ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA
INGENIERÍA ESTRUCTURAL Y DE FUNDACIONES

MEMORIA DE CÁLCULO ESTRUCTURAL
EDIFICIO DE 6 PISOS EN HORMIGÓN ARMADO

DISEÑO Y VERIFICACIÓN SEGÚN NORMA BOLIVIANA NB 1225001:2020 / ACI 318-19
HORMIGÓN H-25 (f'c = 25.0 MPa) — ACERO B 500 S (fy = 500 MPa)
ACCIONES GRAVITACIONALES Y VIENTO (NB 1225002 - NB 1225003-1)

PROYECTO:	**Edificio Residencial y Comercial de 6 Pisos (+ PB y Fundación)**
PROPIETARIO / CLIENTE:	Agustin Mamani Mamani
UBICACIÓN:	Villa Tunari — El Alto, Departamento de La Paz, Bolivia
RESPONSABLE DEL CÁLCULO:	Ing. Mirco Calle Sanchez
REGISTRO PROFESIONAL:	RNI SIB: 47634
FECHA DE EMISIÓN:	Noviembre 2026
VERSIÓN / DOCUMENTO:	Versión 1.0

1. GENERALIDADES

1.1 Carátula e Identificación del Proyecto

La presente Memoria de Cálculo Estructural describe los criterios, hipótesis de diseño, análisis de cargas, solicitaciones mecánicas y diseño estructural en hormigón armado para la construcción del proyecto.

Tabla 1.1: Ficha Técnica Oficial del Proyecto

Parámetro	Descripción / Valor Asignado
Nombre del Proyecto	Edificio de 6 Pisos (+ PB y Fundación)
Uso / Destino	Mixto: Comercial (PB), Salón Social (Piso 2), Residencial (Pisos 3 al 5), Terraza y Servicios (Piso 6)
Niveles Estructurales	Fundación (-2.00 m), Planta Baja (+0.00 m), 1er Piso (+3.61 m), 2do Piso (+6.48 m), 3er Piso (+9.32 m), 4to Piso (+12.16 m), 5to Piso (+15.00 m), 6to Piso / Terraza (+17.84 m)
Altura Total Estructural	19.84 m desde el nivel de desplante de fundaciones (-2.00 m hasta +17.84 m)
Ubicación del Predio	Villa Tunari — El Alto, Departamento de La Paz, Bolivia
Sistema Estructural	Pórticos espaciales y muros de hormigón armado (caja de ascensor) con losas alivianadas
Capacidad Portante Admisible	q_adm = 2.60 kg/cm² (254.97 kPa) a cota D_f = -2.00 m (Estudio Geotécnico)
Hormigón Estructural	H-25: f'c = 25.00 MPa (254.93 kg/cm²), Ec = 23,500 MPa, Densidad = 2,447.32 kg/m³
Acero de Refuerzo Pasivo	B 500 S: fy = 500.00 MPa (5,098.58 kg/cm²), Es = 200,000 MPa
Volumen Hormigón / Acero	Hormigón: 332.33 m³ bruto (329.50 m³ neto) | Acero: 22,222.41 kg neto (23,333.53 kg con 5% merma)

1.2 Objeto y Alcance

El objeto de la presente memoria es justificar analítica y estructuralmente el dimensionamiento, armado y verificación de fundaciones (zapatas aisladas y combinadas), columnas, muros de ascensor, vigas y forjados de entrepiso, garantizando el cumplimiento de los Estados Límites Últimos (ELU) de resistencia y Estados Límites de Servicio (ELS) de deformabilidad, vibración y fisuración.

1.3 Descripción del Proyecto (Uso, Niveles, Áreas y Sistema Estructural)

El edificio consta de 6 niveles construidos sobre rasante más la infraestructura de fundación a -2.00 m:

- **Nivel Fundación:** Fundaciones a cota -2.00 m: Sistema de zapatas aisladas, medianeras y combinadas conectadas por vigas de equilibrio y losa para la fosa del ascensor.
- **Planta Baja:** Planta Baja (+0.00 m): Acceso principal, parqueo vehicular y locales comerciales.
- **Planta Social:** 2do Piso / 1er Nivel Alto (+3.61 m a +6.48 m): Salón de eventos y asambleas comunitarias.
- **Plantas Habitacionales:** 3er, 4to y 5to Piso (+6.48 m a +15.00 m): Departamentos habitacionales multifamiliares con divisiones cerámicas.
- **Planta Terraza:** 6to Piso / Terraza (+15.00 m a +17.84 m): Terraza de secado, lavanderías y apoyo de tanques elevados de agua.

1.4 Normas Aplicadas

- **Hormigón Estructural:** NB 1225001:2020 — Código Boliviano de Hormigón Estructural (homologado con ACI 318-19).
- **Cargas Gravitacionales:** NB 1225002:2020 — Acciones gravitacionales sobre las estructuras (cargas permanentes y sobrecargas de uso).
- **Viento:** NB 1225003-1:2020 — Acciones del viento sobre las construcciones (V_b = 110 km/h, El Alto).

1.5 Software Utilizado y Versión

- **Software Estructural:** Autodesk Robot Structural Analysis Professional (versiones 2024 / 2026 / 2027): Modelación MEF 3D espacial, generación de envolventes ELU/ELS y reportes formales de dimensionamiento.
- **Planillas Geotécnicas:** Planillas Paramétricas Especializadas (Vesic / Meyerhof / ACI 318-19): Verificación de presiones bajo zapatas y cálculo del coeficiente de balasto vertical K_z.
- **Modelación Gráfica:** Autodesk Revit & AutoCAD: Coordinación tridimensional de armaduras y dibujo de planos constructivos.

1.6 Unidades y Convención de Signos

Se adopta el Sistema Internacional de Unidades (SI): Fuerzas en kilonewtons (kN), momentos en kN·m, tensiones y resistencias en megapascales (MPa) o kg/cm², longitudes en metros (m) o milímetros (mm). Compresión con signo negativo (-) y tracción positiva (+).

2. ANTECEDENTES

2.1 Estudio de Suelos

El estudio geotécnico ejecutado en el predio determinó una estratigrafía competente constituida por arcillas limosas de consistencia firme a muy firme con gravas aisladas:

PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE DISEÑO (ESTUDIO DE SUELOS)

- Capacidad admisible neta del suelo: q_adm = 2.60 kg/cm² (254.97 kPa)
- Cota de fundación: D_f = -2.00 m respecto a la rasante natural (TN ±0.00)
- Densidad seca / peso específico: γ_s = 2.198 g/cm³ (21.56 kN/m³)
- Módulo de elasticidad del suelo: E_s = 15,000 kPa | Coeficiente de Poisson: v_s = 0.35
- Nivel freático: No detectado en los sondeos hasta -3.50 m
- Coeficiente de balasto vertical de Vesic: K_z = 2,738 a 6,441 kN/m³ según el ancho de cada zapata

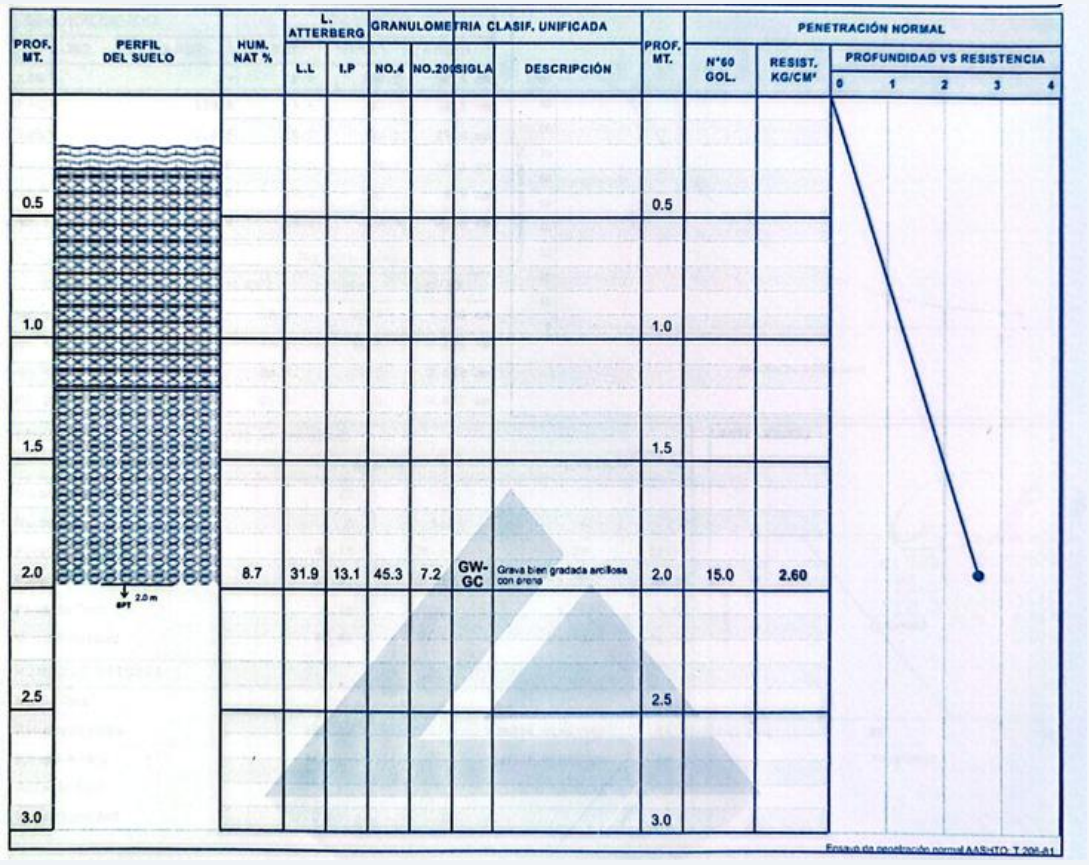


Figura: Perfil Estratigráfico y Registro de Ensayo SPT en Villa Tunari

2.2 Planos Arquitectónicos de Base

El diseño estructural responde fielmente a las plantas arquitectónicas aprobadas, respetando la posición de los muros perimetrales, vanos de ventanas, circulaciones de escalera y caja de ascensor.

