

CONSTRUCTION OF THE FOUNDATION FOR THE 20-STORY LUZ BUILDING EQUIPPED WITH SLB ENERGY DISSIPATORS IN QUITO

Roberto Aguiar Falconí⁽¹⁾, Jorge Rosero⁽²⁾, Brian Cagua⁽³⁾

⁽¹⁾ Profesor de Maestrías de UTM y Politécnica Salesiana; Consultor de **CEINCI-LAB**,
roberto.aguiar.falconi@gmail.com

⁽²⁾ Presidente de "Rosero Construye"

Ing.jorgerosero@constructorarosero.com

⁽³⁾ Doctorando en Ciencias de la Ingeniería, Universidad de los Andes, Santiago, Chile
bjcagua@miuandes.cl

Received: August 2025. Accepted: September 2025. Published: October 2025

ABSTRACT

The Luz Building, located in Quito across from La Carolina Park, is a 20-story reinforced-concrete structure with five basements and equipped with fourth-generation SLB energy dissipators. This article describes the construction process of its foundation, one of the most complex components of the project due to its large size, high reinforcement density, and thermal control requirements. The foundation consists of a system of beams and slabs coupled to the structural walls.

Because of its dimensions, the foundation was built in three construction phases, defined in areas of lower stress transfer to optimize constructability and reduce cracking. Given the high reinforcement congestion—with local spacings of approximately 2 cm—a self-compacting concrete (SCC) mix with a design compressive strength of 25 MPa was used. The use of this material ensured proper filling and consolidation, while curing was controlled through thermal blankets and continuous temperature monitoring. The experience gained provides valuable practical knowledge for the construction of foundations in high-rise buildings in Quito and similar contexts within the region.

Keywords: foundation, phased construction, self-compacting concrete, thermal control.

CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN DEL EDIFICIO LUZ DE 20 PISOS, EQUIPADO CON DISIPADORES DE ENERGÍA SLB, EN QUITO

RESUMEN

El edificio Luz, ubicado en Quito frente al parque La Carolina, es una estructura de hormigón armado de 20 pisos y cinco subsuelos equipada con disipadores de energía SLB de cuarta generación. Este artículo describe el proceso constructivo de su cimentación, uno de los elementos más complejos del proyecto debido a su gran tamaño, alta densidad de armadura y exigencias de control térmico. La cimentación está compuesta por un sistema de vigas y losas acopladas a los muros estructurales.

Por sus dimensiones, la cimentación se ejecutó en tres fases de construcción, definidas en zonas de menor transmisión de esfuerzos para optimizar la constructibilidad y reducir la fisuración. Dada la elevada congestión de acero —con separaciones locales de aproximadamente 2 cm— se empleó un hormigón autocompactante (HAC) con resistencia de diseño de 25 MPa. El uso de este material garantizó el llenado y la compactación adecuados, mientras que el curado se controló mediante mantas térmicas y monitoreo de temperatura. La experiencia adquirida aporta conocimientos prácticos valiosos para la construcción de cimentaciones en edificios altos en Quito y en contextos similares de la región.

Palabras clave: cimentación, construcción por fases, hormigón autocompactante, control térmico.

1. INTRODUCCIÓN

En la ingeniería estructural intervienen tres actores principales: i) los académicos, ii) los diseñadores o calculistas, y iii) los constructores. Cada uno de ellos cumple un papel esencial en el ciclo de vida de las estructuras, desde la concepción teórica hasta la materialización de la obra. Sin embargo, su interacción no siempre se desarrolla de manera integrada, lo que genera brechas entre el conocimiento académico, el diseño técnico y la práctica constructiva.

Los académicos se dedican principalmente a la actualización y difusión del conocimiento. Su labor incluye el estudio de nuevas normativas, la revisión constante de la literatura técnica y científica, y la preparación de clases basadas en dichos avances. Sin embargo, sus aportes rara vez se complementan con la comprensión detallada de los procesos constructivos, que son determinantes para la ejecución de los proyectos.

Por su parte, los calculistas estructurales dominan los modelos analíticos y las herramientas de simulación más avanzadas, aplicando rigurosamente los códigos de diseño. Aun así, la fase constructiva suele quedar fuera de su control directo, confiando en que la ejecución en obra se ajuste a lo proyectado.

Finalmente, los constructores aportan una experiencia práctica invaluable, dominando las técnicas de ejecución, el uso de equipos especializados y la gestión de personal, aunque muchas veces con una comprensión más general del comportamiento estructural global.

En proyectos de gran envergadura, la interacción entre estos actores se fortalece con la participación de un supervisor estructural, cuya función resulta esencial para garantizar la calidad técnica y la coherencia entre el diseño y la ejecución. Este profesional debe poseer un dominio sólido de los principios avanzados del cálculo y diseño estructural, complementado con experiencia comprobada en la gestión y ejecución de proyectos constructivos. Asimismo, las visitas académicas a obras constituyen una herramienta valiosa para que los estudiantes vinculen la teoría con la práctica, fortaleciendo su comprensión del comportamiento real de las estructuras y los desafíos asociados al proceso constructivo.

Lo ideal es que tanto académicos como diseñadores profundicen en los aspectos constructivos para fortalecer la conexión entre teoría, diseño y ejecución. Bajo esta premisa, el presente artículo presenta la experiencia constructiva de la cimentación del Edificio Luz, una estructura de 20 pisos y cinco subsuelos ubicada en Quito, frente al parque La Carolina. La magnitud del proyecto, la densidad de refuerzo y las estrictas condiciones de control térmico requeridas durante la fundición constituyen un caso representativo de los retos que plantean las edificaciones de gran altura en zonas urbanas densamente edificadas. El objetivo es documentar el proceso y las soluciones técnicas implementadas, destacando los aspectos que aseguran la calidad estructural y la eficiencia constructiva, y ofreciendo así una referencia práctica para futuros proyectos en contextos similares.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE EDIFICIO LUZ

El Edificio Luz cuenta con cinco subsuelos y veinte pisos sobre el nivel del terreno. En planta, la estructura adopta una forma en “L”. En la Figura 1 se muestra una vista tridimensional del edificio, donde destacan dos núcleos estructurales conformados por muros de hormigón armado en forma de “C”, conectados entre sí mediante una viga de acople que alberga un disipador de energía Shear Link Bozzo (SLB) de cuarta generación (Bozzo, 2017). La configuración y desempeño de este tipo de disipador se presentan con mayor detalle en Aguiar et al. (2025).

El perímetro de los subsuelos está delimitado por muros de contención anclados, los cuales no solo resisten el empuje lateral del terreno y de las edificaciones vecinas, sino que también contribuyen activamente al sistema resistente del edificio (Salvador, 2023). Las vigas de las losas de los subsuelos se encuentran empotradas en estos muros, permitiendo que estos participen en la transmisión de esfuerzos y momentos provenientes de la estructura principal.

Dado que las losas de los subsuelos están rigidamente vinculadas a los muros de contención, la respuesta sísmica horizontal en dichos niveles es reducida; es decir, cada piso de los subsuelos presenta desplazamientos laterales mínimos. Sin embargo, las acciones sísmicas se transfieren a través de los muros, lo que implica que desde las primeras etapas de construcción estos elementos deben considerarse como parte integral del sistema estructural. Por tanto, en el diseño de los muros anclados es fundamental incluir las cargas gravitacionales y laterales derivadas del avance constructivo de la superestructura.

Los subsuelos albergan principalmente estacionamientos y bodegas. La geometría de las losas en estos niveles está determinada por la disposición de las rampas de circulación vehicular. En el Edificio Luz existen dos rampas: una con pendiente del 4% y otra del 16%, cuyas vigas de pórtico presentan un refuerzo especial debido a las demandas adicionales de flexión y corte que generan estas condiciones.

