dispositivos.

2.3.8. Vida útil de la estructura

De acuerdo con Navarro (2017), señala que los dispositivos de fluido viscoso no necesitan mantenimiento ni reemplazo a lo largo de la vida útil de un edificio, que es de 60 años, incluso después de un evento sísmico. Puesto que este dispositivo se viene implementando

desde el año 1955 existen numerosos ejemplos que respaldan la afirmación antes mencionada.

2.3.9. Criterios de ubicación y Disposición de los disipadores Viscosos

Según Villareal & Díaz la rosa (2016), La mejor ubicación se encuentra mediante un proceso iterativo que tiene en cuenta el componente arquitectónico y el estructural; para ello, deben seguirse las sugerencias que se indican a continuación:

- Evitar la presencia de irregularidades en la edificación.
- Se instalará los dispositivos en todos los niveles de la edificación para lograr su óptimo funcionamiento.
- Para evitar la torsión se buscará la simetría.
- Se aconseja colocar los dispositivos en diagonal para una correcta instalación. Esto indica que los disipadores se colocan dentro del marco del pórtico en ángulo diagonal, lo que les permite absorber directamente las fuerzas horizontales.
- Se recomienda instalar el dispositivo en todos los pisos.

2.4 Limitaciones para el presente estudio:

- Factores de incertidumbre: Existe incertidumbre con respecto a la variabilidad de las propiedades de los fluidos viscosos y la respuesta sísmica de las estructuras, lo que puede afectar la precisión de los resultados y la confiabilidad de las conclusiones.
- Costos y viabilidad práctica: Costos que no se tomó en cuenta en la presente tesis y puede influir en la percepción de viabilidad económica por parte de los propietarios e inversores de los proyectos, estos costos son:
 - ✓ Costos de mantenimiento: Si bien los disipadores de energía de fluido viscoso son conocidos por su durabilidad y resistencia al desgaste, aún pueden requerir

cierto mantenimiento periódico. Estos costos de mantenimiento deben ser considerados a lo largo de la vida útil de la estructura.

- ✓ Costo inicial: Los disipadores de energía de fluido viscoso pueden tener un costo inicial más alto en comparación con otros sistemas de amortiguamiento sísmico disponibles en el mercado. Esto puede dificultar su adopción en proyectos de construcción con presupuestos limitados.
- Limitaciones de escalabilidad: Las investigaciones realizadas en el campo de la disipación de potencia líquido-viscoso pueden tener limitaciones en la escalabilidad de los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio para aplicaciones de uso a gran escala en estructuras reales.

CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

Mi ingreso a ACADIO S.A.C. comenzó a inicios del 2020 hasta la fecha actual, desempeñándome como bachiller de ingeniería civil siendo la especialidad en desarrollo el diseño de estructuras, iniciando mis primeros meses como asistente del ingeniero general de la empresa Carlos Barreda, participando en el diseño de una amplia gama de estructuras, incluyendo Viviendas Unifamiliares, Multifamiliares, Edificios de Oficinas, Hoteles, Industria, Comercio, Educación, entre otros, realizando el predimencionamiento de dichas edificaciones y el diseño de diversas estructuras en coordinación con la Sra. dibujante Britt Santamaria.

En los meses posteriores y hasta la actualidad, trabajo de la mano del ingeniero Renzo Salleres realizando cálculos y diseños de elementos como losas, vigas, columnas, placas y cimentaciones, entre otras estructuras, para los diversos proyectos, haciendo uso de softwares de diseño estructural como lo son ETABS, SAP2000 y SAFE y siempre haciendo uso de la normativa local - Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

A su vez trabajo también en coordinación con el Arquitecto Juan Carlos García cuando se presenta algún replanteo de algún proyecto o se presente alguna incongruencia entre las especialidades de estructuras y arquitectura.

Así también se coordina, con anticipación, con la ingeniera Andrea Escorcha los nuevos proyectos o la entrega de los planos dentro de los tiempos establecidos como también la verificación de calidad de los mismos.

3. Procedimiento del proyecto

El presente proyecto inicia con los puntos que a continuación se señalan:

- Se solicitará toda la documentación referente a la edificación:

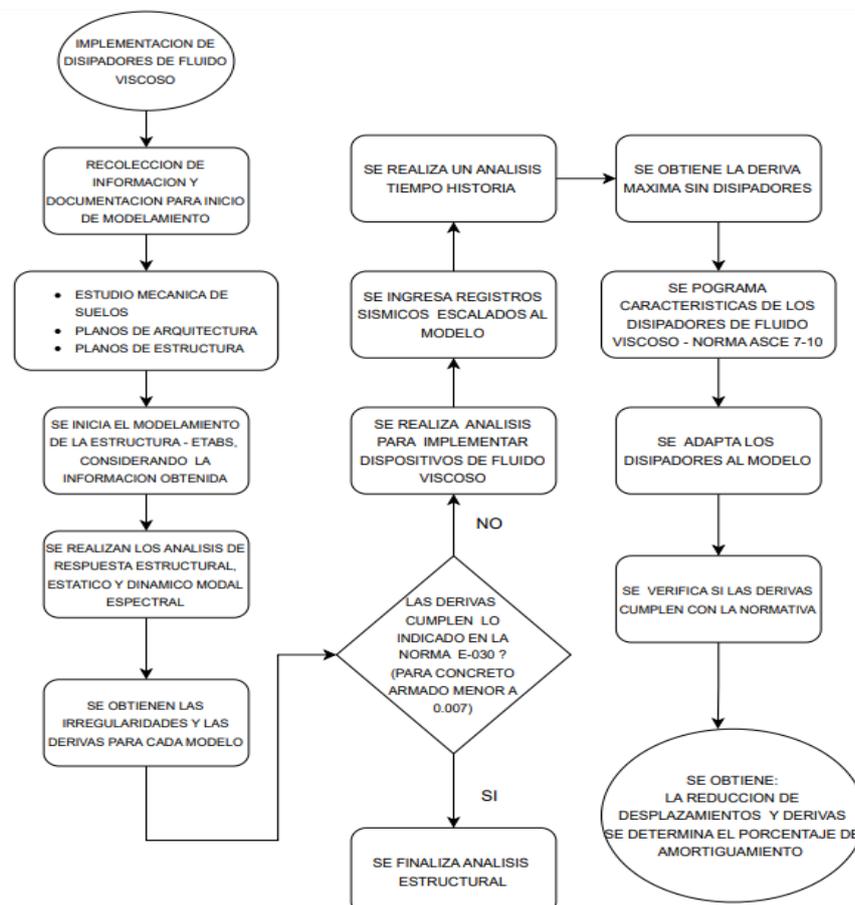
- ✓ Planos arquitectónicos.
 - ✓ Estudio de suelos.
 - ✓ Especificaciones técnicas.
 - ✓ Planos estructurales.
 - ✓ Especificaciones técnicas para DFV - disipadores de fluido viscoso.
 - ✓ Historial de registros sísmicos.
- Después de tener la información obtenida de la edificación se iniciará el modelamiento de la estructura con ayuda del programa ETABS respetando lo que nos indique los planos y la demás documentación obtenida como también la normativa sismorresistente E-0.30.
 - Después de tener el modelo se procederá a realizar el análisis de respuesta estructural, se realizará el análisis estático.
 - Se procederá a obtener las irregularidades y derivas del modelo.
 - Se analizará las derivas si cumplen con la normativa sismorresistente E-0.30.
 - ✓ Si se logra obtener un valor menor al 0.007 se finaliza el análisis estructural.
 - ✓ Si se logra obtener un resultado inferior a 0.007 se procederá a realizar los cálculos para implementar los DFV en la edificación analizada.
 - Se iniciará la busque de información de 3 registros de tiempo historia de sismos realizado en el país.
 - Se ingresará en el ETABS los registros sísmicos de mayor magnitud y daño que se haya producido en el país, para la presente tesis se utilizaran los registros de 1966, 1974 y 2007 seguido a ello se realizara un espectro de respuesta.
 - Se procederá a obtener los drif como también los desplazamientos, con los registros obtenidos, para luego comparar los resultados máximos.

- La siguiente etapa y haciendo uso de la normativa ASCE7-10, se determinará el tipo de disipador que se deberá implementar en la edificación, teniendo en cuenta la cantidad de pisos que tenga la edificación.
- Se procederá con la implementación de los DFV en el modelo de ETABS (se implementara un par de dispositivos por piso y por cada eje (X,Y))
- Se hallarán los nuevos resultados de las derivas debiendo ser menor al 0.007 así también se obtendrá el nivel de reducción de desplazamientos y derivas logrando determinar el porcentaje de amortiguamiento que beneficia estructuralmente la edificación.

3.1. Diagrama de flujo de proyecto

Figura 9.

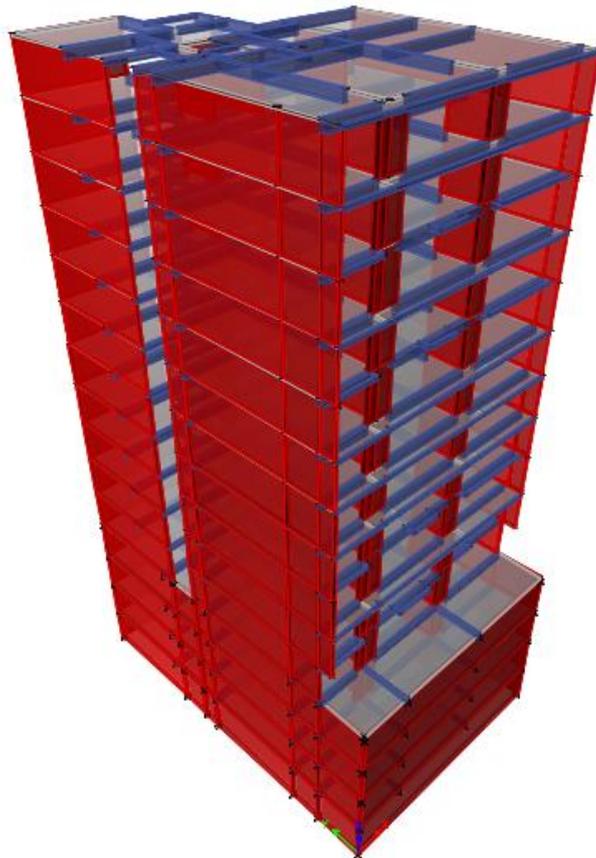
Diagrama de flujo de proyecto



El proceso de análisis de la respuesta estructural inicia con la realización del predimensionamiento utilizando la información de la documentación solicitada como es la mecánica de suelos y los planos arquitectónicos resaltando la cantidad de niveles, la ubicación, el área, las dimensiones de vigas, columnas, paredes y techos, como también la capacidad de carga del suelo. A continuación, se procede a realizar el modelamiento estructural de la edificación.

Figura 10.

Modelo de estructura en ETABS



3.2. Descripción del proyecto

El proyecto vivienda multifamiliar, propiedad de **SOL DEL PLATA CONSTRUCTORA INMOBILIARIA S.A.C**, ubicado en Calle uno N° 161-163-167-169 Mz. B Lote 6 y 7 Urbanización las Orquídeas, Distrito Surquillo, Provincia y departamento de Lima.

El edificio, que consta de cuatro sótanos, once plantas y una cubierta, está construido con pórticos y muros de hormigón armado, lo que maximiza su capacidad para absorber la energía sísmica y limitar los desplazamientos laterales.

El estudio de mecánica de suelos determinó que la capacidad portante del suelo era de 6,00 Kg/cm².

3.3. Normativa

La normativa que se utilizará para el siguiente diseño estructural será:

Norma Técnica E.020 (Cargas).

Norma Técnica E.030 (Diseño Sismorresistente).

Norma Técnica E.050 (Suelos y Cimentaciones).

Norma Técnica E.060 (Concreto Armado).

Norma Técnica E.070 (Albañilería).

3.4. Metrado de cargas

Concreto armado

- ✓ Resistencia del concreto $f'_c = 280 \text{Kg/cm}^2$
- ✓ Resistencia del concreto $f'_c = 210 \text{Kg/cm}^2$
- ✓ Módulo de Corte: 905711 Ton/m²
- ✓ Coeficiente de Poisson: 0.20
- ✓ Módulo de Elasticidad del concreto $E = 217370.65 \text{Kg/cm}^2 (15000 \sqrt{f'_c})$
- ✓ Módulo de Elasticidad del concreto $E = 250998.008 \text{Kg/cm}^2 (15000 \sqrt{f'_c})$

Acero de refuerzo

- ✓ Resistencia del acero $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$

3.5. Cargas estructurales

Cargas muertas (D): Las cargas por peso propio, también conocidas como carga muerta, se refieren al peso de los elementos estructurales y no estructurales de una construcción. Estas cargas son permanentes y ejercen una fuerza constante sobre la estructura.

La carga muerta incluye el peso de elementos como muros, pisos, techos, columnas, vigas, escaleras, revestimientos, equipos fijos, entre otros. Estas cargas son inherentes a la propia estructura y no varían significativamente con el tiempo, a menos que se realicen modificaciones en la construcción.

- ✓ Peso propio piso terminado = 100 Kg/m²
- ✓ Peso propio de elementos de concreto armado = 2400 Kg/m³
- ✓ Peso propio piso tabiquería = 200 Kg/m²

Cargas vivas (L): Las cargas vivas son cargas temporales y variables que actúan sobre una estructura debido a la presencia de personas, muebles, equipos u otras cargas móviles. Estas cargas son dinámicas y cambian en magnitud y ubicación a lo largo del tiempo.

- ✓ Sobrecarga de piso típico = 200 Kg/m²
- ✓ Sobrecarga en pasillos y escaleras = 200 Kg/m²
- ✓ Sobrecarga de azotea = 150 Kg/m²

Los eventos sísmicos se determinan según lo indicado por la norma E-0.30 , es decir por medio de espectros de pseudo aceleraciones(S_a)

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \times g$$

Los factores señalados son.

Z: Zonificación.

U: Uso.

C: Categoría de edificación.

S: Tipo de suelo.

Sa: Espectro de pseudo aceleraciones.

G: Aceleración de la gravedad.

R: Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas.

3.6. Parámetros de diseño sísmico

3.6.1. Zonificación

La zonificación a usar se basa en la distribución geográfica de la actividad sísmica observada, sus características básicas y el hecho de que su intensidad disminuye a medida que se aleja del epicentro, junto con los datos geotectónicos que se conocen actualmente.

Figura 11.

Factores de zona "Z" Fuente: (Norma E 030 Diseño Sismorresistente)

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Para la zonificación del proyecto en estudio se utilizará el nivel 4 ($Z=0.45$) ya que la edificación se encuentra ubicada en Lima (Surquillo).

3.6.2. Parámetros de perfiles de suelo

Figura 12

Factores de suelos “S” y periodos (Norma E 030 Diseño Sismorresistente)

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO “S”				
SUELO ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Tabla N° 4 PERÍODOS “T _p ” Y “T _L ”				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Según el estudio de mecánica de suelos tenemos un perfil de suelo:

- Perfil tipo S1: Roca o suelos Muy rígidos
- T_p : 0.40 seg

T_L = 2.5.

Factor de amplificación sísmica

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$T < T_p \rightarrow C = 2.50$$

$$T_p < T < T_L \rightarrow C = 2.50 (T_p / T)$$

$$T > T_L \rightarrow C = 2.50 (T_p \times T_L) / T^2$$

T es el período fundamental de vibración, se define por la siguiente fórmula:

$$T = h_n / C_T$$

Dónde: h_n = altura del edificio

31.15 m, C_T = factor definido por el tipo de estructura.

$$T = 31.15/60 = 0.51$$

$$T_p < T < T_L \rightarrow C = 2.50 (T_p / T).$$

Se puede usar la expression (Ley de Rayleigh).

$$T_x = 0.71$$

$$T_y = 0.43$$

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2}{g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i}}$$

Seguido de obtener los periodos tenemos que los resultados para el factor C, será:

$$C_x = 1.41 \rightarrow (\text{Análisis estático}).$$

$$C_y = 2.34 \rightarrow (\text{Análisis dinámico}).$$

3.6.3. Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones

Categoría de las edificaciones y factor de uso

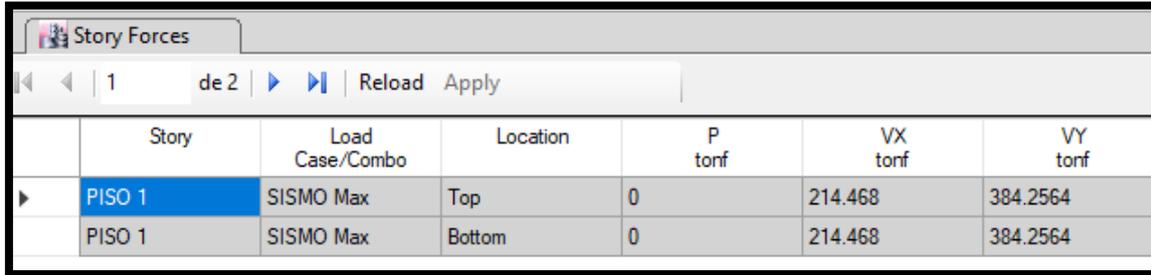
La categoría del presente proyecto según la normativa E.030. es “C” (Edificación Común) y el factor correspondiente es $U = 1.00$.

3.7. Sistemas estructurales

Se realiza una evaluación de la resistencia sísmica ejercida sobre los muros, determinando si supera el 70% de la fuerza cortante en la base. En tal caso, se considerará un sistema de muros estructurales. Si la resistencia sísmica se encuentra entre el 20% y el 70%, se adoptará un sistema dual. Por otro lado, los pórticos deberán ser diseñados para resistir al menos el 30% de la fuerza cortante en la base.

Figura 13.

Cortante dinámica para espectro



Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
PISO 1	SISMO Max	Top	0	214.468	384.2564
PISO 1	SISMO Max	Bottom	0	214.468	384.2564

Tabla 2

Obtención de la cortante de las placas para el eje X

Pier	Load Case/Combo	V2
PX1	SISMO Max	188.23
PX2	SISMO Max	13.02
PX3	SISMO Max	9.75
$\sum V_x =$		211.00

Se obtienen cortantes para luego ser divididas entre la cortante total en el eje.

$$\Sigma V_x / V_x = 211.00 / 214.46 \times 100\% = 98\% > 70\% \rightarrow \text{Sistema de muros estructurales.}$$

Tabla 3

Obtención de la cortante de las placas para el eje Y

Pier	Load Case/Combo	V2
PY1	SISMO Max	157.04
PY2	SISMO Max	76.36
PY3	SISMO Max	43.27
PY4	SISMO Max	10.77
PY5	SISMO Max	18.91
PY6	SISMO Max	54.23
PY7	SISMO Max	5.48
PY8	SISMO Max	11.49
$\sum V_y =$		377.56

$$\Sigma V_y / V_y = 377.56 / 384.25 \times 100\% = 98\% > 70\% \rightarrow \text{Sistema de muros estructurales}$$

Para este caso, el sistema predominante en ambas direcciones X-X y Y-Y es un sistema de muros estructurales el cual le corresponde un coeficiente básico de reducción $R_o = 6.00$.

3.8. Regularidad estructural

Las estructuras deben ser clasificadas como regulares o irregulares para los fines siguientes:

- ✓ Cumplir con restricciones en la norma.
- ✓ Establecer procedimientos de análisis.
- ✓ Determinar el coeficiente R de reducción de fuerzas sísmicas.

El factor R estará definido por $R = R_o \times La \times Lp$

La: Irregularidad en Altura, Ip: Irregularidad en planta

3.8.1. Irregularidades estructurales en altura

3.8.1.1. Irregularidad de rigidez – piso blando

Según la norma E-0.30 Cuando la distorsión entre pisos (deriva) en cualquiera de las direcciones de análisis es mayor que 1,4 veces el valor en el piso inmediatamente superior o es mayor que 1,25 veces la media de las distorsiones entre pisos en los tres niveles superiores adyacentes, existe irregularidad de rigidez. La media de las distorsiones en los extremos del entrepiso se utiliza para calcular la distorsión entre pisos.

Promedio distorsiones en "X".

Tabla 4

Promedio de derivas en el sentido X

PISO	DRIFT-X1	DRIFT-X2	DRIFT-X3	DRIFT-X4	PROM.X
PISO 11	0.0018	0.0017	0.0018	0.0018	0.0018
PISO 10	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0018
PISO 9	0.0019	0.0018	0.0020	0.0020	0.0019
PISO 8	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0019
PISO 7	0.0019	0.0019	0.0020	0.0020	0.0019
PISO 6	0.0019	0.0018	0.0020	0.0020	0.0019
PISO 5	0.0018	0.0018	0.0019	0.0019	0.0018
PISO 4	0.0017	0.0016	0.0017	0.0017	0.0017
PISO 3	0.0014	0.0014	0.0015	0.0015	0.0015
PISO 2	0.0010	0.0010	0.0011	0.0011	0.0011
PISO 1	0.0002	0.0003	0.0004	0.0004	0.0003

Se obtiene las derivas en los 4 puntos de la estructura para luego sacar el promedio

Tabla 5

Promedio de derivas en el sentido Y

PISO	DRIFT-X1	DRIFT-X2	DRIFT-X3	DRIFT-X4	PROM.X
PISO 11	0.0008	0.0004	0.0004	0.0008	0.0006
PISO 10	0.0008	0.0004	0.0004	0.0008	0.0006
PISO 9	0.0008	0.0005	0.0005	0.0008	0.0006
PISO 8	0.0008	0.0004	0.0004	0.0008	0.0006
PISO 7	0.0007	0.0004	0.0004	0.0007	0.0006
PISO 6	0.0007	0.0004	0.0004	0.0007	0.0005
PISO 5	0.0006	0.0003	0.0003	0.0006	0.0005
PISO 4	0.0005	0.0003	0.0003	0.0005	0.0004
PISO 3	0.0004	0.0002	0.0002	0.0004	0.0003
PISO 2	0.0003	0.0002	0.0002	0.0003	0.0002
PISO 1	0.0002	0.0001	0.0001	0.0002	0.0001

Se obtiene las derivas en los 4 puntos de la estructura para luego sacar el promedio.

Verificación 1. Sí es menor que 0.70 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, será irregular.

Tabla 6

Verificación 1 para piso blando

NIVEL	RIGIDEZ-X	RIGIDEZ-Y	$X_a/(X_{a+1}) < 0.70$	Conclusión	$Y_a/(Y_{a+1}) < 0.70$	Conclusión
PISO 11	116.476	485.0635	-	-	-	-
PISO 10	183.4584	905.263	1.58	REGULAR	1.87	REGULAR
PISO 9	216.2887	1226.1455	1.18	REGULAR	1.35	REGULAR
PISO 8	234.7026	1523.4315	1.09	REGULAR	1.24	REGULAR
PISO 7	251.1795	1831.7489	1.07	REGULAR	1.20	REGULAR
PISO 6	276.1972	2217.3263	1.10	REGULAR	1.21	REGULAR
PISO 5	319.9653	2807.9219	1.16	REGULAR	1.27	REGULAR
PISO 4	386.5163	3435.8196	1.21	REGULAR	1.22	REGULAR
PISO 3	490.1044	4392.8991	1.27	REGULAR	1.28	REGULAR
PISO 2	721.2166	6134.4997	1.47	REGULAR	1.40	REGULAR
PISO 1	2413.1214	12223.9604	3.35	REGULAR	1.99	REGULAR

Se verifica que la estructura **NO** presenta esta irregularidad.

Verificación 2. Sí es menor que 0,80 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes será irregular.

Tabla 7

Verificación 2 para piso blando

NIVEL	RIGIDEZ-X	RIGIDEZ-Y	$X_a/X_{prom} < 0.85$	Conclusión	$Y_a/Y_{prom} < 0.85$	Conclusión
PISO 11	116.476	485.0635	-	-	-	-
PISO 10	183.4584	905.263	4.73	-	5.60	-
PISO 9	216.2887	1226.1455	2.16	-	2.65	-
PISO 8	234.7026	1523.4315	1.36	REGULAR	1.75	REGULAR
PISO 7	251.1795	1831.7489	1.19	REGULAR	1.50	REGULAR
PISO 6	276.1972	2217.3263	1.18	REGULAR	1.45	REGULAR
PISO 5	319.9653	2807.9219	1.26	REGULAR	1.51	REGULAR
PISO 4	386.5163	3435.8196	1.37	REGULAR	1.50	REGULAR
PISO 3	490.1044	4392.8991	1.50	REGULAR	1.56	REGULAR
PISO 2	721.2166	6134.4997	1.81	REGULAR	1.73	REGULAR
PISO 1	2413.1214	12223.9604	4.53	REGULAR	2.63	REGULAR

Se verifica que la estructura **NO** presenta esta irregularidad.

3.8.1.2. Irregularidad de resistencia – piso débil

Según la normativa E-0.30, se considera que existe una irregularidad de resistencia cuando, se observa que la resistencia de un entrepiso en términos de fuerzas cortantes es inferior al 80% de la resistencia del entrepiso inmediatamente superior.

Se verifica que la estructura **NO** presenta esta irregularidad

Se tomará el factor de irregularidad en altura: $L_a = 1.00$.

Tabla 8

Verificación para piso débil en

PISO	Vx	Vy	$X_a/(X_{a+1}) < 80\%$	Conclusión	$Y_a/(Y_{a+1}) < 80\%$	Conclusión
PISO 11	54.87	75.53	-	-	-	-
PISO 10	90.60	143.67	165.11%	REGULAR	190.21%	REGULAR
PISO 9	110.61	195.33	122.08%	REGULAR	135.96%	REGULAR
PISO 8	122.53	238.39	110.78%	REGULAR	122.04%	REGULAR
PISO 7	131.47	273.55	107.30%	REGULAR	114.75%	REGULAR
PISO 6	142.09	303.63	108.07%	REGULAR	110.99%	REGULAR
PISO 5	157.45	329.06	110.81%	REGULAR	108.37%	REGULAR
PISO 4	176.45	350.89	112.07%	REGULAR	106.64%	REGULAR
PISO 3	194.58	367.79	110.28%	REGULAR	104.81%	REGULAR
PISO 2	208.84	379.43	107.33%	REGULAR	103.17%	REGULAR
PISO 1	214.47	384.26	102.70%	REGULAR	101.27%	REGULAR

3.8.2. Irregularidades estructurales en planta

3.8.2.1. Irregularidad torsional e irregularidad torsional extrema

Según la normativa E-0.30, cuando en cualquiera de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo de un piso en un extremo del edificio -teniendo en cuenta la excentricidad accidental- supera 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masa del mismo piso en las mismas condiciones de carga, se considera que la anomalía es de torsión. Sólo los edificios de diafragma rígido con un desplazamiento relativo máximo del entrepiso superior al 50% del desplazamiento global están sujetos a este requisito.

Para la verificación de irregularidades de torsión realmente graves, el factor de 1,2 cambiará a 1,5. Sólo los edificios con diafragma rígido están sujetos a estos requisitos, y sólo cuando el desplazamiento relativo máximo entre plantas supere el 50% del desplazamiento permitido.

