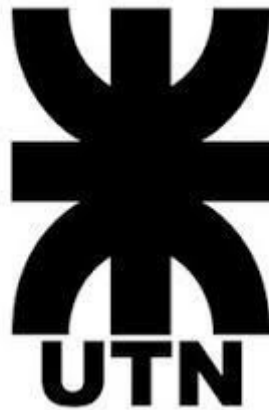


UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

INGENIERÍA CIVIL



**ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO
CON PUESTA EN VALOR DE PLAZA
SAN MARTÍN**

Tesis para obtención de Título de Ingeniería Civil

Alumno: Juan Ignacio Gatti

LA PLATA, JUNIO DE 2024

ESTACIONAMIENTO SUBTERRÁNEO CON PUESTA EN VALOR DE PLAZA SAN MARTÍN

1. Introducción

1.1 Marco de la tesis

El desarrollo de la tesis se enfoca en la selección y definición de las etapas constructivas de un estacionamiento subterráneo junto con la revalorización de la Plaza San Martín, y en el análisis del diseño de los elementos de contención y cimentación del estacionamiento, considerando las condiciones de contorno de la estructura.

Esto ha requerido el dimensionamiento de las capacidades resistentes de las estructuras de contención y cimentación, basado en los resultados obtenidos del estudio geotécnico. Mediante la selección de las hipótesis y métodos de cálculo apropiados para cada fase del análisis, se han realizado las verificaciones y validaciones conforme a las normativas vigentes.

La excavación se ejecutará utilizando tablestacas de acero del tipo HZ-M, facilitando la excavación simultánea de todo el perímetro del proyecto, considerando que el nivel freático se encuentra a 6 metros de profundidad. La obra culminará con la construcción de una losa de cimentación, columnas y losa superior.

El proyecto se aplica a la Plaza San Martín de la Ciudad de La Plata. Este proyecto es estratégicamente relevante debido a su ubicación en un área neurálgica, cercana a la Casa de Gobierno, la Legislatura, el Centro Cultural Pasaje Dardo Rocha, el eje central de circulación de autobuses que convergen de toda la ciudad, y la ubicación de centros financieros como bancos y varios ministerios.

Este enfoque integral asegura que el proyecto no solo cumpla con los requisitos técnicos y normativos, sino que también aporte valor añadido a la urbanización y funcionalidad del entorno.

1.2 Objetivo de la tesis

El objetivo principal de la tesis es abordar las etapas constructivas de un proyecto que contempla la construcción de un estacionamiento subterráneo y la puesta en valor de la Plaza San Martín, ubicada en una zona estratégica de la Ciudad de La Plata. Este proyecto surge como una solución ante la problemática actual de la escasez de estacionamiento y la congestión vehicular que prevalece en la zona.

2 Estado del arte

La Plaza San Martín en la ciudad de La Plata, Argentina, representa un ejemplo destacado de espacio público urbano con una rica historia, diseño arquitectónico distintivo y funciones multifacéticas. La plaza se distingue por su distribución simétrica, áreas arboladas, monumentos emblemáticos y actividades comunitarias. Como centro de encuentro y recreación para residentes y visitantes, la Plaza San Martín desempeña un papel vital en la vida social y cultural de la ciudad. Su conservación y mantenimiento adecuados son fundamentales para preservar su valor patrimonial y su integración urbana. En resumen, la Plaza San Martín es un espacio emblemático que enriquece el tejido urbano de La Plata y promueve la identidad y el bienestar de sus habitantes.

2.1 Historia

En 1882, La Plata vio su nacimiento, divididas por las avenidas 51 y 53. En 1887, se inauguró en uno de sus lados la Estación 19 de Noviembre del Ferrocarril del Sud. La arboleda y áreas verdes fueron añadidas posteriormente. A pesar de los intentos de Dardo Rocha por nombrarla como "Plaza Bernardino Rivadavia", el sector adyacente a la antigua Estación, conocido hoy como Pasaje Dardo Rocha, era denominado "Plazoleta del Ferrocarril", mientras que la franja central era conocida como "Plaza de la Legislatura".

En 1901, mediante una ley provincial, se erigió en el lugar el Monumento a los Hombres de la Primera Junta. Este monumento, compuesto por nueve esculturas de mármol adquiridas en Florencia y esculpidas por el maestro escultor Pietro Costa, junto con un proyecto que incluía un Torreón central con la esfinge de La Libertad y una representación alegórica de la Patria, obra del escultor A. Giovanola sobre un Obelisco de orden Jónico, llevó al cambio de nombre a Plaza de la Primera Junta.

Sin embargo, este monumento fue objeto de críticas por su apariencia, siendo comparado con un cementerio en lugar de una plaza. Por consiguiente, el 21 de abril de 1913, se autorizó al Poder Ejecutivo a dismantelar el conjunto estatuario y distribuir cada escultura en las plazas de la ciudad para evitar su pérdida.

En 1932, se erigió un obelisco en la esquina de 6 y 50 de la plaza, como un homenaje a los Ingenieros que participaron en el trazado y construcción de la ciudad.

2.2 Marco actual

Un fenómeno cada vez mas recurrente en nuestra región es el crecimiento constante en la adquisición de vehículos automotores: "Durante los últimos años, la mayoría de los países de América Latina han experimentado un aumento gradual en su parque automotor, impulsado en gran medida por el incremento de los ingresos per cápita, lo que ha permitido a la población acceder a vehículos particulares". Paralelamente, la variedad de soluciones para satisfacer la demanda de estacionamientos ha ido evolucionando progresivamente. Históricamente, y aún en algunas ciudades latinoamericanas

en la actualidad, la respuesta habitual de las autoridades ante esta problemática ha sido la construcción de infraestructuras destinadas a albergar vehículos. Sin embargo, la experiencia internacional a lo largo de los años demuestra que si no se implementa una adecuada política de gestión de estacionamientos en el lugar correspondiente, esta infraestructura podría no cumplir su función correctamente e incluso generar un aumento del caos vehicular.