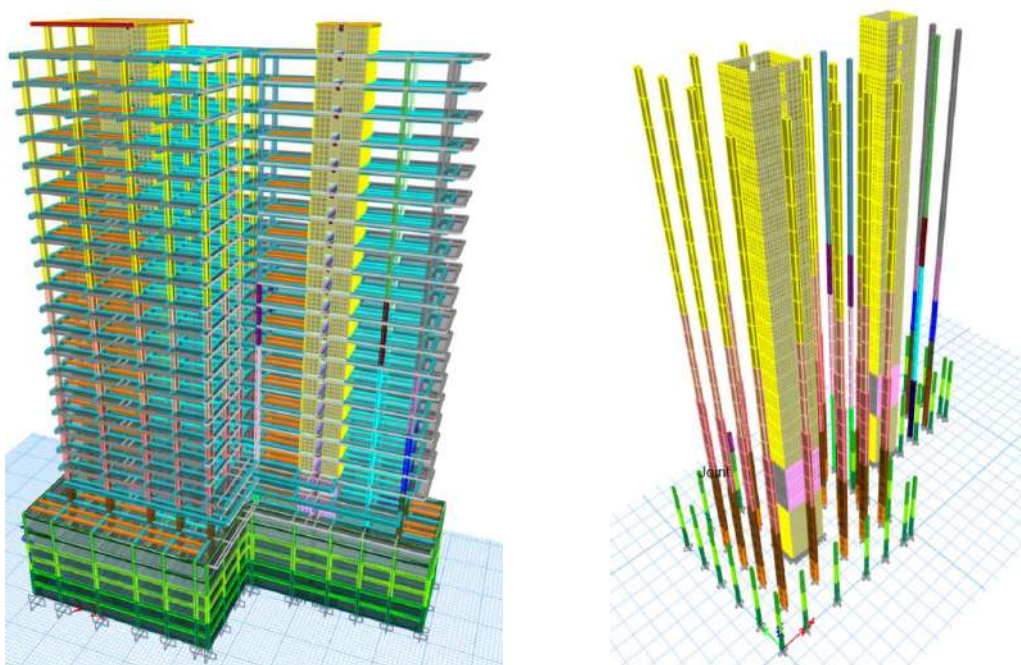


Figura 1 Vista en 3 D, de edificio Luz.

La rigidez y el confinamiento lateral proporcionados por los muros de contención anclados en los subsuelos impiden el desarrollo de desplazamientos relativos significativos entre pisos. Al encontrarse completamente rodeados por el terreno, estos niveles se comportan de manera casi solidaria con el suelo circundante, lo que reduce de forma considerable la demanda sísmica interna. En consecuencia, no se considera la acción sísmica en los subsuelos, y la instalación de dispositivos de disipación de energía entre las vigas de acople resulta innecesaria. Los disipadores de energía SLB se incorporan a partir de la planta baja, donde la estructura deja de estar confinada por el terreno y comienza a desarrollar su comportamiento sísmico independiente.

Finalmente, cabe señalar que este artículo constituye la primera entrega de una serie de publicaciones dedicadas a documentar el proceso constructivo del Edificio Luz. En los siguientes trabajos se abordarán otros aspectos relevantes de la estructura, incluyendo la instalación de los disipadores SLB y la ejecución de los elementos verticales y horizontales superiores.

3. CIMENTACIÓN DE EDIFICIO LUZ

El diseño estructural del Edificio Luz fue desarrollado por Bozzo et al. (2024), mientras que la revisión estructural estuvo a cargo de Aguiar y Cagua (2025). De este modo, la estructura fue analizada y verificada en dos ocasiones, lo que garantizó la consistencia y confiabilidad del diseño. Sin embargo, el mérito conceptual corresponde a Bozzo et al. (2024), autores de la propuesta estructural original.

En la Figura 2 se presenta la cimentación del edificio, compuesta por vigas de cimentación, losa de cimentación y, principalmente, la losa de cimentación de los muros estructurales. Las vigas de cimentación poseen una altura promedio de 1.35 m. Cabe destacar que la mayoría de estas vigas no alcanzan los muros de contención anclados; únicamente algunas vigas transversales los interceptan, ubicándose por debajo de su nivel inferior.

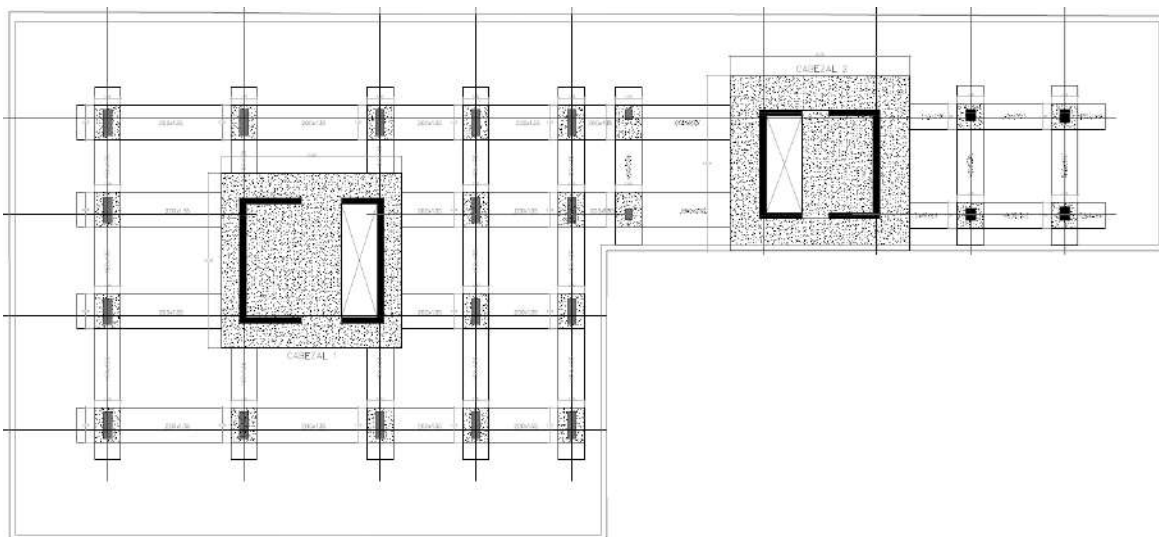


Figura 2 Cimentación de edificio Luz.

La cimentación de los muros estructurales presenta una altura de 1.50 m, mientras que la losa de cimentación tiene espesores variables: 0.55 m en las zonas interiores (entre vigas) y 0.45 m en la periferia. En la Figura 3 se muestran las diferentes áreas de la losa con su respectivo sombreado, así como la secuencia de construcción.

El edificio, con una planta en forma de "L", posee una longitud de 66 m en su eje principal y aproximadamente 28 m en dirección transversal. Dadas estas dimensiones, resultaba inviable armar y colar toda la cimentación en una sola operación. Por ello, se optó por ejecutarla en tres fases constructivas, definidas en zonas con menores concentraciones de esfuerzos para optimizar la constructibilidad y reducir la posibilidad de fisuración.