Tabla 9

Verificación irregularidad torsional

PISO	Δ promedio		D. Relativos en Δ promedio		Δ máximo		D. Relativos en Δ máximo		$\Delta_{\text{máx.}} / \Delta_{\text{prom.X}}$	$\Delta_{\text{máx.}} / \Delta_{\text{prom.Y}}$	CONCLUSIÓN	
	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y			X	Y
PISO 11	4.65	1.36	0.46	0.16	4.80	1.73	0.47	0.21	1.02	1.28	REG.	REG.
PISO 10	4.20	1.20	0.48	0.16	4.33	1.53	0.49	0.21	1.02	1.27	REG.	REG.
PISO 9	3.72	1.03	0.49	0.16	3.84	1.32	0.50	0.21	1.02	1.27	REG.	REG.
PISO 8	3.23	0.87	0.50	0.16	3.34	1.11	0.52	0.21	1.03	1.26	REG.	REG.
PISO 7	2.73	0.71	0.51	0.16	2.83	0.90	0.52	0.20	1.03	1.26	REG.	REG.
PISO 6	2.22	0.55	0.50	0.14	2.30	0.71	0.52	0.18	1.03	1.26	REG.	REG.
PISO 5	1.71	0.41	0.49	0.12	1.79	0.53	0.50	0.16	1.03	1.28	REG.	REG.
PISO 4	1.23	0.29	0.45	0.11	1.29	0.37	0.47	0.14	1.03	1.28	REG.	REG.
PISO 3	0.77	0.18	0.40	0.09	0.82	0.24	0.41	0.11	1.03	1.29	REG.	REG.
PISO 2	0.38	0.10	0.29	0.06	0.41	0.12	0.30	0.08	1.04	1.29	REG.	REG.
PISO 1	0.09	0.03	0.09	0.03	0.11	0.04	0.11	0.04	1.24	1.28	REG.	REG.

Se verifica que la estructura **NO** presenta irregularidad torsional. Por lo tanto, se dará un factor de 1.00.

3.8.2.2. Esquinas entrantes

La estructura presenta esquinas entrantes, por lo tanto, SI califica como irregular. Se da un factor de 0.90.

3.8.2.3. Discontinuidad del diafragma

La estructura no presenta discontinuidad de diafragma, por lo tanto, SI califica como irregular. Se da un factor de 0.85.

3.8.2.4. Sistemas no paralelos

Como podemos observar en planta la estructura no califica como irregular.

Se tomará el menor factor de irregularidad: $I_{px} = 0.85$, $I_{py} = 0.75$

El factor R estará definido por $R_o = 6 \times 1.00 \times 0.75 \rightarrow R_y = 4.50$

Espectro de aceleraciones

Para el análisis dinámico se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones Dónde:

$$Z = 0.45 \text{ (Zona 4 – Lima)}$$

$$U = 1.00 \text{ (Categoría C: Edificación común)}$$

$$S = 1.00 \text{ (} T_p = 0.40 \text{ Suelo muy rígido)}$$

$$g = 9.81 \text{ (Aceleración de la gravedad m/s}^2\text{)}$$

$$R_o = 4.50 \text{ (sistema de muros estructurales con irregularidad torsional mas no extrema).}$$

Se considerará para $R_o = 4.5$ (sistema de muros estructurales con irregularidad torsional mas no extrema).

Figura 14.

Espectro para el parámetro de uso común (U=1.00)



3.8.3. Introducción de datos al software Etabs

3.8.3.1. Combinación de cargas empleadas:

Las combinaciones de cargas usadas para la verificación de los elementos de concreto de la estructura son las siguientes:

Se introducirá en el programa los combos para elementos de concreto armado:

Combo 1: 1.40 carga muerta + 1.70 carga viva

Combo 2, 3: 1.25 carga muerta + 1.25 carga viva \pm Sismo en x

Combo 4, 5: 1.25 carga muerta + carga viva \pm Sismo en y

Combo 6, 7: 0.90 carga muerta \pm Sismo en x

Combo 8, 9: 0.90 carga muerta \pm Sismo en y

3.8.3.2. Introducción Gráfica de Cargas al ETABS:

Carga Muerta (D)

El software muestra las cargas que se han asignado a las losas del edificio en concreto. Estas cargas son distribuidas internamente por el programa a las vigas, que a su vez las transmiten a los pilares. De este modo se consigue una distribución correcta de las cargas a lo largo de la estructura.

Figura 15.

Carga muerta las losas (tn/m2)

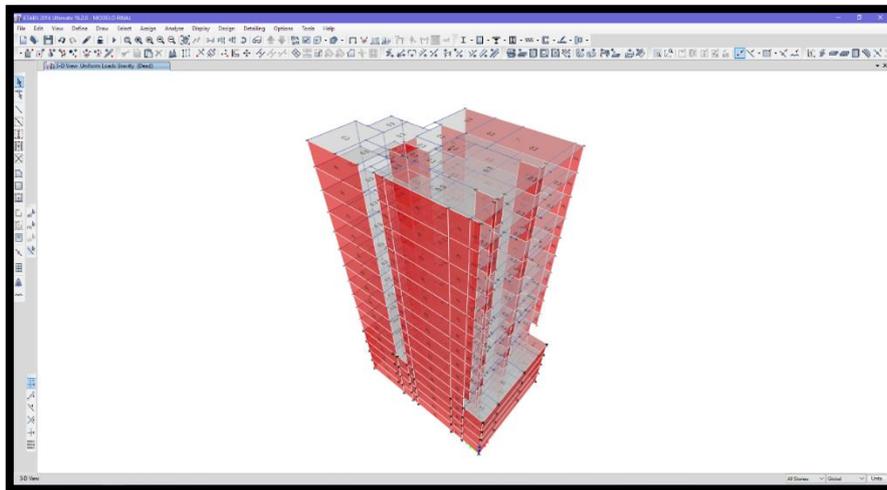
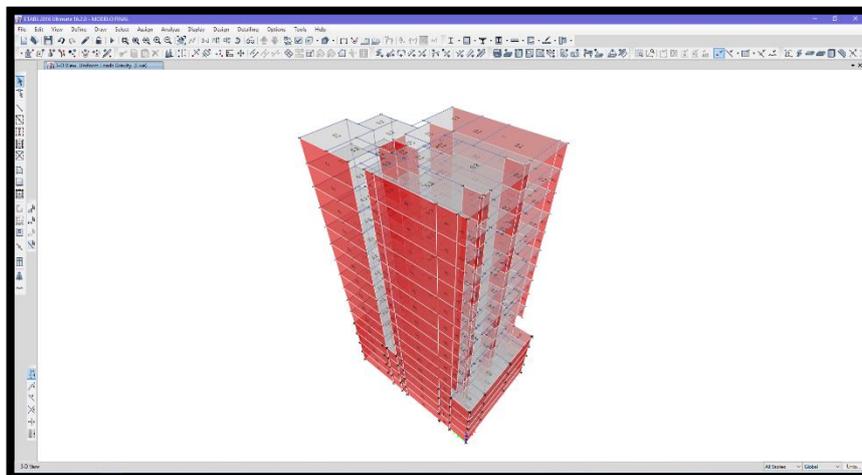


Figura 16.

Carga viva a las losas (tn/m2)

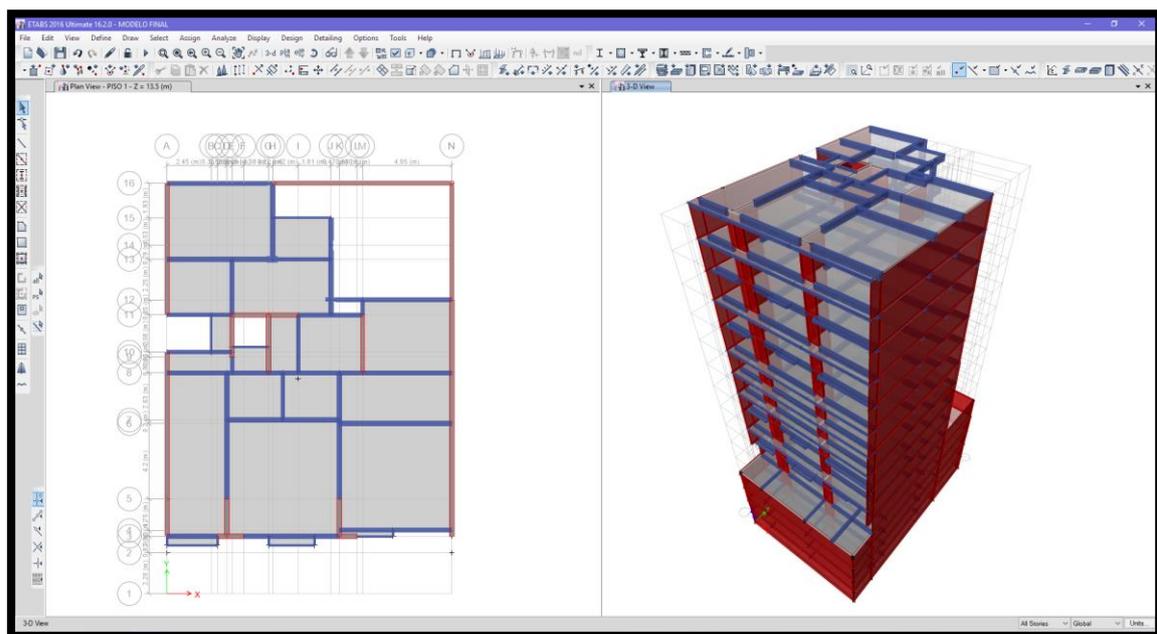


3.8.3.3. Modelo estructural

Para analizar el comportamiento dinámico de la estructura, se desarrolló un modelo matemático que tuvo en cuenta la influencia de las vigas y columnas, en la rigidez de cada nivel de la estructura. Se consideraron las fuerzas sísmicas, las cuales son de naturaleza inercial y proporcionales al peso de la estructura. Para realizar un análisis preciso, se determinó la cantidad y distribución de las masas en la estructura, ya que esto es fundamental para estimar correctamente las fuerzas sísmicas que actúan sobre ella.

Figura 17.

Vista de modelado de estructura



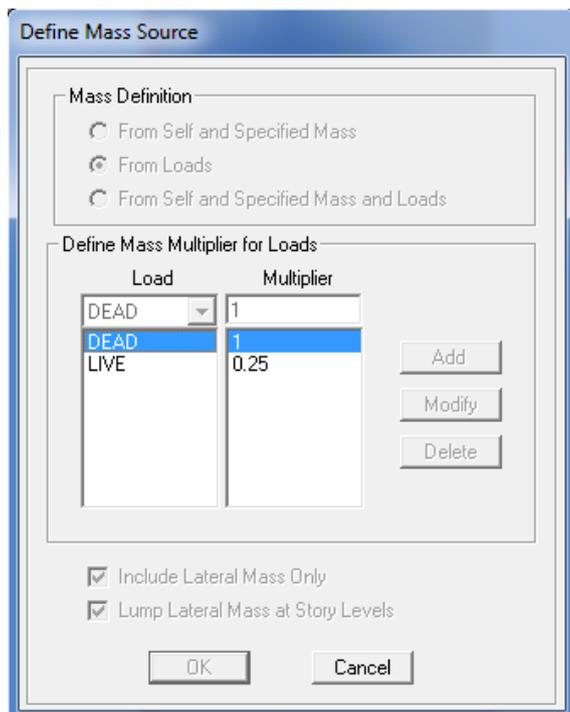
3.8.3.4. Análisis modal de la estructura

Masas de la estructura: El análisis modal de toda la estructura se completó de conformidad con las normas descritas en la Norma de diseño sismorresistente E030 y teniendo en cuenta las cargas mencionadas. Para el análisis actual se ha tenido en cuenta el peso total de la

estructura, que incluye el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva. Este enfoque se basa en la clasificación de la edificación como Clase C, según la normativa.

Figura 18.

Masa aplicada



3.8.3.5. Modos de vibración de la estructura

El software ETABS calcula las frecuencias naturales y los modos de vibración de las estructuras.

Dado que son los más típicos de la estructura, en el análisis tridimensional se ha utilizado la superposición de los tres primeros modos vibratorios. Esto permite conocer mejor el comportamiento dinámico de la estructura y su reacción a las cargas sísmicas.

Figura 19.

Periodo 1

Modo 1 – T =1.23 seg.

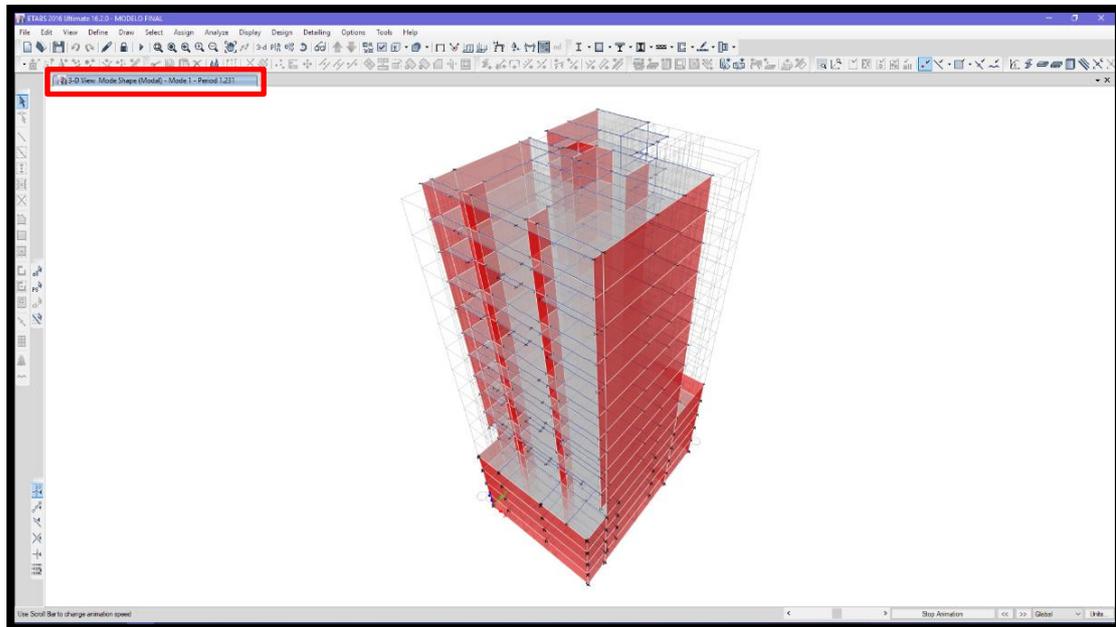


Figura 20.

Periodo 2

Modo 2– T = 0.416 seg.

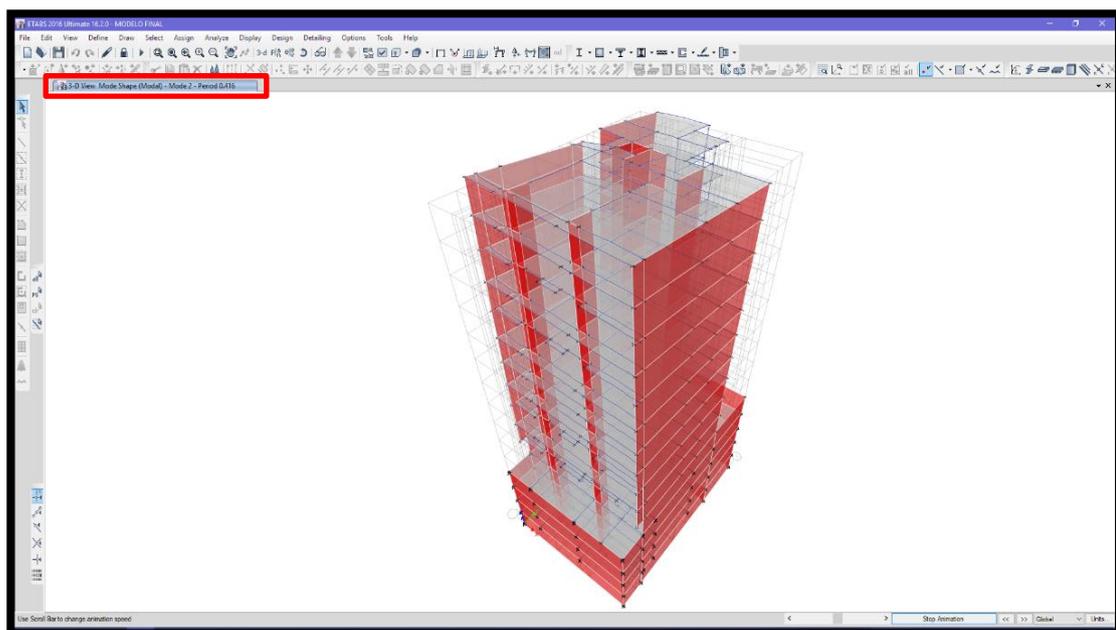
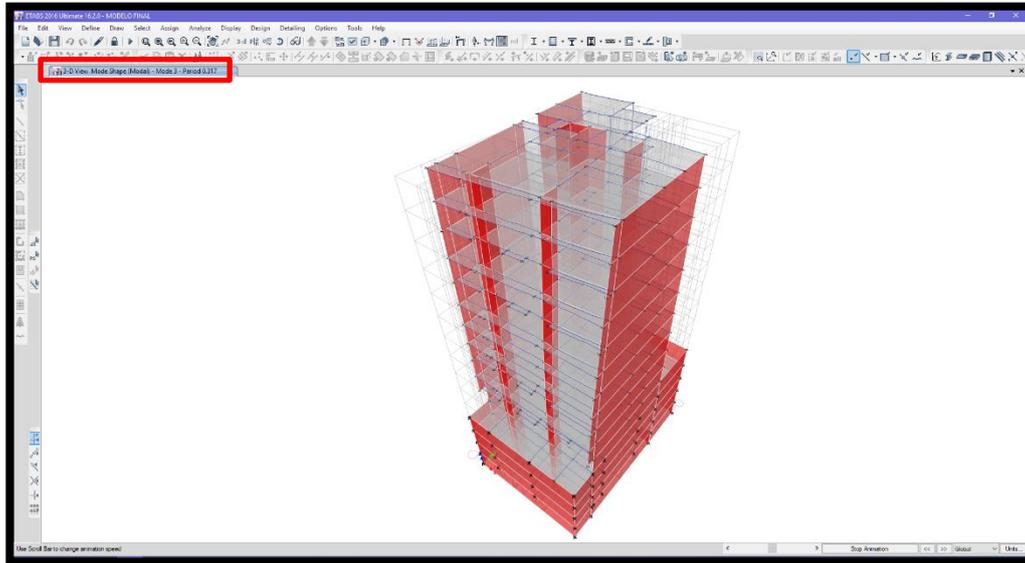


Figura 21.

Periodo 3

Modo 3 – T = 0.317 seg.



Periodos predominantes:

$T_x = 1.231s$ (Modo 1)

$T_y = 0.416s$ (Modo 2)

3.8.3.6. Desplazamiento y distorsiones

El máximo desplazamiento relativo de entrepiso, obtenido a través del análisis, debe cumplir con un límite establecido en función del tipo de material predominante en la estructura. Este límite se expresa como una fracción de la altura del entrepiso. El objetivo es garantizar que los desplazamientos no superen valores que puedan comprometer la seguridad y funcionalidad de la estructura. Es importante considerar este criterio durante el diseño y análisis para asegurar un comportamiento adecuado de la edificación frente a cargas sísmicas.

Figura 22.

Límite para la distorsión de entrepiso.

Tabla N° 11	
LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{oi})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

3.8.3.7. Máximo Desplazamiento Relativo de Entrepiso

Según lo establecido en la Norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), se establece un valor máximo de distorsión de entrepiso de 0.007 para estructuras de concreto armado. Para obtener la distorsión real, se multiplica la distorsión teórica por un factor de reducción. Para estructuras regulares, este factor es de 0.75R, mientras que para estructuras irregulares es de 0.85R. El factor R representa el coeficiente de comportamiento sísmico de la estructura y se determina de acuerdo con la categoría y tipo de la edificación. El cumplimiento de este límite de distorsión garantiza que los desplazamientos de los entrepisos se encuentren dentro de rangos aceptables para preservar la integridad estructural y la seguridad de la edificación durante eventos sísmicos.

Tabla 10.

Máximas derivas

STORY	DISP-X	DISP-Y	DRIFT-X	DRIFT-Y
PISO 11	4.65	1.36	0.0052	0.0053
PISO 10	4.20	1.20	0.0053	0.0055
PISO 9	3.72	1.03	0.0054	0.0055
PISO 8	3.23	0.87	0.0055	0.0056
PISO 7	2.73	0.71	0.0054	0.0055
PISO 6	2.22	0.55	0.0053	0.0054
PISO 5	1.71	0.41	0.0050	0.0051
PISO 4	1.23	0.29	0.0046	0.0046
PISO 3	0.77	0.18	0.0040	0.0040
PISO 2	0.38	0.10	0.0031	0.0031
PISO 1	0.09	0.03	0.0018	0.0018

Se presenta a continuación las máximas distorsiones obtenidas por piso:

Las máximas distorsiones se presentan en el PISO 8 para la dirección “X” y PISO 8 dirección “Y”, con valores de 0.0055 y 0.0056 respectivamente.

Eje “X”: $0.0055 * (4.5*0.75) = 0.001 > 0.007 \rightarrow$ **NO CUMPLE**

Eje “Y”: $0.0056 * (4.50*0.75) = 0.001 > 0.007 \rightarrow$ **NOCUMPLE**

Las máximas distorsiones deberían ser menor a 0.007 según norma E-0.30

Por último, se muestran los desplazamientos máximos y relativos ya multiplicados por el factor R en centímetros:

Figura 23.

Desplazamiento absoluto.

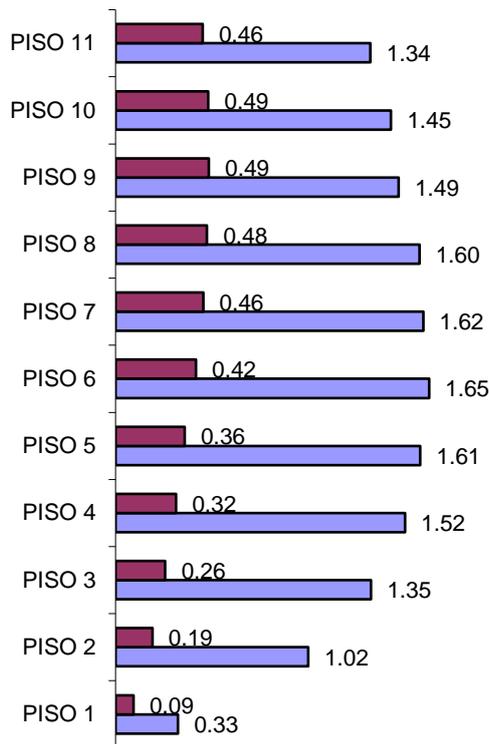
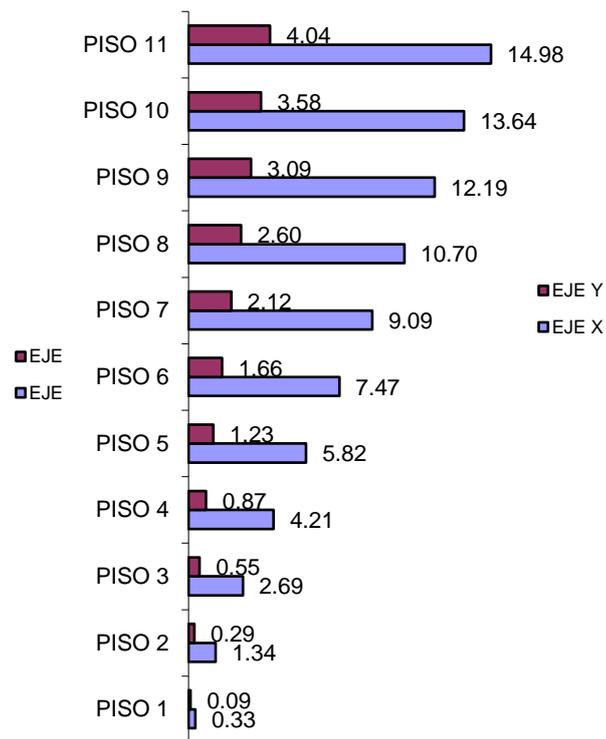


Figura 24.

Desplazamiento relativo



Los valores mostrados se encuentran por debajo del máximo establecido por la norma siendo de $1.65/265\text{cm} = 0.0062 < 0.007$ para “X” y para el caso de “Y” sería de $0.48/260\text{cm} = 0.0018 < 0.007$

Se verifica la cortante en la planta base

Peso de la edificación.

Tabla 11.

Cálculo de peso

PISO	CARGA	FX	FY	FZ
PISO 1	MUERTA	0	0	2523.73
PISO 1	VIVA	0	0	511.56

El peso de la edificación es de **3058.62 Ton. (100%CM+50%CV)**

3.8.3.8. Análisis estático

Z = 0.45; U = 1.00; Cx= 1.41; Cy= 2.34; S₁ = 1.0; Rx= 4.5; Ry=4.5; P = 3058.62 Ton

$$\frac{ZUCS}{P} x g$$

V_x = 313.77 Ton.

V_y = 662.90 Ton.

Figura 25.

Cortante basal dinámico: V_{x-x} 214.468 ton; V_{y-y} = 384.2564 ton.



Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
PISO 1	SISMO Max	Top	0	214.468	384.2564
PISO 1	SISMO Max	Bottom	0	214.468	384.2564

3.8.3.9. Análisis dinámico

Cortante basal dinámico: V x-x 214.68 ton; V y-y = 384.25 ton.

Las fuerzas cortantes en la base del edificio no podrán ser menores que el 80% del valor calculado para estructuras regulares, ni menor del 90% para estructuras irregulares.

Tabla 12.

Se realiza la verificación de la cortante basal

	Vx	Vy
V estático	313.77	662.90
V dinámico	214.68	328.25
V din./V est.	0.68	0.50
Fact. Mín.	0.90	0.90
Fact. Amp.	1.32	1.80

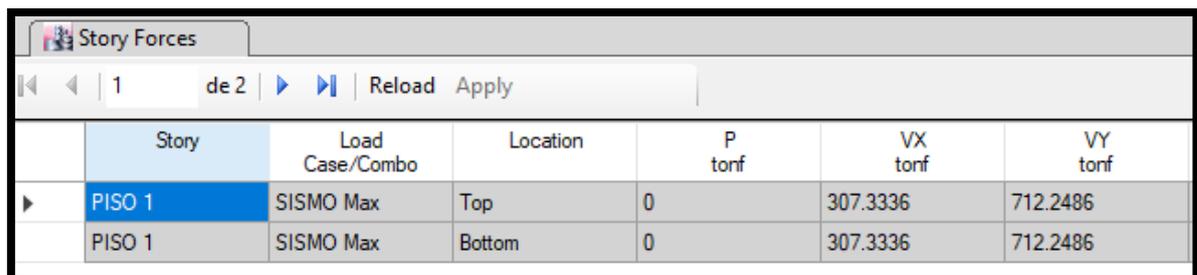
En el programa ETABS, se realiza el escalonamiento de las fuerzas sísmicas para cada dirección de análisis. Este proceso implica aplicar una secuencia de fuerzas sísmicas incrementales en el tiempo, de acuerdo con los valores específicos proporcionados en el análisis.

Los cortantes dinámicos escalados obtenidos son:

Figura 26.

Cortante basal dinámico escalados:

V x-x = 307.33 ton; V y-y = 712.24 ton.



Story	Load Case/Combo	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf
PISO 1	SISMO Max	Top	0	307.3336	712.2486
PISO 1	SISMO Max	Bottom	0	307.3336	712.2486

Una vez escaladas las fuerzas sísmicas en el programa ETABS, se procede a verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en la Norma de Diseño Sismorresistente E-030. Estos requisitos incluyen criterios de resistencia, rigidez, estabilidad y desplazamientos máximos permitidos para la estructura ante cargas sísmicas

3.9. Análisis tiempo historia

3.9.1. Acelerogramas

Utilizando registros de aceleración reales o artificiales, el análisis dinámico de tiempo historia determina la reacción dinámica de una determinada estructura en varios momentos. Para el estudio actual del diseño y análisis de estructuras con sistemas de amortiguación sísmica se utilizarán registros de aceleración a escala adecuada. Estos acelerómetros registran información sobre el tamaño de la falla, su proximidad, el mecanismo de fallo y el impacto en el suelo. En esta investigación se examinarán tres de los datos sísmicos más extremos de los años 1966, 1974 y 2007 en Perú. **Tabla 13.**

Registros sísmicos utilizados en el análisis tiempo- historia.