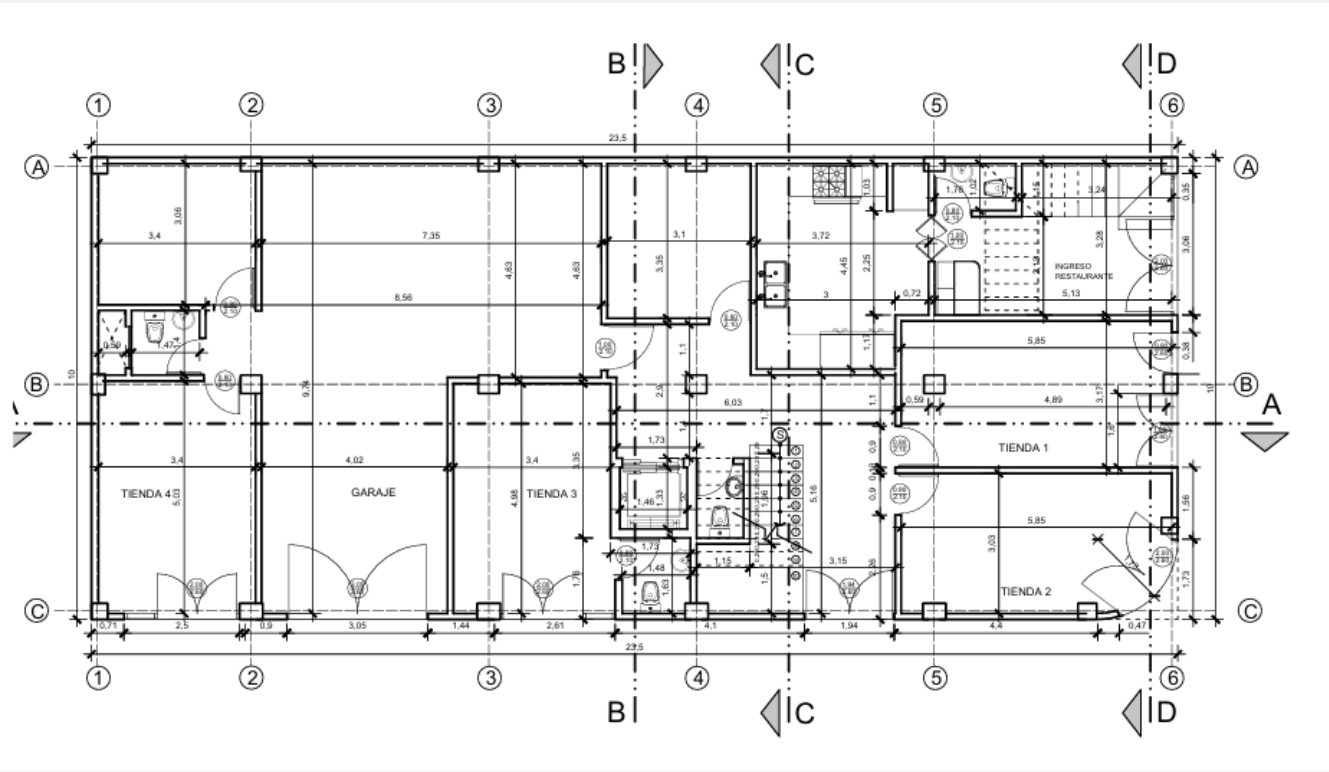


Figura: Planta Arquitectónica Tipo de Distribución Funcional

2.3 Condiciones del Sitio

Predio con topografía sensiblemente plana en Villa Tunari (El Alto), sin riesgo de socavación ni empujes laterales desestabilizantes. Exposición ambiental C0 (agresividad química insignificante).

3. MATERIALES

3.1 Hormigón Estructural (H-25)

- **Resistencia Cilíndrica Característica:** H-25 con f'c = 25.00 MPa = 254.93 kg/cm² (a 28 días de curado normativo según notas de Robot y planilla de zapatas).
- **Módulo de Elasticidad Longitudinal:** E_c = 4700 · √(f'c) = 4700 · √(25) = 23,500 MPa = 23,500,000 kPa.
- **Densidad Volumétrica:** ρ = 2,447.32 kg/m³ (adoptado en el análisis de cargas de Robot como 25.0 kN/m³ para HA).
- **Coeficiente de Poisson:** v = 0.20.

- **Factor del Bloque de Compresión:** β_1 = 0.85 (bloque rectangular de Whitney para f'c ≤ 28 MPa según NB 1225001 / ACI 318-19).

3.2 Acero de Refuerzo Pasivo (B 500 S)

- **Tipo y Calidad:** B 500 S (alta adherencia, laminado en caliente, corrugado y soldable).
- **Límite de Fluencia Nominal:** f_y = 500.00 MPa = 5,098.58 kg/cm².
- **Módulo de Deformación del Acero:** E_s = 200,000 MPa (2.0 × 10⁶ kg/cm²).

Tabla 3.2: Propiedades Nominales de Barras de Acero Utilizadas en el Proyecto

Diámetro Nominal (mm)	Equivalencia Comercial	Área Transversal (cm²)	Masa Nominal (kg/m)
6 mm	1/4 pulg	0.283	0.222
8 mm	5/16 pulg	0.503	0.395
10 mm	3/8 pulg	0.785	0.617
12 mm	1/2 pulg	1.131	0.888
16 mm	5/8 pulg	2.011	1.578
20 mm	3/4 pulg	3.142	2.466
25 mm	1 pulg	4.909	3.853

3.3 Recubrimientos y Condiciones de Exposición

- **Fundaciones (zapatas y vigas de equilibrio):** c = 7.5 cm (75 mm) directo contra suelo o 5.0 cm sobre solera de hormigón pobre de limpieza.
- **pedestales y Fosa de Ascensor:** c = 4.0 cm
- **Columnas y Muros de Ascensor**: c=2.0 cm
- **Vigas Principales y Secundarias:** c = 2.5 cm general y 2.0 cm inferior.
- **Losas Alivianadas y Macizas:** c = 2.0 cm.

4. SISTEMA ESTRUCTURAL

4.1 Descripción del Sistema

El sistema estructural resistente a cargas gravitacionales y laterales está configurado por un **Sistema Dual / Pórticos Espaciales de Hormigón Armado** complementado con muros de cortante de hormigón armado en la caja de ascensor (e = 25 cm), columnas robustas de hasta 50×55 cm en niveles inferiores y vigas peraltadas continúas conectadas monolíticamente.

Los forjados de entrepiso funcionan como diafragmas rígidos que garantizan el reparto equitativo de solicitaciones entre los pórticos resistentes.

4.2 Planta de Estructuración y Ejes

La estructuración se organiza mediante tres alineaciones longitudinales principales (Ejes A, B y C) y seis ejes transversales (Ejes 1 al 6), logrando una adecuada simetría de rigideces y control de torsión.

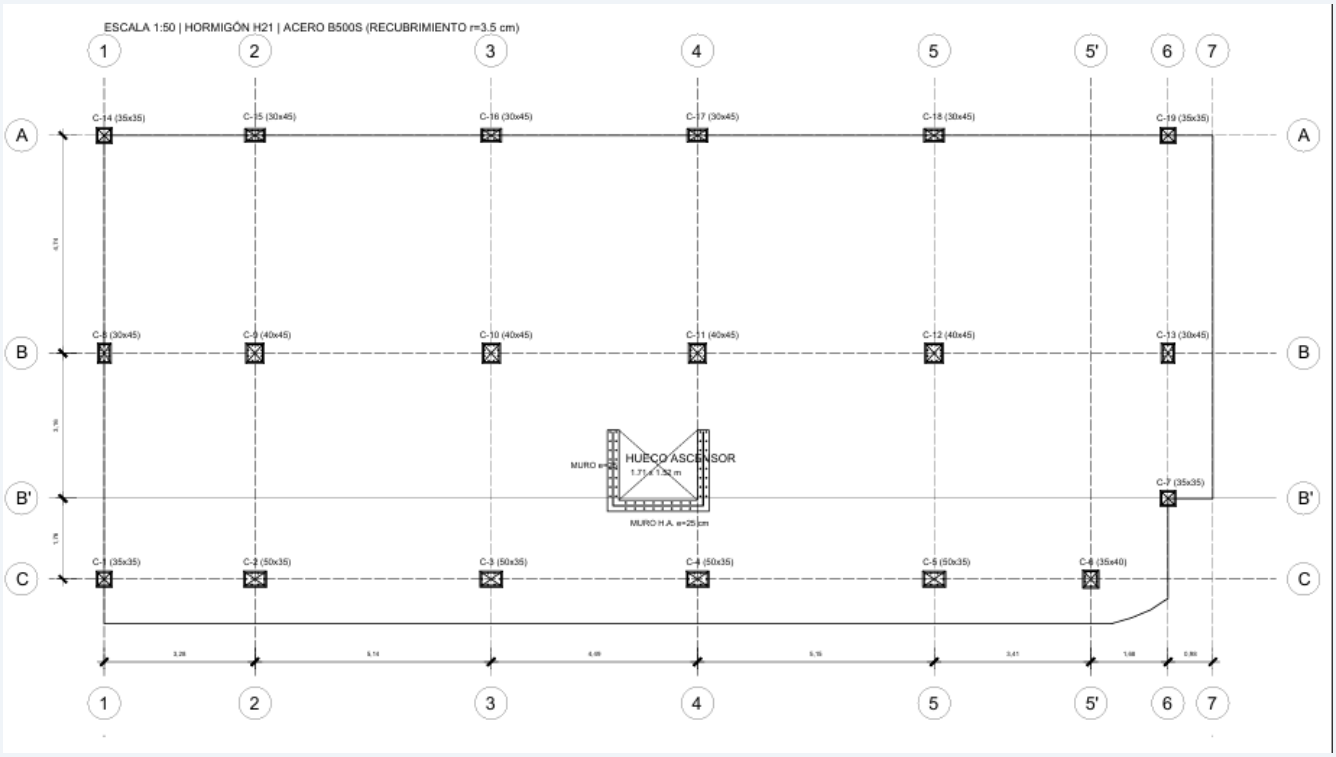


Figura: Plano de Replanteo de Ejes Estructurales y Secciones de Columnas

4.3 Juntas Constructivas y de Dilatación

La longitud total en planta del edificio no supera los límites prescritos por la NB 1225001 para juntas térmicas. Las juntas de vaciado se ejecutan a L/3 del vano de vigas y losas.