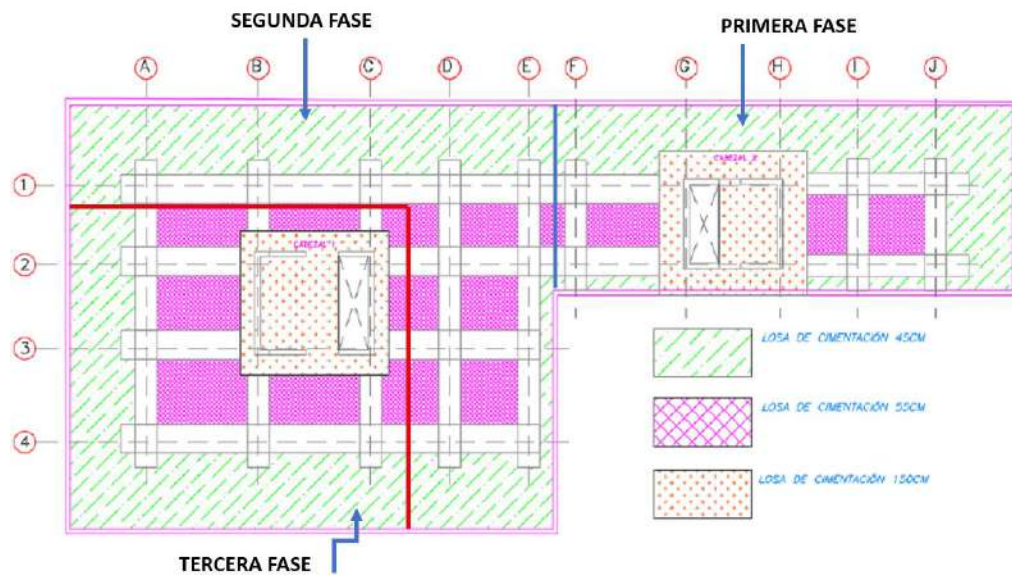


Figura 3 Fases de la construcción de la cimentación de edificio Luz

La primera fase correspondió al ala de la “L”, mientras se continuaban las labores de excavación y preparación en el resto del terreno. En la Figura 4 se observa el avance de esta fase, cuya extensión llega hasta el límite visible de los adoquines. En la imagen derecha se aprecia además una grada provisional: en los tres primeros subsuelos su ancho correspondía al de los andamios, reduciéndose a la mitad en los niveles inferiores. La inclinación de esta grada permitió facilitar la construcción de las vigas de cimentación de los ejes transversales I y J.



Figura 4 Primera fase de la construcción en ala de “L” y escalera provisional.

El apartado siguiente aborda en detalle los aspectos constructivos de la fase 1; sin embargo, en esta sección se ofrece una visión general de las tres etapas de ejecución. La fase 2, también con geometría en “L”, se desarrolla perpendicularmente a la primera, como se muestra en la fotografía superior de la Figura 5. En los planos estructurales, los ejes numéricos representan la dirección longitudinal y los ejes alfabéticos la transversal.

La fase 1 concluyó aproximadamente en la mitad del tramo comprendido entre los ejes E–F. Por tal motivo, la fase 2 se inicia con la viga de cimentación correspondiente al eje E, la cual no se conecta directamente con el muro de contención anclado. En esta zona se colocaron adoquines hexagonales de 8 cm de espesor bajo las vigas y losas de cimentación, con el propósito de uniformizar la superficie de apoyo y optimizar la transmisión de esfuerzos al terreno, actuando como una capa de transición rígida que distribuye las cargas de manera más eficiente. Durante la ejecución de esta fase, se continuó simultáneamente con la excavación del núcleo estructural 1, conformado por muros en forma de “C”.

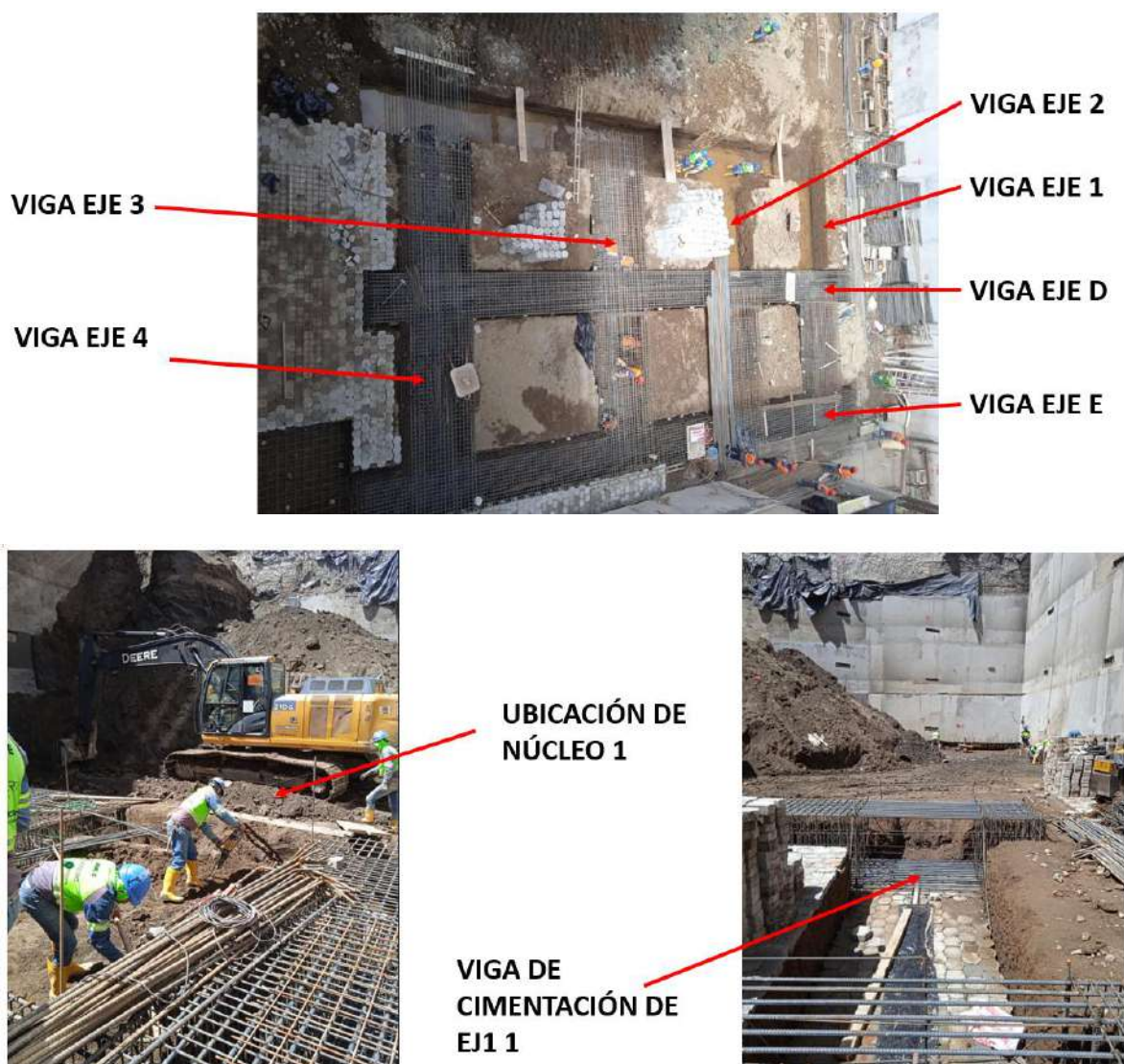


Figura 5 En la fotografía superior, la cimentación perpendicular a la fase 1 y en la fotografía inferior la cimentación en sentido longitudinal de fase 2.

En la fotografía inferior de la Figura 5 se observa el proceso de excavación en el área del núcleo 1, en paralelo con el armado de las vigas transversales de la segunda fase. En la esquina inferior derecha puede verse la viga longitudinal del eje 1, que se extiende hasta el contacto con el muro de contención anclado.

Antes de abordar la construcción correspondiente a la fase 3, conviene revisar nuevamente la Figura 3, donde se ilustran sus límites. En la Figura 6 se muestran las vigas de cimentación de los ejes 2, 3 y 4 en sentido longitudinal, y las de los ejes A, B y C en sentido transversal. También se aprecia la ubicación del bloque estructural 1, delimitado por los ejes 2–3 y B–C.

