Iván López Jara
Ingeniero Civil

PREINFORME DE MECÁNICA DE SUELOS

PROYECTO: MERCADO URBANO FRIL, LUIS CRUZ MARTÍNEZ CON POLANCO, COMUNA DE LA LIGUA, REGIÓN DE VALPARAÍSO



Cliente	:	Ilustre Municipalidad de La Ligua
Código	:	109-IMS-001
Revisión	:	A
Fecha	:	18 de diciembre de 2025

Iván López, Ingeniero Civil Estructural //

Historial y Estado del documento

Rev.	Elaborado	Fecha	Aprobado	Fecha
A	ILJ	18-12-2025	ILJ.	18-12-2025

Tabla de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN 1
2. ANTECEDENTES 3
2.1. Antecedentes de referencia 3
2.2. Ubicación 3
2.3. Antecedentes del terreno 4
2.4. Antecedentes del subsuelo 5
2.4.1. Antecedentes geológicos 5
2.4.2. Respuesta sísmica 10
2.5. Caracterización geotécnica del terreno 11
2.5.1. Exploración del terreno 11
2.5.2. Estratigrafía preliminar 14
2.5.3. Topografía 18
2.5.4. Propiedades del suelo de fundación 18
2.6. Clasificación sísmica del suelo 19
2.6.1. Zona sísmica del sitio 20
2.6.2. Clasificación del suelo de fundación 20
2.6.3. Capacidad de infiltración del terreno 21
3. ANTECEDENTES DEL SUBSUELO PARA LA REVISIÓN DE FUNDACIONES 22
3.1. Tipo de fundación recomendado 22
3.2. Sello de fundación 22
3.2.1. Fundaciones apoyadas directamente en suelo natural 24

3.2.2. Mejoramiento bajo fundaciones 25
3.2.3. Requisitos para el sello de fundaciones 25
3.3. Radieres 26
3.4. Especificaciones técnicas para mejoramientos 26
3.5. Profundidad de fundación 29
3.6. Capacidad de soporte admisible 30
3.6.1. Capacidad de soporte admisible por rotura del suelo 30
3.6.2. Capacidad de soporte admisible por asentamientos 32
3.6.3. Coeficiente de balasto vertical 33
3.6.4. Giros de fundación 34
4. EMPUJES 35
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES 36
5.1. Fundaciones y radieres 36
6. CONCLUSIONES 40
7. REFERENCIAS 41

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe preliminar de mecánica de suelos tiene como objetivo el establecimiento de las propiedades geotécnicas de diseño del suelo de fundación del terreno donde se proyecta la construcción de un centro comercial de 2 niveles, sin subterráneos, en un sitio existente, ubicado en Av. Luis Cruz Martínez con la proyección de Av. Polanco, en la comuna de La Ligua, en la Región de Valparaíso.

Este informe de mecánica de suelos entrega las propiedades preliminares del suelo de fundación con base en la ejecución de cuatro (4) calicatas de 3.0 m de profundidad, así como los antecedentes documentales y el conocimiento de los suelos de la zona. Se entregan rangos esperados de los parámetros de capacidad de soporte admisible para condición de carga estática y sísmica, empujes sobre muros, recomendación de asentamientos admisibles máximos, constante de balasto y clasificación estimada del suelo según NCh433Of.1996Mod2009 + DS.61 (2011), así como los parámetros de capacidad de infiltración del terreno, rellenos estructurales y recomendaciones generales de excavación. Los parámetros definitivos se definirán una vez se cuente con los resultados de los ensayos de laboratorio sobre muestras extraídas de las calicatas.

Los ensayos, parámetros determinados y conclusiones del informe solo son aplicables al terreno demarcado en la Figura 2, correspondiente al sitio ubicado en la intersección de Av. Luis Cruz Martínez con la proyección de Av. Polanco, y no son extrapolables a terrenos adyacentes o cercanos. A su vez, los resultados de muestras extraídas de la exploración realizada en terreno solo son aplicables a dicho punto y podrían presentar una variación espacial dentro de los límites de terreno antes descritos.

Nota: Los valores de tensiones admisibles, capacidad de infiltración del terreno, asentamientos máximos y constantes de balastos presentados en este reporte tienen el carácter de preliminares, y han sido estimados a partir del conocimiento de suelos de similares características y que se estima corresponden a los del sitio en

estudio. Estos valores podrían cambiar sustancialmente una vez se cuente con los resultados de laboratorio sobre muestras extraídas de las 4 calicatas hechas en terreno.

2. ANTECEDENTES

2.1. Antecedentes de referencia

En la elaboración de este Informe se tuvieron presente los siguientes antecedentes:

a) Visitas a terreno tal de averiguar el estado actual del terreno y de la zona.
b) Antecedentes del proyecto entregados por el Mandante, en particular materialidad de las estructuras existentes.
c) Antecedentes de mecánica de suelos realizadas en terrenos cercanos al sitio en estudio.
d) Norma chilena NCh 1508: 2014 Geotecnia-Estudios de mecánica de suelos.
e) Norma chilena NCh 433 Of. 96, Diseño sísmico de edificios (actualizado por DS N°61 vigente desde el 13 diciembre 2011).
f) Braja M. Das, "Principios de la Ingeniería de Cimentaciones", Thomson Editores, Quinta edición, 2006.
g) Informe de Mecánica de Suelos Centro de Acopio y Educación Ambiental Municipal, Comuna de La Ligua, Iván López Jara, 102-IMS-001-Rev. 0, 02-Abril-2025.
h) "Plan Regulador Comunal de La Ligua", Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Abril 1980.

2.2. Ubicación

En la Tabla 1 se muestran las coordenadas del sitio en estudio:

Tabla 1: Ubicación del sitio (Fuente: Google Earth).19H UTM.

Lat (°)	Lon (°)
290,231	6,407,330

2.3. Antecedentes del terreno

El sitio en estudio se emplaza en la intersección de Av. Luis Cruz Martínez con la proyección de Av. Polanco, comuna de La Ligua, en una zona urbana, con viviendas de albañilería confinada de hasta 2 pisos y ampliaciones de material ligero en viviendas de hasta 2 pisos. En el entorno del proyecto en estudio hay algunas estructuras de hormigón armado y acero estructural, correspondientes a colegios y un CESFAM, sin subterráneos. En la Figura 1 se muestra una vista satelital del sitio en estudio y en la Figura 2 una vista detallada del perímetro del terreno, donde se marca con cuadrados rojos la ubicación de las 4 calicatas de 3.0 m de profundidad.

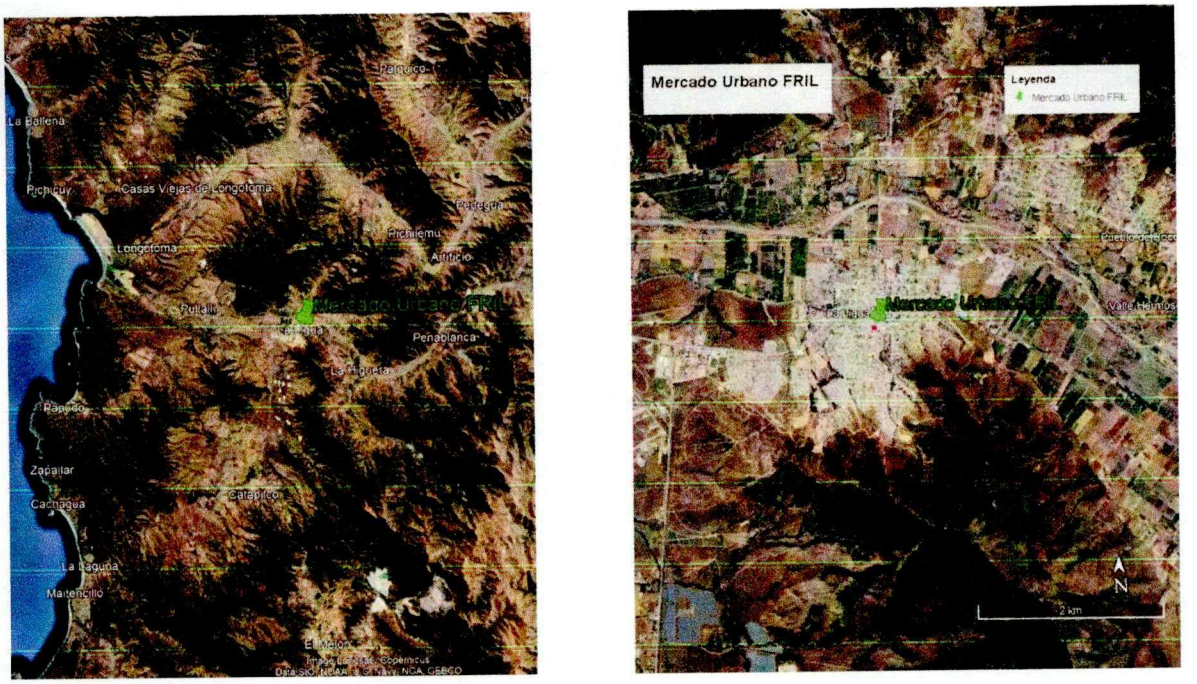


Figura 1: Sitio en estudio en comuna de La Ligua. Izq: Vista regional del sitio en la Región de Valparaíso. Der: Ubicación del sitio en Av. Luis Cruz Martínez con Av. Polanco.