El estigma asociado al transporte público a lo largo de los años se debe principalmente a problemas de seguridad, falta de comodidad e informalidad en el servicio. Por consiguiente, muchas personas con los recursos económicos suficientes para utilizar un vehículo privado optan por esta opción, relegando el transporte público a un segundo plano, a pesar de que es más eficiente para transportar a un mayor número de personas por viaje y mas amigable con el medio ambiente y el entorno social.

La implementación de un sistema de transporte público competitivo es crucial para el desarrollo de una ciudad sostenible. Un sistema de transporte público deficiente fomenta el uso del vehículo privado y genera presión para la construcción de mas infraestructura, como carriles adicionales y estacionamientos, lo que dificulta aún mas la consecución de un modelo de movilidad sostenible. Por lo tanto, es fundamental que las políticas de gestión y planificación sean desarrolladas por autoridades competentes con un profundo conocimiento en movilidad sostenible. Sin embargo, es común que algunas iniciativas sean llevadas a cabo por técnicos sin experiencia en la materia, lo que puede resultar en medida poco efectiva debido a una elección incorrecta de herramientas o una ejecución deficiente, generando insatisfacción entre los usuarios, quienes son los mas afectados.

La experiencia internacional indica que la mejor herramienta para gestionar la demanda de automóviles es implementar medidas de regulación que desincentiven su uso en viajes cortos y en áreas donde existen alternativas de movilidad. En distancias cortas, la movilidad sostenible propone utilizar medios de transporte público o alternativos, como caminar o andar en bicicleta.

2.3 Problemática actual

Basándonos en análisis recientes y en una comparativa del parque automotor en La Ciudad de La Plata, que actualmente cuenta con una población de 772.000 habitantes y un parque automotor de 309.820 vehículos, se evidencia un problema que ha generado gradualmente prominencia ante las autoridades municipales. Esto se debe a que nuestra ciudad ha experimentado un incremento significativo tanto en la densidad poblacional como en el parque automotor en comparación con años anteriores. De hecho, se estima que actualmente hay un vehículo por cada 2.49 personas.

Esta situación genera malestar entre los residentes del área, quienes sufren las consecuencias negativas de la alta densidad de automóviles que circulan por la zona en busca de estacionamiento. Además, esto incita a los visitantes a estacionarse en lugares privados o restringidos para evitar pagar tarifas

considerables excesivas en los estacionamientos públicos disponibles en la zona.

2.4 Infraestructura vehicular

Frente al desafío planteado, el propósito de esta tesis es abordar la construcción de un estacionamiento subterráneo como una medida para paliar la escasez de espacios para estacionar y abordar la congestión vehicular en la ciudad. Es esencial considerar que, aunque se busca minimizar la construcción de infraestructura dirigida exclusivamente al uso de vehículos particulares, dichas obras pueden contribuir a mejorar ciertas características del entorno urbano. Por ende, todo nuevo desarrollo urbano debe cumplir con estándares urbanísticos que promuevan la amabilidad y la atracción del entorno, priorizando el tránsito peatonal, un aspecto muchas veces obviado en la planificación de nuevas edificaciones.

Cuando una infraestructura está bien concebida, puede impactar positivamente en la calidad de vida de los habitantes, especialmente si se diseñan considerando la movilidad peatonal. Es fundamental que la infraestructura sea inclusiva, beneficiando tanto al transporte público como al privado, y que privilegie el movimiento de personas sobre el de vehículos. Si un nuevo proyecto cumple con estos criterios, puede ser un aporte valioso al desarrollo de una ciudad en crecimiento como la nuestra.

Por otro lado, si la infraestructura se enfoca exclusivamente en el automóvil sin considerar estos aspectos, no se resolverá el problema de la congestión vehicular e incluso podría agravarse. Una ciudad planificada en base a un sistema de movilidad sostenible promueve el uso de transporte público de calidad, prioriza el uso de bicicletas y otros medios de transporte sostenibles, y fomenta la creación de espacios públicos para peatones.

En La Plata, es crucial priorizar la movilidad de las personas sobre la de los vehículos, lo que implica evitar la construcción de infraestructuras sin una planificación adecuada que solo ofrecen soluciones temporales a un problema crónico como el tráfico vehicular.

2.5 Hipótesis fundamentales

En este apartado, se destacan tres hipótesis fundamentales:

- La habilitación de un estacionamiento subterráneo mitigará significativamente la congestión vehicular en la Ciudad de La Plata, mediante una infraestructura diseñada específicamente para la optimización del flujo vehicular.
- El sistema de gestión del estacionamiento subterráneo se alinea con una política integral de administración, asegurando un manejo eficiente a través de tecnologías avanzadas de control de acceso, monitoreo en tiempo real y sistemas de cobro automatizados.

- La puesta en valor de la plaza contribuirá a crear un entorno urbanístico amigable y accesible para los peatones, integrando elementos de diseño paisajístico y mobiliario urbano que resalten los valores estéticos y naturales del espacio público.

3. Beneficios

3.1 Accesibilidad

La accesibilidad es la capacidad de las personas, especialmente aquellas con movilidad reducida, de disfrutar de condiciones adecuadas de seguridad y autonomía para el desarrollo de sus actividades, sin restricciones derivadas del entorno físico urbano, arquitectónico o del transporte. Este concepto engloba el derecho de todas las personas a entrar, circular y permanecer en un espacio con comodidad, seguridad y autonomía, sin barreras arquitectónicas ni urbanísticas que limiten su movilidad.