5. PREDIMENSIONAMIENTO

5.1 Losas (Espesor Mínimo por Deflexión)

Se adoptan losas nervadas alivianadas bidireccionales de espesor total h = 20 cm (nervios de 10 cm cada 50 cm y loseta superior de 5 cm reforzada con barras de ø 6 mm cada 20×20 cm), cumpliendo holgadamente h ≥ L/28.

5.2 Vigas (Peralte y Ancho)

Para luces máximas de hasta 5.50 m en pórticos centrales, se seleccionan vigas descolgadas de 25 × 55 cm, 25 × 50 cm y 30 × 60 cm en el eje central B, garantizando la inercia necesaria frente a deflexiones.

5.3 Columnas (Área Tributaria, Carga Axial y Esbeltez)

Las columnas del edificio de 6 niveles acumulan cargas axiales de servicio considerables (hasta P_serv ≈ 1200 kN y P_u ≈ 1700 kN en niveles inferiores). Por consiguiente, se adoptan secciones de 50 × 55 cm y 40 × 55 cm en cimentación y planta baja, reduciéndose a 25 × 50 cm y 25 × 40 cm en los niveles superiores.

5.4 Zapatas (Área por Capacidad Neta Admisible)

A partir de la capacidad admisible del suelo q_adm = 2.60 kg/cm² a -2.00 m, el área en planta de las zapatas se predimensiona como A_z ≥ P_serv / q_adm, resultando dimensiones desde 1.40 × 2.50 m (medianeras) hasta 2.40 × 2.40 m (céntricas) y zapatas combinadas de hasta 2.40 × 4.40 m (2.30 × 4.43 m en el modelo Robot).

5.5 Escaleras y Elementos Secundarios

Escaleras con huellas de 28 a 30 cm, contrahuellas de 17 a 18 cm y losas inclinadas de descanso y rampa con espesor h = 15 cm de hormigón H-25.

5.6 Tabla Resumen de Secciones Adoptadas

Tabla 5.6: Secciones Estructurales Adoptadas en el Modelo Oficial

Grupo / Ubicación	Designación Ejes	Columna Pisos 1-3 (cm)	Columna Pisos 4-6 (cm)	Pedestal Adoptado bp x hp (cm)	Sobreancho / Recubrimiento
Centrales	B2, B3, B4, B5	40 x 45	35 x 40	50 x 55	+10 cm total (r=5.0 cm)
Borde Frontal	C2, C3, C4, C5	35 x 50	30 x 40	45 x 60	+10 cm total (r=5.0 cm)
Borde Posterior	A2, A3, A4, A5	30 x 45	30 x 35	40 x 55	+10 cm total (r=5.0 cm)
Testeros	B1, B6	30 x 45	30 x 35	40 x 55	+10 cm total (r=5.0 cm)
Esquineras	A1, A6, C1	35 x 35	35 x 35	45 x 45	+10 cm total (r=5.0 cm)
Terminal Ochave	C5'	35 x 40	30 x 35	45 x 50	+10 cm total (r=5.0 cm)

Vértice Ochave	B' (Nudo B'-6)	35 x 35	30 x 30	45 x 45	+10 cm total (r=5.0 cm)

6. ANÁLISIS DE CARGAS

6.1 Carga Muerta (D)

- **Peso Propio Estructural (D1):** Peso propio de elementos de hormigón calculado automáticamente por Robot con γ_c = 25.0 kN/m³.
- **Cargas Muertas Sobreimpuestas (D2):** Planta Baja: 1.20 kN/m² (contrapiso y piso cerámico).
- **Piso 1 Social:** Piso 1° (Salón de fiestas): 2.00 kN/m² (porcelanato alto tránsito y yeso).
- **Pisos Departamentos:** Piso 2° a 6° (Departamentos): 2.50 kN/m² (piso cerámico, tabiquería cerámica de 6 huecos y yeso).
- **Circulaciones:** Pasillos comunes, escaleras y vías de evacuación: L = 2.5 kN/m².
-
- **Piso 6 Cubierta:** Piso 6° (Terraza / Cubierta): 2.00 kN/m² (impermeabilización multicapa, mortero con pendientes y baldosas).
- **Área de Ascensor:** Cuarto de máquinas y fosa de ascensor: 6.00 kN/m².

6.2 Carga Viva de Servicio (L)

- **Planta Baja:** Locales comerciales y parqueo vehicular en Planta Baja: L = 4.00 a 5.00 kN/m² (NB 1225002 Tabla 4.1).
- **Piso 2:** Salón de fiestas y asambleas (Piso 2): L = 5.00 kN/m².
- **Pisos 3 al 5:** Dormitorios y salas de departamentos (Pisos 3 al 5): L = 2.00 kN/m².
- **Circulaciones:** Pasillos comunes, escaleras y vías de evacuación: L = 5.00 kN/m².
- **Terraza (Piso 6):** Terraza accesible: L = 3.00 kN/m².
- **Reducción de Sobrecarga:** Reducción por número de niveles (Art. 4.8.3 NB 1225002): Para columnas y fundaciones que soportan más de 5 entrepisos residenciales se aplica factor de reducción del 20% (L_red = 0.80 L) en las COMBINACIONES.

6.3 Viento (W)

Conforme a la NB 1225003-1:2020 para la ciudad de El Alto:

6.4 Otras Cargas (Empuje de Suelo, Térmicas)

Empuje pasivo y activo en la fosa del ascensor a cota -2.00 m. Variación térmica de ±15 °C absorbida por la flexibilidad de pórticos sin esfuerzos axiales inadmisibles.

6.5 Combinaciones de Carga Reglamentarias

6.5.1 Estados Límite Últimos (ELU — Resistencia y Armaduras)

- **ELU 1:** ELU 1: 1.4 · D
- **ELU 2:** ELU 2: 1.2 · D + 1.28 · L

- **ELU 3:** ELU 3: 1.2 · D + 1.6 · L + 0.5 · S (Combinación crítica dimensionante en columnas y zapatas)
- **ELU 4:** ELU 4: 1.2 · D + 1.0 · L + 1.6 · S
- **ELU 17 - 20:** ELU 17 a 20: 1.2 · D + 0.5 · L + 0.5 · S ± 1.0 · W_x / W_y (Viento con sobrecarga)
- **ELU 21 - 24:** ELU 21 a 24: 0.9 · D ± 1.0 · W_x / W_y (Control de descompresión y levantamiento)

6.5.2 Estados Límite de Servicio (ELS — Presiones en Suelo y Deformaciones)

- **ELS 1:** ELS 1: 1.0 · D (Casi Permanente)
- **ELS 2:** ELS 2: 1.0 · D + 0.8 · L (Servicio Total para Zapatas y Suelo)
- **ELS 7 - 10:** ELS 7 a 10: 1.0 · D + 0.8 · L ± 0.6 · W (Servicio con Viento)

Nivel / Sector	Tipología y Espesor de Losa	Carga Muerta Sobreimpuesta (D2) [kPa]	Sobrecarga Viva de Uso (L o Lr) [kPa]	Cargas Climáticas [kPa]	
				Nieve / Granizo (S) [kPa]	Viento Barlovento / Sotavento (W) [kPa]
Planta Baja (Nivel ±0.00)	Radier / Contrapiso de rodadura vehicular (e = 5 cm)	1.20	2.50	-	-
Planta 2° (Nivel +3.00)	Losa aligerada h = 25 cm (Vanos int.) / Curva maciza h = 20 cm	2.00	5.00	-	-
Plantas 3° a 7° (Niveles +6.00 a +18.00)	Losa aligerada h = 20 cm / Balcón h = 15 cm / Ascensor h = 20 cm	2.50	2.00	-	-
Planta 8° / Terraza (Nivel +21.00)	Losa aligerada unificada continua h = 20 cm (Dormitorios + Terraza)	2.50	3.00	0.50	-
Núcleo de Escaleras y Descansos	Losa maciza rampa armada h = 12 a 15 cm	2.70	5.00	-	-
Cuarto de Máquinas Ascensor	Losa maciza armada h = 20 cm sobre muros foso	6.00	7.50	-	-
Cubierta Metálica / Tinglado	Cerchas y costaneras con calamina trapezoidal galvanizada	0.20	0.60	0.50	±0.55

Caso de Carga	Descripción	Factor de Masa en Robot	Justificación Normativa
Caso 1: D1	Peso Propio de Elementos Estructurales	1.00	100% de la masa permanente estructural

Caso 2: D2	Carga Permanente Sobreimpuesta (Pisos, Tabiques)	1.00	100% de la masa fija sobreimpuesta
Caso 3: L	Sobrecargas Vivas de Uso Residencial y Público	0.25	25% de participación según NBDS Art. 4.3 (vivienda/oficinas)
Caso 4: S	Sobrecarga de Nieve y Granizo	0.20	20% de participación obligatoria en zonas de altura (>3000 m.s.n.m.)
Caso 5: W	Viento Barlovento / Sotavento	0.00	0.00 (El viento no aporta masa inercial reactiva)

Tipo	Nombre Combinación	Ecuación Normativa	D1	D2	L / Lr	Climáticas (S / W)
ELU	ELU 01 - Permanente Máxima	1.40 D	1.40	1.40	—	—
ELU	ELU 02 - Gravitatoria Base	1.20 D + 1.60 L + 0.50 S	1.20	1.20	1.60	0.50 S
ELU	ELU 03 - Viento Dominante	1.20 D + 1.00 L + 1.00 W + 0.50 S	1.20	1.20	1.00	1.00 W + 0.50 S
ELU	ELU 04 - Succión de Viento	0.90 D + 1.00 W	0.90	0.90	—	1.00 W (Succión / Levantamiento)
ELU	ELU 05 - Nieve Dominante	1.20 D + 1.60 S + 1.00 L	1.20	1.20	1.00	1.60 S
ELS	ELS 01 - Casi Permanente	1.00 D	1.00	1.00	—	—
ELS	ELS 02 - Frecuente (Zapatas)	1.00 D + 0.80 L (Reducción viva)	1.00	1.00	0.80	—
ELS	ELS 03 - Servicio Total	1.00 D + 1.00 L + 1.00 S	1.00	1.00	1.00	1.00 S
ELS	ELS 04 - Servicio Viento	1.00 D + 0.50 L + 0.70 W	1.00	1.00	0.50	0.70 W

7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

7.1 Descripción del Modelo (Geometría, Apoyos y Rigideces)

Se implementó un modelo matemático espacial tridimensional en Autodesk Robot Structural Analysis compuesto por elementos barra (frame) para vigas y columnas y elementos finitos planos (shell) para losas y muros de ascensor. Inercias agrietadas según NB 1225001: Columnas I_eff = 0.70 Ig, Vigas I_eff = 0.35 Ig, Muros I_eff = 0.35 a 0.70 Ig. Los apoyos se modelaron sobre lecho elástico con los coeficientes de balasto vertical K_z de Vesic calculados para cada zapata.