En las fotografías de la Figura 6 se observa que las columnas del eje 1 ya se encontraban fundidas, mientras que el material producto de la excavación del bloque 3 se mantenía en el sitio, con el propósito de reutilizarlo en la conformación de la rampa con pendiente del 4%. Esta rampa asciende desde el subsuelo S5 hasta el eje A, manteniéndose horizontal desde dicho eje hasta el muro de contención.

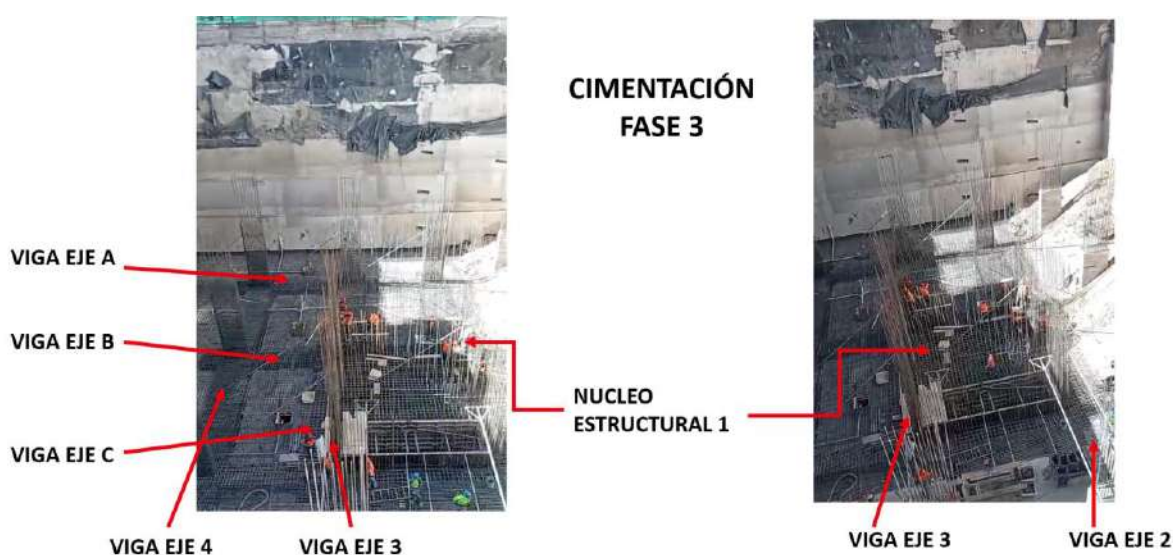


Figura 6 Cimentación de la fase 3 de edificio Luz

4. CIMENTACIÓN DE MUROS ESTRUCTURALES

En la Figura 7 se presentan los principales elementos estructurales que conforman la cimentación ejecutada durante la Fase 1. El interés de esta sección radica en detallar la cimentación de los muros estructurales del Núcleo 2, construida en dicha fase, dado que constituye un aspecto clave para comprender el comportamiento global del sistema resistente.

La cimentación de los muros estructurales del Edificio Luz está conformada por dos mallas principales de refuerzo —una inferior y otra superior— complementadas con la armadura de corte, constituida por varillas verticales que conectan ambas mallas. Un aspecto fundamental del diseño fue garantizar el anclaje y acople de las vigas de cimentación con la losa asociada a los muros estructurales, de modo que trabajaran de forma solidaria ante las acciones de flexión y corte.

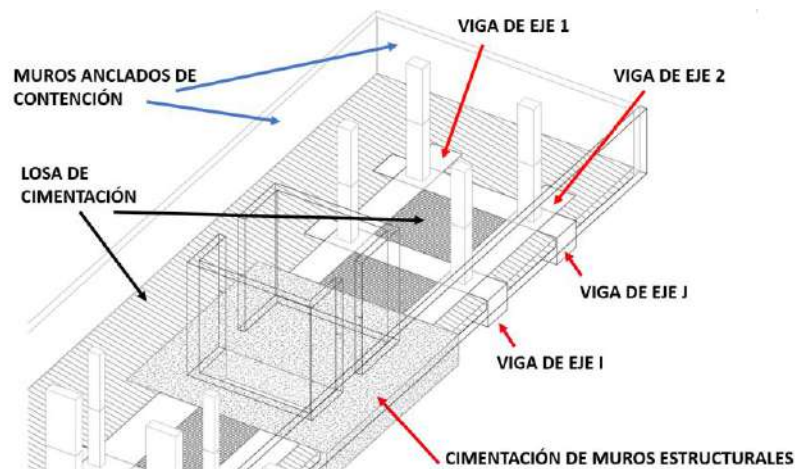


Figura 7 Cimentación de la Fase 1

En la Figura 8 se observa, en la parte superior, la armadura longitudinal inferior, conformada por varillas de acero de 20 mm de diámetro espaciadas cada 20 cm, las cuales se extienden hasta la base de los muros anclados. En la parte inferior se aprecia la armadura longitudinal de las vigas de cimentación que se conectan con la cimentación del Núcleo 1, asegurando la continuidad estructural entre ambos elementos.

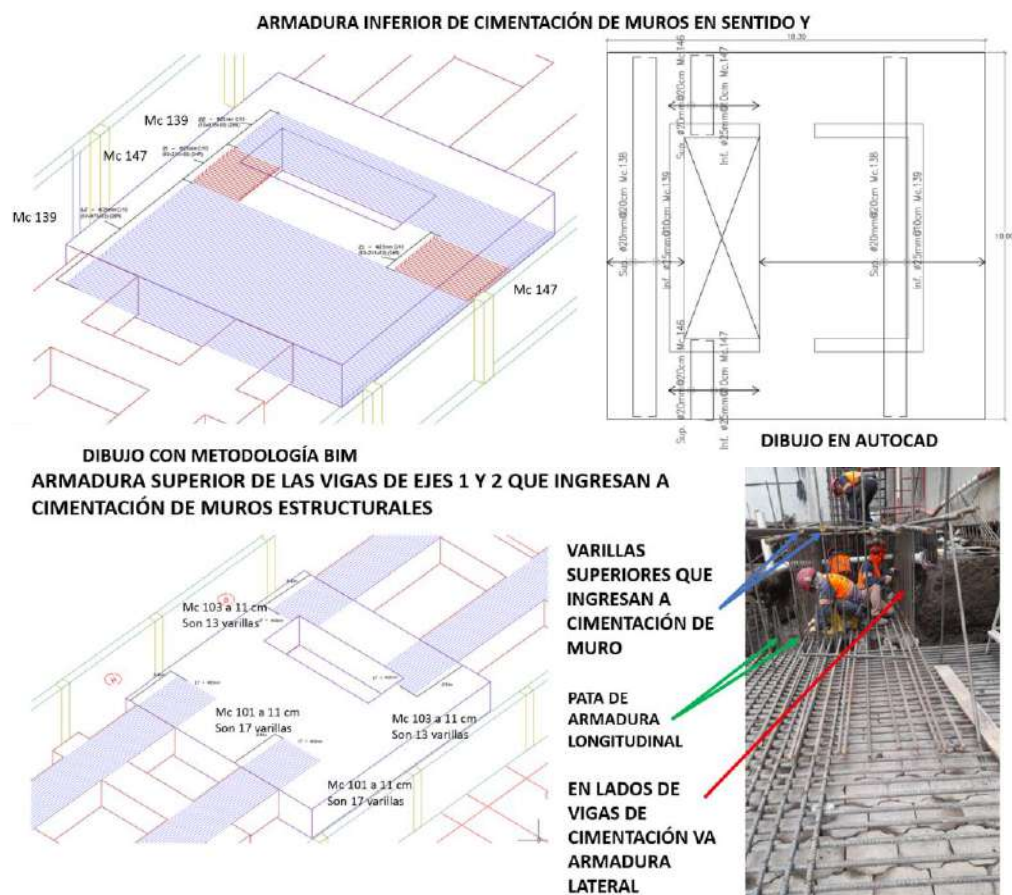


Figura 8 En la parte superior, armadura inferior en sentido longitudinal. En la parte inferior la armadura de las vigas longitudinales que ingresan a los muros.