Figura 2: Vista en detalle del sitio en estudio en Av. Luis Cruz Martínez con Av. Polanco.

2.4. Antecedentes del subsuelo

2.4.1. Antecedentes geológicos

En el Estudio de Impacto Ambiental Relleno Sanitario Pullali (1998, Ref. 9), se incluyó un estudio hidrogeológico para un sitio a 9 km del sitio en estudio. En este informe, se describe la geomorfología y formaciones geológicas para la zona donde se ubica el proyecto, como se muestra en la Figura 3.

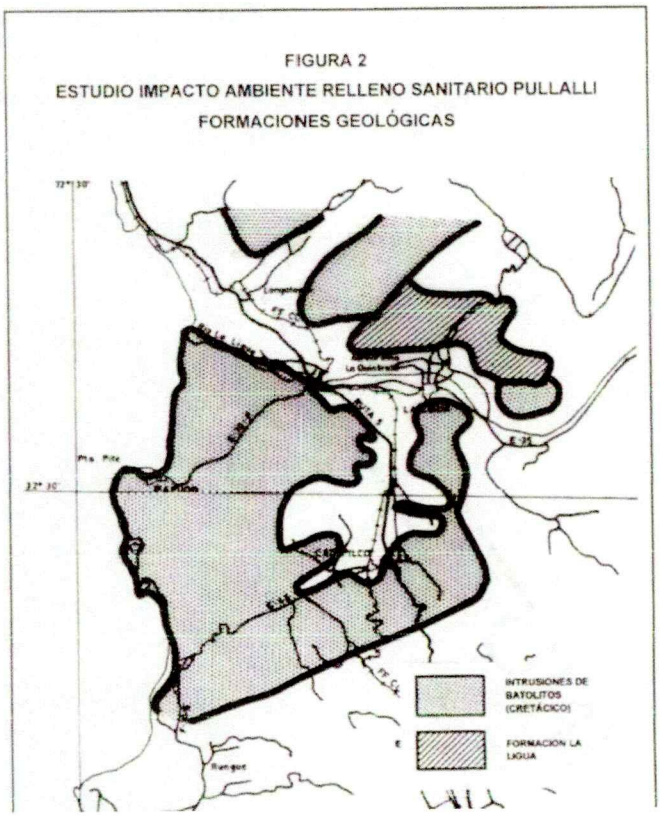


Figura 3: Formaciones geológicas zona en estudio. EIA Proyecto Relleno Sanitario Pullalli, 1998, Ref. 9.

El informe indica respecto a estas formaciones geológicas, que "las principales unidades geológicas en el área de estudio son las intrusiones de batolitos del periodo jurásico, relleno fluvial depositado durante el cuaternario y elementos de la formación La Ligua".

En el informe se describen las 2 formaciones entre las que se ubica el sitio en estudio, Formación la Ligua y el Batolito Central, que corresponden al basamento rocoso inicial, y los Rellenos Cuaternarios. Para estos últimos, la descripción de estos es "los sedimentos de relleno más recientes son producto de la acción erosiva de los cursos fluviales (cauces de crecida) del área".

Otra referencia de interés para el área es el Mapa Geológico de Chile (Ref. 4), el que ubica a la ciudad de La Ligua entre dos formaciones, MP1c y Jag, correspondientes en el primer caso a "Secuencias sedimentarias clásticas de piedemonte, aluviales, coluviales o fluviales: conglomerados, areniscas y limolitas, del Mioceno Superior", las que estarían depositadas a partir de terrazas fluviales producto del río La Ligua. Estos depósitos, más actuales, estarían sobre la formación Jag, que se define como "Monzodioritas cuarcíferas, dioritas y granodioritas de biotita, piroxeno y hornblenda, del Jurásico medio a superior". En la Figura 4 se muestra la ubicación de la Ligua en este mapa, destaca con un círculo verde apuntado por una flecha del mismo color.

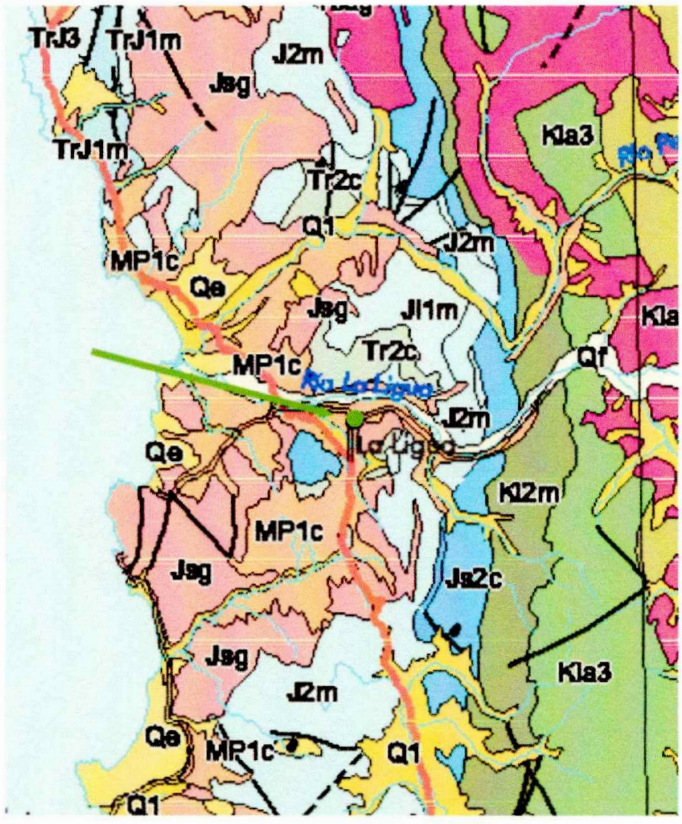


Figura 4: Ubicación del sitio en estudio, modificado de Mapa Geológico de Chile (Ref. 4).

En los trabajos de Serrano (2024, Ref. 7) y Murillo (2024, Ref. 6), se presenta una descripción más detallada de la geomorfología de la zona. En el trabajo de Serrano, se indica que la ciudad de La Ligua se encontraría

íntegramente sobre la "Formación confluencia (Tc)", que define como "rellenos sedimentarios poco consolidados de gravas, ripios e intercalaciones de arena con potencias de 50 a 100 m, que se depositan de forma parcialmente concordante con el sistema hidrográfico actual. Estos depósitos se encuentran de manera discordante sobre las formaciones jurásicas y son cubiertos por sedimentos eólicos y aluviales más recientes". A su vez, los depósitos no consolidados ubicados sobre esta formación corresponderían a "un conjunto de depósitos sedimentarios poco consolidados que se extienden por los valles, el ambiente litoral y los principales cauces de los ríos. Así, se tienen diversas clasificaciones para estos depósitos, dependiendo de las principales ambientes, condiciones climáticas y fenómenos sobre las cuales fueron formados. Entre ellos, se destaca principalmente los depósitos aluviales y coluviales (Qac) por acumulaciones de gravas, ripios, arenas y limos que se encuentran rellenando los valles de la Ligua en el sector de estudio y se relacionan con los cursos de aguas actuales". En la Figura 5 se muestra una captura de la geología de la zona.