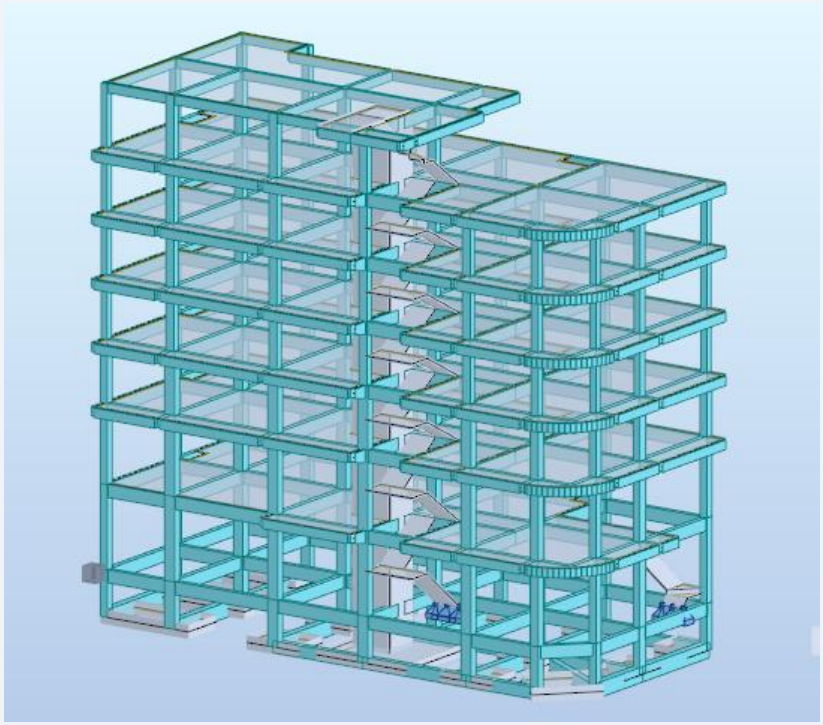


Figura: Modelo Tridimensional Completo en Autodesk Robot Structural Analysis

7.2 Resultados en Pórticos: Momentos, Cortantes y Axiales

A partir de las notas de cálculo de Robot, se extrajeron las envolventes últimas:

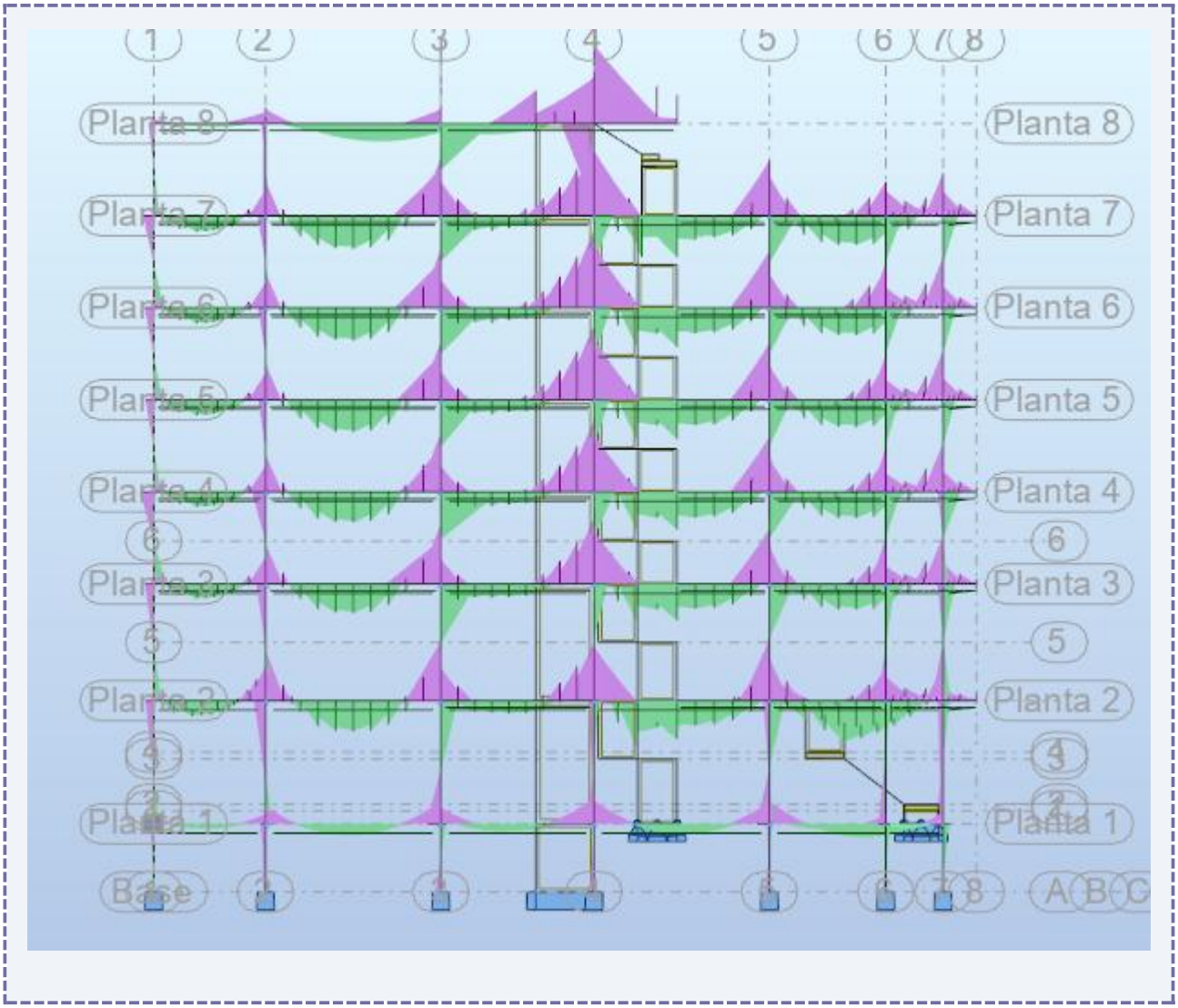


Figura: Envolvente de Momentos Flectores M_y en Pórticos Principales (ELU)

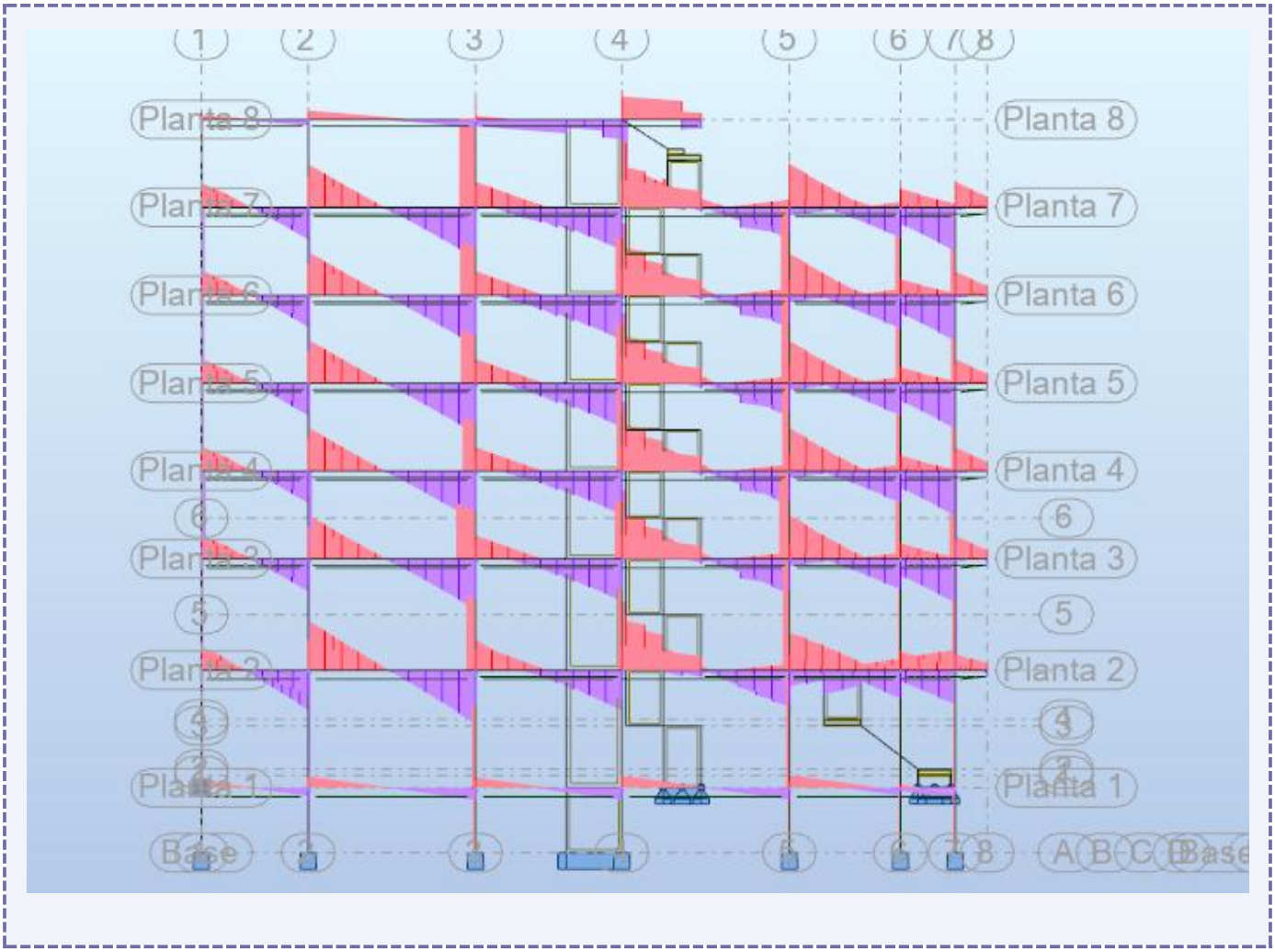


Figura: Diagrama de Esfuerzos Cortantes F_z en Vigas de Entrepiso (ELU)