La Figura 9 muestra, en su parte superior, la armadura inferior en sentido transversal, y en la inferior, la malla inferior completa del Núcleo 2, evidenciando la densidad de refuerzo utilizada. El proceso constructivo inició con la colocación de varillas de acero guías separadas cada 2 m (o menos, según la zona), sobre las cuales se marcó con tiza el espaciado exacto de las varillas. Este procedimiento permitió lograr un armado ordenado y preciso, reduciendo tiempos de montaje.

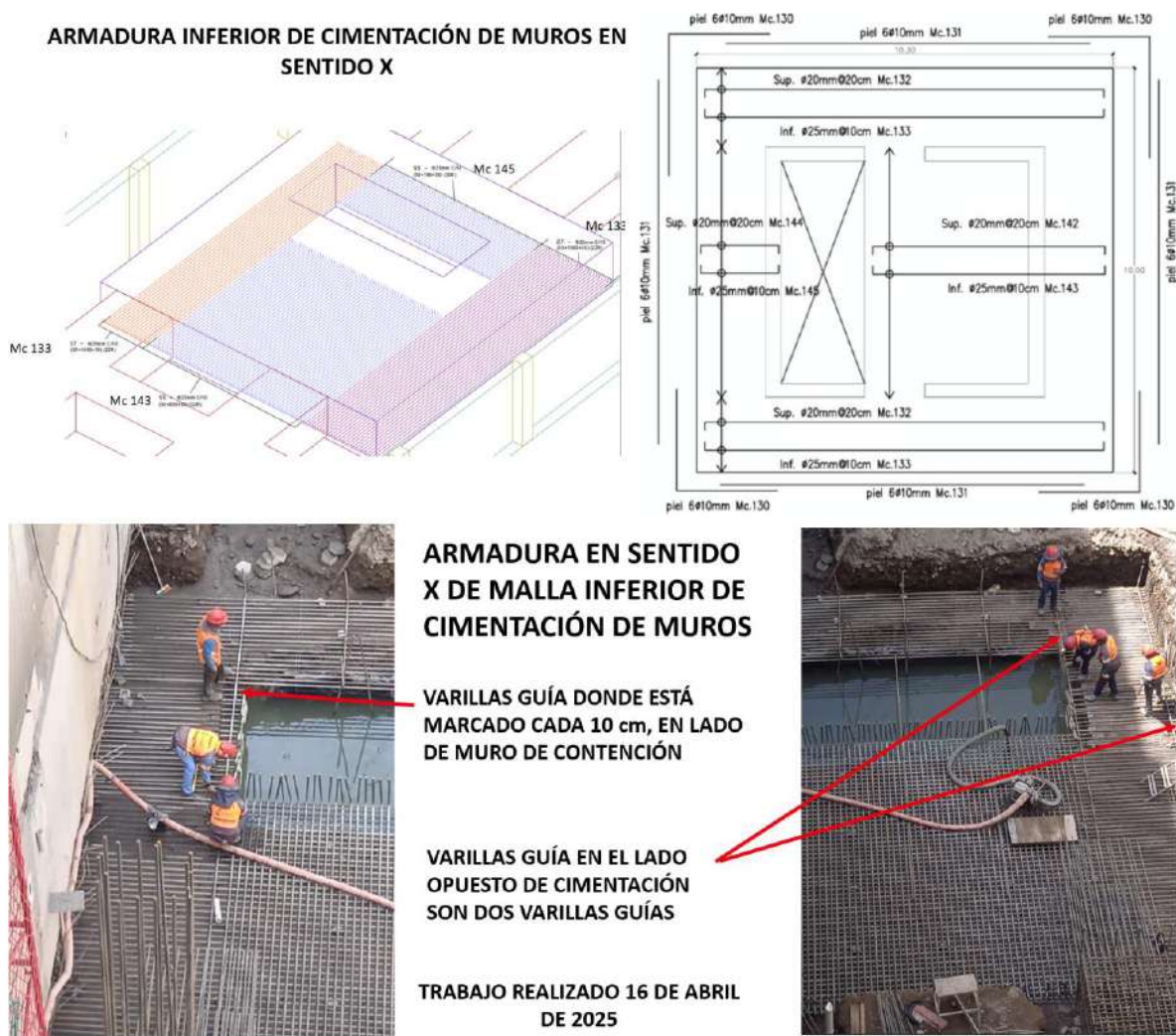


Figura 9 En la parte superior, armadura inferior en sentido transversal. En la parte inferior la malla inferior del Núcleo 2 de cimentación de edificio Luz.

La profundidad total de la cimentación es de aproximadamente 18 m, correspondiente a los cinco niveles de subsuelo. A esa cota comenzaron a aparecer surgencias de agua subterránea, denominadas “ojos de agua”, tal como se observa en la Figura 9 (inferior). En el Núcleo 1 originalmente se proyectaron tres ascensores; sin embargo, se dispusieron solo dos, destinando el espacio restante a un pozo de recolección de aguas freáticas, desde donde el agua se bombea hasta el nivel de la calle. La Figura 10 muestra la ubicación de dicho pozo, junto con la armadura de piel conformada por varillas longitudinales adicionales.



Figura 10 Armadura de piel de malla de cimentación inferior y ubicación del Pozo de aguas.

La Figura 11 ilustra la disposición de armadura superior de la malla de cimentación, también conformada por varillas de acero de 20 mm de diámetro, se encuentra espaciada cada 20 cm, mientras que la armadura de corte vertical, provista de ganchos, presenta una separación de 40 cm.