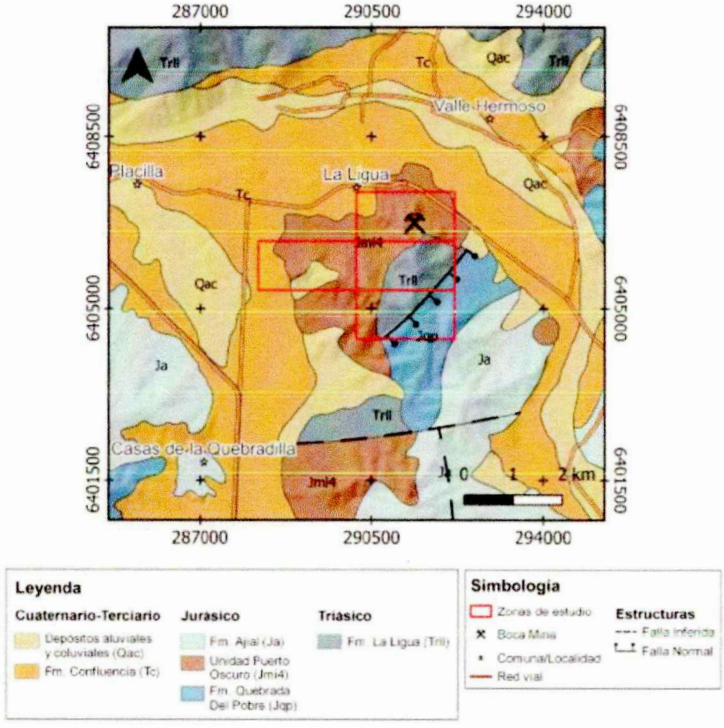


Figura 5: Mapa geológico de La Ligua (Serrano, Ref. 7).

Finalmente, en Murillo (Ref. 6) se ubica La Ligua entre una zona con terrazas fluviales y pedimento, indicando que "en general, el sustrato rocoso de esta zona está conformado por rocas volcánicas y sedimentarias del Triásico Superior-Jurásico, intruídas por rocas plutónicas del Jurásico-Cretácico. Las rocas antes descritas son localmente cubiertas por depósitos no consolidados de edad Mioceno Holoceno, que conforman principalmente a depósitos de playa y eólicos en la costa, y fluviales y aluviales hacia el interior de los valles". En la Figura 6 se muestra el mapa geológico de esta referencia.

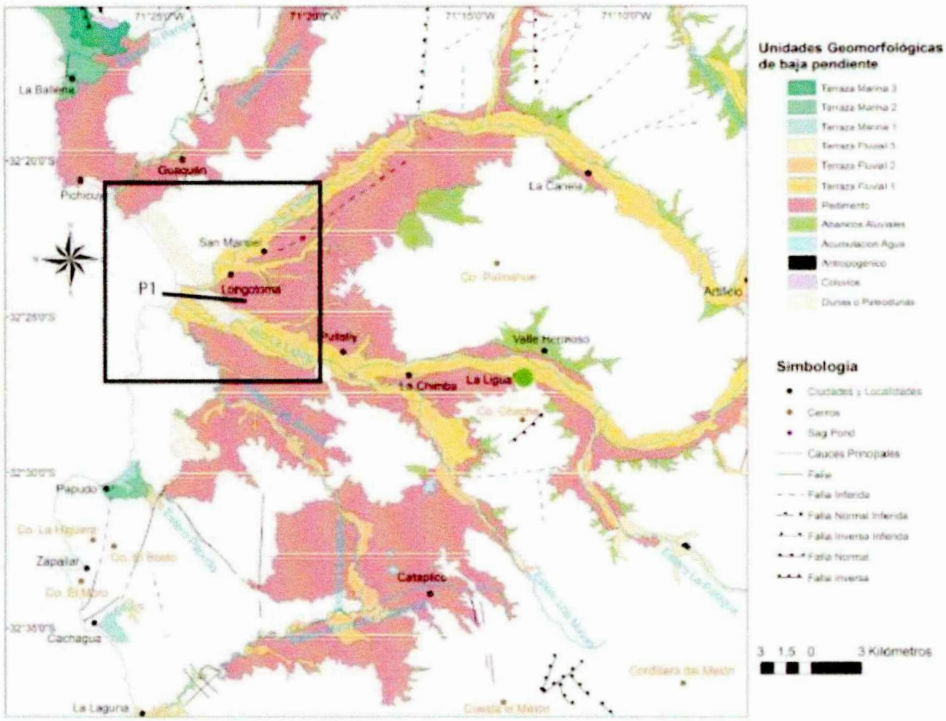


Figura 6: Mapa geológico de la zona, se marca ubicación del sitio con un círculo verde, modificado de Murillo (Ref. 6).

De este modo, a partir de estas referencias y dada la cercanía del sitio en estudio con el cauce del río La Ligua, es probable que los depósitos que conforman el suelo de fundación del proyecto correspondan a limos y arcillas con contenido de finos en gran proporción, con una profundidad hasta el basamento rocoso superior a los 50 m.

2.4.2. Respuesta sísmica

Existen algunas referencias de terremotos que han afectado la zona, en particular la ciudad de La Ligua para el sismo del 28 de marzo de 1965, Mw 7.4 (Ref. 5) con epicentro en La Ligua, el que causó gran daño en las construcciones de adobe pero poco daño en las edificaciones de albañilería confinada, debido principalmente a la vulnerabilidad de las estructuras de adobe (Norambuena, 2006, Ref. 8). Norambuena (2006, Ref. 8) generó el mapa de isosistas de intensidad de Mercalli mostrado en la Figura 7, donde se reporta para la comuna una intensidad de VIII a IX. El mayor daño provocado por el sismo fue la falla de un tranque de relaves de la Mina El Soldado, a 10 km de La Calera, lo que provocó el fallecimiento de más de 30 personas.

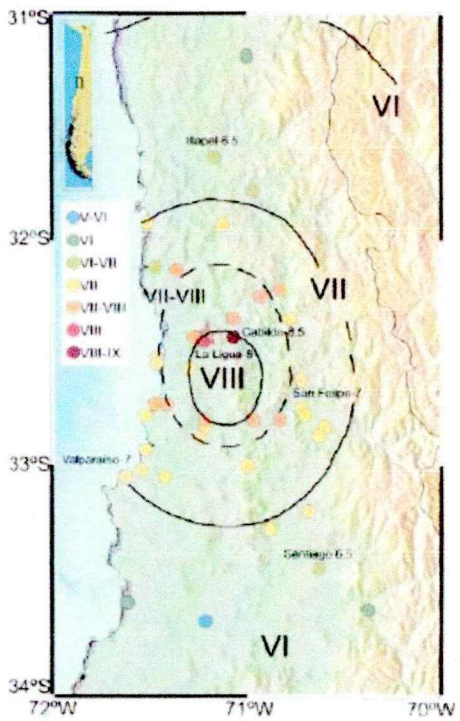


Figura 7: Isosistas sismo marzo 1965 La Ligua (Norambuena, Ref. 8).

2.5. Caracterización geotécnica del terreno

2.5.1. Exploración del terreno

Se programó la exploración de terreno a través de cuatro (4) calicatas:

- 4 pozos (calicatas) de reconocimiento de 3.0 m de profundidad en el área de emplazamiento del proyecto, distribuidas en el terreno cubriendo su extensión y estructuras proyectadas, ejecutados a mano de los cuales se obtendrá una estratigrafía detallada y muestras para ensayos de laboratorio.

De cada pozo se extrajeron muestras representativas para los ensayes de laboratorio de granulometría, límites de Atterberg, densidad de partículas sólidas, peso unitario, densidad in situ, humedad natural y clasificación según USCS. Se realizó una inspección visual de los horizontes del suelo con el fin de entregar una estratigrafía completa, condición in situ, de compacidad y/o consistencia del subsuelo en el pozo. Se realizaron ensayos de permeabilidad Porchet en cada calicata, así como un ensayo de corte directo para una muestra de la calicata 3.