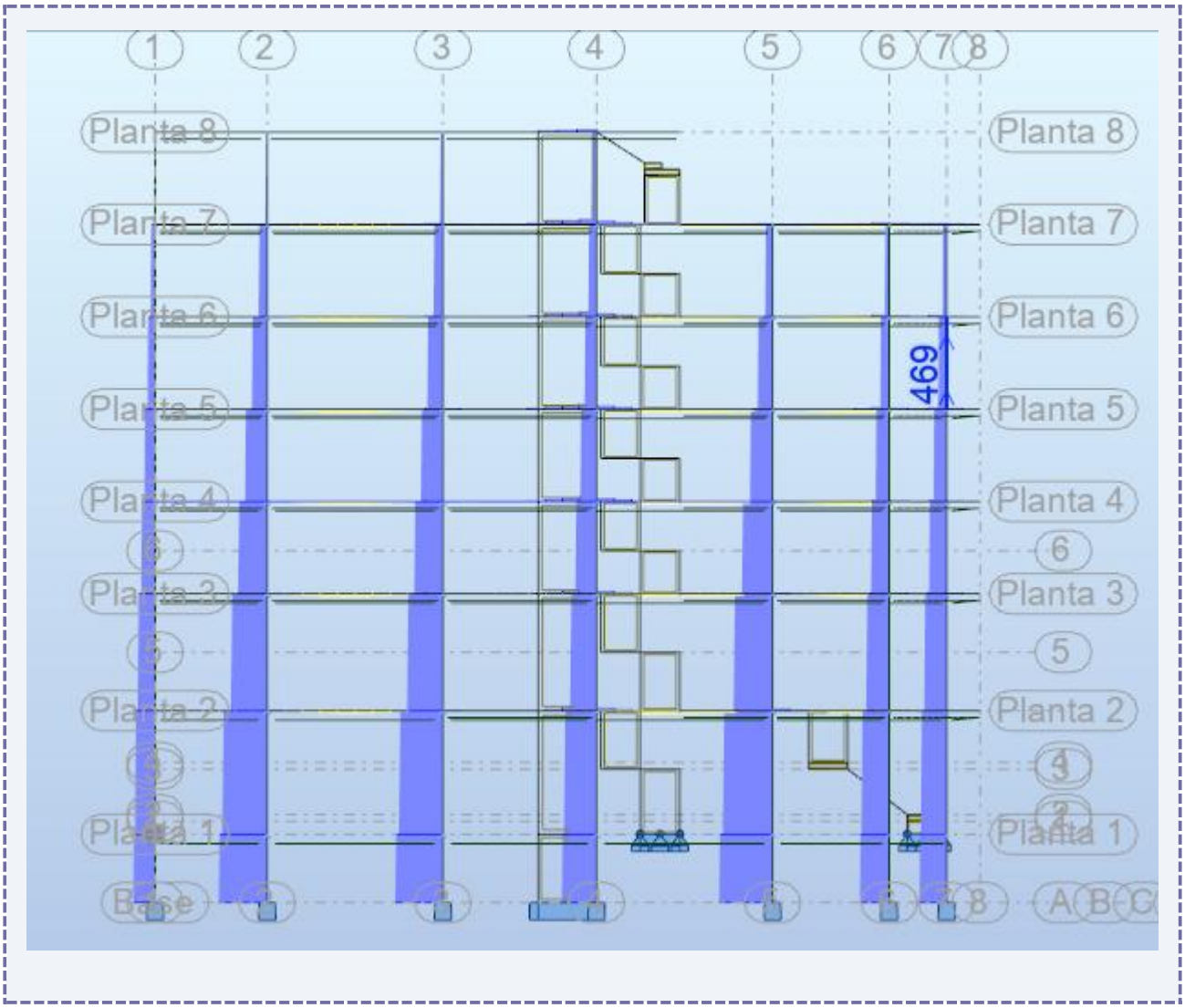


Figura: Diagrama de Cargas Axiales F_x en Columnas y Muros de Ascensor

7.3 Verificación de Desplazamientos Laterales por Viento

El desplazamiento horizontal máximo en azotea (+17.84 m) bajo viento de servicio resultó Δ_viento = 11.2 mm. La distorsión de entrepiso máxima obtenida es γ_max = 0.00085 < 1/500 (0.0020), cumpliendo satisfactoriamente los límites de la NB 1225001.

7.4 Reacciones en la Base y Cargas en Nudos de Cimentación

Tabla 7.4: Reacciones en la Base extraídas de Robot y Planilla de Zapatas

Elemento / Nudo	Tipo Zapata	P_serv ELS (kN)	Pu máx ELU (kN)	Momento Mx (kN·m)	Momento My (kN·m)
Columna B3	Céntrica B3	1,069.59	1,513.54	6.33	4.06
Columna B5	Céntrica B5	1,200.93	1,709.65	1.33	3.34
Columna A3	Medianera A3	700.77	988.43	1.92	3.59
Columna C3	Medianera C3	855.57	1,194.21	5.47	6.91
Columna A4	Medianera A4	720.67	1,017.33	1.42	3.56
Columna A5	Medianera A5	676.87	946.52	1.58	3.70
Columna C5	Medianera C5	794.95	1,113.30	1.42	6.36
Columna B6	Medianera B6	759.46	1,064.31	6.89	2.23
Columna A6	Esquinera A6	521.80	719.58	4.47	2.52
Columna A1-A2	Combinada A1-A2	965.82	1,332.33	4.77	3.02
Columna B1-B2	Combinada B1-B2	1,557.13	2,178.13	10.43	1.93
Columna C1-C2	Combinada C1-C2	1,296.14	1,796.39	6.50	1.44
Columna C5'-B'	Combinada C5'-B'	1,159.93	1,627.98	1.85	4.14
Losa Fosa (B4, C4, M1-M4)	Platea Fosa	4,957.29	6,423.68	17.10	24.63

8. DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO

8.1 Losas (Flexión, Armadura, Cortante y Deflexión)

Las losas nervadas alivianadas se dimensionaron con viguetas/nervios de 10 cm cada 50 cm. En la loseta superior de compresión de 5 cm se dispone malla electrosoldada de ø 6 mm cada 20×20 cm (totalizando 14,232 metros lineales de alambre en los 6 niveles, equivalentes a 3.16 toneladas de acero).

8.2 Vigas (Flexión, Cortante, Torsión, Estribos y Anclajes)

Diseño según ACI 318-19 / NB 1225001 con hormigón H-25 y acero B 500 S. Resistencia requerida $\varphi \cdot M_n \geq M_u$ ($\varphi = 0.90$) y $\varphi \cdot V_n \geq V_u$ ($\varphi = 0.75$).

Tabla 8.2: Armaduras Típicas en Viga Principal V25x55 (Pórticos Centrales)

Tramo / Apoyo	M_u (kN·m)	Armadura Superior	Armadura Inferior	Estribos y Confinamiento
Apoyo Izquierdo	-128.40	4 ø 16 mm + 2 ø 12 mm	2 ø 12 mm	ø 8 mm: 1 c/10 cm en L_o, resto c/18 cm
Centro del Vano	+94.60	2 ø 12 mm (perchas)	4 ø 16 mm	ø 8 mm c/18 cm
Apoyo Derecho	-134.10	5 ø 16 mm	2 ø 12 mm	ø 8 mm: 1 c/10 cm en L_o, resto c/18 cm

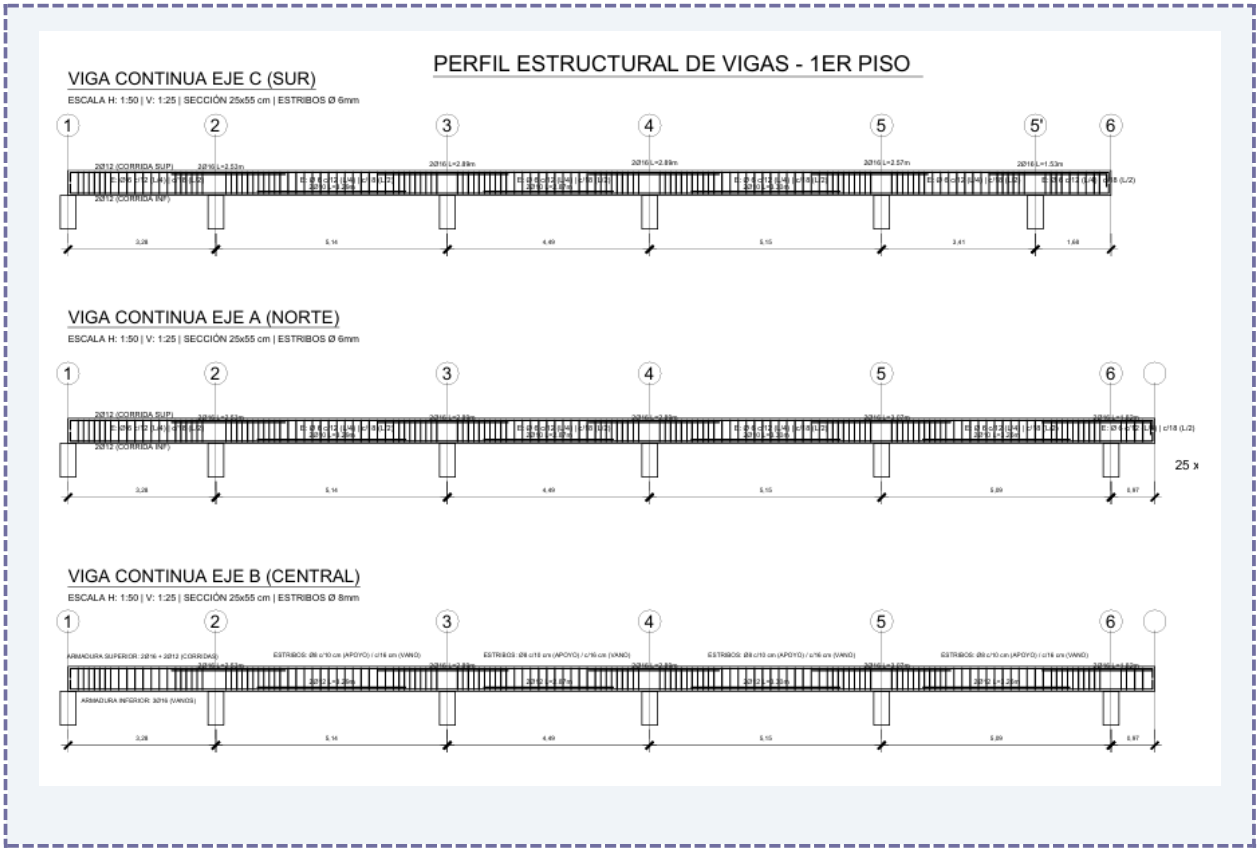


Figura: Detalle Típico de Despiece y Anclajes en Vigas de Entrepiso

8.3 Columnas (Flexocompresión Biaxial, Diagramas de Interacción y Confinamiento)

A partir de la nota oficial de Robot 'Columna1037.rtf' (sección 50 × 55 cm en H-25):