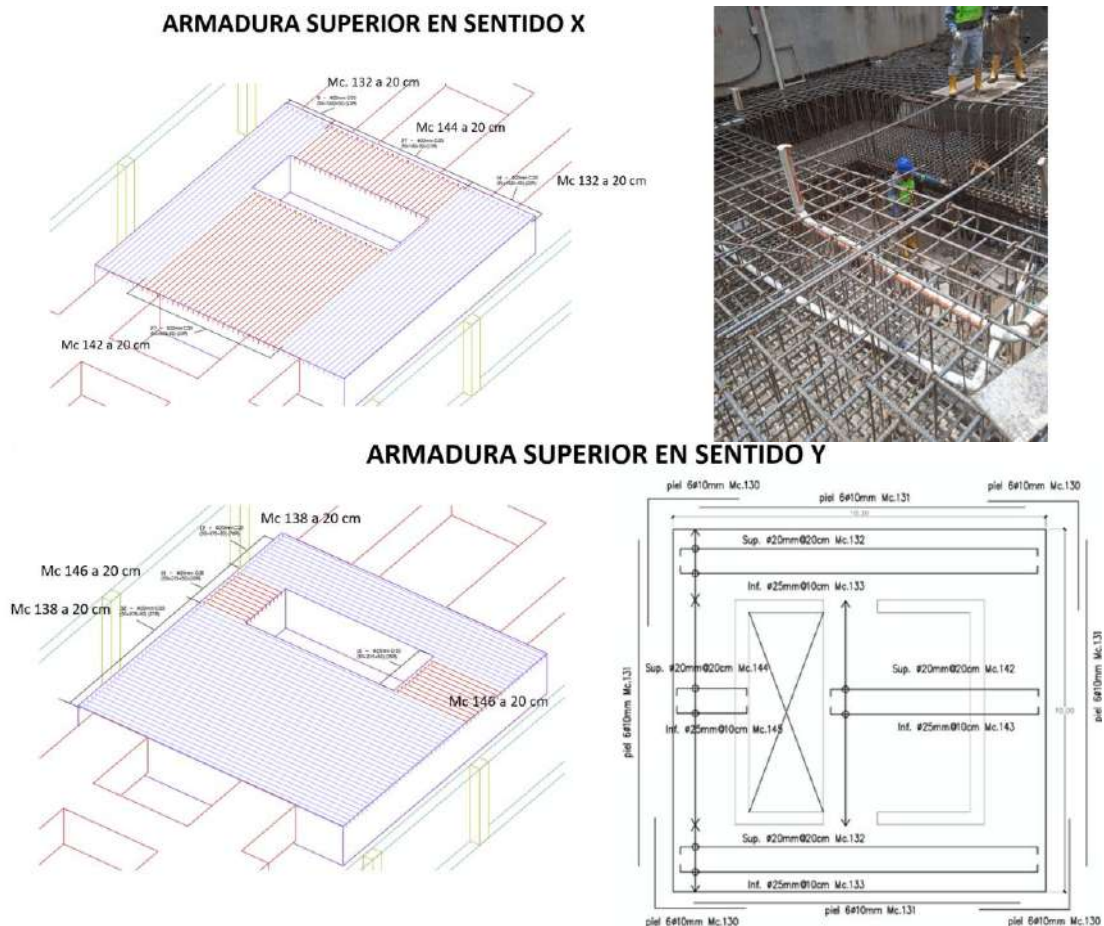


Figura 11 Armadura de la malla superior de cimentación de muros de núcleo 1.

El procedimiento constructivo consistió en la colocación secuencial de las capas de refuerzo: primero la malla inferior en sentido Y, luego en sentido X, seguida por la malla superior en sentido X y finalmente en sentido Y. Esta disposición otorga mayor capacidad a flexión en el sentido transversal (Y), coherente con las solicitaciones dominantes de la estructura.

En la Figura 12 se observan las varillas auxiliares verticales utilizadas para mantener la posición de la armadura longitudinal durante el armado. En la fotografía derecha se aprecia que la grada provisional ya se encontraba completamente vertical, dado que en esa zona la cimentación estaba concluida y se proseguía con el armado de los muros estructurales. El control de estas labores estuvo a cargo del ingeniero de seguridad, responsable del montaje y desmontaje de las gradas.



Figura 12 Mallas superior e inferior de cimentación de muros estructurales

Como se muestra en las Figuras 2 y 3, los núcleos estructurales 1 y 2 poseen dimensiones equivalentes, por lo que no se repite aquí la descripción completa del armado del primero. Sin embargo, en la Figura 13 se presenta la armadura de la cimentación del Núcleo 1, donde se observa un aspecto particular: el eje 2 coincide con la rampa del 4 % de pendiente, motivo por el cual se dejaron varillas verticales de altura variable entre los muros estructurales, tal como se aprecia en la fotografía derecha.



Figura 13 Armadura de la cimentación del Núcleo 1 de muros estructurales.

5. VIGAS DE CIMENTACIÓN

Las vigas de cimentación en sentido transversal presentan dimensiones de 1.50 m de base por 1.35 m de altura, y están reforzadas con 13 varillas longitudinales de 25 mm de diámetro tanto en la parte superior como en la inferior. La armadura transversal está compuesta por estribos y vinchas de 12 mm de diámetro, dispuestos cada 10 cm a lo largo de toda su extensión. En la Figura 14 se muestra la sección transversal correspondiente a una viga del eje J, donde se aprecia la disposición de la armadura longitudinal, transversal y la armadura de piel, conformada por tres varillas de 10 mm en cada costado.

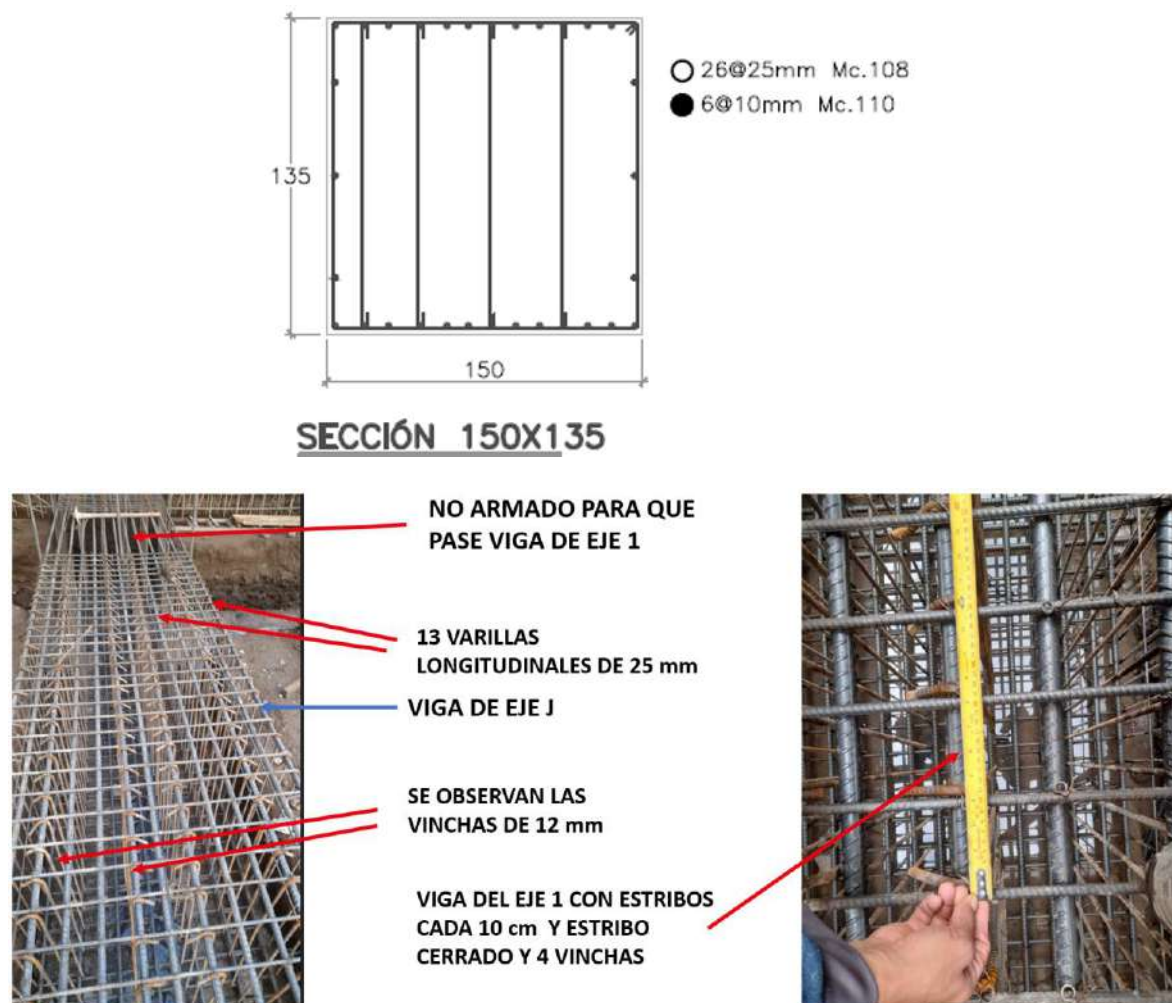


Figura 14 Viga de cimentación del eje J

Durante la primera fase de construcción, se ejecutaron las vigas transversales correspondientes a los ejes F, I y J, mientras que en los ejes G y H se ubican los muros estructurales del Núcleo 2. En la segunda fase, se construyeron las vigas de los ejes D y E, ilustradas en la Figura 15 y 16. En todos los casos, las vigas transversales mantienen las mismas dimensiones y configuración de refuerzo.