En una sociedad inclusiva, los usuarios más vulnerables son las personas con movilidad reducida, incluyendo usuarios de sillas de ruedas, personas mayores, personas con discapacidades y niños pequeños. Al diseñar infraestructuras urbanas, es fundamental considerar sus necesidades, proporcionando las mismas oportunidades para trabajar, estudiar y desplazarse, con la capacidad de llevar una vida independiente.

Para lograrlo, se deben implementar soluciones técnicas como rampas con pendiente adecuada, ascensores accesibles, señalización táctil y visual, y sistemas de transporte adaptados. Además, es crucial garantizar que los espacios públicos y privados cumplan con normativas de accesibilidad universal, promoviendo así la inclusión y la equidad en el entorno urbano.

3.2 Segregación

La segregación urbana se refiere al distanciamiento y fragmentación causados por grandes infraestructuras, como puentes, vías vehiculares o estacionamientos, que atraviesan o se implementan en una zona urbana. Como consecuencia de esta segregación, la ciudad se divide tanto urbanística como socialmente, resultando en una zonificación que aísla a los diferentes grupos sociales, dificultando su conexión y cohesión. Esto provoca que la ciudad se disgregue y pierda su compacidad.

Cuando se implementan infraestructuras sin considerar políticas de movilidad sostenible que faciliten el libre desplazamiento, se limita la capacidad de los ciudadanos para transitar libremente y realizar sus actividades cotidianas. Por lo tanto, una ciudad en desarrollo debe proyectarse hacia la creación de una sociedad integrada, en la cual todas las personas puedan acceder a todas las partes de la ciudad de manera eficiente.

El objetivo debe ser reducir las distancias de viaje mediante un servicio de transporte público eficiente y la implementación de medios de transporte alternativos, como ciclovías, redes peatonales seguras y sistemas de movilidad compartida. Asimismo, es esencial promover un diseño urbano inclusivo y accesible, que fomente la interacción y cohesión social, minimizando las barreras físicas y mejorando la conectividad entre los distintos sectores de la ciudad.

3.3 Tráfico vehicular

El tráfico vehicular se define como la condición resultante de la saturación de vehículos en una vía, calle o autopista, lo cual conlleva aumentos en los tiempos de viaje y un consumo excesivo de combustible. Además de estos impactos, se generan diversas externalidades negativas asociadas al uso intensivo del automóvil, tales como la contaminación acústica, visual y ambiental.

El fenómeno del tráfico afecta a todas las ciudades del mundo, y muchas de ellas han abordado este problema mediante la ampliación de vías de circulación. Sin embargo, esta solución no siempre es adecuada para mitigar el congestionamiento vehicular de manera efectiva. A menudo, estas medidas se consideran contraproducentes, ya que aunque puedan parecer una solución intuitiva para los embotellamientos, en realidad no resuelven el problema de manera sostenible.

Históricamente, la expansión de vías no ha demostrado ser una solución eficaz para reducir la congestión vehicular. En lugar de ellos, se requieren enfoques mas integrales que incluyan la implementación, la promoción de modos de transporte público eficientes, el fomento del uso compartido de vehículos, la promoción de modos de transporte alternativos como la bicicleta y el peatón, así como políticas de gestión del tráfico que optimicen la fluidez del mismo y reduzcan la dependencia del automóvil privado.

3.4 Inclusión

La puesta en valor de la plaza, en consideración a las características no abordadas históricamente en relación con las necesidades actuales de la sociedad, se someterá a una intervención que incluirá la implementación de las siguientes instalaciones:

- Un área de juegos recreativos.
- Zonas de juegos adaptadas para personas con trastorno del espectro autista.
- Espacio de guarda temporal para mascotas.
- Mejoras en la accesibilidad para permitir la movilidad y permanencia de personas con discapacidad motriz.
- La instalación de una infraestructura de bicisenda que recorra el perímetro de la plaza.

Este proyecto tiene como objetivo principal la optimización del espacio público, garantizando la inclusión social, la recreación segura y el acceso equitativo a todas las personas, independientemente de sus capacidades y necesidades individuales.

4. Estudio geotécnico

Se realizó un estudio geotécnico situado sobre la Plaza San Martín. Los trabajos realizados constaron de tres (3) sondeos de diez metros (10,00 m) de profundidad a partir de la superficie actual, se reconoció el perfil estratigráfico del terreno destinado a la construcción de la obra de referencia, sito en el cuadrante de calle 6 a calle 7 y de calle 50 a calle 54, La Plata, Provincia de Buenos Aires.

Dicho objetivo fue cumplido por medio de las siguientes determinaciones:

4.1 Ensayos realizados en el terreno

4.1.1. Ensayo Normal de Penetración: valoración cuantitativa de la compacidad relativa de los diferentes estratos atravesados, mediante la determinación del número de golpes N necesario para una hincada de 30 cm del sacamuestras normalizado de Terzaghi, en un suelo no alterado por el avance de la perforación, con una energía de impacto de 49 kgm. (ASTM D 1586).

4.1.2 Recuperación de muestras representativas de suelo: su identificación y acondicionamiento en recipientes herméticos, para conservar inalterables sus condiciones naturales de estructura y humedad

4.1.3 Delimitación de la secuencia y espesor de los diferentes estratos por reconocimiento tacto visual de los suelos extraídos.

4.1.4 Determinación de la posición del nivel freático.

4.2 Ensayos realizados en el laboratorio

4.2.1 Contenido natural de humedad, se determinó mediante el secado de las muestras en estufa a 110°C, siguiendo la norma ASTM D 2216.