La estratigrafía comprenderá una descripción visual estratigráfica y profundidades entre las que se extienden los horizontes de suelo encontrados, relativos al Nivel de Terreno Natural (N.T.N), tamaño máximo de partículas, porcentaje estimado de bolones, distribución de tamaños, color, graduación, plasticidad, olor, forma de partículas, humedad, compacidad natural y eventual presencia de materia orgánica. Esta estratigrafía completa aún no se encuentra terminada.

En la Figura 8 se muestra una vista detallada del perímetro del terreno, donde se marca con un cuadrado rojo la ubicación de las calicatas de 3.0 m de profundidad. En la Figura 9 y Figura 10 se muestran fotos de las 4 calicatas excavadas.



Figura 8: Calicatas (cuadrados rojos) en perímetro del sitio en estudio.



Figura 9: Izq: Calicata 1. Der: Calicata 2.



Figura 10: Izq: Calicata 3. Der: Calicata 4.

2.5.2. Estratigrafía preliminar

De acuerdo con el perfil estratigráfico preliminar de los pozos de reconocimiento ejecutados, se puede entregar la siguiente estratigrafía del subsuelo a partir del nivel actual de terreno, Tabla 2 a Tabla 5, para las 4 calicatas en estudio.

Tabla 2: Estratigrafía Calicata 1.

Estrato I:	De 0.00 m a 1.6 m
	Relleno. Clasificación USCS: N/A.
Estrato II:	De 1.6m a 3.0 m
	Arcilla o limo: Suelo de color café claro, sin humedad aparente. No se observan indicios de materia orgánica. **Clasificación USCS probable: CL-ML, CL.**

Tabla 3: Estratigrafía Calicata 2.

Estrato I:	De 0.00 m a 1.0 m
	Relleno. Clasificación USCS: N/A.
Estrato II:	De 1.0m a 3.0 m
	Arcilla o limo: Suelo de color café claro, sin humedad aparente. No se observan indicios de materia orgánica. **Clasificación USCS probable: CL-ML, CL.**

Tabla 4: Estratigrafía Calicata 3

Estrato I:	De 0.00 m a 0.5 m
	Relleno. Clasificación USCS: N/A.
Estrato II:	De 0.5m a 3.0 m
	Arcilla o limo: Suelo de color café claro, sin humedad aparente. No se observan indicios de materia orgánica. **Clasificación USCS probable: CL-ML, CL.**

Tabla 5: Estratigrafía Calicata 4.

Estrato I:	De 0.00 m a 0.5 m
	Relleno. Clasificación USCS: N/A.
Estrato II:	De 0.5m a 3.0 m
	Arcilla, limo o arena limosa: Suelo de color café claro, sin humedad aparente. No se observan indicios de materia orgánica. **Clasificación USCS probable: CL-ML, CL, SM.**

De lo observado en las calicatas es un terreno con estratos regulares, sin variaciones importantes en las potencias de los estratos.

Napa freática: No se observó presencia de nivel freático hasta una profundidad de 3 m a la fecha de exploración. *La situación informada es válida para la fecha de exploración (diciembre 2025) y se desconoce la variación estacional de la napa freática.

Además de las 4 calicatas realizadas en el sitio, se describe a continuación, Tabla 6 a Tabla 7, la estratigrafía de 2 calicatas de 3.0 m de profundidad presentadas en la mecánica de suelos del proyecto "Centro de Acopio y Educación Ambiental", Ref. 2, ubicadas en un sitio a 8 km al oeste del sitio en estudio. En la Figura 11 se muestra la ubicación de estas calicatas en relación al sitio en estudio.

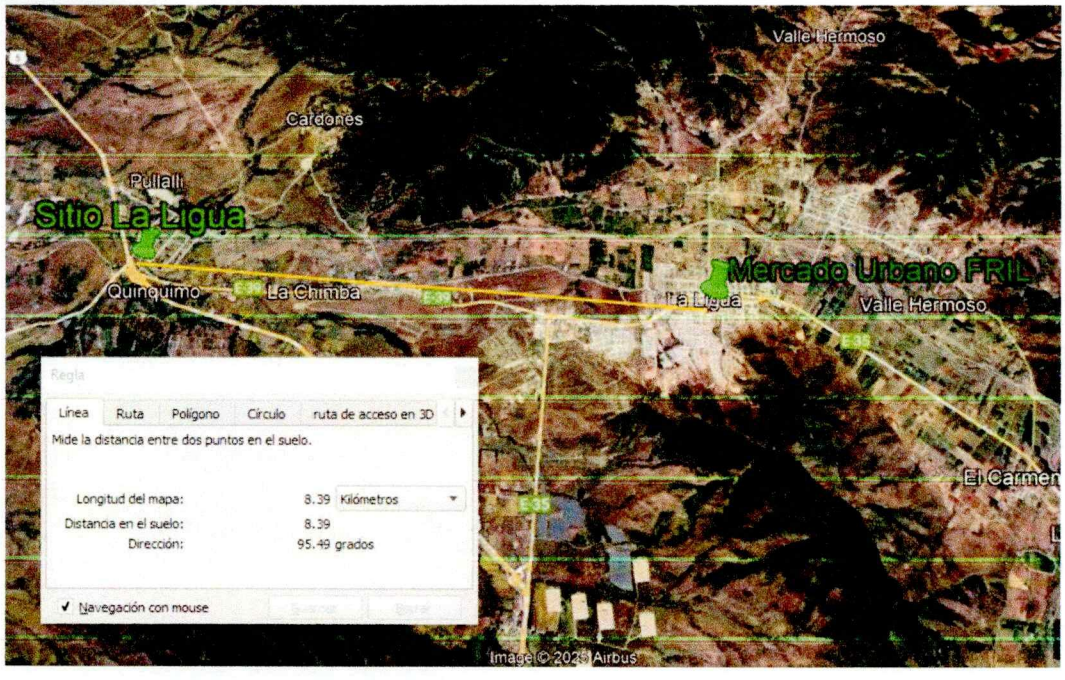


Figura 11: Sitio con mecánica de suelos disponible a 8 km del sitio en estudio.

En la Tabla 6 y Tabla 7 se muestra la estratigrafía de estas calicatas, las que determinan suelos y potencias de estratos similares a los determinados por las calicatas del sitio en estudio.

Tabla 6: Estratigrafía Calicata 1 (Ref. 2).

Estrato I: De 0.00 m a 0.5m

Relleno: Se logra apreciar basura con presencia de estabilizado de raíces.

Clasificación USCS: N/A.

Estrato II: De 0.5m a 3.0m

Arcilla: Suelo de color café oscuro de plasticidad media, estructura homogénea, dilatancia lenta, consistencia firme, se logra apreciar materia orgánica (raíces), sin indicios de cementación, suelo de origen natural. **Clasificación USCS: CL.**

Tabla 7: Estratigrafía Calicata 2 (Ref. 2).

Estrato I: De 0.00 m a 0.7m

Relleno: Se logra apreciar basura con presencia de raíces.

Clasificación USCS: N/A.

Estrato II: De 0.7m a 1.1m

Arcilla limosa: Suelo de color café oscuro de plasticidad media, estructura homogénea, dilatancia media, consistencia firme, se logra apreciar materia orgánica (raíces), sin indicios de cementación, suelo de origen natural. **Clasificación USCS: CL-ML**

Estrato III: De 1.1m a 3.0m

Limo: Suelo de color café oscuro de plasticidad baja, estructura homogénea, dilatancia rápida, consistencia firme, se logra apreciar materia orgánica (raíces), sin indicios de cementación, suelo de origen natural. **Clasificación USCS: ML.**

2.5.3. Topografía

El sector en estudio se encuentra en un sector con pendientes leves. El sitio específico del terreno en estudio presenta un talud en su lado poniente, no obstante se descarta el fenómeno de amplificación topográfica dado que las estructuras proyectadas se fundarán en la base del talud.

2.5.4. Propiedades del suelo de fundación

Las estructuras proyectadas, edificios de uso comercial de hasta 2 pisos sin subterráneos, se fundarán a una profundidad mínima de 1.5 m, en el estrato II de arcilla limosa o limo.

Para los efectos de verificación de las fundaciones se han considerado las siguientes propiedades índices del suelo a nivel de fundación, Tabla 8, basado preliminarmente en el conocimiento de suelos de similares propiedades geotécnicas, granulometría y origen geológico de la zona. Dado que aún no se cuenta con los ensayos de laboratorio que determinan fehacientemente estos valores, se entrega un rango posible de valores esperados.