SISMO	UBICACIÓN
15 de agosto de 2007	(Lima)
03 de octubre de 1974	(Lima)
17 de octubre de 1966	(Lima)

Los registros sísmicos se recogerán de la página web del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), para luego llevarlos a una hoja de cálculo y proceder con su escalamiento.

Figura 27.

Imagen corregida y escalada por línea base de los registros sísmicos (1966).

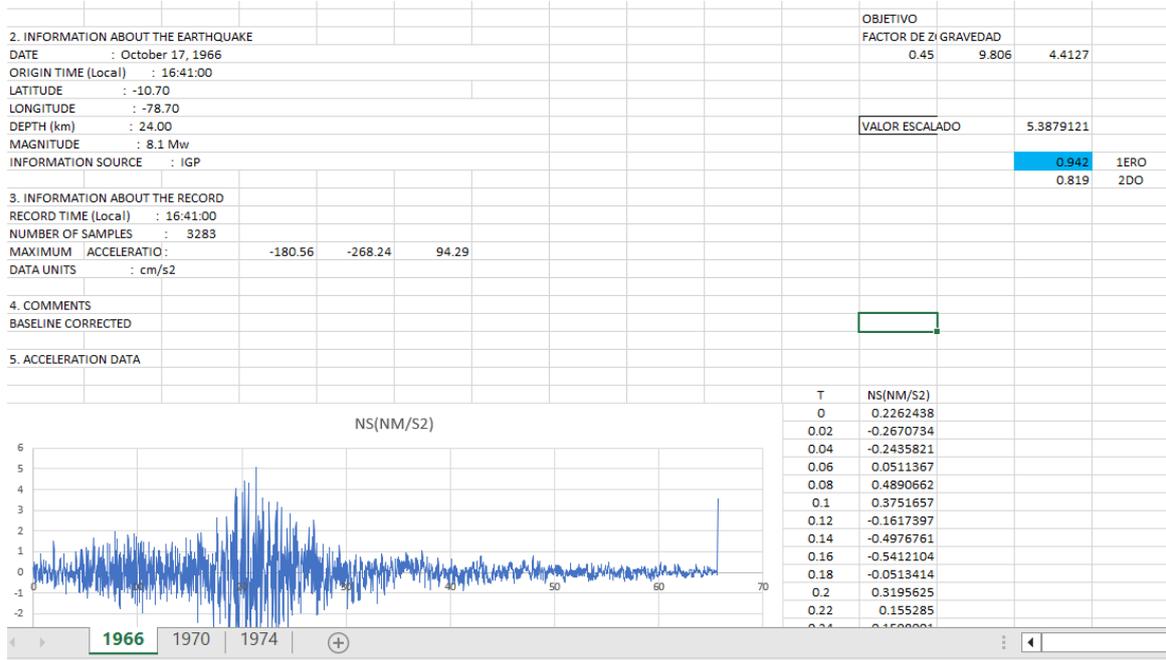


Figura 28.

Imagen corregida y escalada por línea base de los registros sísmicos (1974).

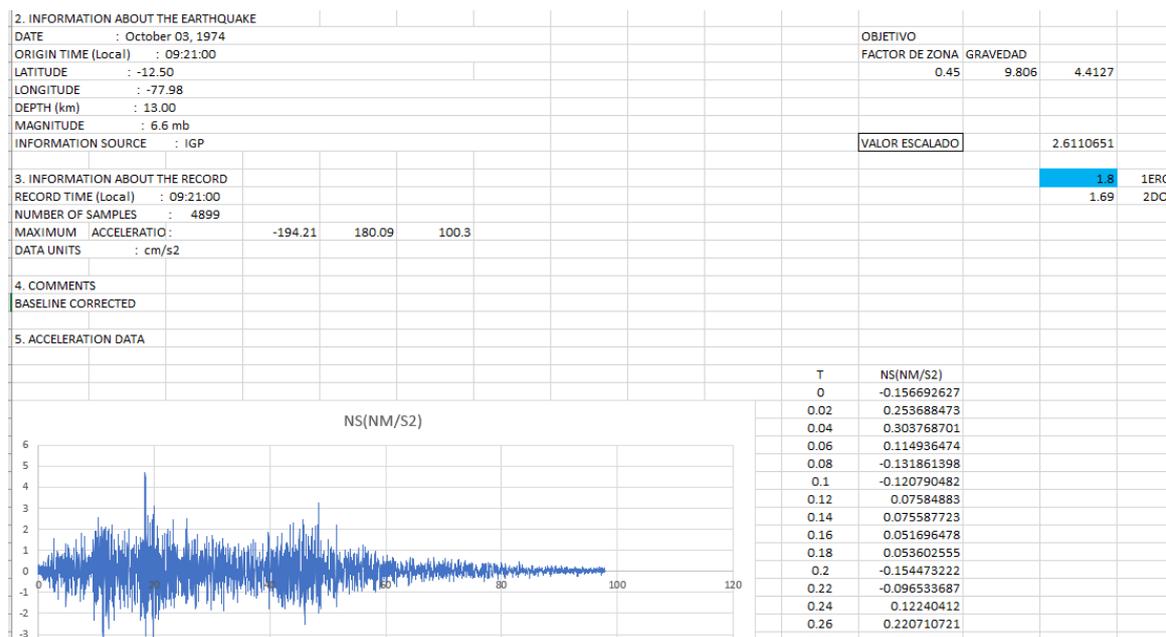
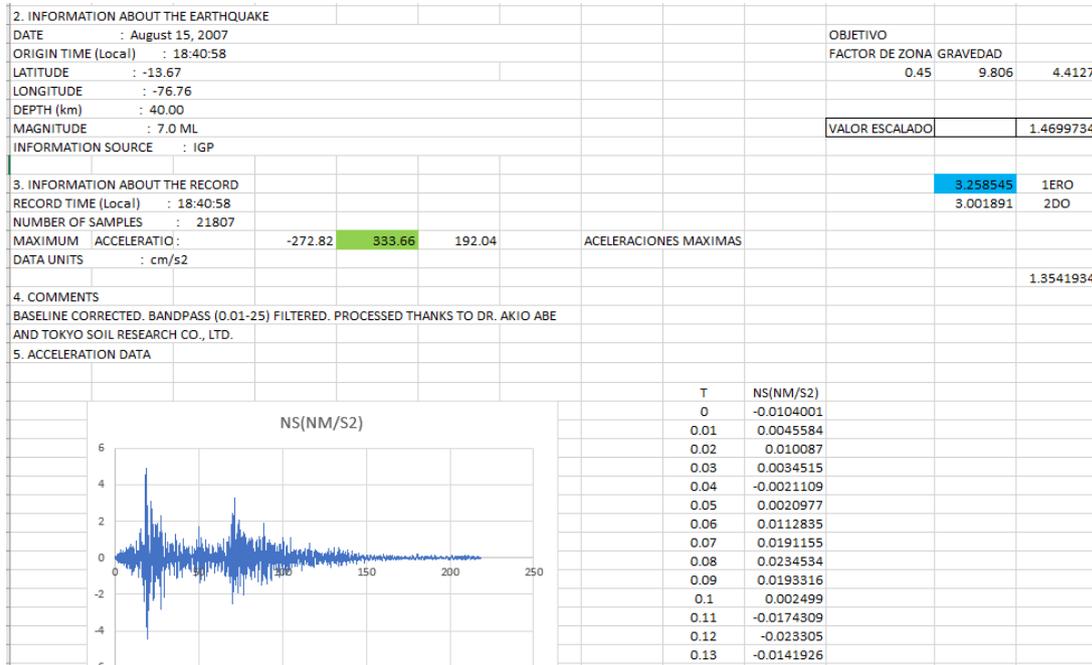


Figura 29.

Imagen corregida y escalada por línea base de los registros sísmicos (2007).



Los registros sísmicos se logran escalan para obtener nuevas aceleraciones máximas, que luego se envían al programa Etabs para realizar el análisis tiempo-historia.

3.9.2. Ingreso de aceleraciones sísmicas

El análisis dinámico tiempo historia se llevó a cabo siguiendo las directrices establecidas en la Norma E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Según esta norma, cada conjunto de registros de aceleración del terreno consta de dos componentes de aceleración horizontal seleccionadas y escaladas a partir de eventos individuales. Los registros sísmicos se ingresarán al software ETABS.

Figura 30.

Ingreso de las aceleraciones corregidas y escalas de sismo de 1966.

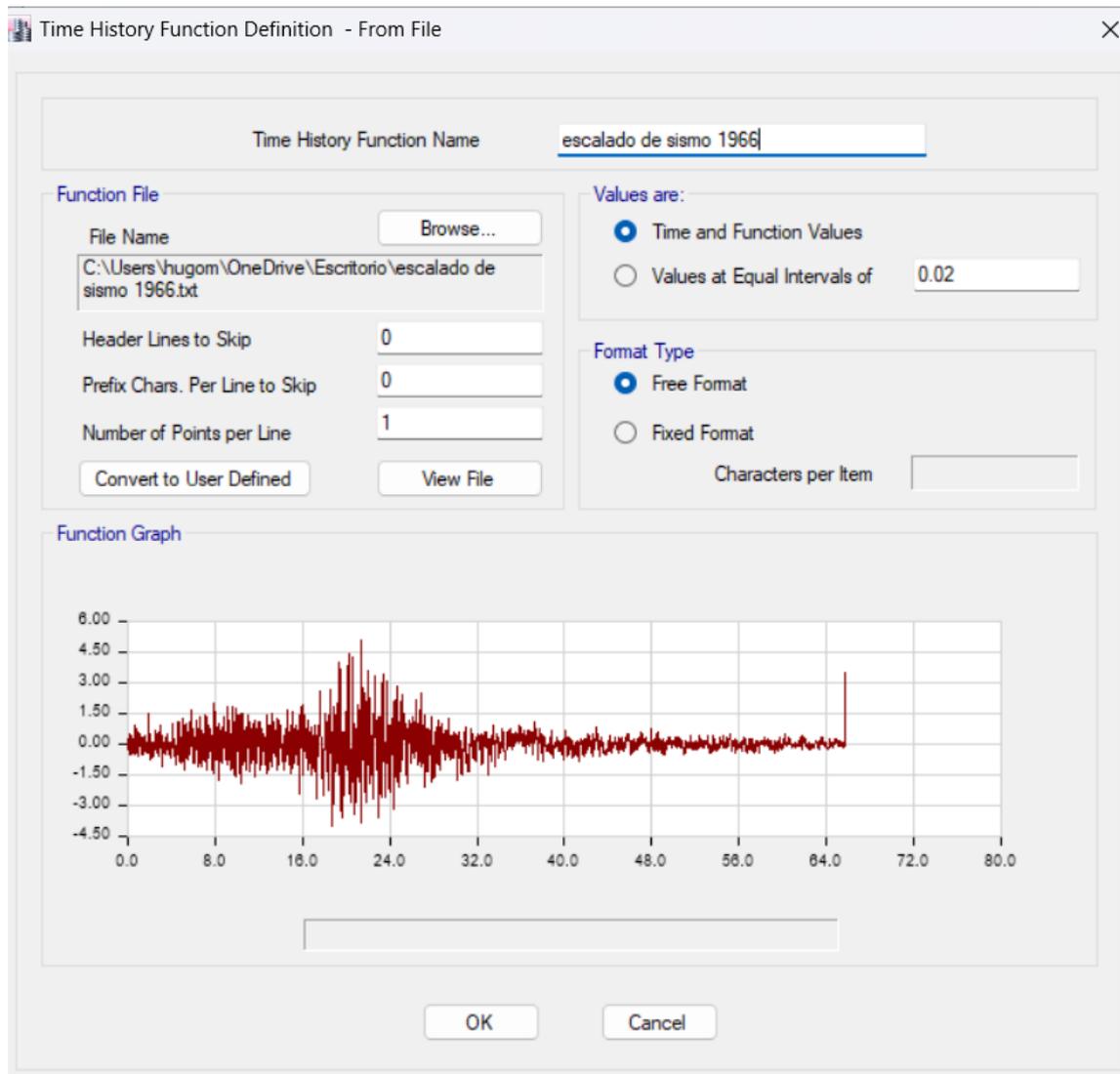


Figura 31.

Ingreso de las aceleraciones corregidas y escalas de sismo de 1974.

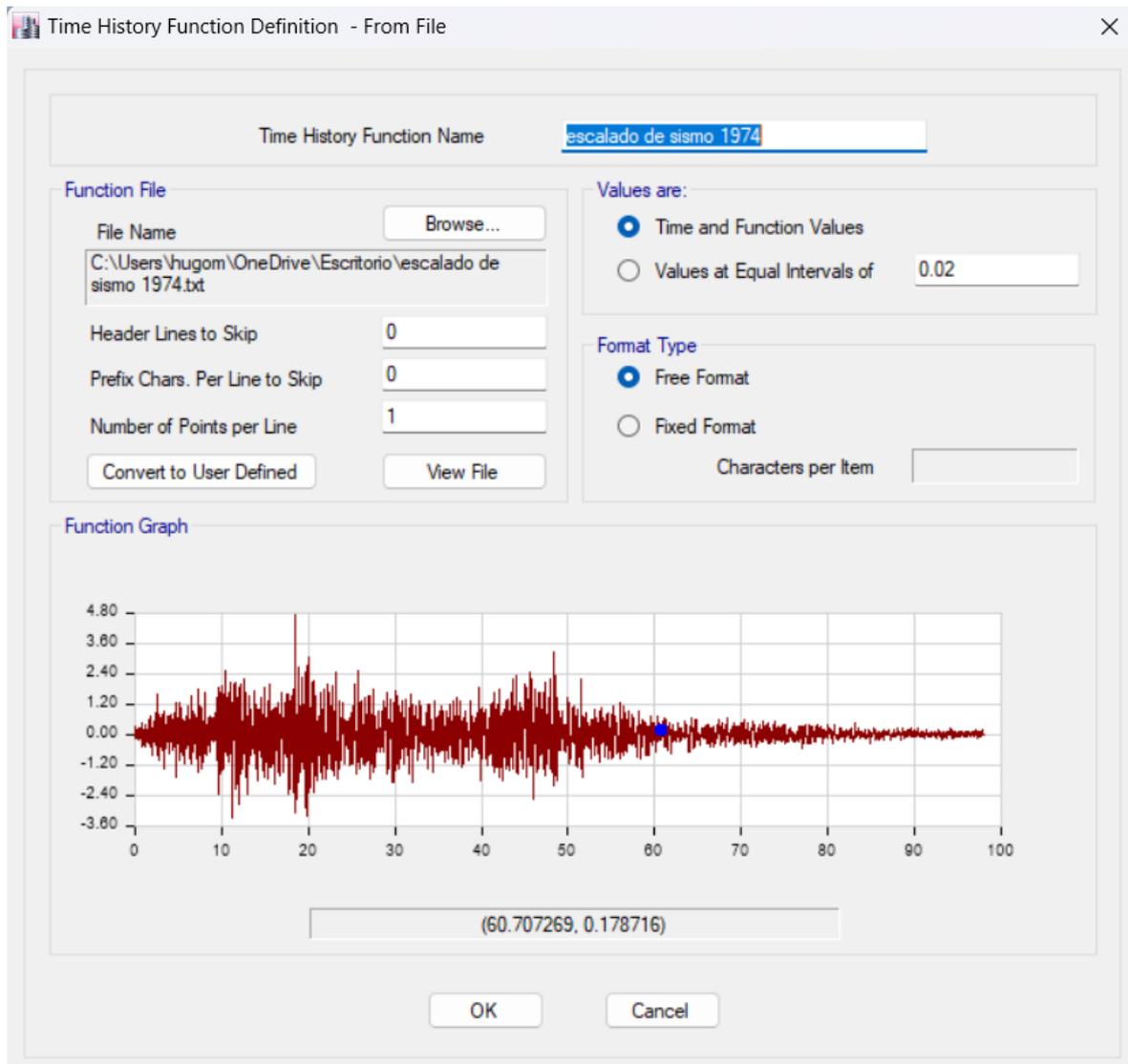
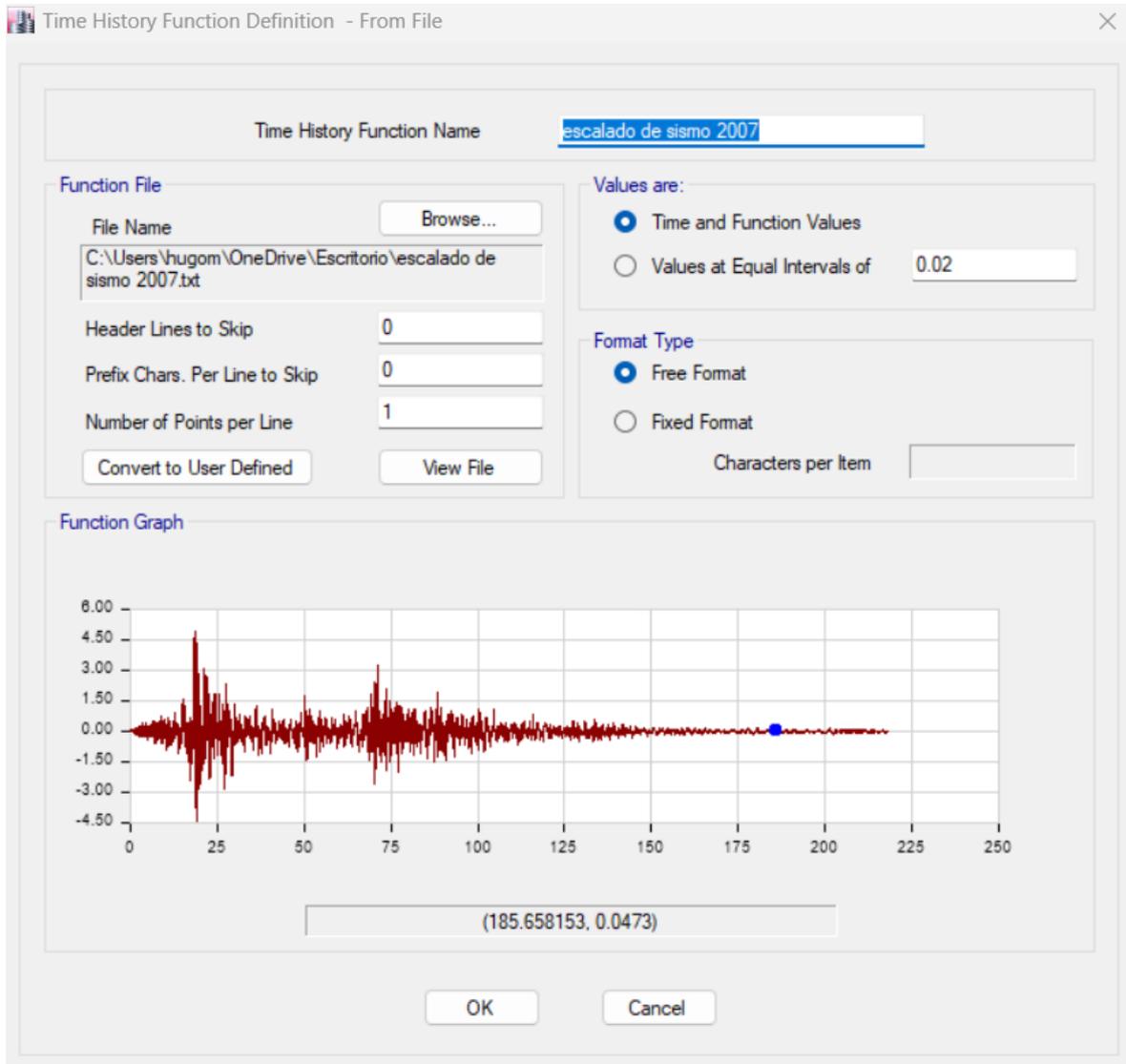


Figura 32.

Ingreso de las aceleraciones corregidas y escalas de sismo de 2007.



3.9.3. Análisis sísmico dinámico modal – tiempo historia

Se muestran las nuevas derivas del análisis dinámico tiempo historia

Tabla 14 .

Se muestran las derivas máximas en cada piso obtenidas del análisis dinámico.

N° DE PISOS	DESPLAZAMIENTO CENTRO MASA		DESPLAZAMIENTO. RELATIVO CM		DERIVAS	
	X	Y	X	Y	(Desplz. Relativo Cm/H)	
PISO 11	12.6104	12.8598	1.3018	1.3331	0.0052	0.0053
PISO 10	11.3086	11.5267	1.3341	1.3669	0.0053	0.0055
PISO 9	9.9745	10.1598	1.3560	1.3868	0.0054	0.0055
PISO 8	8.6185	8.7731	1.3625	1.3916	0.0055	0.0056
PISO 7	7.2559	7.3815	1.3505	1.3774	0.0054	0.0055
PISO 6	5.9054	6.0041	1.3138	1.3383	0.0053	0.0054
PISO 5	4.5916	4.6658	1.2466	1.2684	0.0050	0.0051
PISO 4	3.3451	3.3974	1.1422	1.1610	0.0046	0.0046
PISO 3	2.2029	2.2365	0.9881	1.0037	0.0040	0.0040
PISO 2	1.2148	1.2327	0.7724	0.7842	0.0031	0.0031
PISO 1	0.4424	0.4485	0.4424	0.4485	0.0018	0.0018

Se muestran las derivas obtenidas de los 3 registro sísmicos

Tabla 15.

Derivas inelásticas máximas en dirección X, Y

N° de pisos	17 de Octubre de 1966		3 de Octubre de 1974		15 de Agosto del 2007	
	x	y	x	y	x	y
PISO 11	0.00599488	0.0064372	0.0085044	0.00913368	0.0065056	0.00698592
PISO 10	0.005662	0.00600096	0.00803472	0.00851656	0.00614384	0.0065132
PISO 9	0.00584136	0.00614992	0.00828704	0.00872328	0.00633992	0.0066728
PISO 8	0.00542184	0.00572584	0.00768968	0.0081244	0.00588088	0.00621224
PISO 7	0.00542792	0.00565136	0.00770336	0.00801648	0.00589152	0.0061332
PISO 6	0.00531392	0.00550544	0.00753768	0.00781128	0.00576536	0.0059736
PISO 5	0.0050768	0.00523944	0.00720328	0.0074328	0.00550848	0.0056848
PISO 4	0.00469072	0.00482448	0.00665608	0.00684456	0.005092	0.00523488
PISO 3	0.004104	0.0042104	0.0058216	0.0059736	0.00445208	0.00456912
PISO 2	0.00325736	0.00333488	0.0046208	0.00473176	0.00353552	0.00361912
PISO 1	0.00192432	0.0019684	0.00272992	0.00279224	0.00208696	0.0021356

La deriva máxima se logra obtener en el registro sísmico de los años 1974 como se muestra en la imagen anterior.

3.9.4. Cálculo de parámetros para la Implementación de amortiguadores de fluido viscoso

3.9.4.1. Elección de deriva objetiva

Según lo establecido por el SEAOC (The Structural Engineers Association of California) al ser una edificación de uso común. El sismo de diseño que se elegirá será de 475 años de periodo de retorno, el cual representa un nivel de desempeño de resguardo de vida y se acepta como daños moderados.

3.9.4.2. Definición de objetivo de desempeño

Se utilizará una normativa americana (HAZUS) en que nos muestra la clasificación de edificaciones en las que se encuentra el tipo común y a la que se le asigna el código C2H nombrándolas como “Edificación con muros de corte de concreto de gran altura”.

Si después de un movimiento sísmico se desea un estado de daños modesto. Siguiendo las recomendaciones de HAZUS para un código sísmico moderado, debe tenerse en cuenta una deriva máxima prevista de 0.0042 desde el punto de vista estructural.

3.9.5. Determinación de amortiguamiento efectivo.

Se determinará el amortiguamiento efectivo aplicando el siguiente modelo matemático

$$B = \frac{\text{Deriva maxima sin dispadores}}{\text{Deriva Objetivo}}$$

$$B = \frac{2.31 - .41 \ln (5)}{2.31 - .41(B_{eff})}$$

3.9.5.1. Amortiguamiento viscoso

Con la adición de los disipadores de energía, la estructura debería alcanzar el nivel de amortiguamiento objetivo, o B_{eff} . Utilizando la siguiente expresión, se puede determinar la contribución de los disipadores al amortiguamiento B_{visc} descontando el comportamiento intrínseco de la estructura, que para un edificio de hormigón será del 5%

$$.B_{visc} = B_{eff} - 5\%$$

Usando las ecuaciones proporcionadas, es posible hallar el amortiguamiento efectivo que sea adecuado para alcanzar la deriva objetivo propuesta.

Después de realizar los cálculos para ambas direcciones, se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 16.

Amortiguamiento para el sentido en X

Coefficiente	Valor
Deriva Máxima	0.0085
Deriva objetivo	0.0042
Factor de respuesta (B)	2.02
Amortiguamiento efectivo necesario (B_{eff})	38.30%
Amortiguamiento inherente (B_{inh})	5%
Amortiguamiento de los disipadores (B_{visc})	33.3

Tabla 17.

Amortiguamiento para el sentido en Y

Coefficiente	Valor
Deriva Máxima	0.0091
Deriva objetivo	0.0042
Factor de respuesta (B)	2.16
Amortiguamiento efectivo necesario (B_{eff})	43.66%
Amortiguamiento inherente (B_{inh})	5%
Amortiguamiento de los disipadores (B_{visc})	38.66

3.10. Elección del perfil metálico

En el modelo inicial, se utiliza un perfil metálico para el brazo que continúa el amortiguador round HSS 7.50 x 0.0500. A continuación, se presentan las propiedades de dicho perfil.

Tabla 18.

Características de brazo metálico.

Tipo de perfil	diámetros externo (in)	diámetros interno (in)	espesor t (in)	área A (in ²)	Inercia, I (in ⁴)
HSS 7.50 X.50	7.5	7.04	0.46	10.3	63.9

Con la siguiente expresión se lograr calcular la rigidez en del dispositivo disipador metálico metálico utilizando la siguiente expresión.

$$K = \frac{E \cdot A}{L}$$

Características específicas para el cálculo son:

Módulo de elasticidad del acero $E_{ac} = 20400000 \text{ Tn/m}^2$

Área del perfil: $A = 66.45 \times 10^4 \text{ m}^2$

Longitud $L = 5.47 \text{ m}$

Con ello la rigidez del brazo metálico es: $K = 68597.557 \text{ Tn/m}$

Coefficiente de amortiguamiento en función de α

- Pasamos al cálculo del coeficiente de amortiguación, uno de los tres parámetros esenciales que hay que introducir en el software, tras definir el valor de $\alpha = 0.50$ para los disipadores de fluido viscoso.

$$\sum C_j = \frac{\beta H \cdot 2\pi A \cdot 1 - \alpha \cdot \omega^2 - \alpha \cdot (\sum_i m_i \phi_i^2)}{(\sum \phi_{rj} \cdot \cos 1 + \alpha \theta)}$$

Dónde:

βH : Amortiguamiento viscoso de la estructura.

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j m_i : Masa del nivel i.

θ_j : Angulo de inclinación del disipador j

ϕ_i : Desplazamiento modal en el nivel i (correspondiente al primer modo de vibración).

ϕ_{rj} : desplazamiento modal relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal (correspondiente al primer modo vibración).