4.2.2 Se realizaron pruebas para determinar los límites líquido y plástico, así como el índice de plasticidad del suelo, conforme a las normas ASTM D 423, D 424, D 2217.

4.2.3 Se realizó un análisis granulométrico para determinar la distribución de tamaños de partículas del suelo, utilizando el tamiz standard N° 200 (ASTM D 1140)

4.2.4 Clasificación de los suelos, por textura y plasticidad, conforme al Sistema Unificado de A. Casagrande, basado en su granulometría y plasticidad (ASTM D 2487).

4.2.5 Observación macroscópica de las muestras: color, textura, concreciones calcáreas, materia orgánica, óxidos, etc.

4.2.6 Compresión triaxial por etapas múltiples: medición de los parámetros de corte del suelo: frotamiento interno (ϕ_u) y cohesión (C_u), en

condiciones de drenaje impedido.

4.2.7 Peso de la unidad de volumen en estado natural.

Los ensayos mencionados en 4.2.1 a 4.2.5 se efectuaron sobre la totalidad de las muestras extraídas. Los referidos en 4.2.6 y 4.2.7., únicamente sobre los especímenes obtenidos sin signos visibles de perturbación estructural.

4.3 Análisis de resultados

4.3.1 Estratigrafía del subsuelo

De la simple observación de los gráficos de sondeos, donde se condensa la totalidad de los ensayos de campo y laboratorio realizados, se deduce que el perfil investigado es homogéneo y parejo, ya sea por las características de textura y plasticidad de los sedimentos que lo forman, como por su densificación relativa medida a través de los ensayos penetrométricos.

Desde el punto de vista de la mecánica de suelos, el perfil estudiado está integrado en la profundidad investigada por dos mantos claramente diferenciados:

- Hasta –1,80 m: Limos arcillosos castaños con matices oscuros ML de la clasificación de suelos unificada.
- De –1,80 m a –3,20 m: Arcillas limosas castañas CL del sistema de clasificación unificado de suelos ideado por Arturo Casagrande.
- Del piso del estrato anterior y hasta el límite de las perforaciones (10,00 m) alumbra un estrato limo arcilloso castaño con matices claros que a partir de –7,00 m se ve enriquecido con la presencia de carbonato de calcio difundido en su masa o concentrado en forma de nódulos litificados que le confieren al conjunto cierta dureza reflejada en el aumento del N° de golpes (N) de los ensayos penetrométricos. Éstos suelos pertenecen a los subgrupos MH y ML del sistema de clasificación mencionado.

4.3.2 Estratigrafía del subsuelo

De acuerdo a los menores números de golpes (N) obtenidos en los ensayos normales de penetración (SPT), e interpretados por medio de la escala de valoración cualitativa de Terzaghi, los sedimentos descriptos pueden tratarse como:

- Hasta – 1,20 m: blandos
- Entre –1,20 m y –7,00 m: medianamente compactos
- Entre –7,00 m y 10,00 m: muy compactos con picos duros $N > 40$

4.3.2 Nivel freático

El nivel freático se detectó a una profundidad de 6 m, lo cual es favorable

para el proyecto, ya que no representa una interferencia significativa. Esta profundidad permite optimizar el diseño de los sistemas de drenaje e impermeabilización, minimizando la necesidad de técnicas y complicadas para manejar el agua subterránea. De esta manera, se garantiza una mayor eficiencia y se reducen los riesgos potenciales asociados con la presencia de agua en las estructuras subterráneas.

5 Elección de las etapas constructivas

5.1 Instalación de tablestacas de acero y ejecución de excavación:

El cálculo y elección del tablestacado no forma parte de esta tesis, por lo que se plantea una posible solución para poder realizar la excavación del proyecto.

Se emplearán tablestacas de acero tipo HZ-M, con una longitud de 15 metros, a lo largo de todo el perímetro del estacionamiento subterráneo, que tiene una extensión de 532 metros lineales. Estas tablestacas se hincarán a una profundidad de 15 metros, superando en 8 metros la profundidad de diseño del proyecto, la cual es de 7 metros.

Para la ejecución de la excavación, se ha planificado subdividir el área en cuatro cuadrantes con un perímetro de 265 metros lineales cada uno. Cada cuadrante se excavará inicialmente hasta una cota de -6 metros, permitiendo así un control efectivo del nivel freático y evitando inundaciones tanto en el interior del proyecto como en las vías circundantes. Posteriormente, se procederá con la excavación hasta una cota final de -8 metros, donde se instalarán sistemas de drenaje y bombas sumergibles bajo la platea del estacionamiento subterráneo.

La elección de las tablestacas de acero HZ-M se fundamentó en su capacidad para facilitar la excavación simultánea del perímetro completo del proyecto. Se evaluó también la opción de utilizar tablestacas planas de acero, pero estas requerían la implementación de micropilotines como sistema de anclaje para mantener su estabilidad, lo cual se consideró ineficiente dado que las tablestacas se emplearían únicamente en la fase de excavación y serían removidas al finalizar esta etapa.



Empleo de tablestacas de acero en configuración de pantalla, permitiendo la excavación de todo el conjunto.