Tabla 8: Parámetros preliminares del estrato de fundación.

ϕ	=	19° a 24°, ángulo de fricción interna
c	=	0 [kPa], cohesión
γ	=	1.2 a 1.3, [ton/m^3], peso unitario natural
υ	=	0.3 [-], coeficiente de Poisson
E_s	=	10 [MPa], módulo de Young para cargas estáticas
E_d	=	3E [MPa], módulo de Young para cargas dinámicas

Una vez se cuente con los resultados de ensayos de laboratorio se actualizarán estas propiedades tal de definir valores aptos para construcción de las tensiones admisibles, asentamientos y propiedades índice del suelo de fundación.

2.6. Clasificación sísmica del suelo

Dado que no se cuenta con los parámetros de velocidad de ondas de corte que exige la clasificación del Decreto Supremo N° 61 (Ref. 1), se propone la siguiente clasificación solo con fines informativos.

2.6.1. Zona sísmica del sitio

La zonificación sísmica es válida al depender solo de la ubicación del sitio:

Zona 3 (La Ligua, Región de Valparaíso)

A_0 (aceleración efectiva de terreno)=0.4g

2.6.2. Clasificación del suelo de fundación

Considerando los parámetros antes mostrados y el carácter conservador de los parámetros estimados para el sitio, y en ausencia de valores medidos en terreno se propone la clasificación más conservadora, correspondiente a suelo Tipo E. En la Tabla 9 se muestran los parámetros de los tipos de suelo normativos destacando en amarillo los valores correspondientes al suelo Tipo E.

Tabla 9: Valor de parámetros que dependen del tipo de suelo (Decreto Supremo N° 61).

Tipo de suelo	S	T0 (s)	T ' (s)	n	p
A	0.9	0.15	0.2	1.0	2.0
B	1.0	0.3	0.35	1.33	1.5
C	1.05	0.4	0.45	1.4	1.6
D	1.2	0.75	0.85	1.8	1.0
E	1.3	1.2	1.35	1.8	1.0

2.6.3. Capacidad de infiltración del terreno

En las 4 calicatas del terreno se realizó el ensayo de infiltración Porchet, en condiciones de suelo seco a una profundidad de 2.0 m. De momento no se cuenta con los resultados del ensayo, los que se presentarán en la rev. B de este informe.

Preliminarmente se estima, dados los suelos presentes en la zona, que la capacidad de infiltración será baja, del orden de $1x10^{-4}$ cm/s.

3. ANTECEDENTES DEL SUBSUELO PARA LA REVISIÓN DE FUNDACIONES

Desde el punto de vista de fundación, el subsuelo estimado, correspondiente al estrato II de arcilla limosa o limo (CL-ML) proporciona una capacidad de soporte adecuada frente a las cargas transmitidas por la estructura proyectada, de edificios comerciales de hasta 2 pisos sobre N.T.N sin subterráneos, un muro de contención de 4.0 a 5.0 m de altura, así como el apoyo de radieres

3.1. Tipo de fundación recomendado

Dadas las características de los suelos y el tipo de estructura a fundar, se recomienda el empleo de fundaciones superficiales tradicionales, compuestas por zapatas corridas o aisladas en el caso de columnas, apoyadas sobre el suelo natural descrito como el estrato II, arcilla limosa o limo (CL-ML) de color café claro, o sobre un mejoramiento de suelos, de acuerdo con lo indicado en 3.2.2.

Se recomienda un ancho de fundación mínimo de 1.0 m en el caso de zapata corrida y 1.2 m en el caso de zapata aislada, con un emplantillado mínimo de 5 cm.

3.2. Sello de fundación

Se proponen 2 alternativas de fundación de las estructuras. Fundaciones apoyadas directamente sobre el suelo natural del estrato II arcillo limoso (CL-ML) color café claro, o bien, apoyo sobre mejoramiento de suelo granular colocado en capas y controlado con densidades in situ por parte de un laboratorio especialista.

Las eventuales singularidades que se detecten como pozos de rellenos, pozos sépticos, canales de riego, rellenos artificiales, cimientos, cámaras de servicios, u otros, se resolverán en base a rellenos conformados por hormigón pobre y bolón desplazador en sector de fundaciones y por material gravo arenoso compactado y controlado con densidades in situ, en sector de radieres.

En toda el área bajo estructuras más un sobreancho de 0.5 m se realiza escarpes parejos y/o escalonados, hasta alcanzar el suelo natural del estrato EII. Una vez realizado el escarpe necesario para alcanzar suelo natural se procederá a revisar el sello obtenido para eliminar, restos de rellenos de mala calidad, suelos agrietados, troncos, raíces y suelos blandos. El sello obtenido con el escarpe debe ser perfilado con balde "sin diente" o motoniveladora. En ningún caso se presentará escarificado.

3.2.1. Fundaciones apoyadas directamente en suelo natural

En caso de fundaciones de zapata continua con sobrecimiento armado apoyadas directamente en el estrato II, de arcilla limosa o limo color café claro, su nivel de sello de excavación deberá encontrarse a una profundidad mínima de 1.5 m bajo el nivel de terreno natural existente, o 1.5 m bajo el sello de radier, y penetrar al menos 20 cm en dicho estrato. En caso de encontrar a la profundidad indicada condiciones desfavorables de fundación, o un estrato diferente a los determinados en la exploración realizada, se deberá profundizar hasta detectar suelo correspondiente a la unidad II y penetrar al menos 20 cm en dicho estrato. Se recomienda además diseñar zapatas de altura tradicional y la diferencia que se produzca entre el nivel de apoyo de la fundación y el sello de excavación se podrá rellenar con hormigón pobre G05 o superior.

Se debe extraer la totalidad del estrato I, correspondiente a rellenos de hasta 1.5 m de espesor de acuerdo con la estratigrafía de las calicatas realizadas en sitio, las sobreexcavaciones se podrán absorber con hormigón pobre.

Bajo radieres se debe incorporar una capa de ripio para controlar la humedad. Se recomienda que esta capa de ripio tenga un espesor de 10 cm con tamaño máximo 1", libre de material orgánico. La capa de ripio debe ser compactada mecánicamente, con no menos de 8 pasadas por punto de una placa vibradora de 70 Kg de peso mínimo.

3.2.2. Mejoramiento bajo fundaciones

Es posible utilizar un mejoramiento bajo fundaciones para mejorar la capacidad de soporte, utilizando el relleno estructural de material granular grueso apoyado en el estrato II, detallado en 3.4, con un espesor a definir por el Ingeniero Calculista con un valor mínimo recomendado de 1.0 m.

3.2.3. Requisitos para el sello de fundaciones

i. Para cada unidad estructural contenida en el proyecto, el sello de fundaciones **deberá ser homogéneo y estar constituido por un solo tipo de material (EII o mejoramiento granular)**, a fin de garantizar continuidad de rigideces y evitar asentamientos diferenciales que puedan traducirse en agrietamiento o fractura de estructuras.

ii. El nivel del sello de fundaciones, además de cumplir con los requisitos mínimos de penetración de 20 cm en dicho estrato, deberá cumplir con el enterramiento mínimo definido por el cálculo estructural y la arquitectura, el que no podrá ser inferior a 1.5 m, medido desde el nivel de terreno natural y/o desde la cota de radier.

iii. Suelos arcillosos saturados se reemplazarán por una capa de material granular compactado y controlado.

iv. Los pozos de reconocimiento realizados al interior de la propiedad de este terreno deberán vaciarse de todo el material suelto, ya que fueron rellenados por simple volteo, por lo que el suelo no quedó compacto. Luego deberán rellenarse con hormigón pobre hasta el nivel del sello de fundación o hasta bajo el nivel de apoyo del relleno bajo radieres o pavimentos.

v. El sello de fundaciones deberá ser plano y horizontal. Sin embargo, con la finalidad de minimizar los costos en excavaciones y hormigonado, se podrá escalonar el sello de fundaciones, mediante escalones de huella horizontal y contrahuella vertical, cuyas dimensiones sólo tendrán las restricciones de factibilidad constructiva. Obviamente, en toda la extensión de la huella, la

excavación deberá cumplir la condición de penetración mínima por debajo del estrato apto para fundar.