A : Amplitud del desplazamiento del modo fundamental

ω : Frecuencia angular

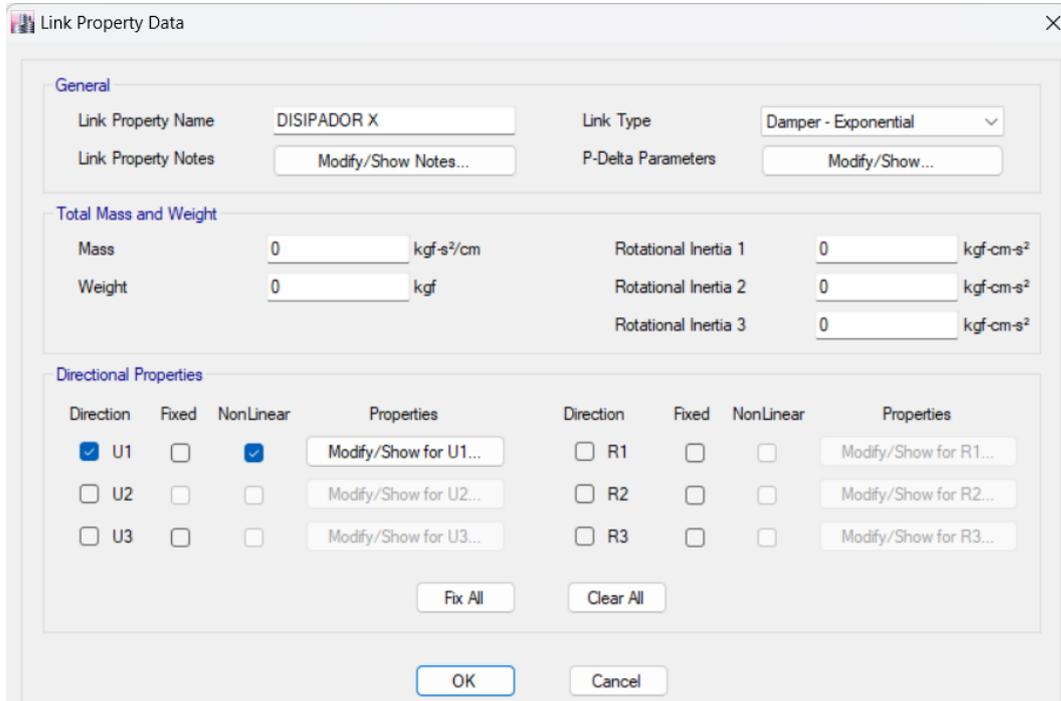
λ : Parámetro Lambda

Finalmente, con ayuda de una hoja de cálculo se obtendrá el valor de C que será de 540

Tn.s/m para luego ser ingresados al software Etabs.

Figura 33.

Definición de propiedades de los disipadores.



Link Property Data

General

Link Property Name: DISIPADOR X Link Type: Damper - Exponential

Link Property Notes: Modify/Show Notes... P-Delta Parameters: Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass: 0 kgf-s²/cm Rotational Inertia 1: 0 kgf-cm-s²

Weight: 0 kgf Rotational Inertia 2: 0 kgf-cm-s²

Rotational Inertia 3: 0 kgf-cm-s²

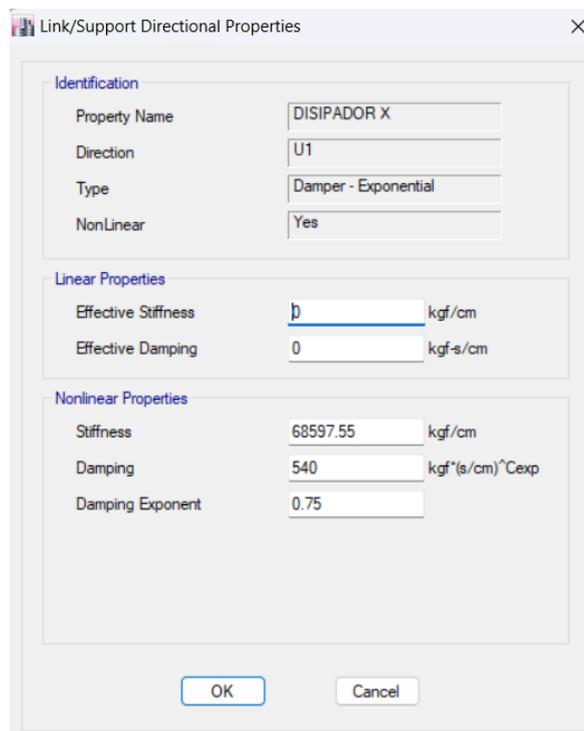
Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Buttons: Fix All, Clear All, OK, Cancel

Figura 34.

Ubicación y disposición de los dispositivos de amortiguamiento.



Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: DISIPADOR X

Direction: U1

Type: Damper - Exponential

NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 0 kgf/cm

Effective Damping: 0 kgf-s/cm

Nonlinear Properties

Stiffness: 68597.55 kgf/cm

Damping: 540 kgf*(s/cm)^{Cexp}

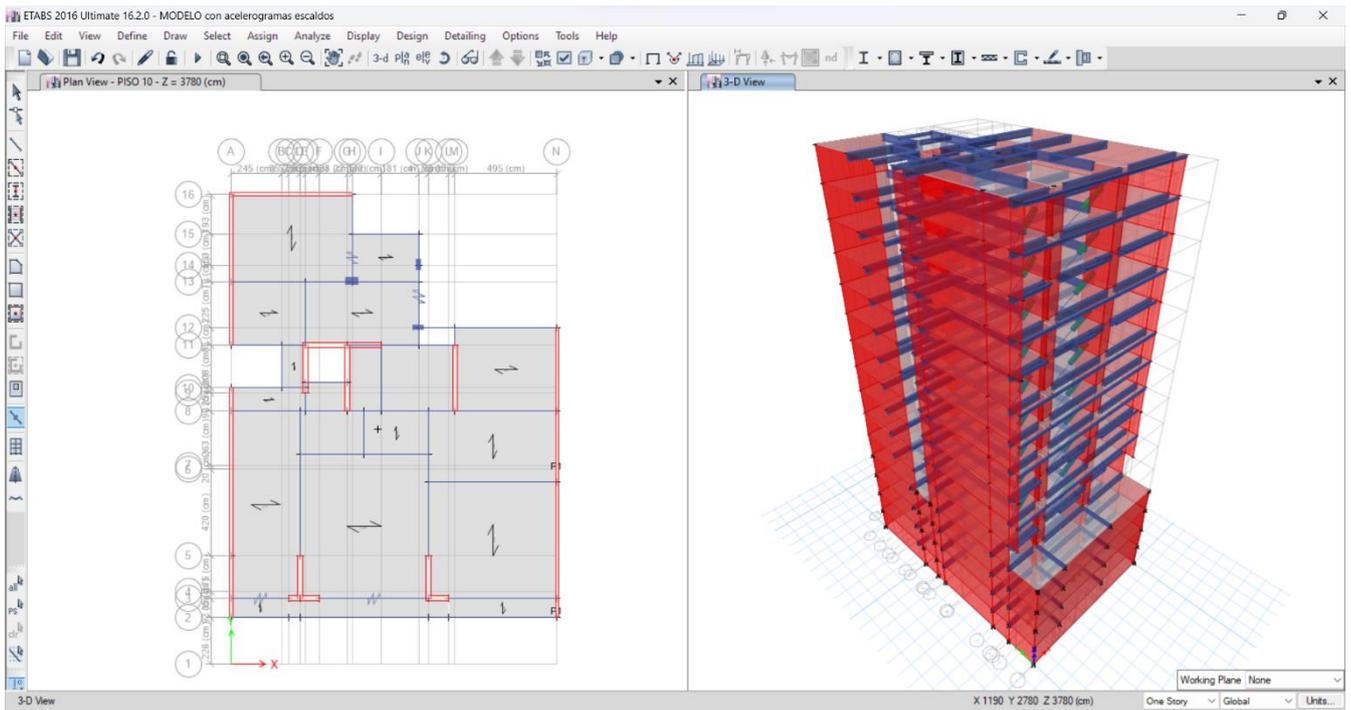
Damping Exponent: 0.75

Buttons: OK, Cancel

3.11. Modelamiento con los dispositivos implementados

Figura 35.

Ubicación y disposición de los dispositivos de amortiguamiento en planta y vista 3D.



La implementación de disipadores de fluido viscoso permite completar el análisis y se observa que la deriva obtenida es bastante similar a la deriva objetiva calculada. Esto demuestra que las variables utilizadas para construir los disipadores eran precisas.

Tabla 19.

Cuadro de derivas finales obtenidas del análisis con disipadores.

Sismo 3 de octubre de 1974

N° PISOS	Desplazamiento cm		Desplaz. Relativo cm		Desplazamiento lateral	
	X	Y	X	Y	Deriva X	Deriva Y
<i>Piso 11</i>	9.4468	9.7550	1.0142	1.0484	0.0041	0.0042
<i>Piso 10</i>	8.4326	8.7066	1.0325	1.0845	0.0041	0.0043
<i>Piso 9</i>	7.4001	7.6220	1.0613	1.1096	0.0042	0.0044
<i>Piso 8</i>	6.3388	6.5124	0.9895	1.0328	0.0040	0.0041
<i>Piso 7</i>	5.3493	5.4796	0.9876	1.0184	0.0040	0.0041
<i>Piso 6</i>	4.3616	4.4612	0.9629	0.9895	0.0039	0.0040
<i>Piso 5</i>	3.3987	3.4717	0.9158	0.9386	0.0037	0.0038
<i>Piso 4</i>	2.4829	2.5331	0.8417	0.8603	0.0034	0.0034
<i>Piso 3</i>	1.6412	1.6728	0.7304	0.7456	0.0029	0.0030
<i>Piso 2</i>	0.9109	0.9272	0.5734	0.5837	0.0023	0.0023
<i>Piso 1</i>	0.3374	0.3435	0.3374	0.3435	0.0013	0.0014

Se procederá a determinar el porcentaje de reducción de los desplazamientos laterales producto de la implementación de los disipadores de fluido viscoso.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de las dos estructuras, una con un sistema sismorresistente aporticado con disipadores de energía de fluido viscoso y otra sin disipadores de energía, revelaron diferencias significativas. Una de las diferencias más destacadas es la reducción de los desplazamientos laterales en toda la estructura debido al alto nivel de amortiguamiento proporcionado por la implementación de los dispositivos disipadores.

Tabla 20.

Porcentaje de reducción del desplazamiento lateral en eje "X"

Nivel	Sin disipadores	Con disipadores	% Reducción
piso 11	0.00787968	0.0041	0.520325699
piso 10	0.00803472	0.0041	0.510285362
piso 9	0.00828704	0.0042	0.506815461
piso 8	0.00768968	0.004	0.520177693
piso 7	0.00770336	0.004	0.519253936
piso 6	0.00753768	0.0039	0.517400579
piso 5	0.00720328	0.0037	0.513654891
piso 4	0.00665608	0.0034	0.510811168
piso 3	0.0058216	0.0029	0.49814484
piso 2	0.0046208	0.0023	0.497749307
piso 1	0.00272992	0.0013	0.476204431

Figura 36.

Grafica de porcentaje de reducción del desplazamiento lateral en eje "X".

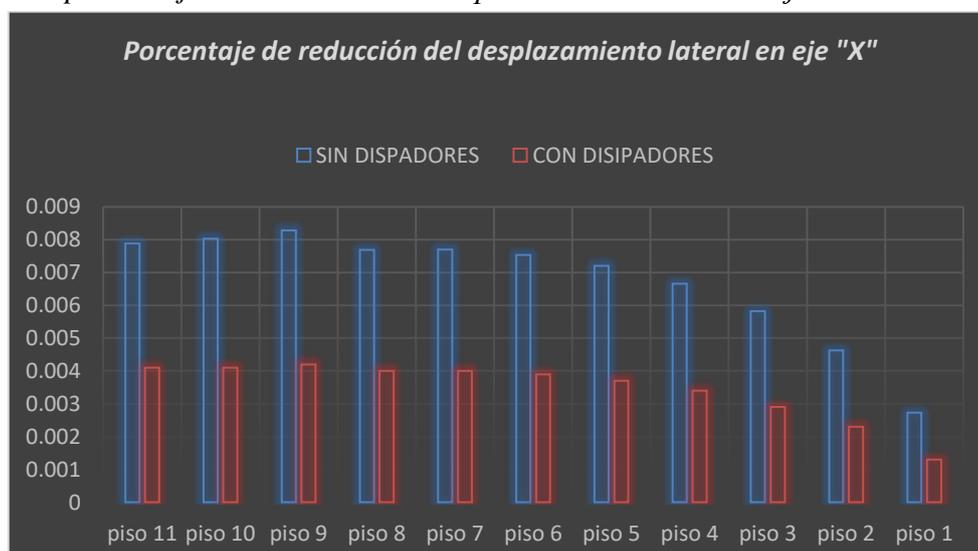


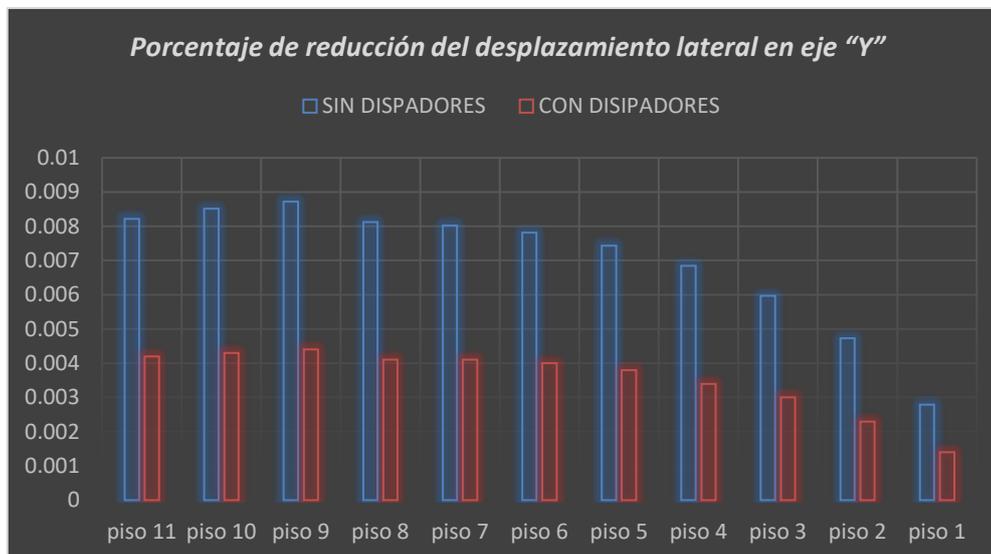
Tabla 21.

Porcentaje de reducción del desplazamiento lateral en eje “Y”

Nivel	Sin disipadores	Con disipadores	% Reducción
piso 11	0.00821864	0.0042	0.511033456
piso 10	0.00851656	0.0043	0.504898691
piso 9	0.00872328	0.0044	0.504397428
piso 8	0.0081244	0.0041	0.504652651
piso 7	0.00801648	0.0041	0.51144642
piso 6	0.00781128	0.004	0.512079966
piso 5	0.0074328	0.0038	0.511247444
piso 4	0.00684456	0.0034	0.49674486
piso 3	0.0059736	0.003	0.502209723
piso 2	0.00473176	0.0023	0.486077062
piso 1	0.00279224	0.0014	0.501389565

Figura 37.

Grafica de porcentaje de reducción del desplazamiento lateral en eje “Y”.



CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los datos nos arrojan los siguientes análisis y se afirma que:

- Se logró obtener las máximas derivas obteniendo una reducción de hasta 52 % en “X” y en “Y” 51%, implementando disipadores de fluido viscoso en una edificación de once niveles y logrando aceptar la hipótesis general del presente estudio pues supero el 30% que se estimaba.

Así mismo se aceptan las hipótesis específicas tras los resultados obtenidos:

- Los valores de las máximas derivas obtenidas fueron de 0.0042 en “X” y en “Y” 0.0044, implementando disipadores de fluido viscoso en una edificación de once niveles los resultados obtenidos se encuentran dentro de la normativa E-0.30 que indica un valor por debajo de 0.007
- Al analizar los resultados se determina que la estructura no adquirió torsión extrema tras la implementación de los disipadores ya que estos dispositivos se ubicaron en los extremos de la edificación debido a que sus derivas resultaron ser valores por debajo de 0.007, logrando disminuir la torsión a menos de 1.3 veces del desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso.

Se concluye pues que Los acoplamientos de disipadores de fluido viscoso reducen en un gran porcentaje las fuerzas actuantes en todos los elementos estructurales, manejando con ello una mayor flexibilidad arquitectónica en cuanto a ambientes libres se refiere, evitando así muros de corte y columnas de grandes dimensiones.

RECOMENDACIONES

Si se desea continuar con el estudio de la implementación de disipadores de fluido viscoso se recomienda:

- El estudio económico a profundidad sobre la implementación de los disipadores dispositivos de estudio y la comparación ante diversos dispositivos de disipación de protección sísmica.
- El estudio comparativo sismorresistente entre la implementación de disipadores de fluido viscoso vs diversos dispositivos de disipación de protección sísmica
- El estudio comparativo en deformación de la edificación entre la implementación de disipadores de fluido viscoso vs diversos dispositivos de disipación de protección sísmica.
- El estudio de la eficiencia económica a largo plazo; puesto que las reparaciones post sismo serían menores.

BIBLIOGRAFIA

Anelli, A., Vona, M., & Santa Cruz, S. (2020). *Comparison of Different Intervention Options for Massive Seismic Upgrading of Essential Facilities. Buildings.*

Carranza & Calderón (2015) “*Reforzamiento de una estructura aporticada con disipadores de fluido viscoso para un mercado en la ciudad de Trujillo*”

Casana, G. M. (2018). *Desempeño sísmico de un edificio de 14 pisos con Disipadores de Energía en la ciudad de Tumbes - 2018 . Trujillo : Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil - Universidad Privada del Norte .*

Chalarca, B., Filiatrault, A., & Perrone, D. (2020). *Seismic Demand on Acceleration Sensitive Nonstructural. Journal of Structural Engineering (United States).*

Fernandez & Mendo, (2020) “*Damping modification factors for the design of seismic isolation systems in Peru*”.

Fuentes (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso. (Tesis Pregrado). Pontificia Universidad Católica, Lima – Perú. Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/6091>*

Instituto Geofísico del Perú. (2017). *Memoria Institucional 2016. Lima: Geofísica y Sociedad.*

Kumar, S., & Chakraborty, S. (2020). *Reduction of seismic vibration in multistorey structures retrofitted with nonlinear viscous dampers using mode summation method. Applied Mathematical Modelling, 294-310.*

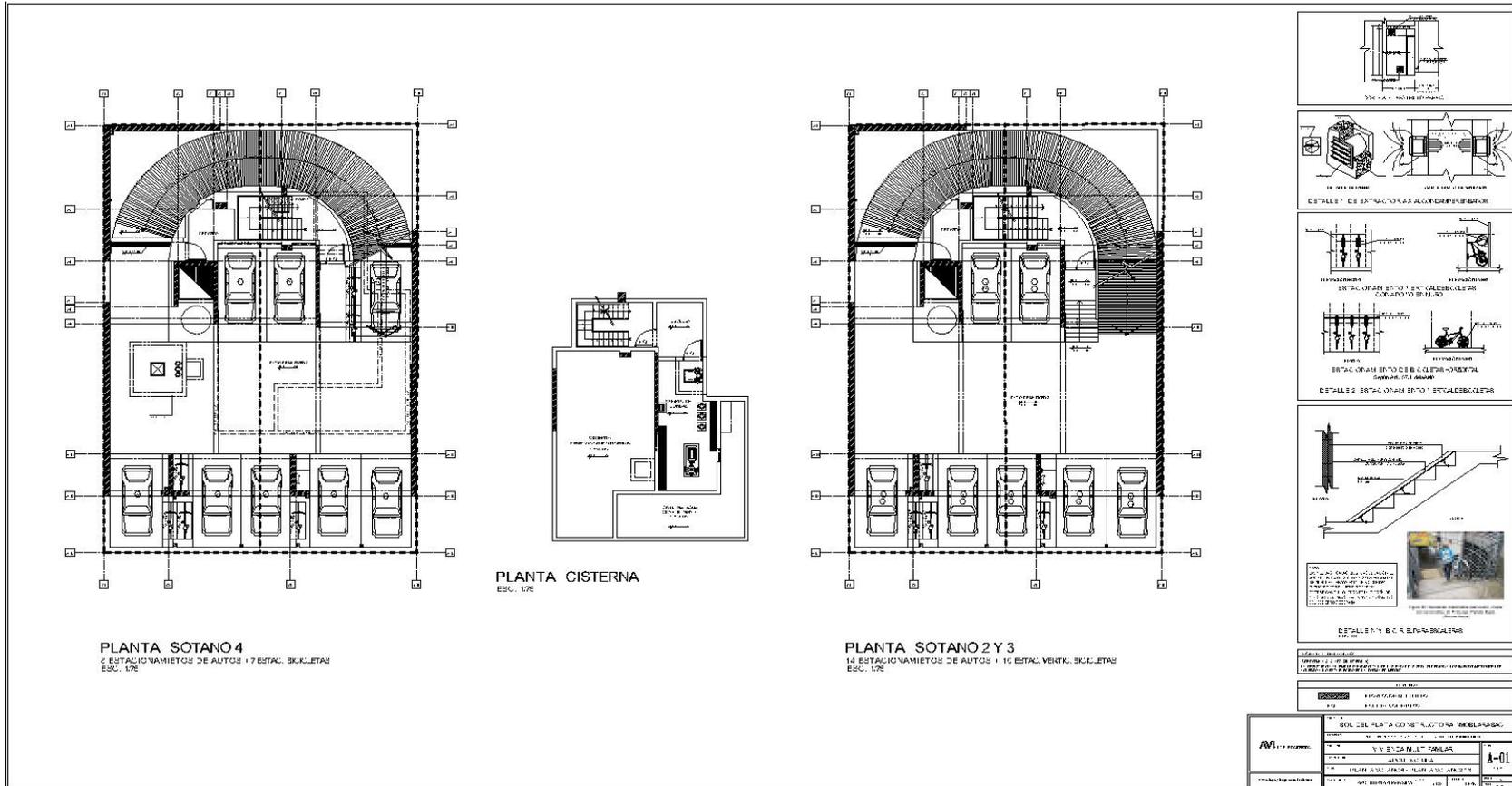
Núñez, A. B. (2019). *Propuesta de aisladores sísmicos para la disipación de energía en el desempeño estructural por desplazamiento en edificaciones-Unach-Chota. Universidad Cesar Vallejo. CHICLAYO-PERÚ.*

Santos Flores, (2018) “*Diseño y evaluación del comportamiento estructural entre un sistema convencional y disipadores de energía fluido viscoso, en una edificación de siete niveles y un semisótano en el distrito de Huacho, 2018*”

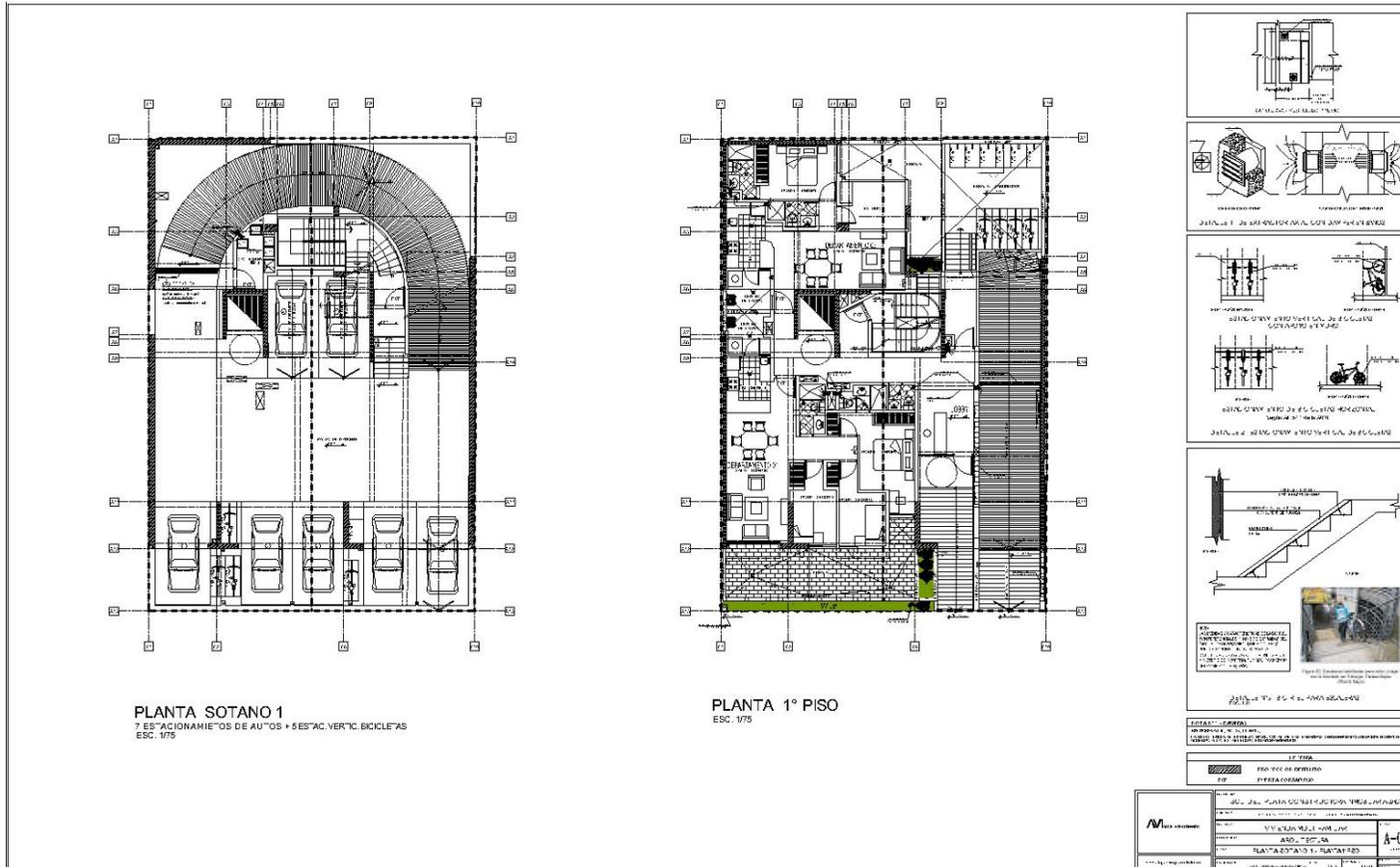
Villarreal, G., & Diaz, M. (2016). *Edificaciones con Disipadores Viscosos. Lima: Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L.*

Xu, J., Xu, S., & Yuan, Z. (2020). *Probabilistic seismic analysis of single-layer reticulated shell structures controlled by viscoelastic dampers with an effective placement. Engineering Structures*

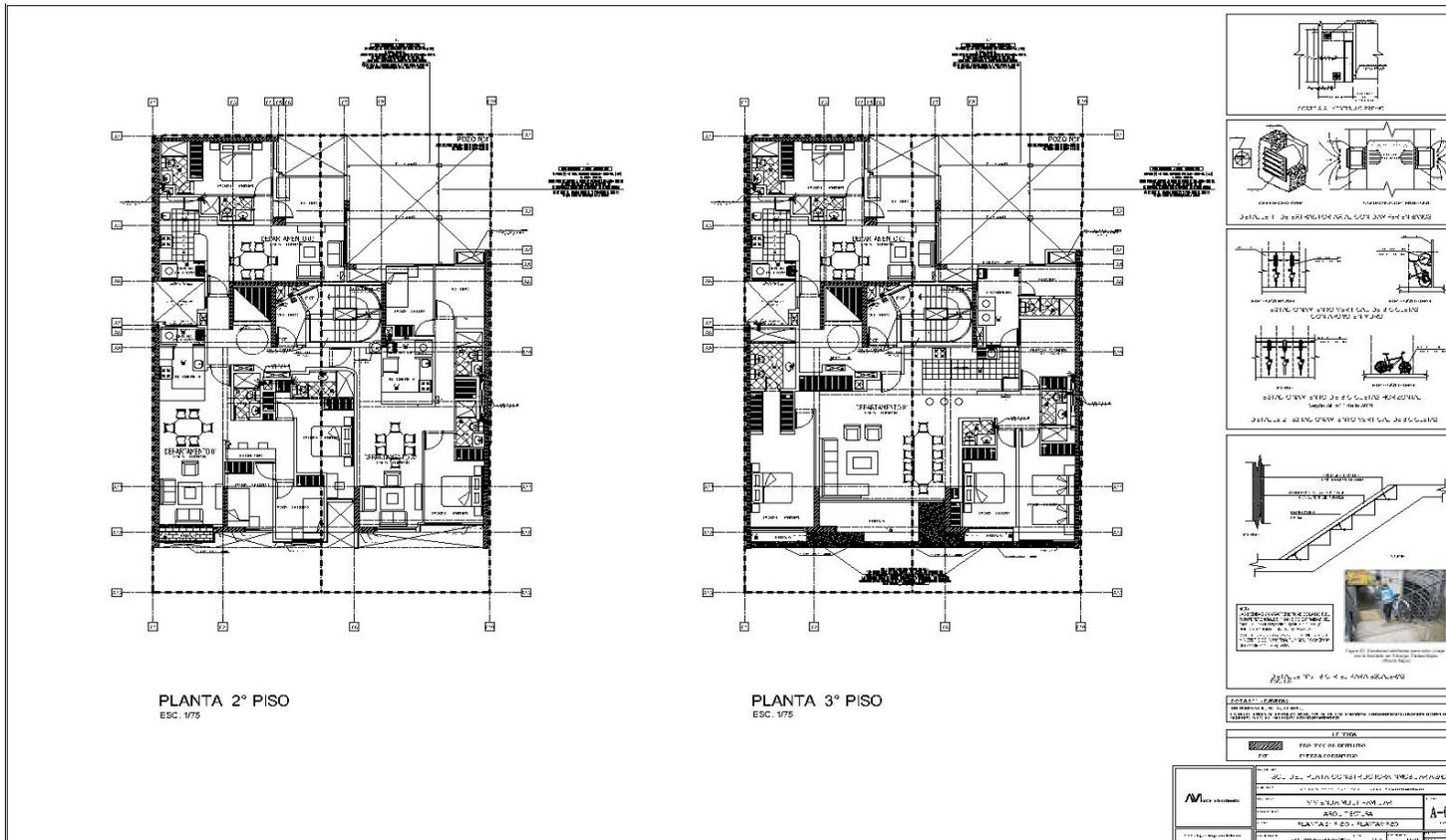
ANEXO N° 2. Plano de Arquitectura.