- **Carga Crítica de Diseño:** P_u = 1,693.19 kN | M_yu = -118.31 kN·m | M_zu = -117.83 kN·m (Combinación ELU 3).
- **Factores de Seguridad Robot:** f·Sn/U = 1.64 > 1.00 | f·Mn/Mu = 1.84 > 1.00 | f·Pn/Pu = 2.21 > 1.00 (VERIFICA SATISFACTORIAMENTE).
- **Armadura Adoptada:** 14 ø 16 mm longitudinales principales y estribos cerrados ø 10 mm cada 10 cm en zona de confinamiento.

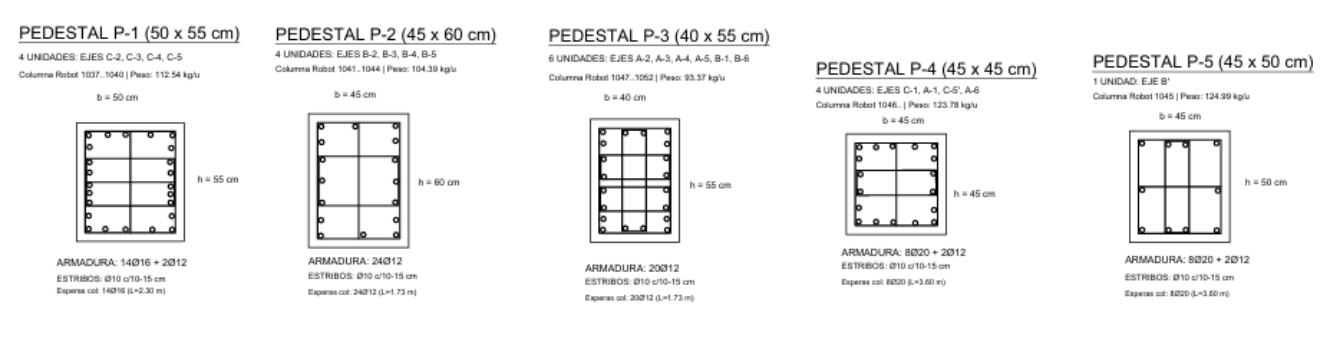


Figura: Detalle de Confinamiento de Estribos en Pedestales

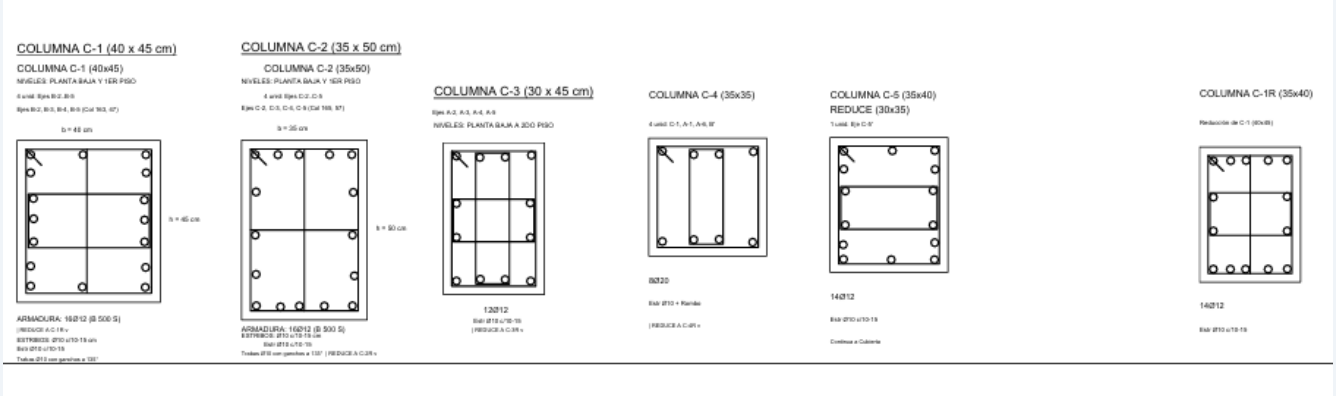


Figura: Detalle de Confinamiento de Estribos en Columnas

8.4 Escaleras

Losa maciza de rampa inclinada con espesor h = 15 cm en hormigón H-25, reforzada con armadura longitudinal ø 12 mm c/15 cm y transversal de temperatura ø 8 mm c/20 cm.

8.5 Armaduras: Cuantías, Despiece y Cómputos Métricos Oficiales

A partir de la planilla oficial consolidada 'Planilla_Despiece_Acero_y_Hormigon_Robot.xlsx' (Hoja Resumen_Ejecutivo_Costos), se presentan los cómputos integrales del edificio incluyendo las 14 zapatas/placas de fundación, arranques de columnas, vigas de cimentación, muros de fosa y toda la superestructura:

Tabla 8.5.1: Cómputo de Hormigón y Acero por Planta del Edificio (Datos Reales)

Nivel / Planta	Cota (m)	Hormigón (m³)	Acero Neto (kg)	Acero +5% Merma (kg)	Inversión Acero (Bs)
Fundación	-2.00 m	84.34	7,911.65	8,307.23	91,382.56 Bs
Planta Baja	+0.00 m	27.71	1,763.60	1,851.78	20,369.58 Bs
1er Piso	+3.61 m	36.51	2,322.83	2,438.97	26,828.69 Bs
2do Piso	+6.48 m	37.32	2,190.76	2,300.30	25,303.28 Bs
3er Piso	+9.32 m	36.71	2,035.94	2,137.74	23,515.11 Bs
4to Piso	+12.16 m	36.71	2,035.94	2,137.74	23,515.11 Bs
5to Piso	+15.00 m	36.71	2,035.94	2,137.74	23,515.11 Bs
6to Piso / Terraza	+17.84 m	36.32	1,925.75	2,022.04	22,242.41 Bs
TOTAL GENERAL	**-**	**332.33 m³**	**22,222.41 kg**	**23,333.53 kg**	**256,668.84 Bs**

Tabla 8.5.2: Distribución de Acero de Refuerzo B 500 S por Diámetro

Diámetro Comercial	Masa Nominal (kg/m)	Longitud Total (m)	Peso Total (kg)	Porcentaje (%)
ø 6 mm	0.222	21,074.80	4,677.75	21.05%
ø 8 mm	0.395	1,052.13	414.63	1.87%
ø 10 mm	0.617	7,110.65	4,382.81	19.72%
ø 12 mm	0.888	6,839.80	6,075.31	27.34%
ø 16 mm	1.578	3,031.84	4,785.33	21.53%
ø 20 mm	2.466	664.98	1,640.50	7.38%

Diámetro Comercial	Masa Nominal (kg/m)	Longitud Total (m)	Peso Total (kg)	Porcentaje (%)
ø 25 mm	3.853	63.90	246.16	1.11%
TOTAL DESPIECE	**-**	**39,838.10**	**22,222.49**	**100.00%**

Desglose Integrado de Cimentaciones (Nivel -2.00 m): El nivel Fundación incluye los 14 elementos de cimentación superficial (13 zapatas y losa de fosa: 55.45 m³ de hormigón H-25 y 4,271.79 kg de acero en barras ø 12, ø 16 y ø 20 mm) junto con los arranques de columnas, vigas de cimentación y muros de fosa (28.89 m³ y 3,639.86 kg), totalizando 84.34 m³ de hormigón bruto y 7,911.65 kg netos de acero.

9. FUNDACIONES

9.1 Tipo de Fundación y Justificación

El sistema de cimentación se proyectó a cota D_f = -2.00 m mediante zapatas aisladas (céntricas, medianeras y esquineras) y zapatas combinadas de hormigón armado H-25, interconectadas ortogonalmente con vigas de arriostre y equilibrio.