3.3. Radieres

Para el apoyo de radieres se debe retirar el relleno del horizonte EI. En la revisión del sello se eliminarán bolsones de relleno o suelo muy blando, los que deben ser extraídos. La diferencia de cota se puede corregir con un relleno granular tipo grava arenosa o arena con tamaño máximo 4" en 5%, contenido de finos malla ASTM N° 200 menor al 15%. Este material se coloca en capas de no más de 30 cm, las que se compactarán al 95% del P.M u 80% de la D.R.

Se recomienda colocar, inmediatamente bajo el radier, 10 cm de ripio para evitar la ascensión capilar de la humedad.

3.4. Especificaciones técnicas para mejoramientos

En caso de que se deseen aumentar las tensiones admisibles entregadas, se puede optar por realizar un mejoramiento que tenga como objetivo la disipación de las cargas provenientes de las fundaciones a una superficie de mayor dimensión en el terreno natural. En caso de requerir este aumento para fundaciones o radieres, se debe contactar a este Consultor para la determinación de las tensiones admisibles resultantes de dicho mejoramiento. El relleno estructural definido a continuación también puede ser usado bajo radieres.

Para la preparación del sello de excavación:

1. Se extraerá el horizonte U1 de rellenos, hasta una profundidad de escarpe de como mínimo 1.5 m, hasta alcanzar el estrato U2 color café claro.
2. En la revisión del sello de excavación se retirarán todo bolsón de relleno artificial o de suelo blando existente.
3. Se compactará el sello hasta obtener una densidad seca no inferior al 95% del P.M
4. Suelos arcillosos saturados se reemplazarán por una capa de material granular compactado y controlado.

En términos generales, el mejoramiento debiese al menos cumplir con:

1. Para rellenos bajo radieres es posible utilizar material de ríos o esteros, limitando el tamaño máximo a 4" en un 5% en peso y que el contenido de finos bajo la malla N° 200 sea inferior al 10%. En caso de utilizar pumicita el contenido de finos podrá llegar al 30%.

   En el caso de rellenos estructurales o rellenos bajo radieres, se puede emplear un material granular grueso, limpio, del tipo estabilizado, cuya curva granulométrica deberá estar dentro del rango mostrado en la Tabla 10:

Tabla 10: Curva granulométrica para material de relleno estructural.

Malla ASTM	% que pasa en peso
2"	100
1"	55-100
3/8	40-70
N° 4	35-65
N° 10	20-50
N° 40	10-30
N° 200	0-15

Nota: El material seleccionado debe ser respaldado con ensayos obtenidos dentro de los últimos 60 días, emitidos por un laboratorio certificado INN, considerando como mínimo ensayos de granulometría, límites de Atterberg, clasificación de suelos, densidad de partículas sólidas, humedad natural y Proctor modificado o densidad relativa, según corresponda.

2. Material sobre 5", si se detecta, debe eliminarse manualmente de la zona de trabajo.
3. Se debe asegurar que el material de 5" no se segregue formando nidos o cordones cuando sea extendido por la motoniveladora. Estos nidos o cordones deben ser eliminados manualmente, si procede. La formación de nidos dificulta la correcta medición de densidades de control de la compactación.
4. El material deberá ser esparcido en capas horizontales de espesor uniforme y según el contenido de fino se tendrá que proceder de la siguiente forma:

    a) En caso de que el material que pasa la malla N° 200 sea mayor al 7%, deberá humedecerse homogéneamente hasta lograr el valor óptimo del ensayo Proctor Modificado con una variación máxima de ±2% y luego compactarlo hasta alcanzar una densidad no inferior al 95% de la D.M.C.S. del ensayo de Proctor Modificado.
    b) En caso de que el material que pasa la malla N° 200 sea menor al 7%, el material tendrá que ser compactado hasta lograr una Densidad Relativa del 80%.

5. El espesor de las capas será establecido de forma tal que pueda lograrse la densidad especificada en todo su espesor con el equipo de compactación que se utilizará, en todo caso éste no podrá ser superior a 25 cm. El avance deberá ser parejo, de modo tal que no se produzcan desniveles superiores a 0.50 m. entre sectores contiguos. Cada capa se compactará individualmente.
6. La humedad de colocación de cada capa deberá ser homogénea en todo su espesor y lo más cercana posible a la humedad óptima de compactación entregada por el ensaye Proctor Modificado (PM) del material a usar. Cada capa se compactará mediante pasadas sucesivas de rodillo vibratorio o placa vibratoria, y deberá quedar sometida a un número de pasadas completas hasta alcanzar una densidad

seca equivalente al 95% de la densidad seca máxima obtenida de ensayos Proctor Modificado, con un mínimo de 8 pasadas por punto. Cada capa deberá ser aprobada por la ITO y no podrá ser recubierta antes que se dé por aceptada la densidad.

7. El ancho del mejoramiento debe ser al menos igual al ancho de la zapata, B, o largo, L, más el espesor del mejoramiento, h, y centrado respecto a la zapata de fundación.
8. Los taludes de los rellenos compactados no deberán superar los 30° de inclinación, con respecto a la horizontal ni tener alturas superiores a 2.5 m.
9. Se recomienda el uso de rodillo de 1.500 kg. de peso estático. No emplear rodillos de más peso, ya que producirán daños en construcciones e instalaciones vecinas.
10. Cada capa deberá ser aprobada por la ITO y no podrá ser recubierta antes que se dé por aceptada la densidad.
11. El ancho del mejoramiento debe ser al menos igual al ancho de la zapata, B, o largo, L, más el espesor del mejoramiento, h, y centrado respecto a la zapata de fundación.
12. El espesor del mejoramiento, h, debe ser de al menos 1.0 m.
13. El relleno estructural alcanzará el nivel de subrasante en el caso de pavimentos y radieres.
14. Los taludes de los rellenos compactados no deberán superar a 30° de inclinación, con respecto a la horizontal.
15. Inicialmente, los controles de densidad se realizarán por lo menos cada 50 m^2 por capa, comprobada la eficacia del operador y el procedimiento, podrán extenderse a 75 m^2 por capa y, finalmente hasta 100 m^2 por capa, en todos los casos con un mínimo de control de 2 densidades por capa.
16. Los controles de densidades se deberán efectuar por un laboratorio especializado de reconocida calidad, que cuente con la aprobación previa de la ITO.

3.5. Profundidad de fundación

Las fundaciones de las viviendas deben ser apoyadas sobre el estrato II de arcilla limosa o limo, a una profundidad mínima recomendada de 1.5 m desde el N.T.N o 1.5 m bajo la cota del sello de radier, respetando las tensiones admisibles máximas definidas en 3.6. En el caso de los pavimentos estos deben apoyarse en este

mismo estrato, estrato II, a una profundidad mínima de 1.5 m, cota máxima donde se alcanzó el estrato de relleno reportado en calicatas, y alcanzar la cota del sello de subrasante utilizando el relleno estructural especificado en la sección 3.4. El sello de fundación deberá definirse penetrando un mínimo de 20 cm en el estrato II.

3.6. Capacidad de soporte admisible

La capacidad de soporte admisible quedará definida por el menor valor de aquellos obtenidos por consideraciones de resistencia por rotura del suelo, mayorada por un factor de seguridad, y la presión que produce el asentamiento máximo admisible.