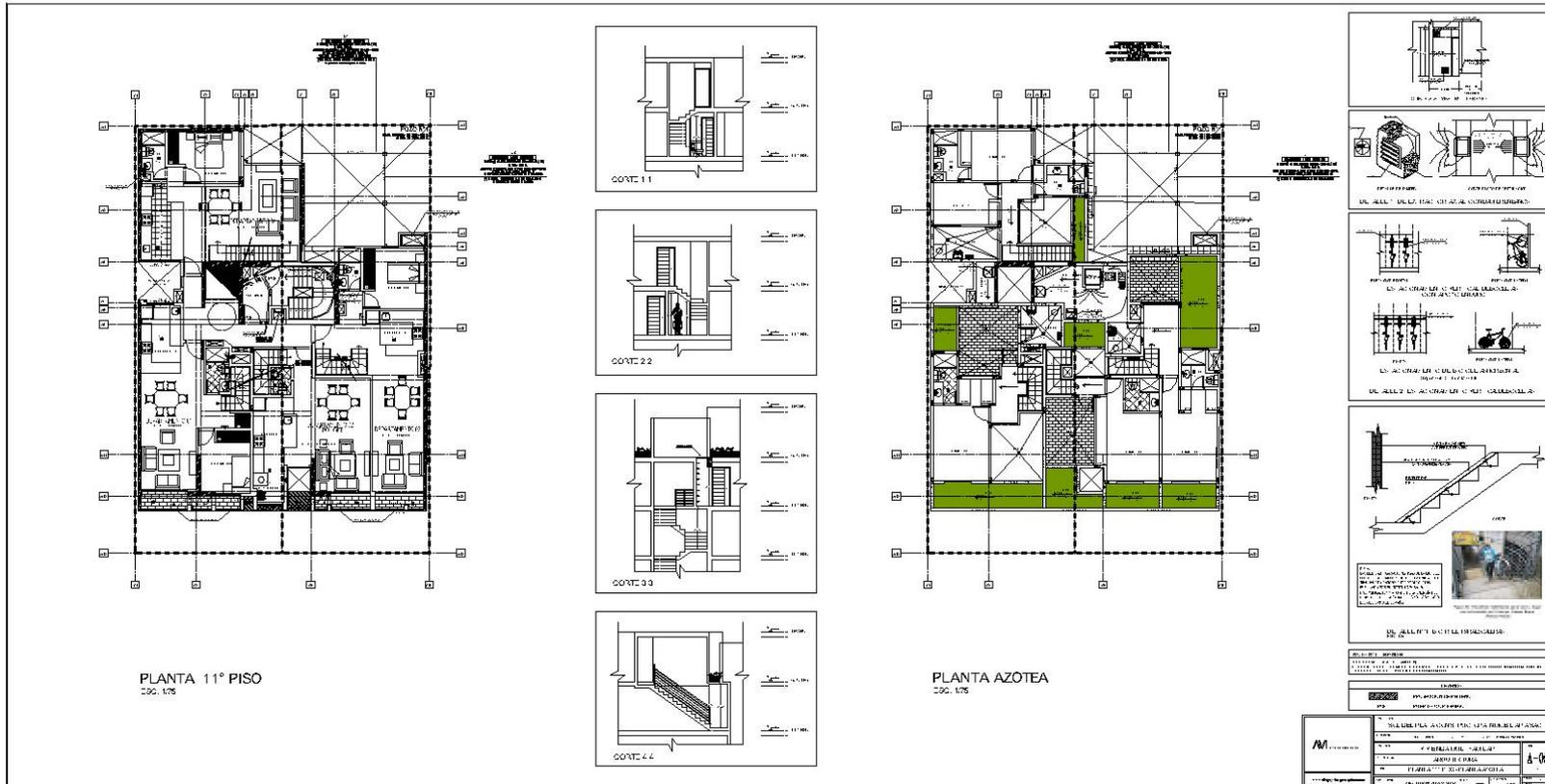
ANEXO N° 3. Plano de Arquitectura.



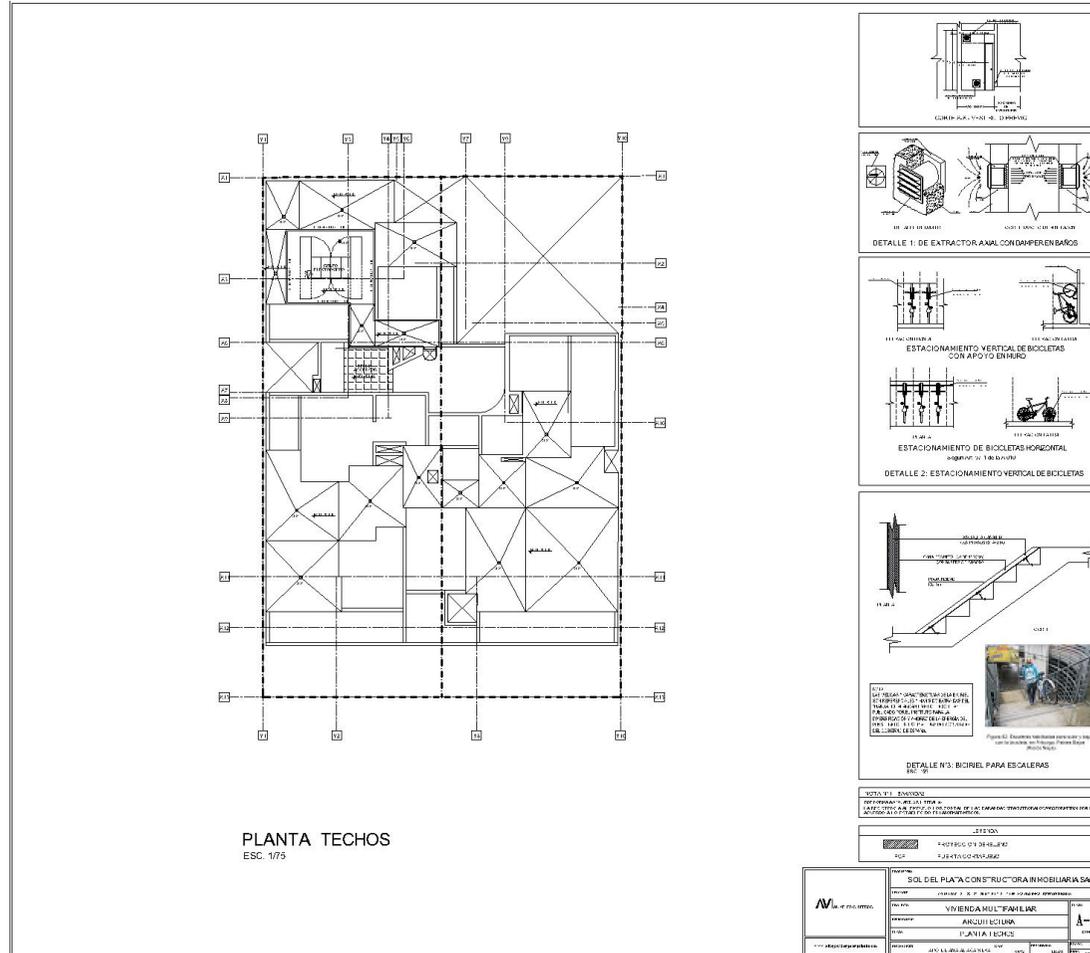
ANEXO N° 4 Plano de Arquitectura.



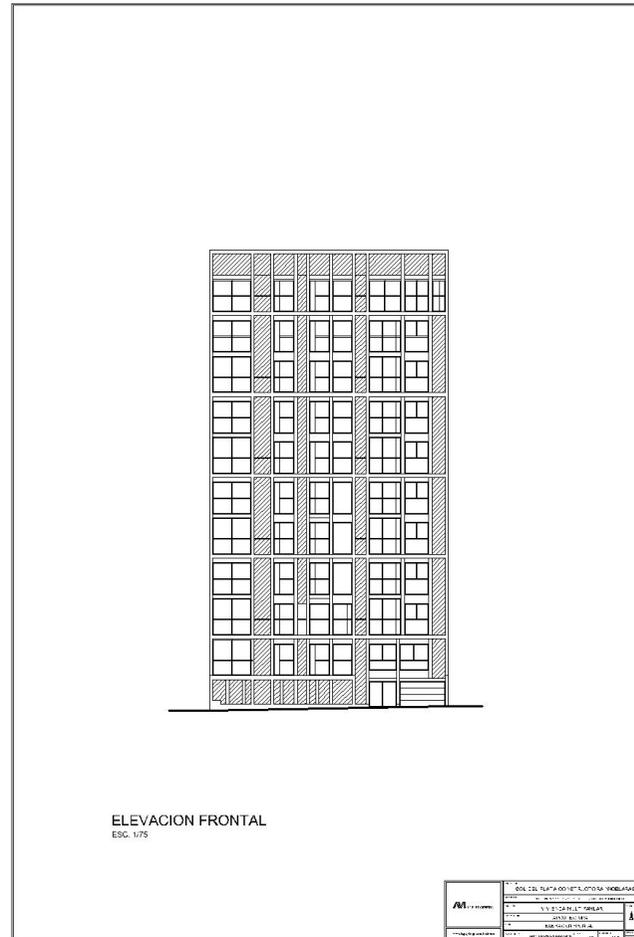
ANEXO N° 6. Plano de Arquitectura.



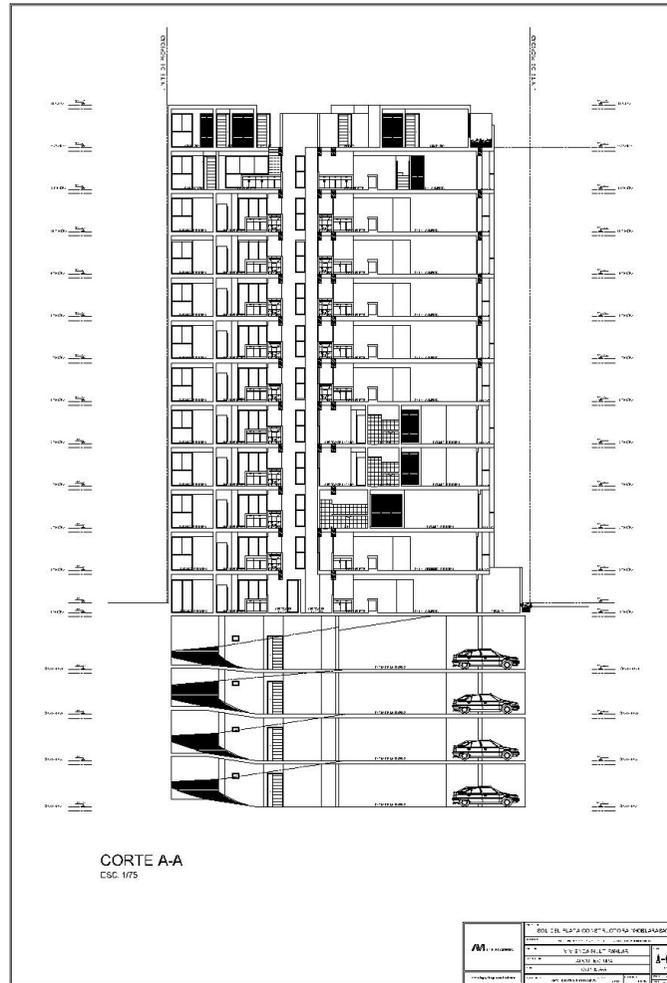
ANEXO N° 7. Plano de Arquitectura.



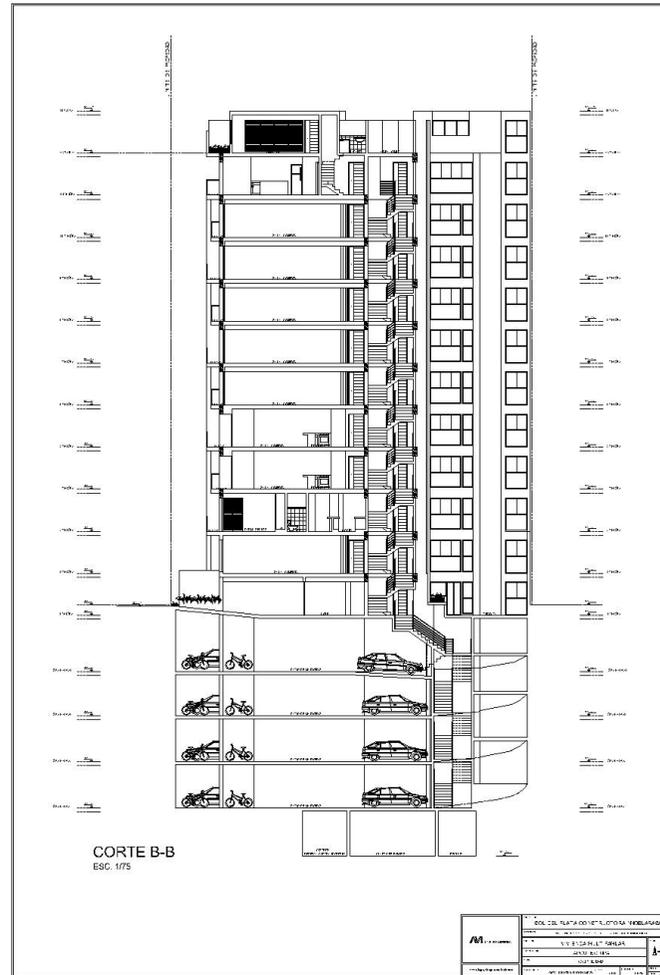
ANEXO N° 8. Plano de Arquitectura.



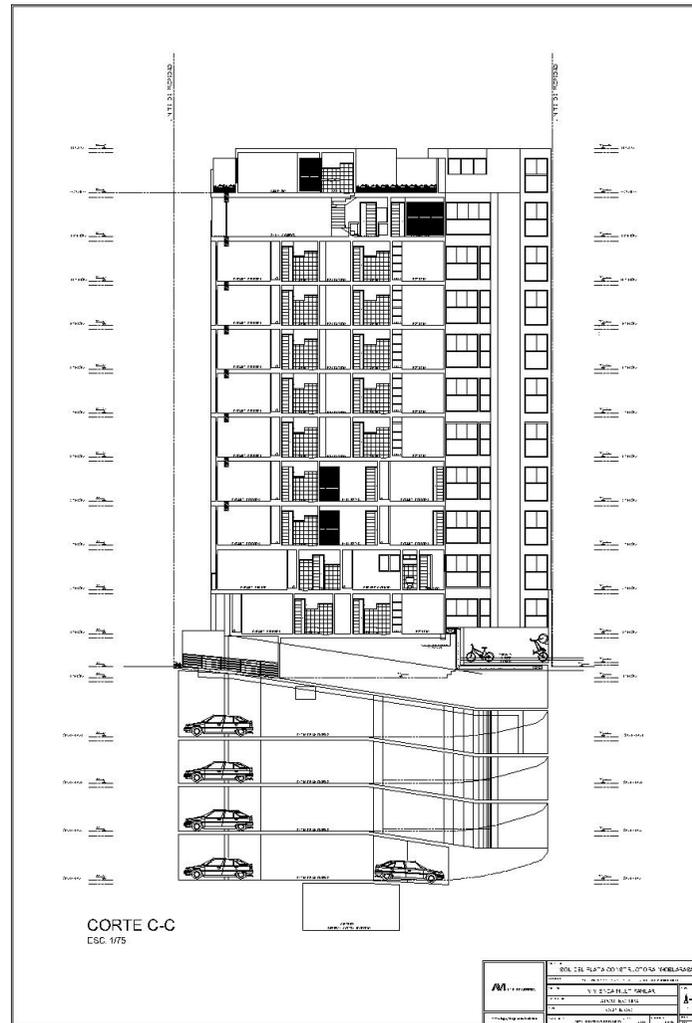
ANEXO N° 9. Plano de Arquitectura.



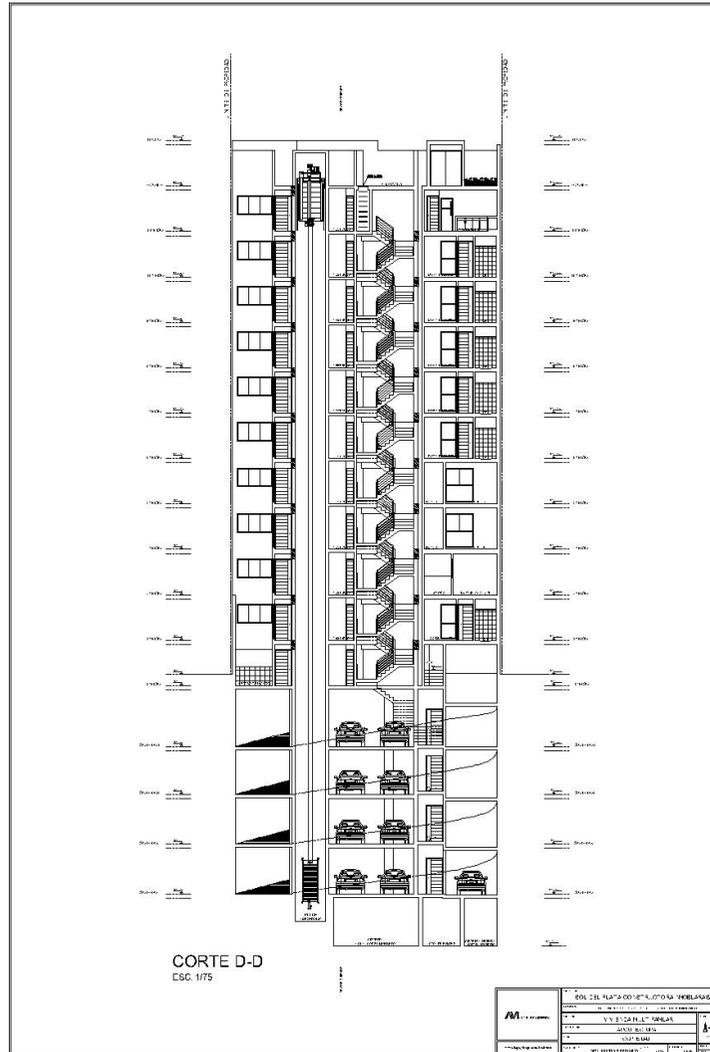
ANEXO N° 10. Plano de Arquitectura.



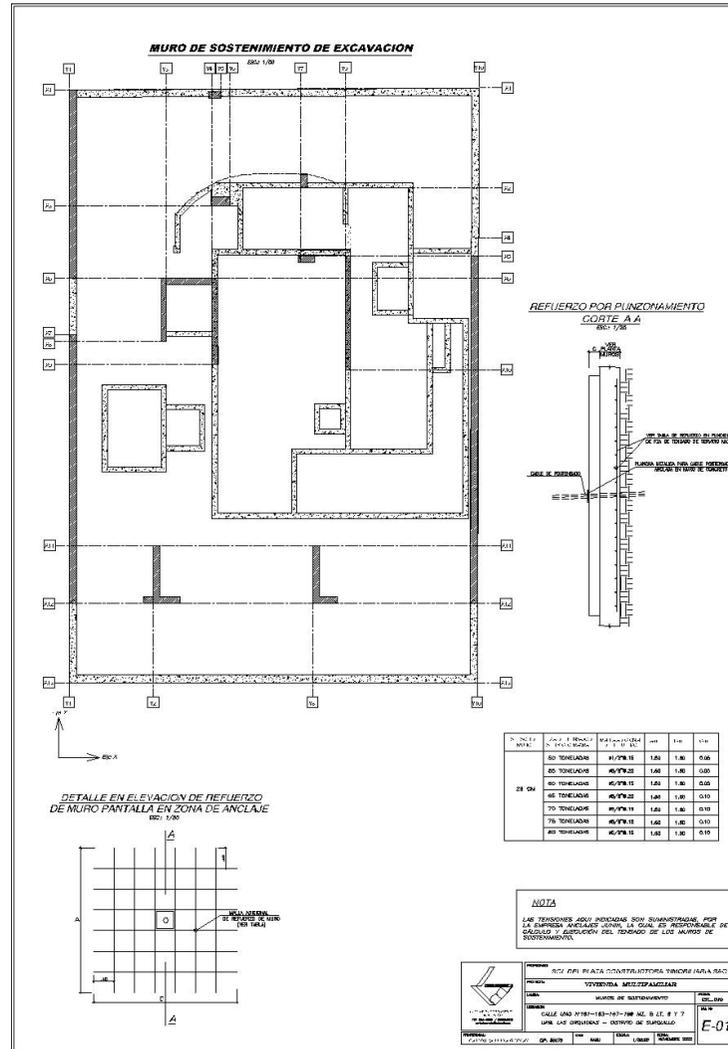
ANEXO N° 11. Plano de Arquitectura.



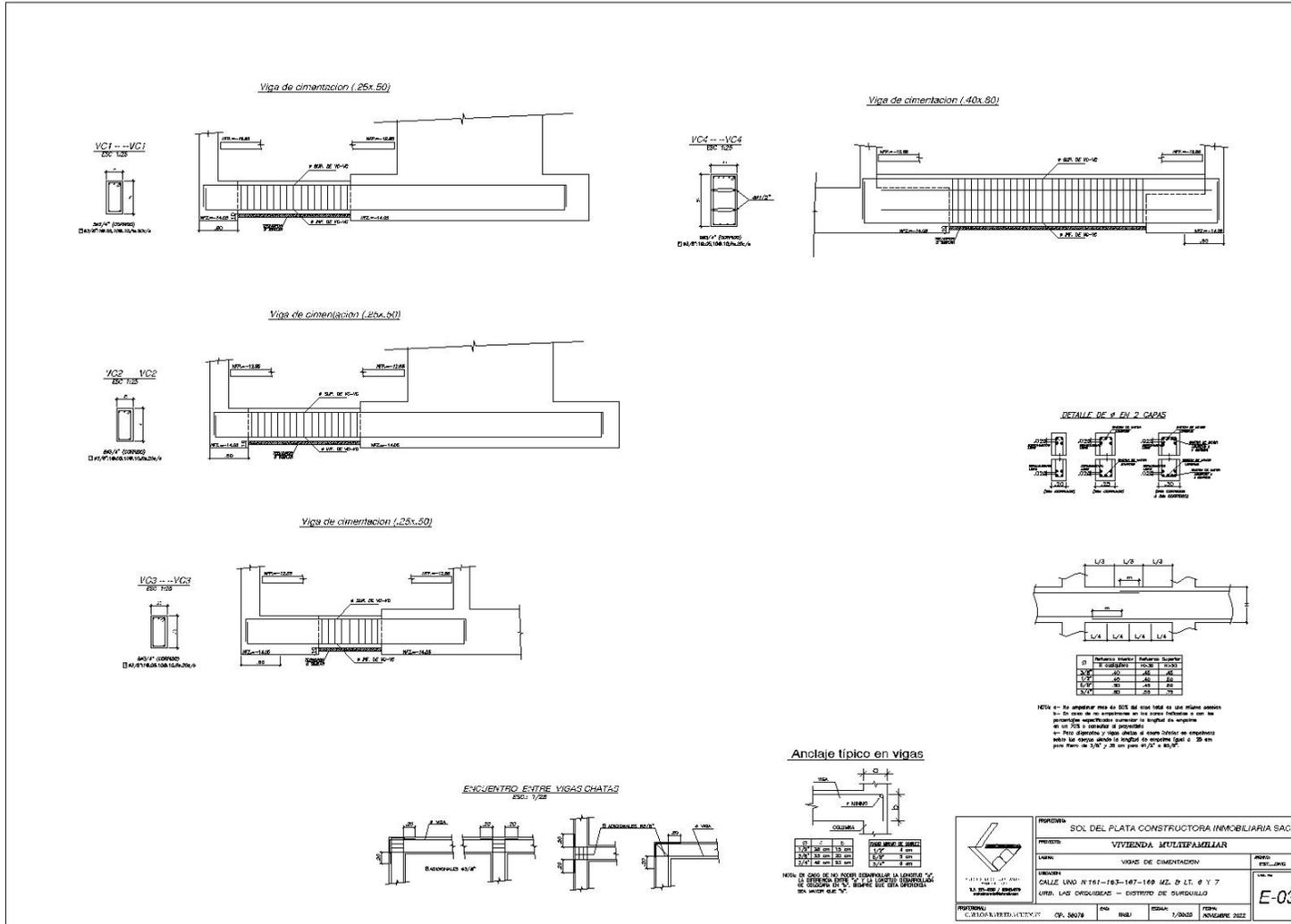
ANEXO N° 12. Plano de Arquitectura.