En la viga de cimentación del eje A, la sección transversal también es de 1.50 × 1.35 m, con la misma disposición de refuerzo longitudinal y transversal. Sin embargo, en las zonas donde se

ubica la rampa con pendiente del 16%, se añadió armadura vertical adicional para resistir las solicitaciones inducidas por el cambio de nivel.

En sentido longitudinal, las vigas de cimentación de los ejes 1 y 2 se extienden desde el voladizo del eje A hasta el del eje J, constituyendo elementos de gran longitud. Estas vigas presentan dos secciones diferenciadas:

- Desde el muro estructural del eje H hacia los ejes I–J, las dimensiones son 1.50 × 1.35 m, con la misma configuración de armadura que las vigas transversales.
- Desde el eje G en dirección al eje A, las dimensiones aumentan a 2.00 × 1.35 m, reforzadas con 17 varillas de 25 mm en la parte superior y 20 varillas de 25 mm en la parte inferior, proporcionando mayor capacidad flexional en esta zona.



Figura 15 Viga de cimentación de eje E.



Figura 16 Viga de cimentación de eje D.

En la parte superior de la Figura 17, se presenta la sección transversal de las vigas de los ejes 1 y 2 en el tramo de 2.00 × 1.35 m, donde se observa la disposición de cinco vinchas de 12 mm.

La fotografía izquierda corresponde a una vista desde la fase 2 hacia la fase 1; en ella se aprecia que la viga del eje 1 no se encuentra centrada respecto a los muros del Núcleo 2, aunque sí lo estará respecto a las columnas de 50×150 cm que se apoyan sobre dicho eje. También se distingue que la viga transversal visible pertenece al eje E, seguida por la del eje F, ya hormigonada. En el límite entre ambas fases (E-F), el hormigón se ejecutó con un plano inclinado de 45° para asegurar una adecuada unión entre colados sucesivos. La fotografía derecha de la Figura 17 muestra la viga del eje 2 en su tramo de 2.00×1.35 m, con la misma disposición de refuerzo.

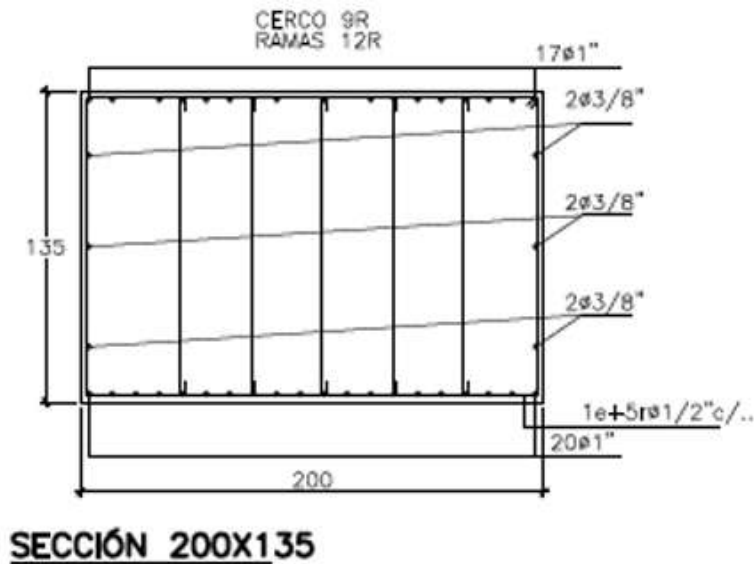


Figura 17 Viga de Cimentación del Eje 1, a la izquierda y del Eje 2, a la derecha.

En la Figura 18 (superior izquierda) se observa el armado interior de la viga correspondiente al eje 1, compuesto por 17 varillas de 25 mm de diámetro en la parte superior y 20 varillas del mismo diámetro en la inferior. A los lados se dispone la armadura de piel, mientras que en la zona transversal se han colocado cuatro vinchas de 12 mm, dejando pendiente la instalación de la quinta, ubicada al centro, la cual se coloca una vez finalizado el armado interior para facilitar las labores del personal durante el montaje.

En la parte inferior de la Figura 18, se aprecia la tubería de drenaje dispuesta en la base de la viga del eje 1, destinada a la evacuación de las surgencias de agua subterránea ("ojos de agua"), las cuales se canalizan hacia los pozos de bombeo.



TUBERIA PARA DRENAJE DE OJOS DE AGUA

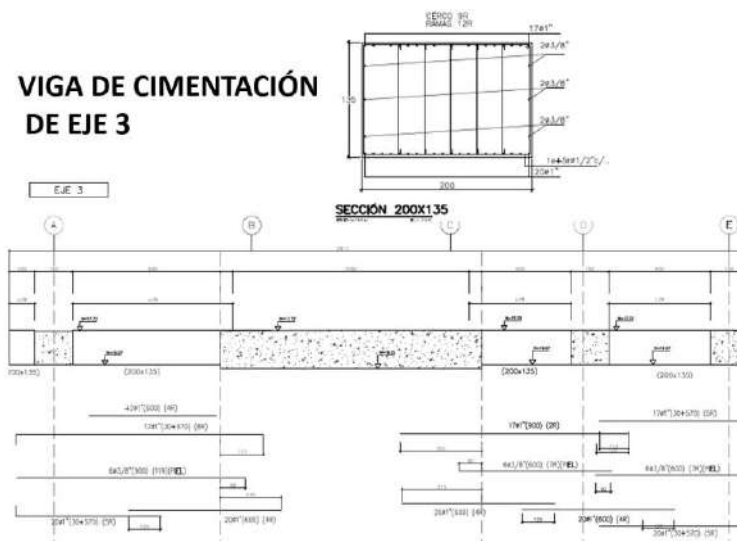


Figura 18 Vista interior de la viga de cimentación del Eje 1 y en la parte inferior se ve los adoquines y la tubería de drenaje de "ojos de agua" que van inmersos en la viga de eje 1

Finalmente, la Figura 19 muestra las vigas de cimentación de los ejes 3 y 4, completando el sistema de apoyo longitudinal del edificio.



VIGA DE CIMENTACIÓN DE EJE 3



VIGA DE CIMENTACIÓN DE EJE 4

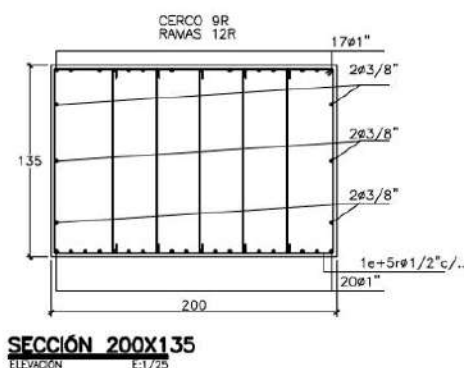


Figura 19 Vigas de cimentación de los ejes 3 y 4.

6. JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN EN CIMENTACIÓN

Durante la Fase 1, la ejecución de la cimentación se realizó hasta aproximadamente la mitad del vano comprendido entre los ejes E y F. En la fotografía izquierda de la Figura 20 se observa el hormigón correspondiente a esta primera etapa, cuya terminación presenta una pendiente aproximada de 45°, utilizada para conformar una junta de construcción inclinada que favorece la adherencia entre colados sucesivos.

Para la fundición correspondiente a la Fase 2, el plano de la junta fue previamente preparado mediante perforaciones con taladro, a fin de regularizar y mantener la inclinación de 45°. Posteriormente, se aplicó un adhesivo epóxico de unión antes del nuevo colado, garantizando así una adecuada continuidad estructural y una correcta transferencia de esfuerzos entre ambas etapas de hormigonado.