3.6.1. Capacidad de soporte admisible por rotura del suelo

La presión admisible de contacto, por concepto de rotura del suelo, al nivel del sello de fundación, se determinó según Meyerhof a través de la expresión siguiente:

$$q_{adm} = \frac{(c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q + 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma)}{FS}$$

Donde:

q_{adm}: Carga admisible suelo de fundación (kgf/cm^2)

FS: Factor de seguridad, igual a 3 para cargas estáticas y 2 para cargas dinámicas

γ: Peso unitario del suelo de fundación

B: ancho de la zapata 0.6m<B<2.5m

Df: profundidad de fundación (m)

C: cohesión del suelo (kgf/cm^2)

N_γ, N_q, N_c: Factores de capacidad de carga

s_c, s_q, s_γ: Factores de forma

d_c, d_q, d_γ: Factores de profundidad

Considerando los valores de propiedades del suelo presentados en 2.5.4, la expresión anterior queda como:

$$q_{adm_{min}} = \frac{0.7 \cdot D_f \cdot \left(1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}\right) \cdot \left(1 + 0.14 \cdot \frac{D_f}{B}\right) + 0.144 \cdot B \cdot \left(1 + 0.2 \cdot \frac{B}{L}\right) \cdot \left(1 + 0.14 \cdot \frac{D_f}{B}\right)}{FS}$$

$$q_{adm_{max}} = \frac{1.25 \cdot D_f \cdot \left(1 + 0.24 \cdot \frac{B}{L}\right) \cdot \left(1 + 0.15 \cdot \frac{D_f}{B}\right) + 0.37 \cdot B \cdot \left(1 + 0.24 \cdot \frac{B}{L}\right) \cdot \left(1 + 0.15 \cdot \frac{D_f}{B}\right)}{FS}$$

Donde:

q_{adm}: Carga admisible suello de fundación (kgf/cm^2), valor mínimo o máximo según rango estimado de propiedades índice del suelo.

Df: profundidad de la fundación (profundidad de enterramiento) en (m), mayor o igual a 1.5 m

B: ancho de la fundación (lado menor) en (m), mayor o igual a 0.6 m

L: largo de la fundación en (lado mayor, B>L) en (m)

FS: Factor de seguridad, igual a 3.0 para cargas estáticas y 2.0 para cardas dinámicas (sísmicas).

El valor de la capacidad de soporte anterior es válido para cargas estáticas permanentes. Para los efectos de combinación de cargas estática permanente más eventual (sísmica) el valor de q_{adm} se amplificará en un 33%.

3.6.2. Capacidad de soporte admisible por asentamientos

El asentamiento esperado ρ [cm] para una fundación rígida se determinó conforme a la expresión elástica:

$$\rho = \frac{q_t \cdot (1 - v^2) \cdot B \cdot I_p \cdot F_3 \cdot 100}{E_s}$$

Donde:

q_t: Tensión de trabajo en (ton/m2)

B: lado menor de la fundación en (m)

Es: módulo de Young elástico (tonf/m^2)

I_p: coeficiente de forma según Tabla 11

F_3: factor de influencia por enterramiento, igual a 0.78

v: Coeficiente de Poisson (-)

Tabla 11: Factores de forma a usar en cálculo de asentamientos.

L/B	I_p
1.0	0.82
1.5	1.06
2.0	1.20
5.0	1.70
>10	2.1

Se recomienda que el asentamiento máximo total admisible de cada fundación no sea superior a 1/400 de la distancia entre ejes paralelos transversales de muros y/o pilares, o bien que la deformada del sistema de fundación no presente distorsiones angulares superiores a 1/600 si se supone que el asentamiento máximo diferencial es igual a 2/3 del máximo total. En todo caso, ninguna fundación de cimiento corrido o zapata aislada deberá tener un asentamiento total calculado superior a 5 mm (valor más conservador) u 11 mm (valor con parámetros del suelo en rango superior).

Compatibilizando los criterios de resistencia al corte, asentamiento máximo admisible y el criterio de este Consultor, se entregan los siguientes valores de capacidad de soporte admisibles PRELIMINARES a una profundidad de 1.5 m a partir del nivel actual del terreno o 1.5 m bajo la cota del sello de radier para fundaciones apoyadas en el **estrato II de arcilla limosa a limo de baja plasticidad color café claro**.

q admisible estático= 0.56 a 1.1 (kgf/cm^2)

q admisible sísmico= 0.75 a 1.45 (kgf/cm^2)

Se debe verificar que la resultante de las cargas normales debe quedar ubicada dentro del tercio central de la fundación. Para el caso de cargas normales más eventuales (sismo), se admite como máximo un 20% del área traccionada a nivel de sello de fundación. En cualquier caso, ninguna fundación podrá tener una presión de contacto, para el caso estático, mayor que **0.56 a 1.1 [kg/cm^2]** y mayor **a 0.75 a 1.45 [kg/cm^2]** para el caso dinámico. Se deberá verificar el asentamiento máximo admisible. El sistema de fundación deberá ser verificado con respecto a los asentamientos diferenciales y totales utilizando los coeficientes de balasto que se entregan a continuación:

3.6.3. Coeficiente de balasto vertical

Se entregan los siguientes valores de coeficiente de balasto básico para placa de ancho B= 30 cm, en suelo arcillo limoso o limo a 1.5 m de profundidad:

$k_{30x30,estatico}$ = 4.5 (kgf/cm^3)

$k_{30x30,sísmico}$ = 10.0 (kgf/cm^3)

Para introducir el efecto del tamaño y geometría en el valor del coeficiente de balasto k_{30x30} se usarán las siguientes expresiones de Terzaghi:

$$k_{v\,(B=L)} = k_{30x30} \cdot \frac{30}{B}$$

$$k_{v\,(B<L)} = \frac{2}{3} k_{v(B=L)} \cdot (1 + \frac{B}{2L})$$

Donde,

k_{30x30}: Coeficiente de balasto asociado a una placa cuadrada de 30 cm, en kgf/cm^3

k_v: Coeficiente de balasto asociado a fundación de ancho B, en kgf/cm^3

B: Ancho de la fundación, en cm

L: Largo de la fundación, en cm

3.6.4. Giros de fundación

Para el cálculo de giros de fundación se debe considerar:

$$k_\Theta = k_v \cdot I_{R-R}$$

Donde,

k_Θ: Coeficiente de balasto al giro, en [kgf*cm/rad]

k_v: Coeficiente de balasto vertical estático, en [kgf/cm^3]

I_{R-R}: Momento de inercia con respecto al eje de rotación del sistema de fundación en [cm^4]

Para el caso sísmico se debe amplificar la constante de balasto vertical k_v por 2.

4. EMPUJES

Los coeficientes de empuje en reposo, caso activo y caso pasivo para el muro de contención se determinarán una vez se cuente con los ensayos de laboratorio sobre muestras extraídas de las calicatas, tal de tener una incertidumbre menor en el valor del ángulo de fricción interna del material a contener.

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES

5.1. Fundaciones y radieres

1. Escarpe mínimo: Previo al inicio de las excavaciones, deberá realizarse un escarpe mínimo que consiste en el retiro del material inadecuado, rellenos, material suelto o contaminado que se encuentre en la superficie. Dicho lo anterior y dada la presencia de estructuras existentes a retirar y de relleno profundos, se deberá realizar un escarpe de al menos 1.5 m. El material escarpado debe ser transportado de inmediato a botadero autorizado, con la finalidad de evitar que contaminen las excavaciones o su uso en rellenos dentro de la obra. Las calicatas realizadas, son indicativas de los puntos explorados, por lo que se desconoce la variación de profundidades del relleno (EI) en todo el terreno.
2. Método de excavación: Las faenas de excavación para las fundaciones se podrán realizar en forma mecanizada, pero los últimos 20 cm. se deberán efectuar en forma manual, a objeto de minimizar la sobre excavación y evitar la alteración excesiva de la estructura natural del suelo. Estas se deben efectuar de acuerdo con las dimensiones y emplazamiento indicados en los planos de proyecto. Antes de su inicio se debe contar con la aprobación de los Arquitectos y Especialista Estructural.
3. Tratamiento del sello: El perfilado de las excavaciones para las fundaciones deberá incluir la horizontalidad del sello y la verticalidad de las paredes. Se deberá evitar la concavidad en la unión del sello con las paredes de la fundación. Además, antes de proceder al emplantillado o colocación de rellenos de penetración, según corresponda, se deberá limpiar el sello extrayendo el material suelto producto de las excavaciones y todo material extraño que se encuentre ubicado en el sello de fundación.
4. Recepción de sellos: Luego de cumplidas las etapas anteriores, se debe solicitar al Mecánico de Suelos la recepción de los sellos de fundación.