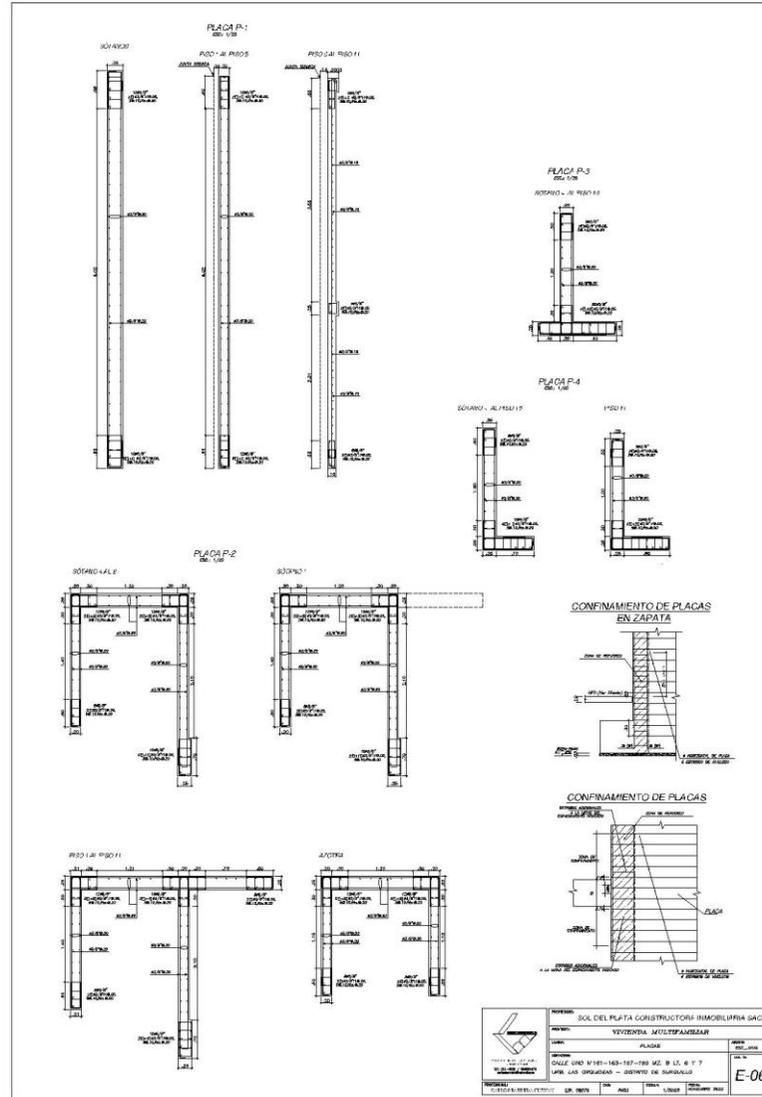
ANEXO N° 13. Plano de Estructuras.



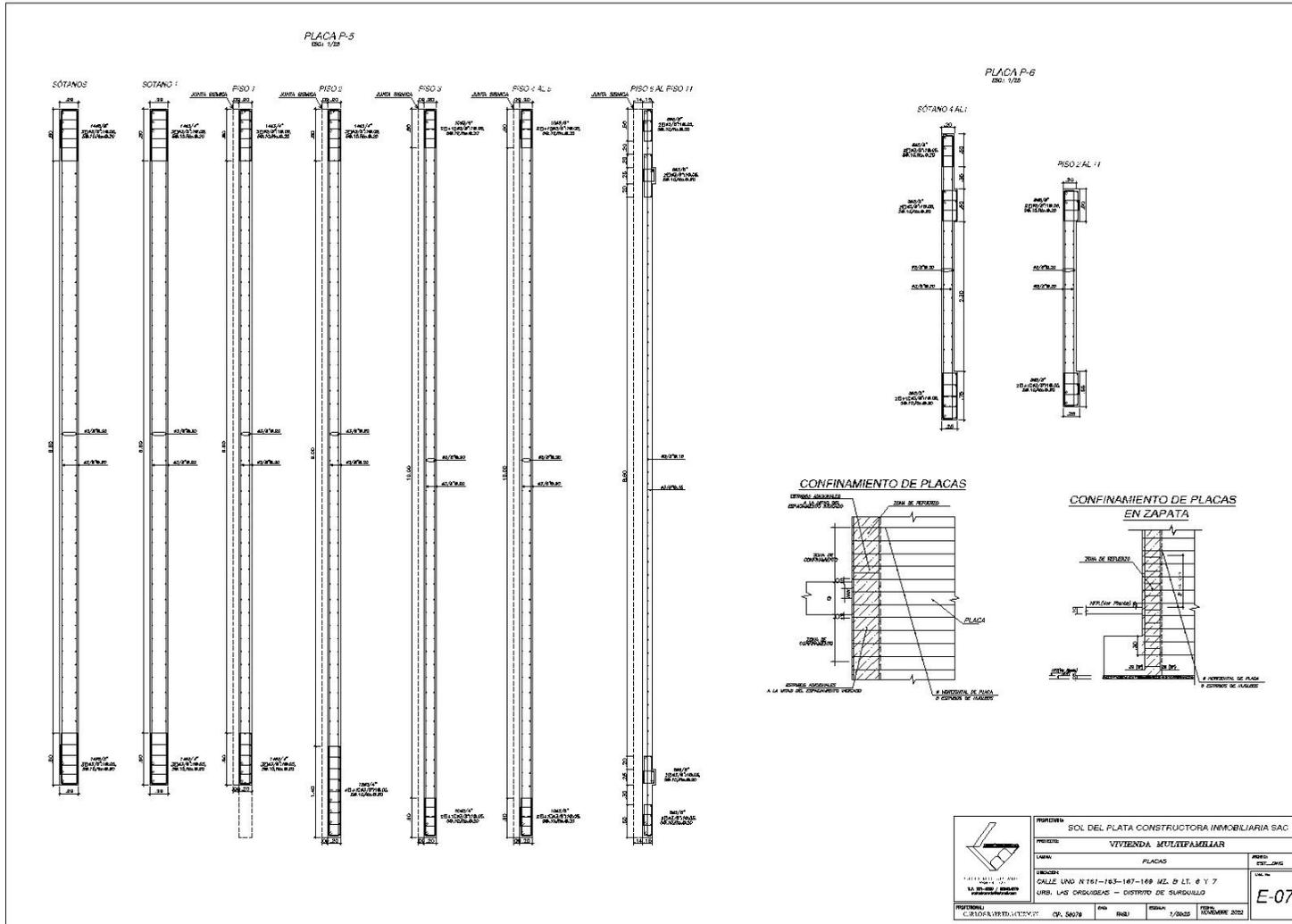
ANEXO N° 15. Plano de Estructuras.



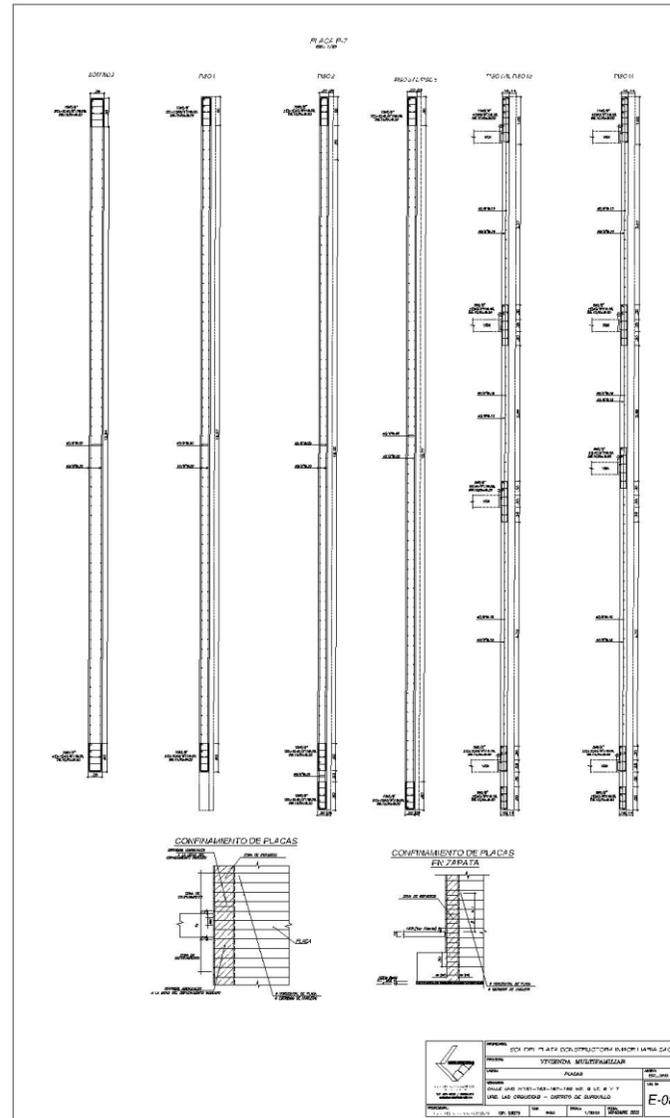
ANEXO N° 18. Plano de Estructuras.



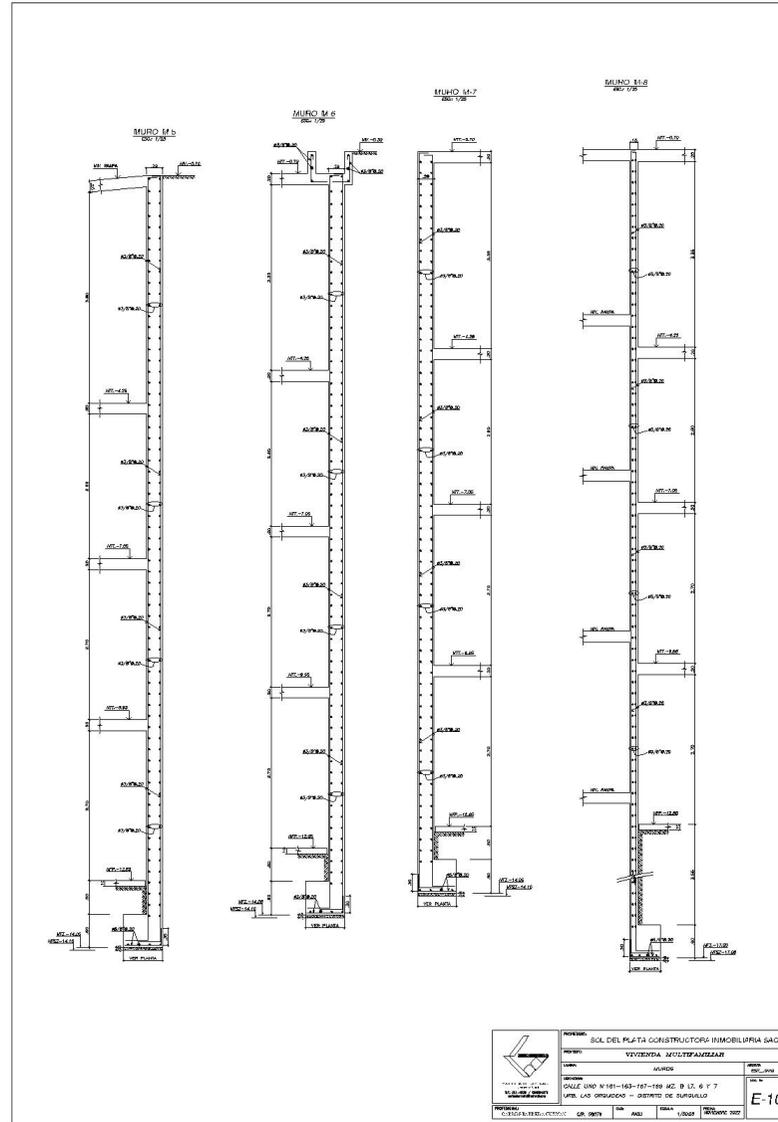
ANEXO N° 19. Plano de Estructuras.



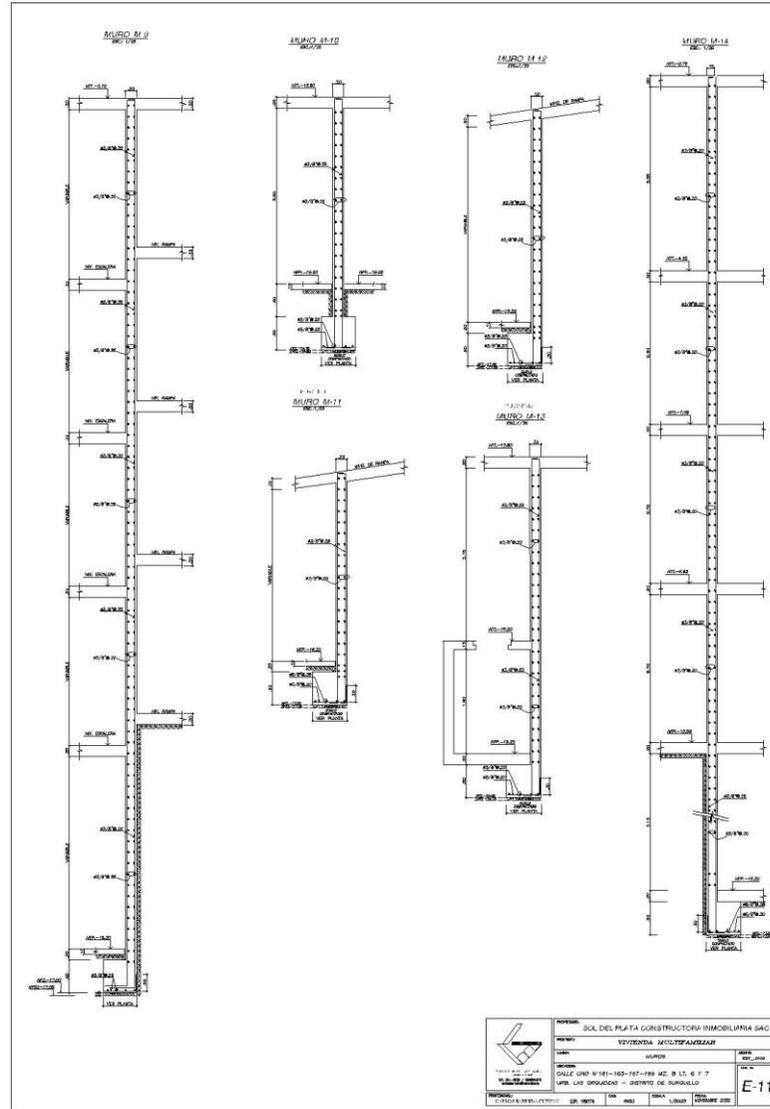
ANEXO N° 20. Plano de Estructuras.



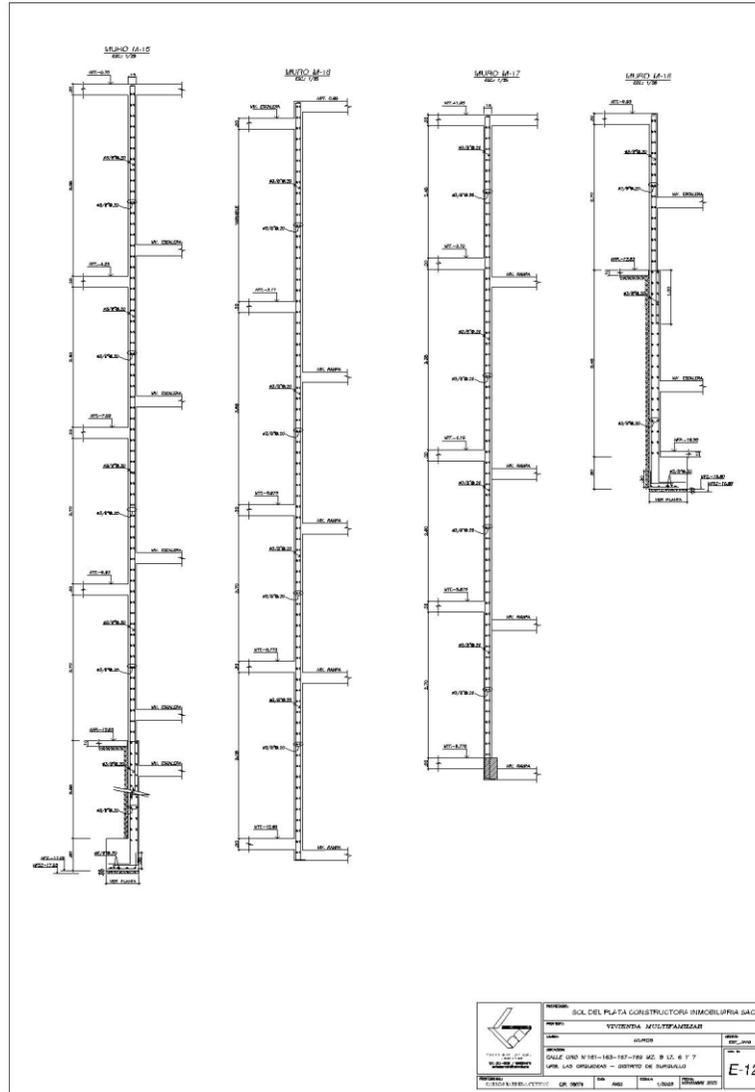
ANEXO N° 22. Plano de Estructuras.



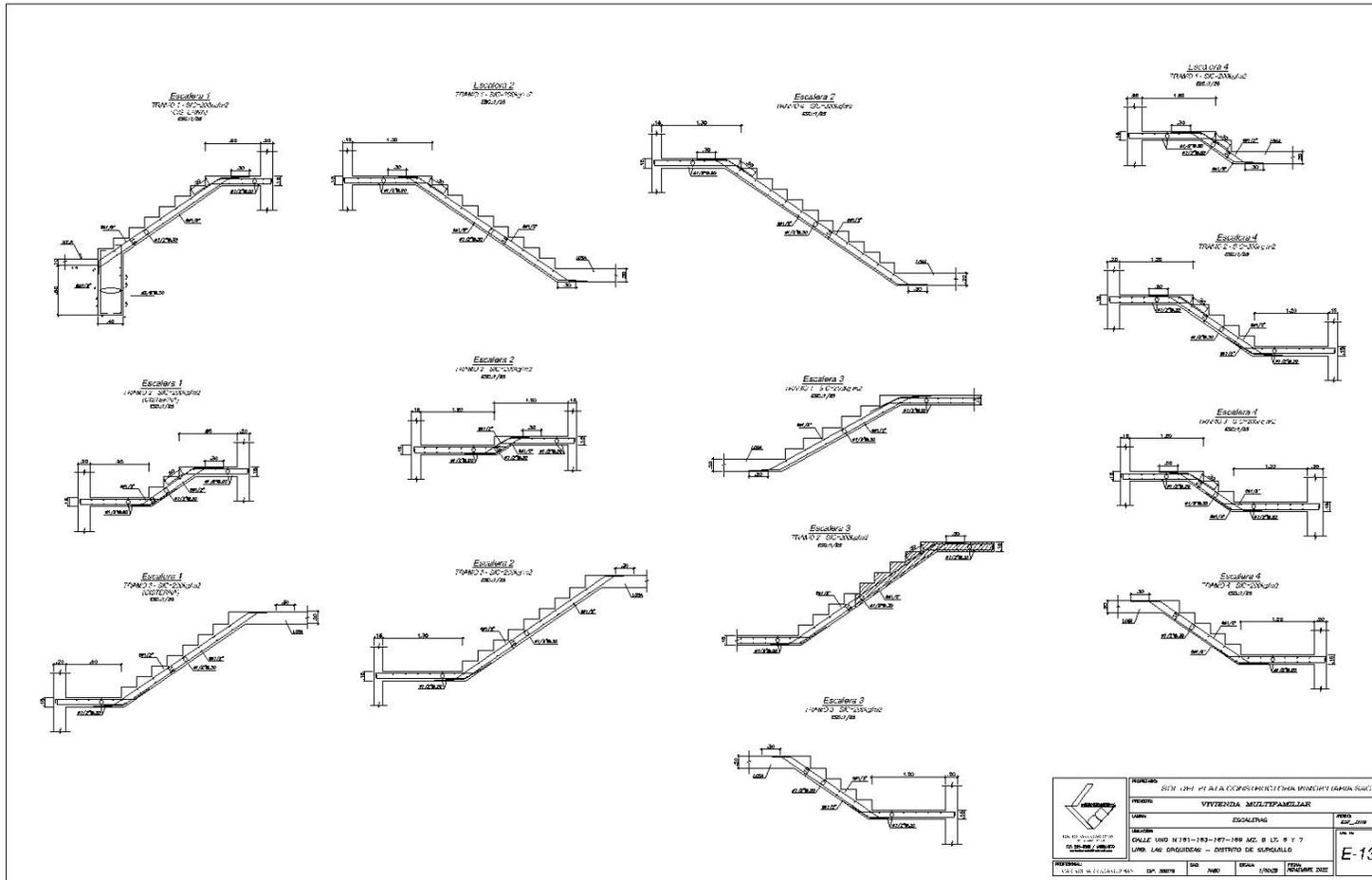
ANEXO N° 23. Plano de Estructuras.



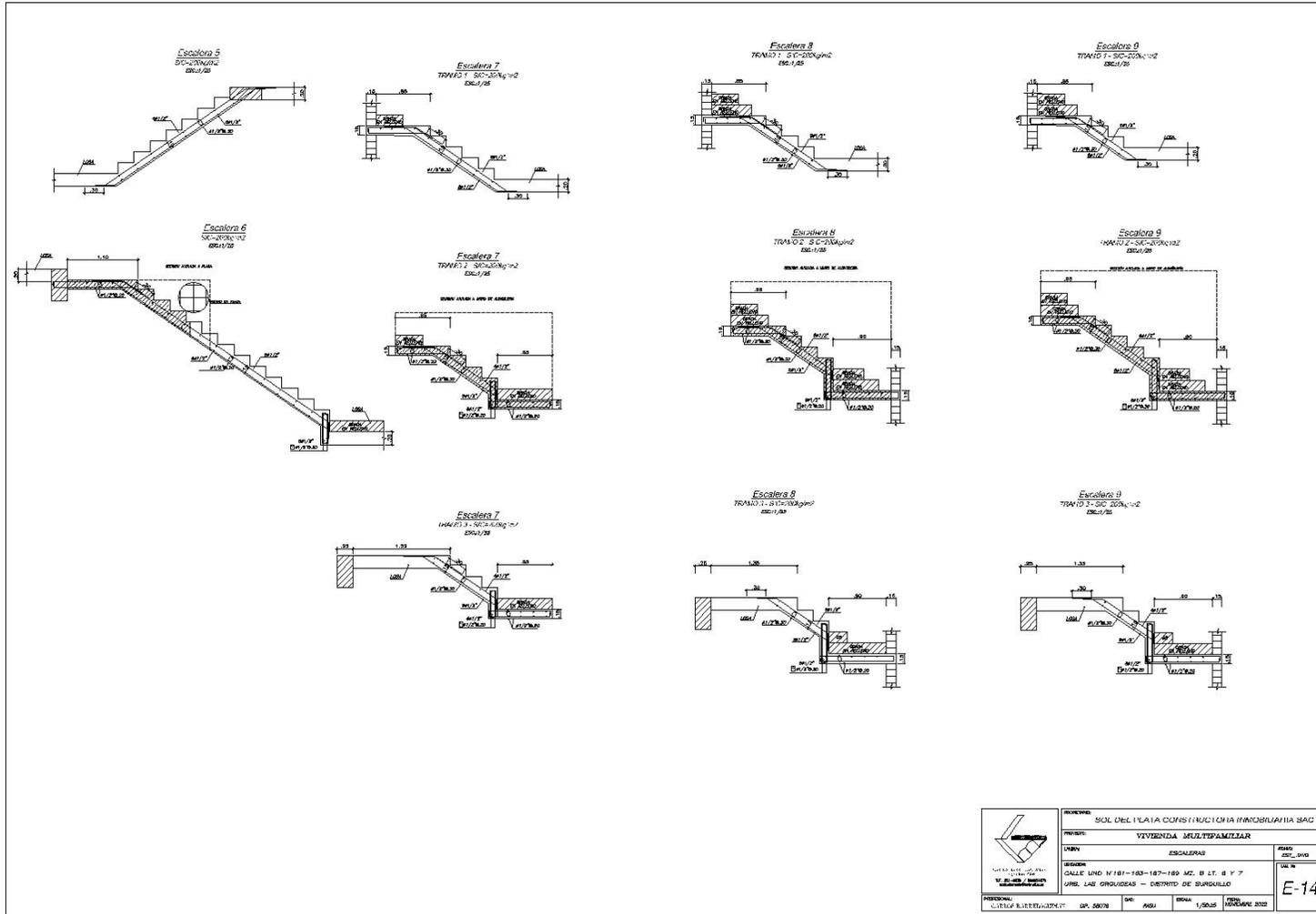
ANEXO N° 24. Plano de Estructuras.



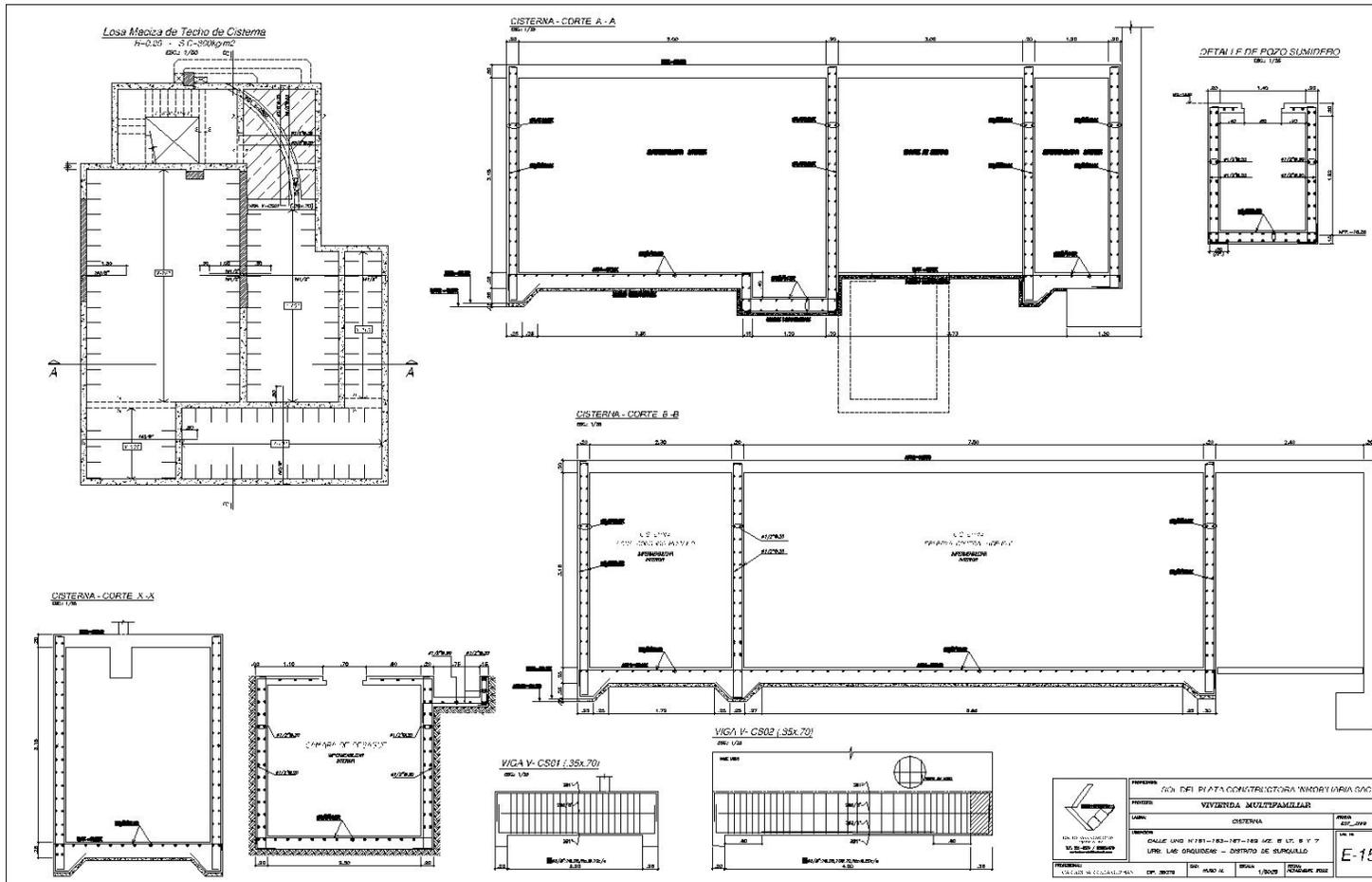
ANEXO N° 25. Plano de Estructuras.