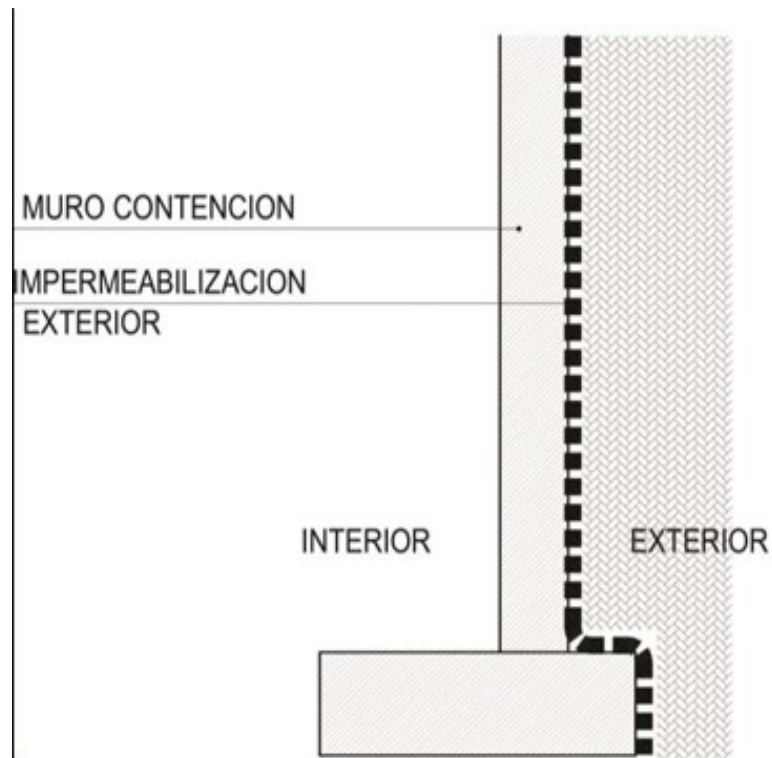
Sistema de tablestaca de acero HZ-M o COMBIWALL HZ

5.2 Construcción de muros de contención:

Se construirán muros de hormigón armado para resistir presiones laterales del suelo y presiones hidrostáticas. Este tipo de estructura se construye vertiendo hormigón dentro de encofrados con el fin de lograr la configuración requerida, los cuales estarán dotados de armaduras acordes a las cargas y análisis estructural previamente determinados. Además, se aplicarán técnicas de compactación y vibración durante el proceso de colado para garantizar la homogeneidad del hormigón y reducir la posibilidad de fisuras y asentamientos no deseados en la estructura final.

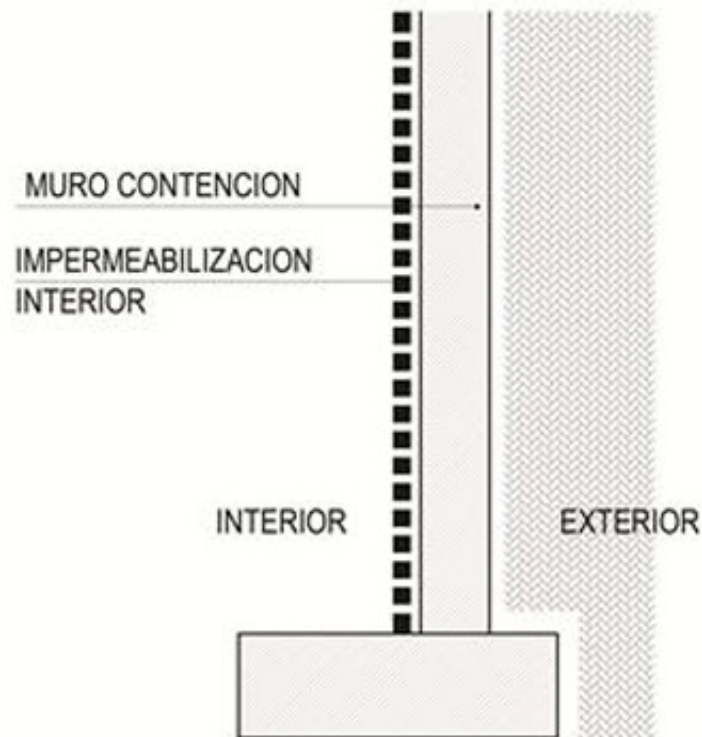
5.2.1 Impermeabilización de muros de contención:

Existen dos métodos de impermeabilización: uno basado en presión positiva y otro en presión negativa. El método de presión positiva se emplea cuando es factible acceder a la cara en contacto con el suelo. En estos casos, la impermeabilización se realiza en el lado exterior, como se muestra en la siguiente ilustración. Este enfoque garantiza la durabilidad de la estructura al proteger la cara que se encuentra en contacto con el suelo y la humedad.



Método de impermeabilización con presión positiva.

A diferencia del método de impermeabilización anterior, se recurre al método de la presión negativa cuando no es posible acceder a la superficie en contacto con el suelo. En tales circunstancias, se realiza la impermeabilización desde el interior, como se muestra en la ilustración adjunta a continuación. Al igual que el método anterior, se implementa para evitar la infiltración de agua y humedad desde el exterior hacia el interior, garantizando la protección integral de la estructura.



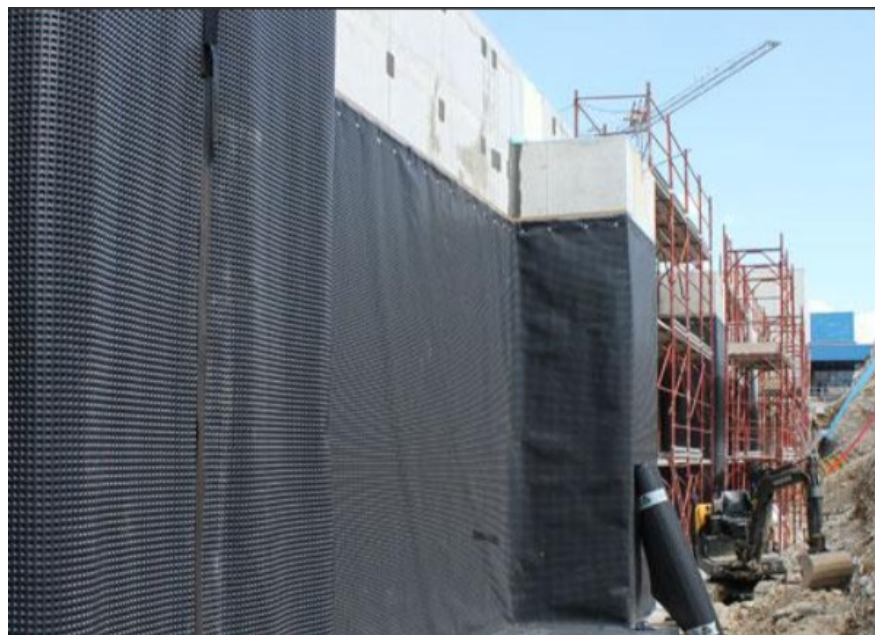
Método de impermeabilización con presión negativa.