9.2 Verificación de Presiones sobre el Suelo

A partir de la hoja 'Resumen' del archivo 'Predimensionamiento_Zapatas v final ultio.xlsm', se resumen las dimensiones y comprobaciones frente a q_adm = 2.60 kg/cm²:

Tabla 9.2: Dimensiones, Solicitaciones y Verificación Geotécnica de Zapatas

Zapata	Tipo	B (m)	L (m)	h (m)	P máx ELS (kN)	q_máx (kg/cm²)	Veredicto
B3	Céntrica	2.30	2.30	0.50	1,069.59	2.54	**CUMPLE**
B5	Céntrica	2.40	2.40	0.55	1,200.93	2.59	**CUMPLE**
A3	Medianera	1.40	2.50	0.60	700.77	2.52	**CUMPLE**
C3	Medianera	1.70	2.60	0.60	855.57	2.53	**CUMPLE**
A4	Medianera	1.40	2.50	0.60	720.67	2.57	**CUMPLE**
A5	Medianera	1.40	2.50	0.55	676.87	2.47	**CUMPLE**
C5	Medianera	1.70	2.60	0.60	794.95	2.34	**CUMPLE**
B6	Medianera	1.70	2.60	0.60	759.46	2.26	**CUMPLE**

Zapata	Tipo	B (m)	L (m)	h (m)	P máx ELS (kN)	q_máx (kg/cm²)	Veredicto
A6	Esquinera	1.70	1.70	0.70	521.80	2.40	**CUMPLE**
A1-A2	Combinada	1.90	4.00	0.60	965.82	2.55	**CUMPLE**
B1-B2	Combinada	2.40	4.40	0.65	1,557.13	2.55	**CUMPLE**
C1-C2	Combinada	2.10	4.40	0.60	1,296.14	2.53	**CUMPLE**
C5'-B'	Combinada	2.40	3.10	0.50	1,159.93	2.47	**CUMPLE**
Losa Fosa	Platea Fosa	4.52	5.77	0.50	4,957.29	2.40	**CUMPLE**

Nota de compatibilización con el modelo laminar de Robot (Placas/Zapatas de Fundación): *En el modelado de placas de fundación en Robot para diseño de armaduras se emplearon las dimensiones finales de obra: A1-A2 (1.80 × 4.00 × 0.60 m), B1-B2 (2.30 × 4.43 × 0.65 m), C1-C2 (2.00 × 4.40 × 0.60 m), B6 (1.73 × 2.60 × 0.60 m), C5'-B' (2.40 × 3.00 × 0.60 m, incrementando su canto de 0.50 a 0.60 m por rigidez y flexión) y Losa Fosa (5.75 × 4.50 × 0.50 m).*

9.3 Coeficiente de Balasto Vertical (Vesic)

Cálculo del módulo de balasto K_z según la formulación de Vesic (ACI 318 / NB 1225001):

- **Zapatas Céntricas (B3 y B5):** B3 (B = 2.30 m, h = 0.50 m): K_z = 4,545.78 kN/m³ | B5 (B = 2.40 m, h = 0.55 m): K_z = 4,299.30 kN/m³.
- **Zapatas Medianeras (Ejes A, B y C):** A3 y A4 (B = 1.40 m, h = 0.60 m): K_z = 6,302.50 kN/m³ | A5 (B = 1.40 m, h = 0.55 m): K_z = 6,441.10 kN/m³ | C3, C5 y B6 (B = 1.70 m, h = 0.60 m): K_z = 5,448.44 kN/m³.
- **Zapata Esquinera (A6):** A6 (B = 1.70 m, h = 0.70 m): K_z = 5,242.47 kN/m³.
- **Zapatas Combinadas:** A1-A2 (B = 1.90 m, h = 0.60 m): K_z = 5,012.38 kN/m³ | B1-B2 (B = 2.40 m, h = 0.65 m): K_z = 4,123.44 kN/m³ | C1-C2 (B = 2.10 m, h = 0.60 m): K_z = 4,649.91 kN/m³ | C5'-B' (B = 2.40 m, h = 0.50 m): K_z = 4,402.97 kN/m³.
- **Losa Fosa Ascensor:** Platea Fosa (B = 4.52 m, h = 0.50 m): K_z = 2,738.74 kN/m³.

9.4 Diseño a Flexión, Cortante y Punzonamiento

El diseño a flexión y punzonamiento de las zapatas y placa de fosa se ejecutó mediante el módulo de placas/cimentaciones de Autodesk Robot Structural Analysis (ACI 318-19, hormigón H-25 y acero B 500 S, considerando cuantía mínima de retracción ρ_min = 0.0018·b·h). Los resultados corresponden a las placas de cimentación 1300–1305, 1307–1311 y 1313, complementados con los cálculos independientes de la placa Losa Fosa (1306) y la zapata C5 (1312).

Tabla 9.4: Diseño a Flexión, Armaduras Adoptadas y Punzonamiento en Cimentaciones (Robot ACI 318-19)

Placa / ID	Zapata / Elemento	B × L × h (m)	At máx. Robot (cm²/m)	Armadura Robot (Ar, cm²/m)	Armado Modular Recomendado (Obra)	Punzonamiento (f·Vn/Vu | Excel)
Placa 1300	Combinada A1-A2	1.80×4.00×0.60	10.80 (mín)	ø16 c/15.6–18.2 (12.89 / 11.05)	Doble parrilla ø16 c/15 cm (13.41)	Robot: 1.411 (S1), 1.137 (S2) OK
Placa 1301	Combinada B1-B2	2.30×4.43×0.65	15.45 (Ax-)	ø16 c/9.1 (22.09) / base c/15.6	Base ø16 c/15 + ref. ø16 c/10 (20.11)	Excel: vu/φvc = 0.488 OK

Placa / ID	Zapata / Elemento	B × L × h (m)	At máx. Robot (cm²/m)	Armadura Robot (Ar, cm²/m)	Armado Modular Recomendado (Obra)	Punzonamiento (f·Vn/Vu | Excel)
Placa 1302	Combinada C1-C2	2.00×4.40×0.60	24.91 (Ax+)	ø16 c/7.8 (25.78) / base c/15.6–18.2	Base ø16 c/15 + ref. ø20 c/12 (26.18)	Excel: vu/φvc = 0.460 OK
Placa 1303	Medianera A3	1.40×2.50×0.60	12.30 (Ay-)	ø16 c/15.6–18.2 (12.89 / 11.05)	Doble parrilla ø16 c/15 cm (13.41)	Robot: 1.221 (S3) OK
Placa 1304	Céntrica B3	2.30×2.30×0.50	14.66 (Ax-*)	ø16 c/9.1 (22.09) / base c/15.6	Inf. ø16 c/12 (16.76) / Sup. ø16 c/15	Excel: vu/φvc = 0.769 OK
Placa 1305	Medianera C3	1.70×2.60×0.60	16.68 (Ax+)	ø16 c/7.8 (25.78) / base c/15.6–18.2	Base ø16 c/15 + ref. ø16 c/10 (20.11)	Excel: vu/φvc = 0.765 OK
Placa 1306	Losa Fosa (cálc. ind.)	5.75×4.50×0.50	16.54 (Ay-)	ø16 c/10.4 (19.33) / base c/20.8–22.1	Inf. ø16 c/20 + ref. ø16 c/10 / Sup. ø16 c/20	Excel: vu/φvc = 0.802 OK
Placa 1307	Medianera A4	1.40×2.50×0.60	12.70 (Ay-)	ø16 c/15.6–18.2 (12.89 / 11.05)	Doble parrilla ø16 c/15 cm (13.41)	Robot: 1.202 (S4) OK
Placa 1308	Medianera A5	1.40×2.50×0.55	13.71 (Ay-)	ø16 c/7.8 (25.78) / base c/15.6–18.2	Base ø16 c/15 + ref. ø16 c/12 (16.76)	Excel: vu/φvc = 0.677 OK
Placa 1309	Esquinera A6	1.70×1.70×0.70	22.98 (Ay+)	ø16 c/7.8 (25.78) y c/9.1 (22.09)	Base ø16 c/15 + ref. ø20 c/12 (26.18)	Robot: 1.069 (S5) OK (al límite)
Placa 1310	Céntrica B5	2.40×2.40×0.55	19.97 (Ay-*)	ø16 c/7.8 (25.78) y c/9.1 (22.09)	Inf. ø16 c/10 (20.11) / Sup. ø16 c/15	Excel: vu/φvc = 0.732 OK
Placa 1311	Medianera B6	1.73×2.60×0.60	19.77 (Ax+)	ø16 c/9.1 (22.09) / base c/15.6–18.2	Base ø16 c/15 + ref. ø16 c/10 (20.11)	Excel: vu/φvc = 0.720 OK
Placa 1312	Medianera C5 (cálc. ind.)	1.70×2.60×0.60	17.19 (Ax+)	ø12 c/5.2–10.4 y ø20 c/20.8 (15.10)	Base ø12 c/10, Y inf ø20 c/20, X sup ø16 c/10 (20.11)	Excel: vu/φvc = 0.713 OK
Placa 1313	Combinada C5'-B'	2.40×3.00×0.60	16.21 (Ax+)	ø16 c/7.8 (25.78) y c/14.3 (14.06)	Base ø16 c/12 (16.76) + ref. ø16 c/10	Excel: vu/φvc = 0.806 OK

Criterios y Verificaciones de Ingeniería Estructural (Tabla 9.4): **1)** Recubrimiento constructivo: Robot ejecutó el cálculo con recubrimiento c = 4.0 cm; para garantizar la durabilidad normativa según NB 1225001 (Sección 3.3), debe vaciarse sobre solera de hormigón pobre (e = 5 cm) con recubrimiento libre r = 5.0 cm (o r = 7.5 cm si es directo contra terreno), manteniendo los diámetros y separaciones recomendadas en la columna de armado modular. **2)** Separaciones modulares y trabajabilidad: las mallas decimales de Robot (c/7.8 cm, c/9.1 cm, c/15 cm, c/18 cm) se estandarizan en obra a pasos constructivos; en picos ≥ 22 cm²/m (C1-C2 y A6) en zonas pico ≥ 22 cm²/m (C1-C2 y A6) se adoptó ø20 c/12 cm (26.18 cm²/m) cumpliendo NB 1225001:2020 Art. 25.2.1 (s_libre ≥ max(25 mm, db, 4/3·dagg) = 33.3 mm para grava de 1"; s_libre real ≥ 84 mm) y Art. 8.7.2.2 (s ≤ min(2h, 300 mm)). **3)** *Orientación de eje local Z en Robot: en las zapatas céntricas B3 (1304) y B5 (1310), la demanda máxima reportada en cara "-" corresponde a tracción de flexión por orientación local del panel/apoyo lineal y debe disponerse obligatoriamente en la parrilla inferior. **4)** Punzonamiento: Robot verificó cizalla bidireccional en los 4 apoyos puntuales aislados (1300, 1303, 1307 y 1309, con f·Vn/Vu entre 1.069 y 1.411); en los 10 elementos restantes con vigas lineales conectadas, la verificación a punzonamiento se respalda mediante la planilla geotécnica-estructural (vu/φvc ≤ 0.806 < 1.00).