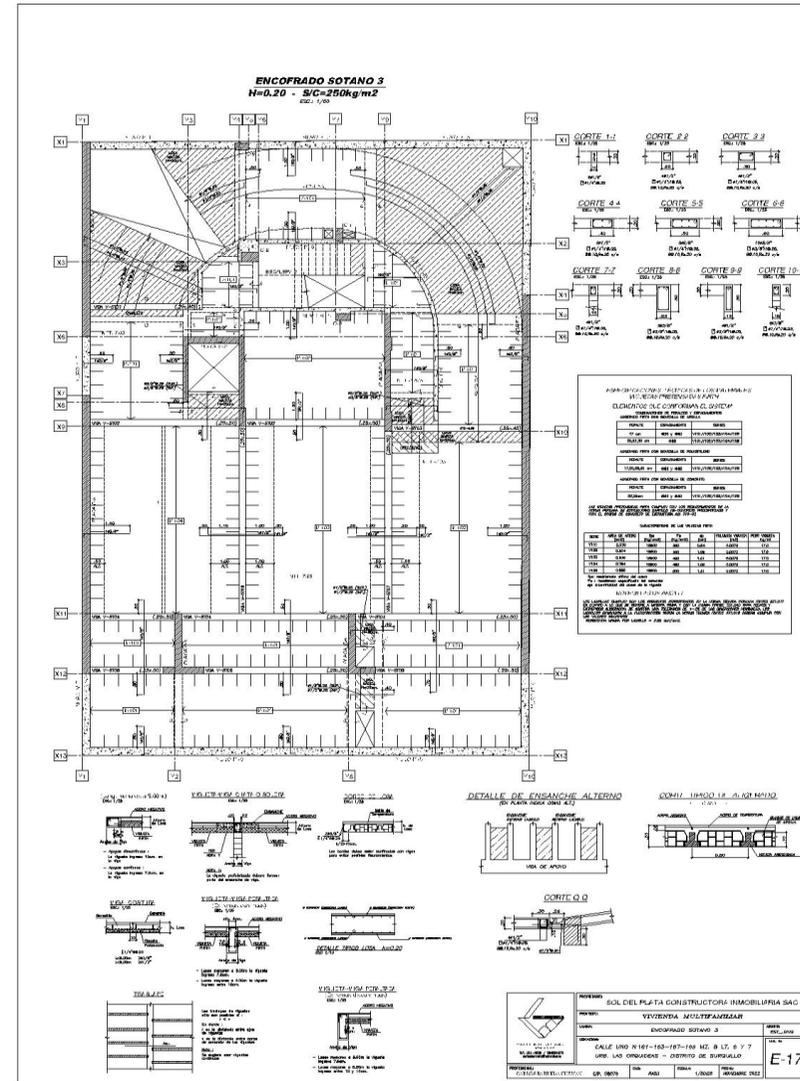
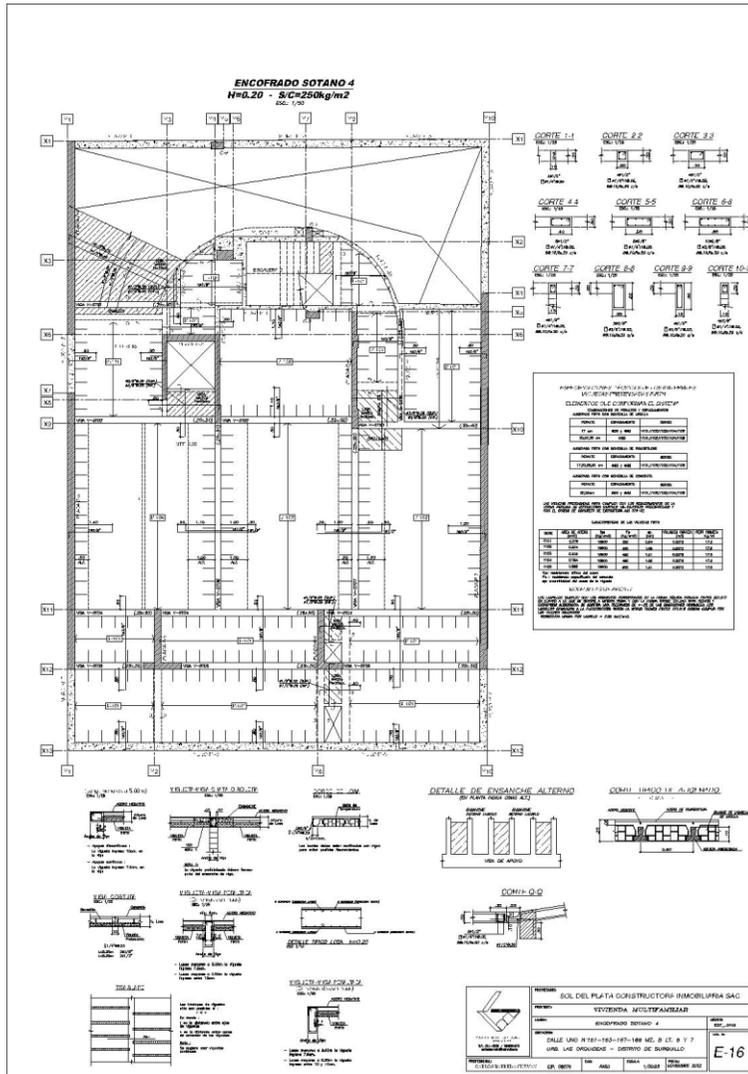
ANEXO N° 26. Plano de Estructuras.



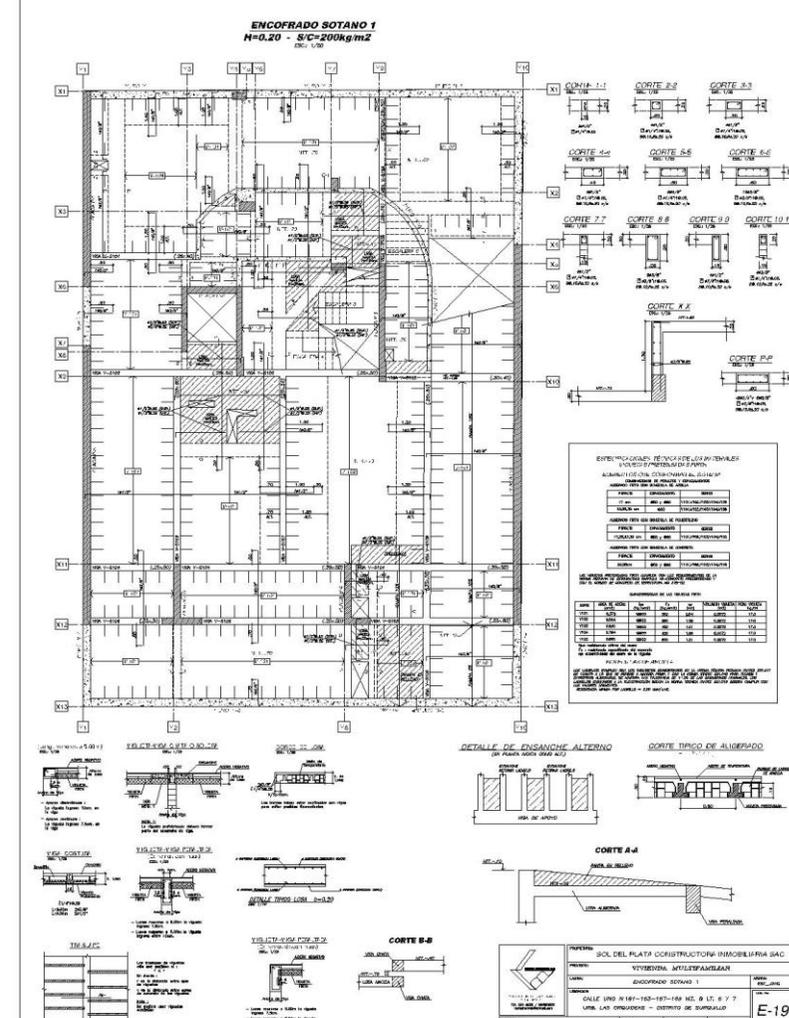
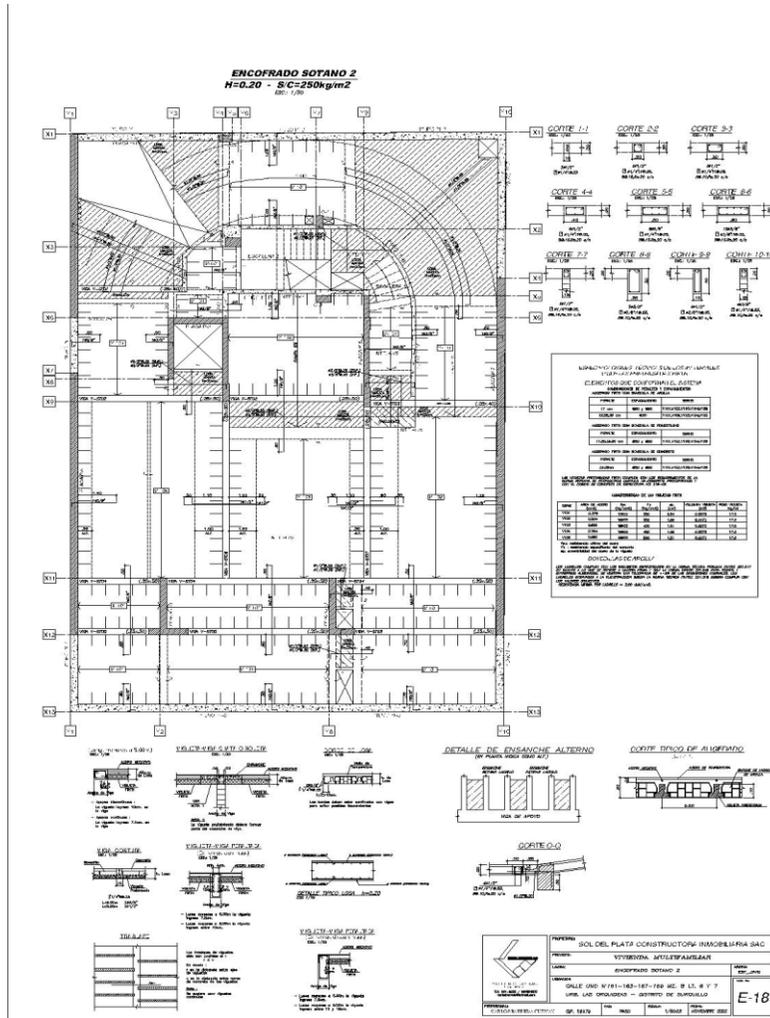
ANEXO N° 27. Plano de Estructuras.



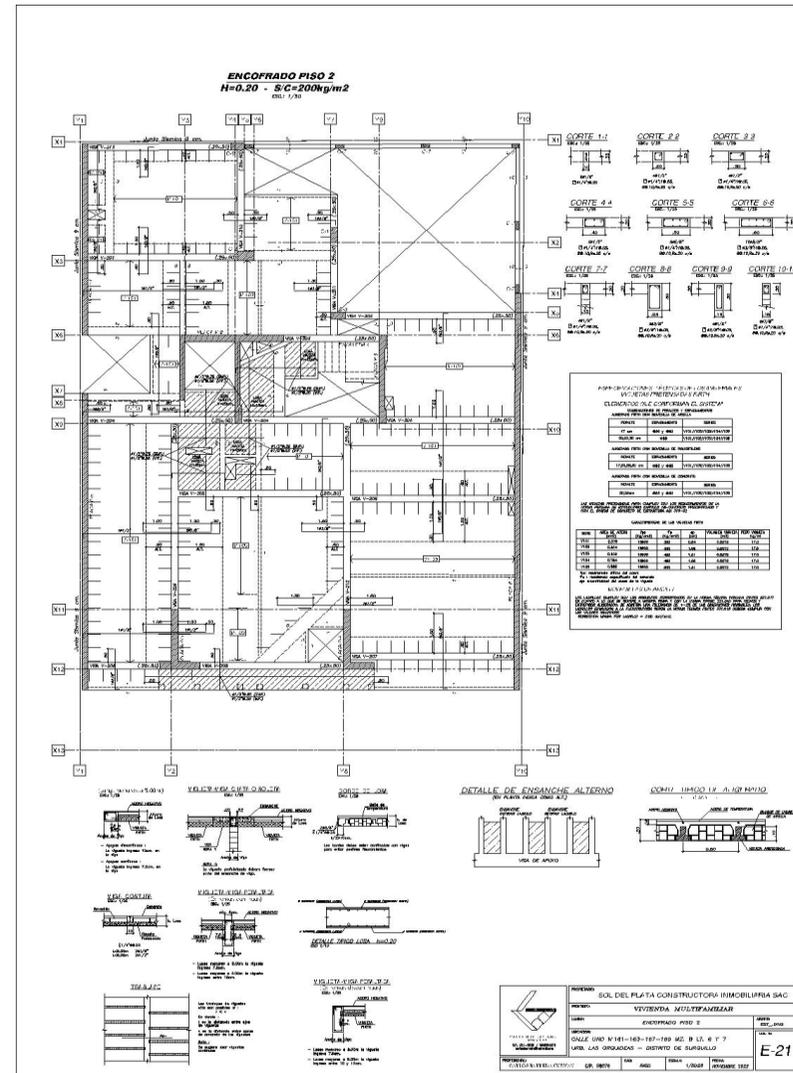
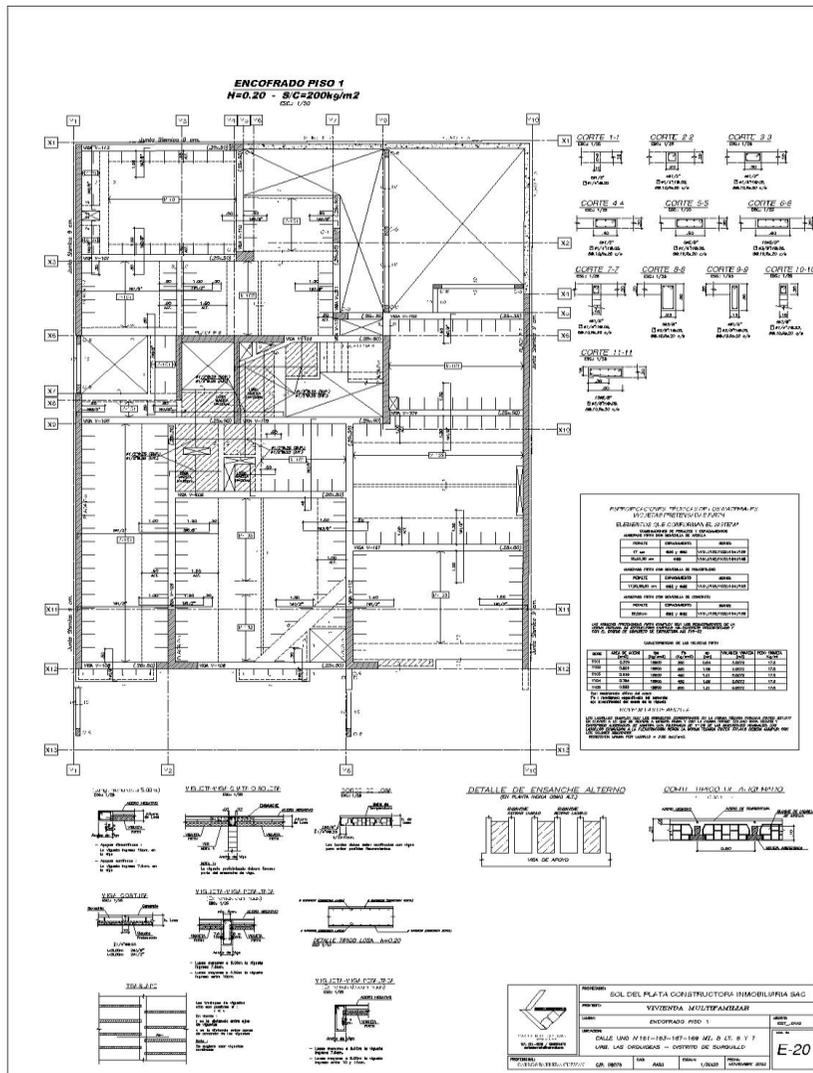
ANEXO N° 28. Plano de Estructuras.



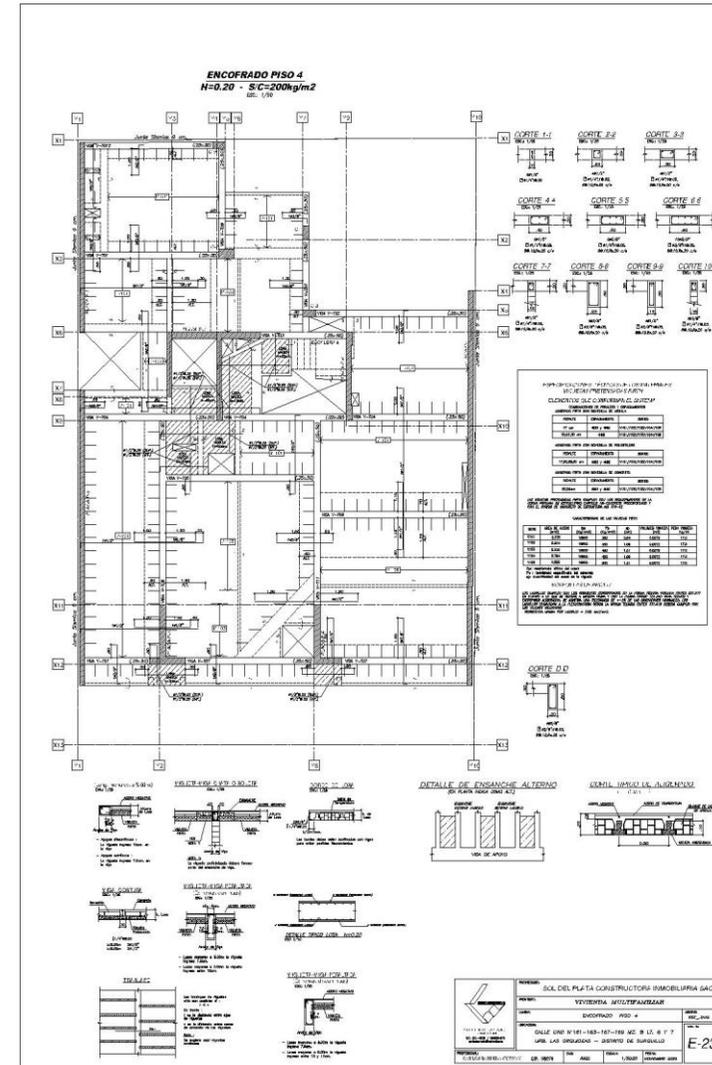
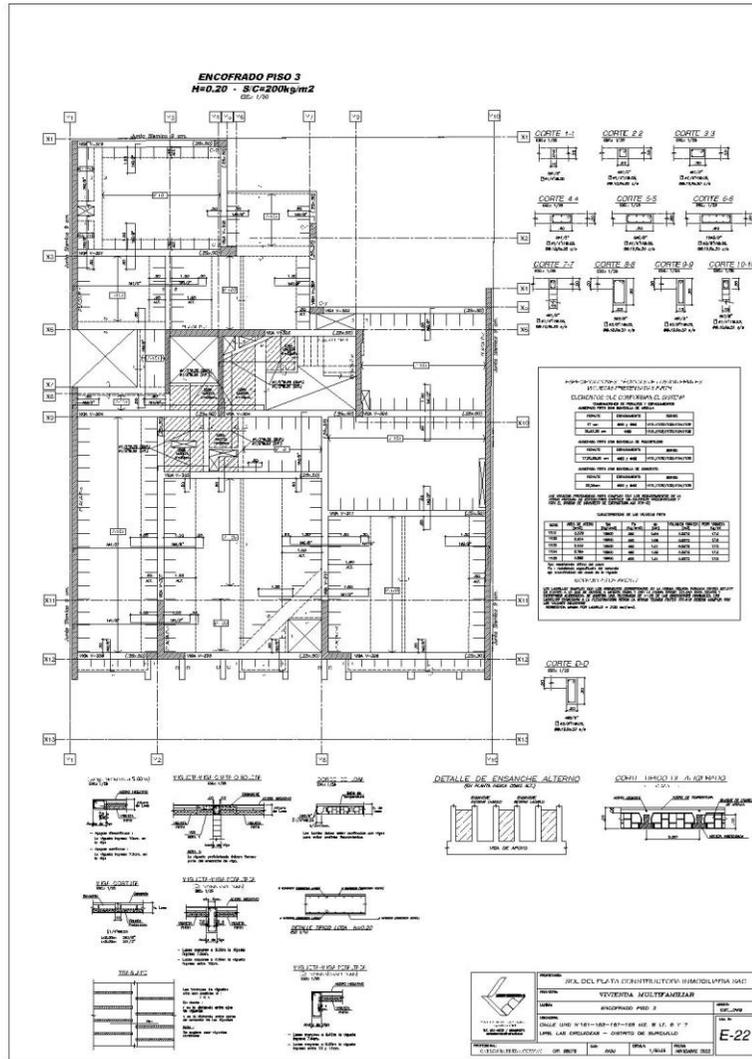
ANEXO N° 29. Plano de Estructuras.



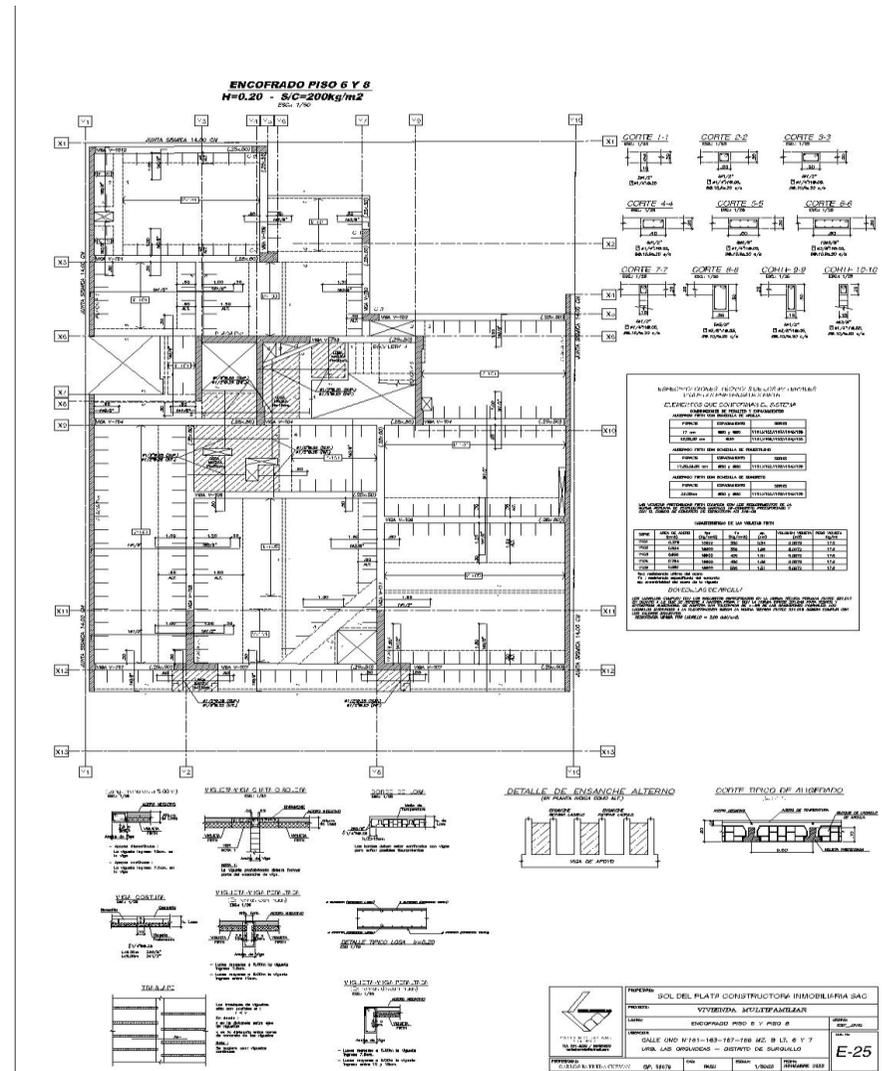
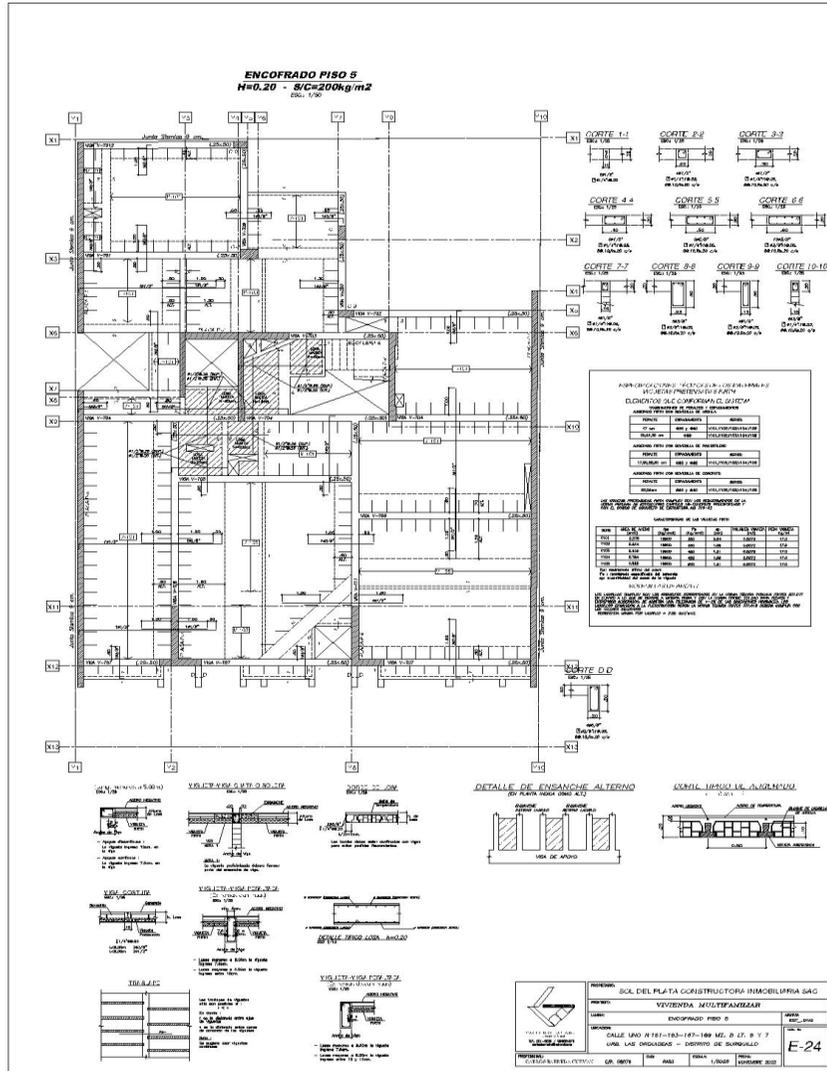
ANEXO N° 30. Plano de Estructuras.



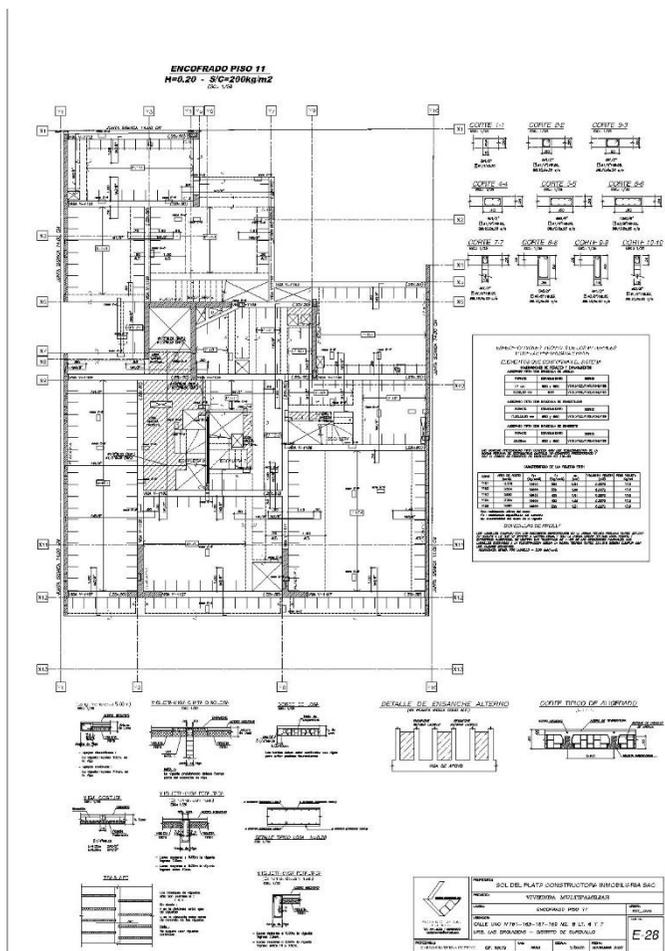
ANEXO N° 31. Plano de Estructuras.