Para esta Tesis, se ha optado por implementar el método de impermeabilización de presión positiva, aprovechando una de las ventajas que ofrece la utilización de tablestacas de acero posibilitando el acceso a la cara de la estructura en contacto con el suelo.

La impermeabilización se realizará mediante el uso de membranas de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), un sistema altamente efectivo utilizado para impermeabilizar cimentaciones y proteger contra la humedad en muros. Estas membranas están diseñadas con una estructura especial que incorpora espacios de aire, permitiendo mantener la humedad del suelo alejada de los tabiques de contención.



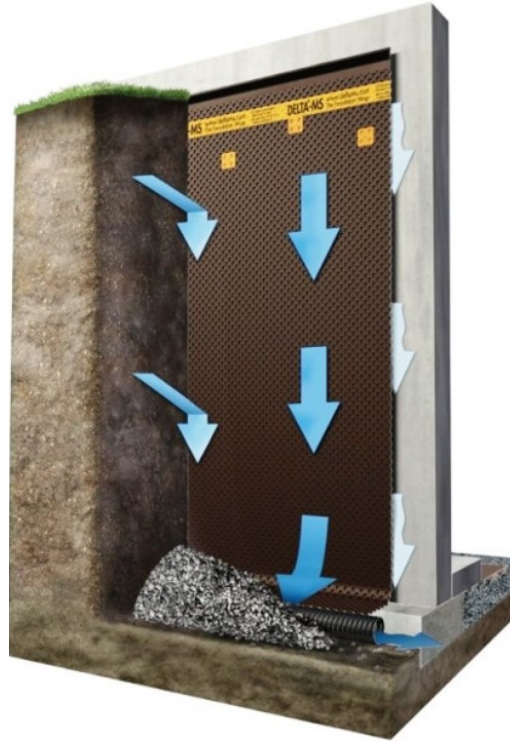
Colocación de Membrana de Polietileno de Alta Densidad (HPDE) en muros de contención



Colocación de Membrana de Polietileno de Alta Densidad (HPDE) en muros de contención

Es destacable que la fabricación de este producto incorpora un 60% de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) reciclado, lo cual refleja un compromiso con el respeto hacia la naturaleza y la protección ambiental.

En la imagen mostrada a continuación, se aprecia un corte transversal que ilustra la instalación de la Membrana de Alta Densidad (HDPE) en el muro de contención.



Corte transversal del muro de contención
con la Membrana HDPE colocada en su
posición final

5.3 Instalación de drenajes:

El agua se erige como un agente primordial en el deterioro prematuro de las edificaciones. En consecuencia, resulta imperativo evitar su prolongado contacto con los revestimientos del subsuelo. Este fenómeno, atribuido al exceso de humedad en el suelo, incide negativamente en diversas áreas, incluyendo:

- Las propiedades geomecánicas
- Los mecanismos de transferencia de carga
- La porosidad, incrementando la presión sobre estos.
- La supresión de flujo
- La presión hidrostática
- La volumetría, quedando sujeta a posibles cambios

Los sistemas de drenaje procuran alejar eficazmente el agua tanto de la base del revestimiento perimetral como del inferior. Estos sistemas se vuelven

esenciales en entornos subterráneos y constituyen un complemento indispensable en el diseño de la impermeabilización. Es por ello que en esta Tesis se abordan dos tipos de cerramientos a tratar: el cerramiento perimetral y el cerramiento inferior.

Cerramiento perimetral

Para los muros de contención, se implementan sistemas de drenaje ubicados estratégicamente en la parte inferior del lado externo de la base de los muros, orientados hacia un punto de desagüe. Estos sistemas se componen de tubos de pvc perforados, las cuales se rodean inicialmente con una capa de grava alrededor del tubo, la cual transita gradualmente hacia un material de granulometría ligeramente mayor que el del suelo circundante. Esta capa de grava se protege con un geotextil, estableciendo así el sistema de drenaje. Este enfoque se basa en la premisa de que el agua tiende a seguir el camino de menor resistencia.

Adicionalmente, para mejor la eficacia del drenaje, se considera la implementación de sistemas de geodrenes. Estos sistemas permiten captar y conducir los fluidos de manera rápida y eficiente. Su instalación simplificada reduce los tiempos de construcción, optimizando así el proceso constructivo.

En la ilustración siguiente se observa el procedimiento constructivo empleado para la implementación de sistemas de drenaje.



Sistema de drenaje implementado en el proyecto

Cerramiento inferior

En el fondo de la excavación se prevé, además, drenes como el caso anterior y un espacio para la instalación de bombas permanentes con capacidad suficiente para drenar sin problema la parte inferior del recinto.