5. El Contratista deberá velar por la conservación de los puntos de referencia (P.R.), debiendo proceder a su reemplazo y nivelación cuando resulten dañados o desplazados, informando a la ITO al respecto.
6. Taludes de Excavación: Las excavaciones provisorias, hasta el nivel de sello de fundación podrán realizarse en forma vertical, siempre y cuando no superen los 1.20m de profundidad. En caso de excavaciones más profundas, las excavaciones hasta el nivel del sello de fundación deberán tener un talud 2:1 (V:H), dejando al menos 1.00 m de berma libre entre el borde del talud y los medianeros.
7. Para la ejecución de zanjas temporales con taludes verticales en suelo natural, por concepto de fundaciones, alcantarillado o aguas lluvias, se deberá considerar entibaciones si la profundidad de excavación es mayor a 1.5 m, la que debe regirse por NCh349Of.1999. Una opción es el uso de tablones verticales espaciados horizontalmente cada 2.50 m como máximo, apuntalados lateralmente mediante cuartones entre los cuales se disponen tablones de madera horizontales para soportar el empuje del suelo. Estos apuntalamientos deben estar dispuestos a partir de 1.0 m del borde superior, y cada 1.50 m de avance en profundidad.
8. Para las excavaciones con taludes verticales, donde sea necesario ejecutar la entibación, el profesional de la obra y/o ITO deberá controlar la correcta posición de las cuñas, verticalidad de los tablones, la deformación de los apuntalamientos.
9. Las recomendaciones de los puntos 7 y 8 no aplican en el caso de soporte de fundaciones de estructuras adyacentes a la obra, en cuyo caso debe diseñarse un proyecto de socalzado adecuado.
10. Si durante la faena de excavación se observa la presencia de afloramiento de agua proveniente de napas colgadas o de fuentes artificiales, se deberá suspender dicha faena hasta generar el agotamiento de la napa mediante un proyecto de agotamiento.

11. En los bordes superiores de los taludes proyectados se **PROHIBE**:

    -Colocar materiales, vías de circulación y todo tipo de sobrecarga en la berma libre (mínimo 1.0 m o según especificaciones del proyecto).

    -Colocar baños, duchas y todo tipo de instalación que pueda provocar filtraciones de humedad.

12. La construcción de rellenos no deberá afectar la seguridad de las estructuras vecinas o públicas. En especial se deberá tener cuidado con los medianeros, que de ser necesarios, deberán ser reforzados o removidos previa autorización de los vecinos.
13. En caso de que los taludes excavados considerando la pendiente máxima aceptada en este informe se acerquen a construcciones existentes se debe verificar que entre la arista de la fundación más cercana al borde de él o los taludes, y el pie de estos, se pueda trazar una diagonal cuyo ángulo más desfavorable no puede ser superior a 30° respecto de la horizontal. En caso de dudas de aplicación de esta norma, o en caso de que no exista el espacio suficiente para la generación de este ángulo, avisar inmediatamente a este Consultor para proceder al desarrollo del proyecto de entibación y/o socalzado correspondiente.
14. Las fundaciones cercanas a distinto nivel de apoyo deberán mantener la relación 1:1 (V:H), es decir con un ángulo de 45° con respecto a la horizontal, indicada en la Figura 12. Esta misma relación se debe cumplir con respecto a excavaciones de zanjas de drenaje. La zona dentro del ángulo de 45° se debe considerar inexcavable. En caso de que las consideraciones geométricas antes descritas no se cumplan debe hacerse un relleno de hormigón pobre hasta alcanzar este ángulo, o utilizar micropilotes para transmitir las cargas a un nivel inferior. Debido a esto mismo, debe cumplirse una separación mínima entre las fundaciones ya sean de la estructura o del muro de contención y los drenes proyectados, siendo esta separación determinada por la zona inexcavable presentada en la Figura 12.

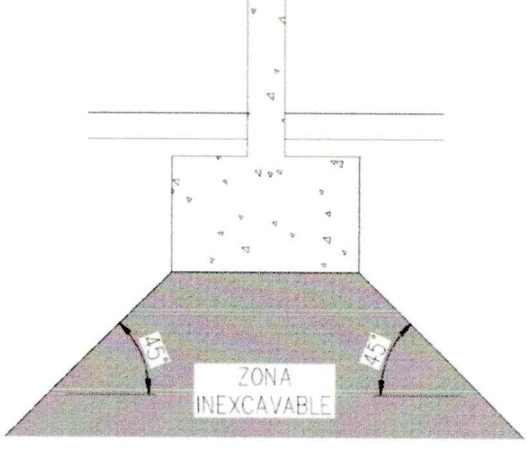


Figura 12: Zona inexcavable alrededor de cada fundación.

15. Por ningún motivo se ocupará el agua para facilitar el proceso de excavación. Se tomarán las precauciones para evitar que aguas superficiales, tales como las provenientes de grifos, aguas lluvias, etc., escurran hacia las excavaciones.
16. Se debe diseñar un sistema de evacuación de aguas considerando la capacidad limitada de infiltración del suelo de fundación, y especialmente en el trasdós y fundación de los muros de contención, los que no deben acumular agua lo que aumentaría considerablemente las presiones resultantes sobre dichos muros.
17. Cambios en el Proyecto pueden invalidar total o parcialmente este informe, por lo tanto, de existir modificaciones, previas o posteriores al inicio de las obras, se debe remitir a esta oficina la versión de arquitectura a construir, y solicitar la revalidación del informe de mecánica de suelos mediante documento suscrito por su autor.

6. CONCLUSIONES

En el presente informe se presentaron los criterios generales y parámetros de la exploración de terreno para el sitio ubicado en Av. Luis Cruz Martínez con Av. Polanco, en La Ligua, Región de Valparaíso.

Se describieron los parámetros del suelo de fundación preliminares correspondiente a arcilla limosa o limo y de los procedimientos de dimensionamiento y diseño de las fundaciones, acorde con la normativa nacional vigente de construcción y diseño. Se entregaron las capacidades admisibles de carga, de 0.56 a 1.1 kgf/cm^2 y 0.75 a 1.45 kgf/cm^2, para el caso estático y sísmico, respectivamente y asentamientos máximos de 5 a 11 mm, para un sello de fundación a una profundidad mínima de 1.5 m medidos desde el sello de radier. El escarpe a retirar será de una profundidad mínima de 1.0 m en el caso de pavimentos y de 1.5 m en el caso de fundaciones. Se entregaron recomendaciones preliminares para la capacidad de infiltración del terreno, rellenos estructurales y empujes de suelo, así como especificaciones técnicas generales para el desarrollo de la obra.

Finalmente, en términos del diseño de fundaciones, el diseño estructural de las fundaciones debe considerar al menos un 80% de la superficie de contacto entre el suelo de fundación y la misma frente a solicitaciones estáticas y dinámicas.

Iván López
Ingeniero Civil

7. REFERENCIAS

1. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2011), *"Decreto Supremo N°61"*, Chile.
2. Informe de Mecánica de Suelos Centro de Acopio y Educación Ambiental Municipal, Comuna de La Ligua, Iván López Jara, 102-IMS-001-Rev. 0, 02-Abril-2025.
3. "Plan Regulador Comunal de La Ligua", Ministerio de Vivienda y Urbanismo, Abril 1980.
4. Mapa Geológico de Chile: Versión Digital. Publicación Geológica Digital, No. 4, 2003, Base Geológica escala 1:1,000,000. SERNAGEOMIN.
5. Cáceres, C. (2020). "Desarrollo de Mapas de PGD Inducido por Licuación en la Región de Valparaíso", Memoria para Optar al Título de Ingeniero Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
6. Murillo, J. (2024). "Registro Geológico de Tsunamis del Holoceno Superior en la Desembocadura de los Ríos La Ligua y Petorca, Chile Central (32°24' 50''S)", Tesis para Optar al Grado de Magíster en Ciencias, Mención Geología, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
7. Serrano, B. (2024). "Control Estructural, Alteración y Mineralización del Yacimiento Vetiforme Aurífero La Culebrilla, La Ligua, V Región", Memoria para Optar al Título de Geólogo, Departamento de Geología, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.
8. Norambuena Ortúzar, Astroza I., & Pardo Pedemonte. (2006). *Estudio de los efectos del terremoto de La Ligua del 28 de Marzo de 1965*. Santiago de Chile.
9. Estudio de Impacto Ambiental Relleno Sanitario Pullalli, Informe Geología, Hidrología e Hidrogeología, 1998.