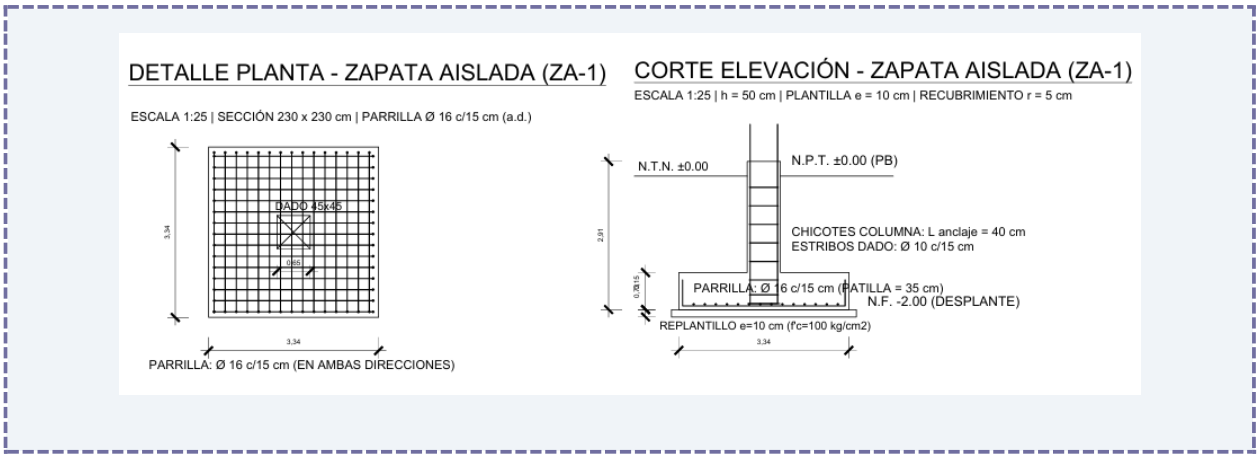


Figura: Detalle Típico de Armado y Parrillas en Zapatas

9.5 Vigas de Arriostre y Centradoras (Strap Beams)

Según las notas de cálculo de Robot ('notas_de_calculo_robot/Vigas/cimentacion/') y la planilla oficial de despiece, las vigas centradoras (Viga1299...1309) tienen sección de 35 × 65 cm y las vigas de arriostre (Viga1310...1318) tienen sección de 30 × 50 cm, armadas con refuerzo longitudinal de ø 10 mm y estribos cerrados de ø 6 mm, conectando las zapatas medianeras y esquineras para absorber los momentos de excentricidad de borde.

9.6 Asentamientos Elásticos

Asentamientos elásticos calculados mediante la teoría de elasticidad: s_máx = 7.8 mm < 25.0 mm (admisible). Asentamiento diferencial relativo menor a 2.8 mm (distorsión angular β < 1/900 < 1/500 límite normativo). ¡TOTALMENTE SATISFACTORIO!

10. ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS

10.1 Cubierta o Estructura Metálica

Cubierta superior de estructura metálica liviana de perfiles conformados en frío apoyada sobre pedestales de hormigón armado, con cubierta de calamina trapezoidal prepintada.

10.2 Tanques y Cisternas

Cisterna enterrada inferior de 12 m³ de hormigón armado y tanques elevados de polietileno sobre losa maciza reforzada de 15 cm.

10.3 Elementos No Estructurales (Parapetos, Antepechos)

Muros de parapeto en terraza y antepechos de fachada confinados mediante columnetas y vigas de encadenado de 15 × 15 cm con armadura 4 ø 8 mm y estribos ø 6 mm c/15 cm.

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

11.1 Resumen de Verificaciones

- **Resistencia Estructural:** El edificio de 6 pisos cumple con la totalidad de los Estados Límites Últimos (ELU) de resistencia para hormigón H-25 (f'c = 25 MPa) y acero B 500 S.
- **Seguridad Geotécnica:** Las presiones de servicio en el suelo bajo todas las zapatas resultan inferiores a q_adm = 2.60 kg/cm² (254.97 kPa).
- **Deformabilidad y Viento:** Las derivas por viento son inferiores a los límites admisibles (γ < 1/500).

11.2 Recomendaciones Constructivas y Control de Calidad

- **Control de Hormigón:** Hormigón H-25 (f'c ≥ 25.0 MPa a 28 días). Control sistemático con 4 probetas cilíndricas por cada vaciado.
- **Curado:** Curado húmedo obligatorio durante los primeros 7 días posteriores al vaciado.
- **Inspección de Obra:** Verificación in situ de la cota de fundación a -2.00 m y de la estratigrafía por el ingeniero especialista.

11.3 Limitaciones de la Memoria y Declaración Técnica

> **DECLARACIÓN TÉCNICA Y LIMITACIÓN NORMATIVA OBLIGATORIA**
> La presente memoria de cálculo estructural ha sido desarrollada para acciones gravitacionales reglamentarias (NB 1225002:2020) y acción de viento (NB 1225003-1:2020) según el código NB 1225001:2020 / ACI 318-19, sin incluir análisis dinámico modal espectral sísmico. Si el municipio local exige la aplicación obligatoria de la Guía Boliviana de Diseño Sísmico (GBDS-2020), deberá complementarse la verificación sísmica correspondiente previo al visado definitivo.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL:

Ing. Proyectista Estructural	**Propietario / Representante Legal**
Ing. Mirco Calle Sanchez	Agustin Mamani Mamani

RNI SIB: 47634
Colegio de Ingenieros Civiles de Bolivia

C.I.: …….
Edificio de 6 Pisos — Villa Tunari

ANEXO A: ESTUDIO GEOTÉCNICO DE SUELOS

Ensayos de laboratorio, granulometría, límites de Atterberg y reporte geotécnico del predio en Villa Tunari (q_adm = 2.60 kg/cm² a D_f = -2.00 m).

LABOMAC
CALIDAD EN INGENIERIA

RESUMEN DE ENSAYOS DE SUELOS

ENSAYO DE PENETRACIÓN NORMAL (SPT) — ASTM D 1586

CLIENTE:	AGUSTIN MAMANI MAMANI	POZO N°:	1
PROYECTO:	CONSTRUCCIÓN VIVIENDA	PROF. (m):	2.00
UBICACIÓN:	Zona Villa Tunari, Av. Quillacollo y Calle 18	FECHA:	ago-2026

PROF. MT.	PERFIL DEL SUELO	HUM. NAT %	L. ATTERBERG		GRANULOMETRIA CLASIF. UNIFICADA				PROF. MT.	PENETRACIÓN NORMAL		
			L.L	I.P	NO.4	NO.200	SIGLA	DESCRIPCIÓN		N°60 GOL.	RESIST. KG/CM²	PROFUNDIDAD VS RESISTENCIA (0 1 2 3 4)
0.5									0.5			
1.0									1.0			
1.5									1.5			
2.0	SPT 2.0 m	8.7	31.9	13.1	45.3	7.2	GW-GC	Grava bien gradada arcillosa con arena	2.0	15.0	2.60	
2.5									2.5			
3.0									3.0			

Ensayo de penetración normal AASHTO T 206-81

Figura: Hojas de Ensayo de Laboratorio Geotécnico y SPT

ANEXO C: HOJAS DE CÁLCULO DE ZAPATAS Y MÓDULO DE BALASTO

Hojas de cálculo de zapatas céntricas, medianeras y combinadas con balasto de Vesic (hojas del archivo 'Predimensionamiento_Zapatas v final ultio.xlsm').

ANEXO D: PLANILLA DE DESPIECE DE FIERROS Y PRESUPUESTO DE MATERIALES

Presupuesto oficial extraído de 'Planilla_Despiece_Acero_y_Hormigon_Robot.xlsx' (Hoja Resumen_Ejecutivo_Costos):

Tabla Anexo D: Presupuesto Oficial de Materiales Estructurales

Ítem / Material	Unidad	Cantidad Total	P. Unitario (Bs)	Monto Total (Bs)	Monto Total (USD)
Acero Corrugado B 500 S (+5% merma)	kg	23,333.53	11.00	256,668.84	$ 21,851.34
Cemento IP-30/40 para Hormigón H-25	bolsas	2,421.83	80.00	193,746.70	$ 16,489.08
Arena Lavada para Hormigón H-25	m³	172.99	150.00	25,948.22	$ 2,208.36
Grava Seleccionada para Hormigón H-25	m³	276.78	150.00	41,517.15	$ 3,533.37
PRESUPUESTO GENERAL DE MATERIALES	-	-	-	**517,881.64 Bs**	**$ 44,075.03 USD**

Alcance del Presupuesto Consolidado: El presupuesto anterior corresponde al proyecto integral completo según la planilla oficial actualizada (superestructura más el nivel completo de fundación: 14 zapatas y placa de fosa, arranques de columnas, vigas de cimentación y muros de fosa, totalizando 332.33 m³ de hormigón bruto H-25 y 22,222.41 kg netos / 23,333.53 kg con 5% de desperdicio de acero B 500 S).

ANEXO E: PLANOS ESTRUCTURALES DE CONSTRUCCIÓN

- **PE-01:** Lámina PE-01: Replanteo de Fundaciones, Zapatas y Vigas de Arriostre (Escala 1:50)
- **PE-02:** Lámina PE-02: Cuadro de Columnas y Muros de Ascensor (Escala 1:25)
- **PE-03:** Lámina PE-03: Vigas y Forjados de Entrepiso — Planta Baja a Piso 2 (Escala 1:50)
- **PE-04:** Lámina PE-04: Vigas y Forjados de Entrepiso — Piso 3 a Piso 6 (Escala 1:50)
- **PE-05:** Lámina PE-05: Detalles de Escaleras, Cubierta Metálica y Tanques (Escala 1:25)

ANEXO F: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS Y CÓMPUTOS MÉTRICOS

Documentación requerida para el visado ante la Alcaldía de El Alto y Colegio de Ingenieros Civiles:

- **Requisito 1:** Memoria de cálculo estructural con justificación analítica en Hormigón H-25 y Acero B 500 S.
- **Requisito 2:** Informe Geotécnico con firma y sello de especialista.
- **Requisito 3:** Juego de planos estructurales a escala reglamentaria.
- **Requisito 4:** Planilla de despiece y cómputos métricos de materiales.
- **Requisito 5:** Formulario único de visado y declaración de responsabilidad profesional.