5.4 Construcción de platea, pilares y losa

En este inciso se ejecutarán los últimos elementos estructurales para finalizar la obra:

- Colocación de encanchado: en el fondo de la excavación se colocará un tejido de filtro de geotextil sobre el cual se extenderá una capa de grava de 0,50 m de espesor.
- Ejecución de platea: en este punto se prevé la colocación de 10 cm de hormigón de limpieza encima del encanchado, y la construcción de la platea de 40 cm de espesor convenientemente armada.
- Construcción de pilares: en este inciso se levantan los pilares antes hormigonar la platea.
Se han agrupado los pilares en tres grupos según sea su ubicación dentro del estacionamiento:
 - a) Pilares esquineros
 - b) Pilares perimetrales
 - c) Pilares centrales
- Losa: durante esta fase se procederá con la construcción de la losa del estacionamiento subterráneo, la cual presenta un espesor de 30 cm y será armada conforme a las especificaciones técnicas detalladas en los planos correspondientes. Posteriormente, se llevará a cabo el relleno con una capa de tierra de 2 metros de espesor, nivelando así el terreno con la superficie actual del suelo

Los detalles de armado de los distintos elementos estructurales se encuentran en el anexo.

6. Predimensionamiento de los elementos estructurales

Para el predimensionado y el cálculo de los elementos estructurales se utilizaron los siguientes datos:

Resistencia del hormigón:

$$f'c := 30 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad del hormigón:

$$E_c := 25742.96 \text{ MPa}$$

Peso específico del hormigón armado:

$$\gamma_{HA} := 25 \frac{kN}{m^3}$$

Tensión de fluencia del acero de refuerzo:

$$f_y := 420 \text{ MPa}$$

Resistencia a la tracción, característica:

$$f_t := 500 \text{ MPa}$$

Módulo de elasticidad del acero de refuerzo:

$$E_s := 200000 \text{ MPa}$$

6.1 Predimensionado de losa de hormigón

Para el predimensionado inicial de este elemento estructural, se consideró como base de cálculo la losa de mayor tamaño, con dimensiones de 6,5 m x 6,5 m.

Se adoptó una sección transversal de:

Hormigón

$$f'_c := 30 \cdot \text{MPa}$$

$$\gamma_{HA} := 25 \frac{kN}{m^3}$$

Acero

$$f_y := 420 \cdot \text{MPa}$$

$$E_s := 200000 \cdot \text{MPa}$$

Diámetro estimado de estribo:

$$db_e := 16 \text{ mm}$$

Distancia a armadura comprimida

$$d' := 3 \text{ cm}$$

Recubrimiento

$$cc := 3 \text{ cm}$$

Diámetro estimado armadura longitudinal

$$db := 12 \text{ mm}$$

Base

$$bw := 1 \cdot m$$

Altura

$$h := 0.30 \cdot m$$

La losa se considera armada en dos (2) direcciones y empotrada en todos sus bordes.

A través de las tablas de Kalmanok se obtienen dos parámetros l_x y l_y , donde:

$$l_x := 6.5 \cdot m$$

$$l_y := 6.5 \cdot m$$

$$\varepsilon := \frac{l_y}{l_x} = 1$$

6.1.1 Análisis de carga

- Loza maciza de hormigón armado

Peso específico H°A°

$$\gamma_{HA} = 25 \frac{kN}{m^3}$$

Espesor s/ predimensionado

$$e_h := 30 \text{ cm}$$

Peso por metro
cuadrado

$$g_2 := \gamma_{HA} \cdot e_h$$

$$g_2 = 7.5 \frac{kN}{m^2}$$

$$g_2 = 0.765 \frac{tonnef}{m^2}$$

- Tapada con suelo seleccionado + suelo vegetal

Peso específico suelo

$$\gamma_S := 18 \frac{kN}{m^3}$$

Espesor

$$e_s := 2 \text{ m}$$

Peso por metro
cuadrado

$$g_3 := \gamma_S \cdot e_s$$

$$g_3 = 3.671 \frac{tonnef}{m^2}$$

$$g_3 = 3.67 \frac{tonnef}{m^2}$$

- Sobrecarga

Sobrecarga adoptada

$$s_C := 5 \frac{kN}{m^2}$$

- Combinaciones de carga

$$Q_{ELU1} := 1.4 \cdot (g_2 + g_3) = 60.9 \frac{kN}{m^2}$$

$$Q_{ELU2} := 1.2 \cdot (g_2 + g_3) + 1.6 \cdot s_C = 60.2 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_0 := \max(Q_{ELU1}, Q_{ELU2}) = 60.9 \frac{kN}{m^2}$$

Esfuerzos y Reacciones s/ Tablas de Marcus :

$$\alpha_1 := 0.01794 \quad \kappa_1 := 0.5$$

$$\beta_1 := 0.01794 \quad \rho_1 := |1 - \kappa_1| = 0.5$$

- Carga a vigas

$$Rx := \frac{\kappa 1 \cdot q_0 \cdot l_x}{2} = 10.091 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

$$Ry := \frac{\rho 1 \cdot q_0 \cdot l_y}{2} = 10.091 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

- Momentos en centro de losa

$$Mx_c := \alpha 1 \cdot q_0 \cdot l_x^2 \cdot 1 \text{ m} = 4.707 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$My_c := \beta 1 \cdot q_0 \cdot l_y^2 \cdot 1 \text{ m} = 4.707 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

- Momentos en apoyos de losa

$$Mx_A := \frac{-1}{12} \cdot \kappa 1 \cdot q_0 \cdot l_x^2 \cdot 1 \text{ m} = -10.932 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$My_A := \frac{-1}{12} \cdot \rho 1 \cdot q_0 \cdot l_y^2 \cdot 1 \text{ m} = -10.932 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