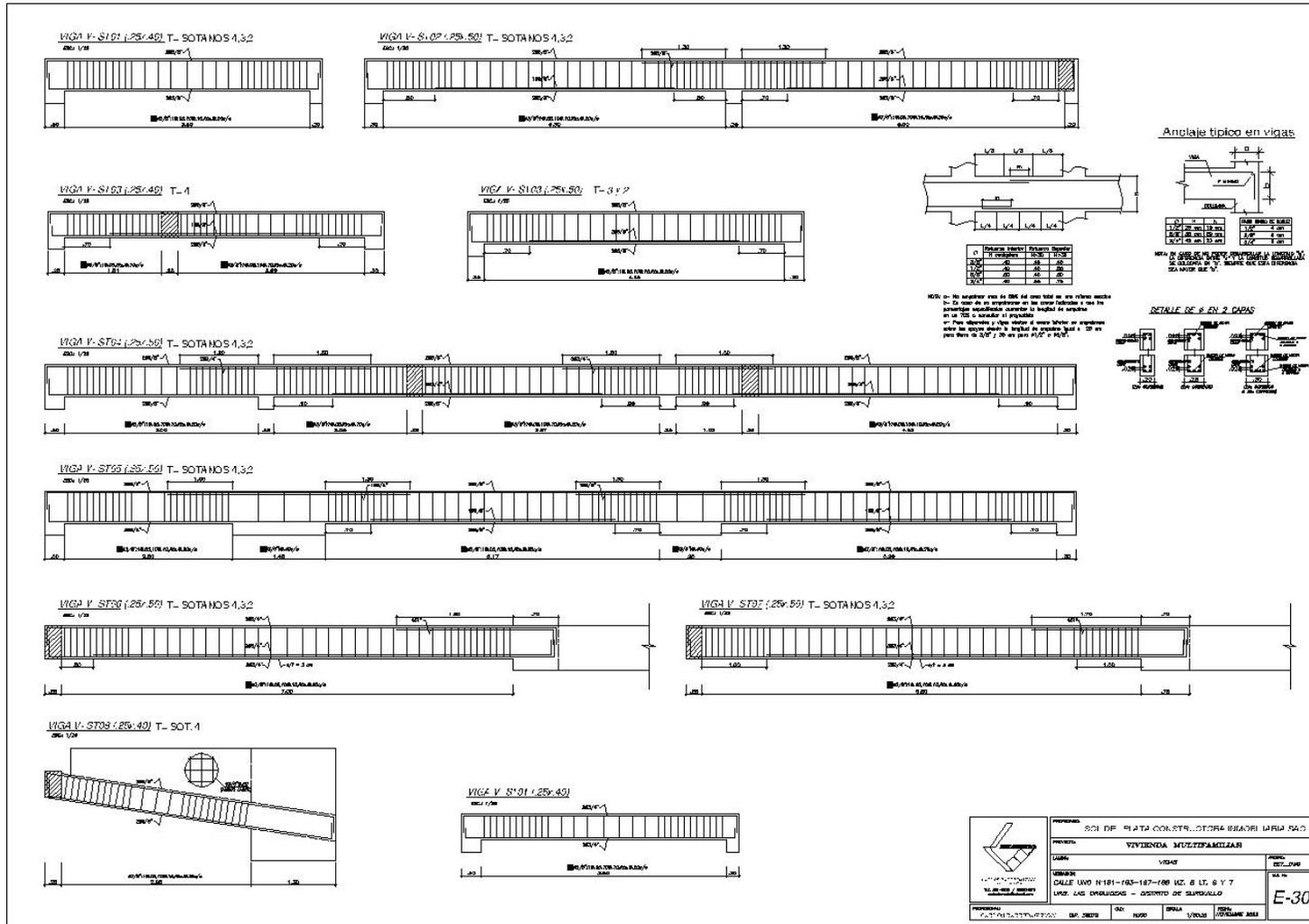
ANEXO N° 32. Plano de Estructuras.



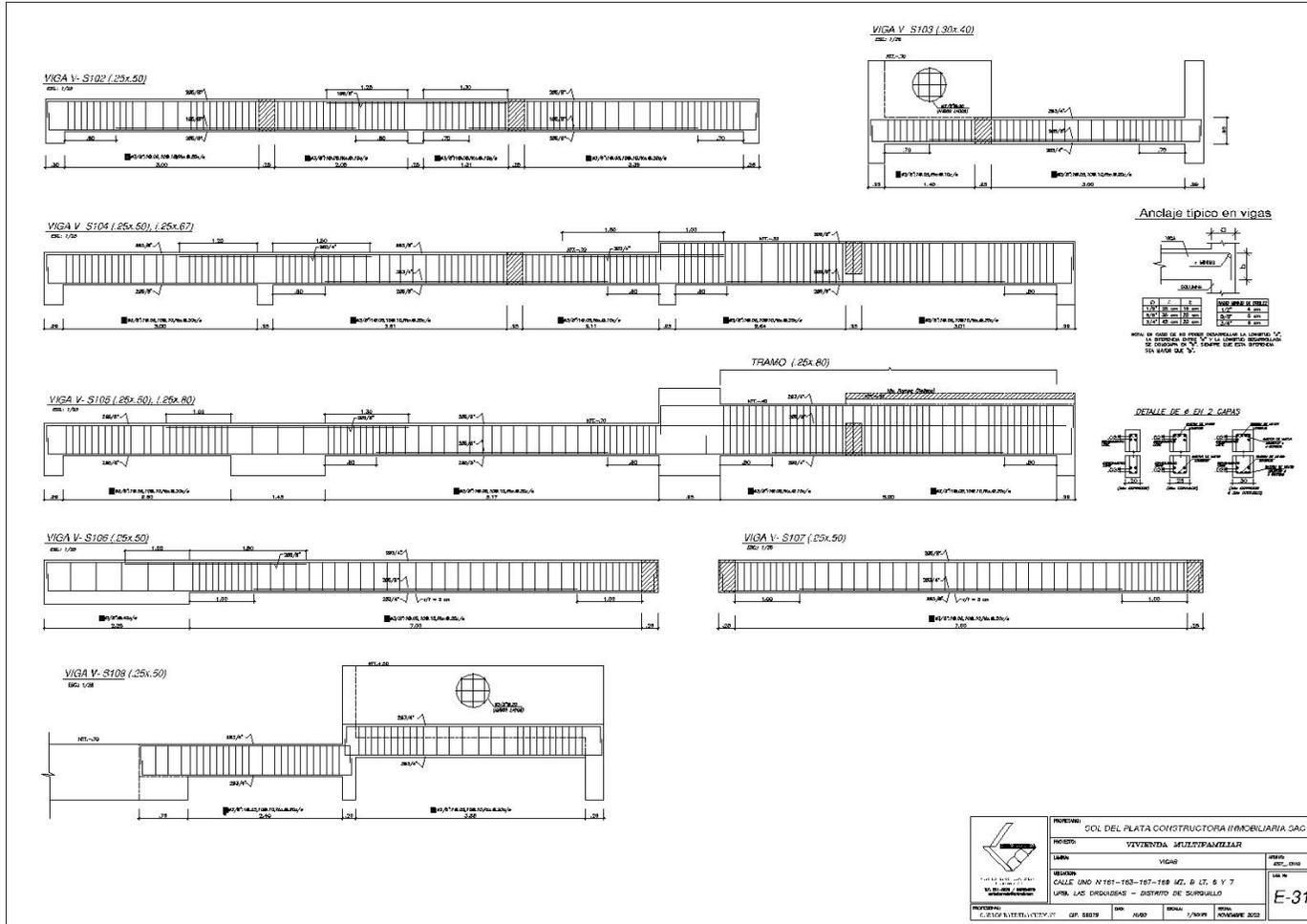
ANEXO N° 34. Plano de Estructuras.



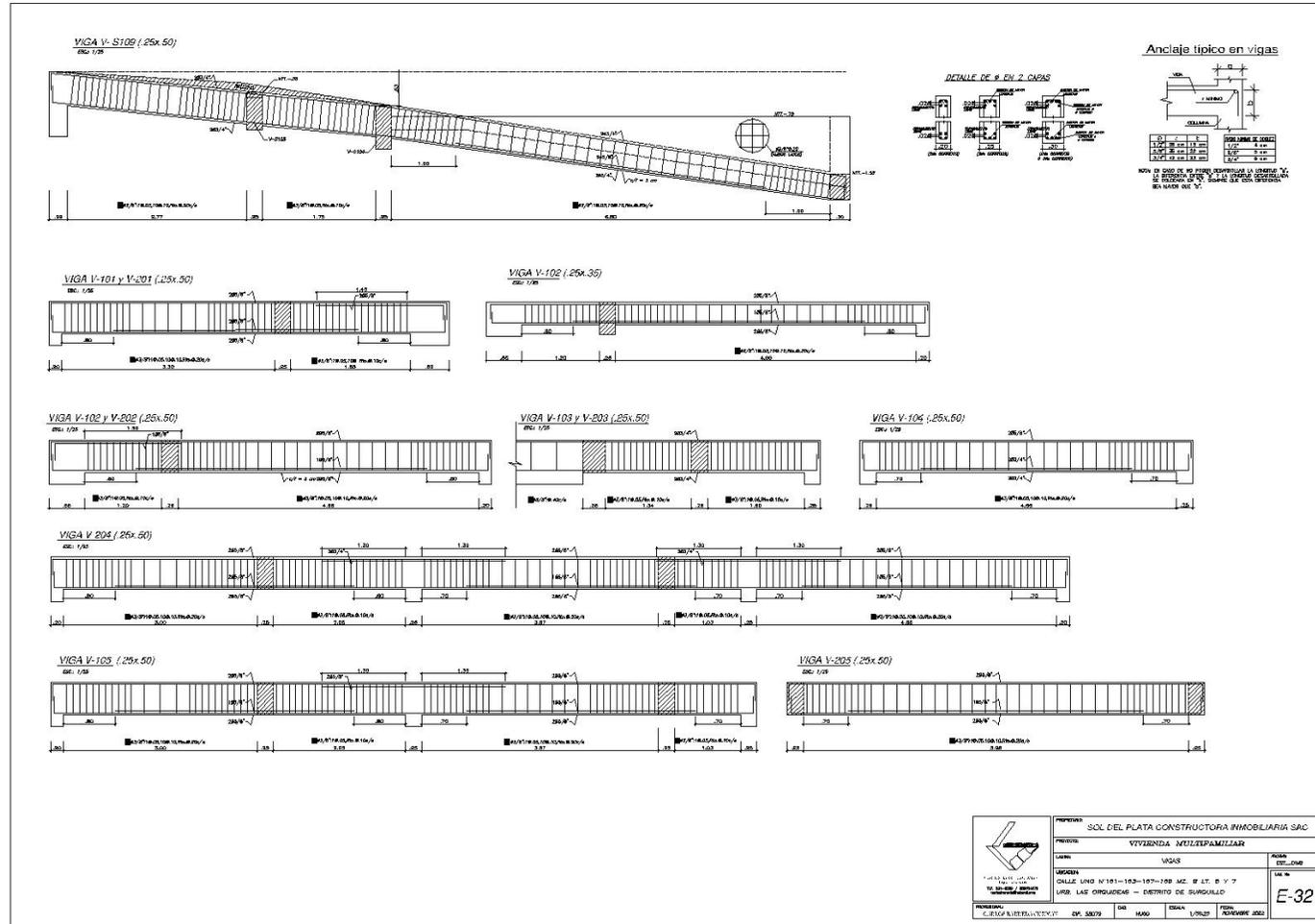
ANEXO N° 35. Plano de Estructuras



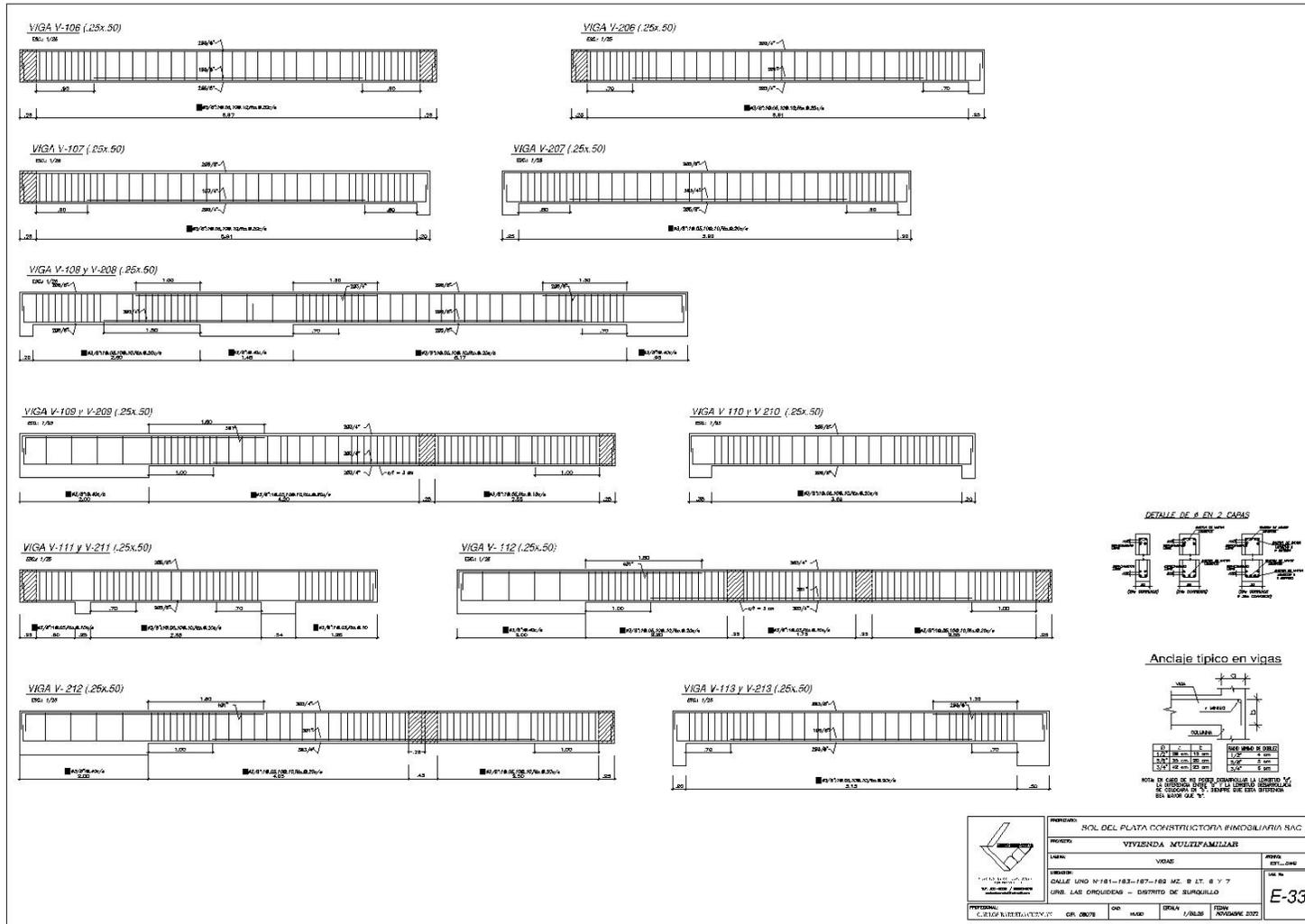
ANEXO N° 36. Plano de Estructuras



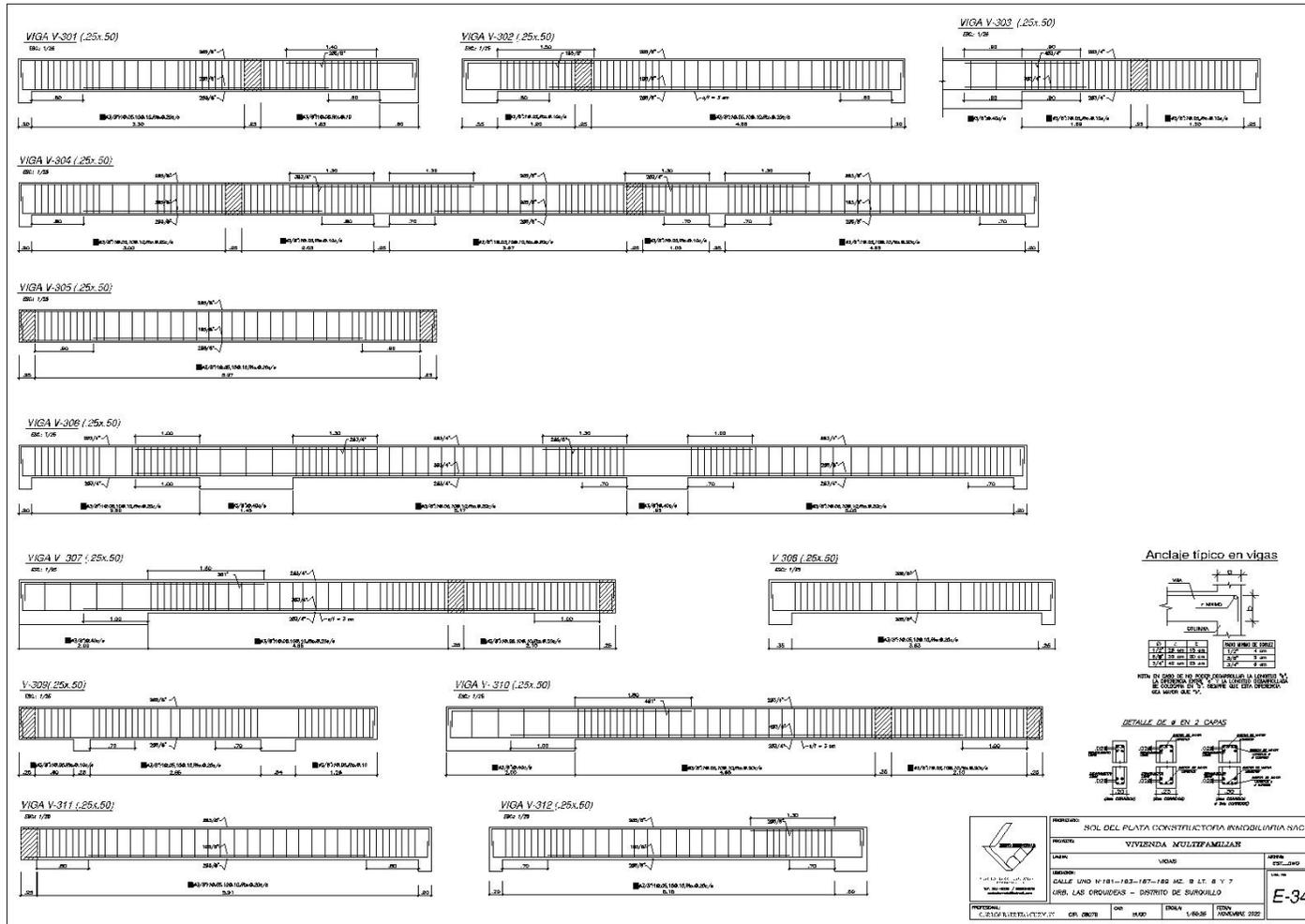
ANEXO N° 37. Plano de Estructuras



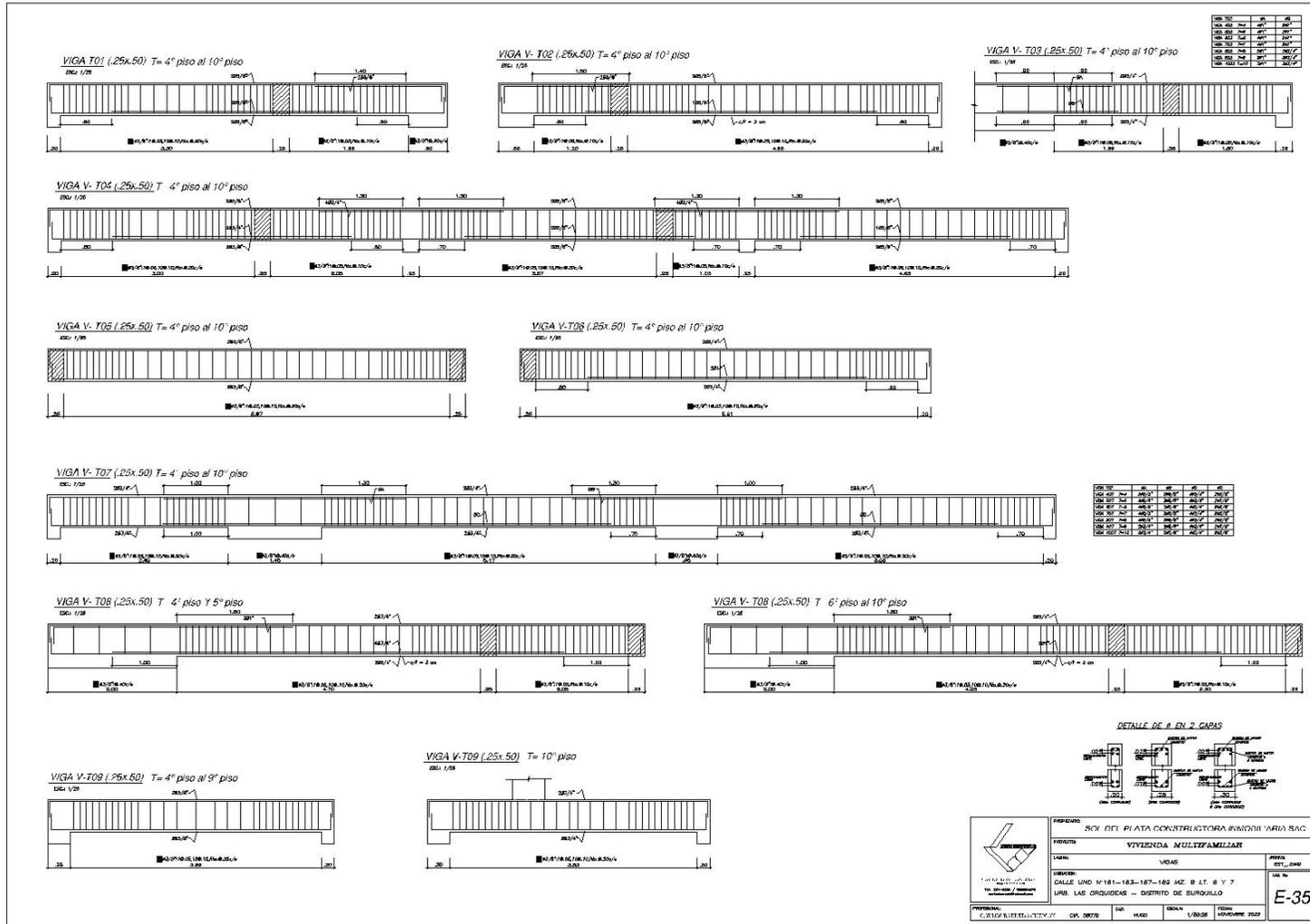
ANEXO N° 38. Plano de Estructuras



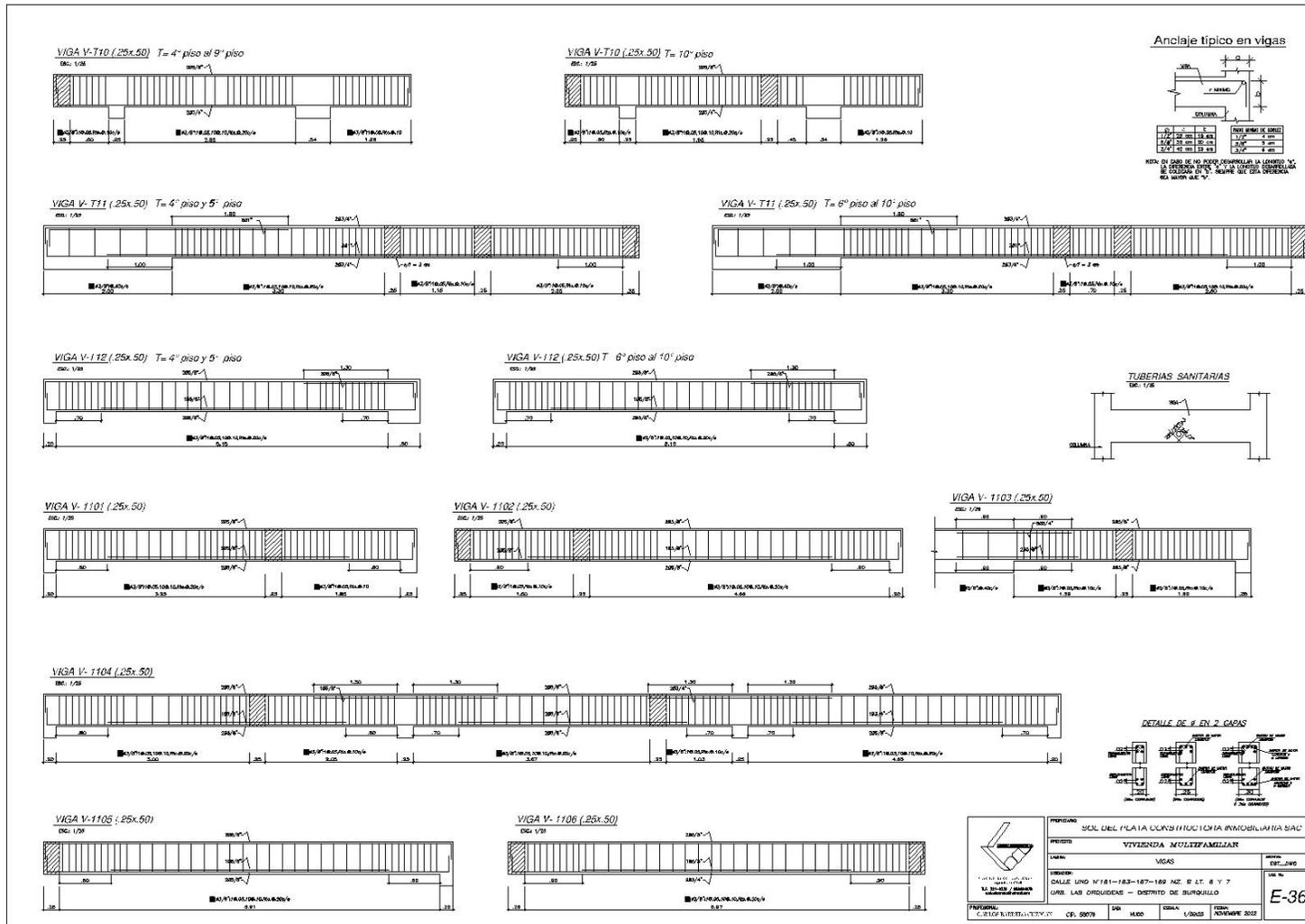
ANEXO N° 39. Plano de Estructuras



ANEXO N° 40. Plano de Estructuras



ANEXO N° 41. Plano de Estructuras



ANEXO N° 42. Plano de Estructuras