- Resumen de momentos en centro de losa

Momento último en centro de losa

$$Mx_c = 4.707 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento Nominal de la sección en centro de losa

$$Mn_{xc} := \frac{Mx_c}{0.9} = 5.23 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento último en centro de losa

$$My_c = 4.707 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento Nominal de la sección en centro de losa

$$Mn_{yc} := \frac{My_c}{0.9} = 5.23 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

- Resumen de momentos en apoyo de losa

Momento último en apoyo de losa

$$Mx_A = -10.932 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento Nominal de la sección en apoyo de losa

$$Mn_{xa} := \left| \frac{Mx_A}{0.9} \right| = 12.15 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento último en apoyo de losa

$$My_A = -10.932 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento Nominal de la sección en apoyo de losa

$$Mn_{ya} := \left| \frac{My_A}{0.9} \right| = 12.15 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Área de influencia para corte en losa

$$Af_{losa} := 10.5 \text{ m}^2$$

Corte Último

$$Qu := \frac{qo \cdot Af_{losa}}{lx} \cdot 1 \text{ m}$$

$$Qu = 10.032 \text{ tonnef}$$

6.1.2 Cálculo de armadura a flexión

- **Armadura a flexión x-x en tramo**

$$\beta_1 := 0.85$$

$$f'_c := 25.5 \text{ MPa}$$

$$d := h - cc - db_e - \frac{db}{2} = 0.248 \text{ m}$$

$$Mn_{xc} = 5.23 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$mn_{xc} := \frac{Mn_{xc}}{f'_c \cdot bw \cdot d^2} = 0.033$$

$$ka := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot mn_{xc}} = 0.033$$

Armadura traccionada

$$As := 8.27 \text{ cm}^2$$

As (traccionada) adoptado:
1db12 c/12.5cm

$$As_{t.adoptado} := 9.05 \text{ cm}^2$$

- **Armadura a flexión x-x en tramo**

$$\beta_1 = 0.85$$

$$f'_c = 25.5 \text{ MPa}$$

$$\bar{d} := h - cc - db_e - \frac{db}{2} = 0.248 \text{ m}$$

$$Mn_{yc} = 5.23 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$mn_{yc} := \frac{Mn_{yc}}{f'c^* \cdot bw \cdot d^2} = 0.033$$

$$ka := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot mn_{yc}} = 0.033$$

Armadura traccionada

$$As := 8.27 \text{ cm}^2$$

As (traccionada) adoptado:
1db12 c/12.5cm

$$As_{t.adoptado} := 9.05 \text{ cm}^2$$

- **Armadura a flexión x-x en apoyo**

$$\beta_1 = 0.85$$

$$f'c^* = 25.5 \text{ MPa}$$

$$\bar{d} := h - cc - db_e - \frac{db}{2} = 0.248 \text{ m}$$

$$Mn_{xa} = 12.147 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$mn_{xa} := \frac{Mn_{xa}}{f'c^* \cdot bw \cdot d^2} = 0.076$$

$$ka := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot mn_{xa}} = 0.079$$

Armadura traccionada

$$As = 8.27 \text{ cm}^2$$

As (traccionada) adoptado:
1db16 c/15cm

$$As_{t.adoptado} := 13.4 \text{ cm}^2$$

• Armadura a flexión y-y en apoyo

$$\beta_1 = 0.85$$

$$f'c^* = 25.5 \text{ MPa}$$

$$d := h - cc - db_e - \frac{db}{2} = 0.248 \text{ m}$$

$$Mn_{xa} = 12.147 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$mn_{xa} := \frac{Mn_{xa}}{f'c^* \cdot bw \cdot d^2} = 0.076$$

$$ka := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot mn_{xa}} = 0.079$$

Armadura traccionada

$$As := 11.91 \text{ cm}^2$$

As (traccionada) adoptado:
1db16 c/15cm

$$As_{t.adoptado} := 13.4 \text{ cm}^2$$

6.2 Predimensionado de viga

Longitud de cálculo de la viga:

$$L := 6.2 \text{ m}$$

$$q := 2 \cdot Rx$$

Valor de la reacción 1 (Apoyo izquierdo):

$$R_1 := \frac{q \cdot L}{2} = 613.568 \text{ kN}$$

Valor de la reacción 1 (Apoyo derecho):

$$R_2 := \frac{q \cdot L}{2} = 613.568 \text{ kN}$$

Función de cortante:

$$V(x) := R_1 - q \cdot x$$

Función de momentos flectores:

$$M(x) := R_1 \cdot x - \frac{q \cdot x^2}{2}$$

Corte último:

$$V_{max} := 613.568 \text{ kN}$$

Momento último:

$$M_{max} := 96.978 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$Mn_x := \frac{M_{max}}{0.9}$$

Sección transversal:

Base $bw := 0.3 \cdot \text{m}$

Altura $h := 1.2 \cdot \text{m}$

Recubrimiento $cc := 3 \cdot \text{cm}$

Armadura Longitudinal :

Diámetro estimado: $db := 20 \cdot \text{mm}$

Diámetro estimado de estribo: $db_e := 16 \text{ mm}$

Distancia a armadura comprimida $d' := 3 \text{ cm}$

• **Armadura a flexión x-x**

$$\beta_1 = 0.85$$

$$f'_c = 25.5 \text{ MPa}$$

$$d := h - cc - db_e - \frac{db}{2} = 1.144 \text{ m}$$

$$Mn_x = (1.057 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$mn := \frac{Mn_x}{f'_c \cdot bw \cdot d^2} = 0.106$$

$$ka := 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot mn} = 0.112$$

Armadura traccionada:

$$As := 23.29 \text{ cm}^2$$

As (traccionada) adoptado:
8db20

$$As_{t.adoptado} := 25.13 \text{ cm}^2$$