En la fotografía derecha de la Figura 20 se muestra el límite entre la Fase 2 y la Fase 3, donde se colocaron tablas de separación temporales para contener el hormigón fresco. Estas tablas no constituyen una superficie continua, ya que a través de los espacios entre ellas atraviesan las armaduras longitudinales de las vigas de cimentación, en este caso las correspondientes al eje B, así como parte del refuerzo de la losa de cimentación adyacente.

Es importante que las varillas de refuerzo que cruzan la junta mantengan una longitud de anclaje moderada, suficiente para asegurar la transmisión de esfuerzos, pero sin generar concentraciones excesivas de tensiones en la zona de unión. Además, durante la continuación de los trabajos, cuando sea necesario doblar estas varillas, se recomienda que el doblez no exceda los 90° , para evitar posibles fisuras o daños en el acero de refuerzo.



Figura 20 A la izquierda la junta de construcción de la primera fase; a la derecha la junta de construcción en sentido longitudinal antes de fundir la fase dos.

7. LOSA DE CIMENTACIÓN

En esta sección se describe la losa de cimentación, la cual presenta dos espesores: 45 cm en la zona perimetral de la estructura y 55 cm en las áreas comprendidas entre las vigas de cimentación.

En la Figura 21 (izquierda) se observa una parte del plano estructural correspondiente al armado de la losa en sentido Y, perteneciente a la fase uno, en la intersección de los muros anclados que colindan con la Av. Eloy Alfaro. En esta zona, la armadura longitudinal está compuesta por varillas de 16 mm de diámetro, con un espaciamiento de 8 cm en la capa superior y 20 cm en la inferior.

En la fotografía de la Figura 21 (derecha) se aprecian las longitudes inferiores de la armadura vertical de los muros anclados (coloquialmente denominadas “patas”), las cuales se integran con la losa de cimentación para asegurar el trabajo monolítico entre ambos elementos.

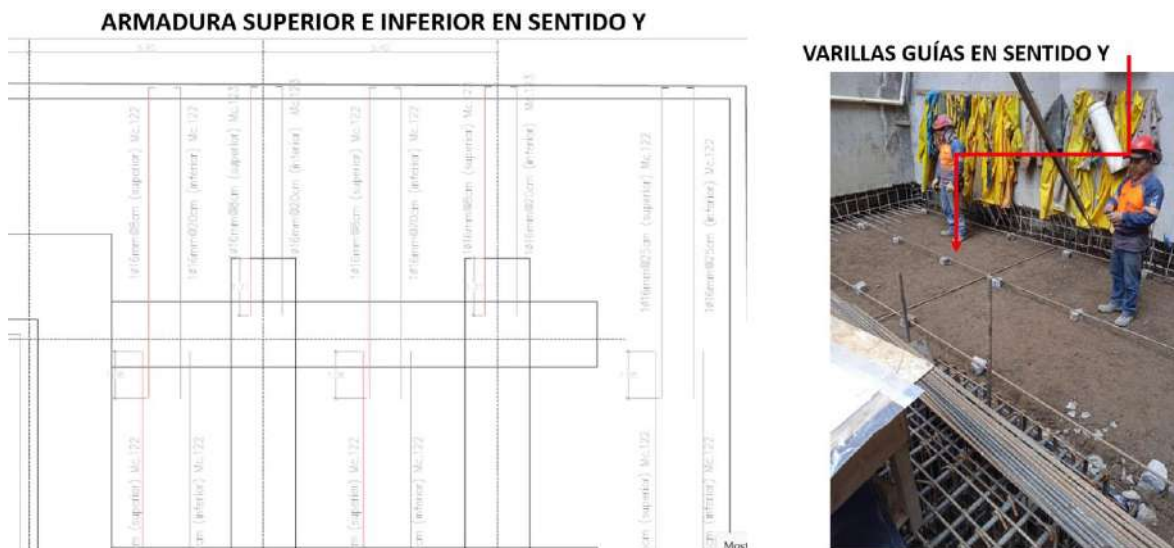


Figura 21 A la izquierda una parte del plano estructural del armado de la losa en sentido Y. En la fotografía se aprecian las patas de la armadura vertical de los muros anclados.

La armadura superior e inferior de la losa en sentido Y atraviesa la viga de cimentación del eje 1. Es importante evitar traslapar las varillas en un mismo punto, ya que esto produce concentración de armadura y dificulta el vaciado del hormigón, especialmente considerando la presencia adicional de los estribos de las vigas de cimentación. Esta situación puede observarse en la Figura 22, donde se presenta la disposición de acero en las vigas de los ejes 4 (izquierda) y 1–2 (derecha). Para garantizar un adecuado llenado en estas zonas se utilizó hormigón autocompactante, con agregados finos que facilitan el flujo del material.



Figura 22 Concentración de armadura sobre las vigas de los ejes 4, a la izquierda y ejes 1 y 2 a la derecha.

En cuanto a los muros de contención, las varillas de acero verticales del subsuelo S5 terminan con una pata de 50 cm, conformando una pieza en forma de “L”. Esta armadura se coló juntamente con la losa de cimentación, permitiendo un comportamiento integral entre el muro de contención y la losa.

Las fotografías de la Figura 23 corresponden a la losa de cimentación exterior —de 45 cm de espesor— ubicada entre los ejes A y el muro de contención anclado, construida durante la fase 3. Esta losa está conformada por dos mallas principales (superior e inferior) que trabajan a flexión, además de una armadura vertical de conexión entre ambas, que actúa a corte. Tanto la armadura superior como la inferior se desarrollan en la parte inferior de los muros de contención anclados, garantizando la continuidad estructural.



Figura 23 Losa de cimentación exterior de 45 cm, de peralte.

Las losas de cimentación exteriores (45 cm) y las losas entre vigas (55 cm) se apoyan sobre una base de adoquines de 8 cm de altura, como se observa en las Figuras 23 y 24. Sobre los adoquines se colocaron fragmentos de adoquín o trozos de varillas de acero para evitar el contacto directo de la armadura inferior con la base. En este caso, el replantillo no fue de baja resistencia, sino que se elaboró con la misma dosificación de hormigón que la losa de cimentación, permitiendo una colada monolítica de todo el sistema.



Figura 24 Losa de cimentación entre vigas de cimentación de 55 cm, de peralte.

Finalmente, el armado y las dimensiones de la losa de cimentación cumplen con los requisitos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15). Este proyecto fue diseñado por Bozzo et al. (2024), revisado y recalculado por Aguiar y Cagua (2025), y posteriormente revisado por Ulcuango y Lema (2025), de la Empresa Colaboradora de Proyectos, como parte del proceso de aprobación técnica del Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

8. ARMADURA VERTICAL ANCLADA A LA CIMENTACIÓN Y RAMPAS

La cisterna del Edificio Luz se extiende desde el eje I hasta el muro anclado paralelo a la Av. Eloy Alfaro. Para su construcción se ejecutó un muro de hormigón armado que conecta las caras interiores de los dos muros de contención anclados, atravesando las columnas ubicadas en los ejes 1 y 2. Este muro tiene un espesor de 25 cm y cuenta con tres capas de refuerzo vertical. La Figura 25 muestra la primera malla o capa de refuerzo, ubicada junto al filo de las columnas mencionadas, mientras que la Figura 26 presenta las dos mallas principales; la tercera capa incluye únicamente varillas verticales que se extienden desde la base de la losa de cimentación hasta el tercio medio de la altura del muro, situándose en el interior de la cisterna.



Figura 25 Primera Malla en muro del eje "I" de cisterna de edificio Luz

En la fotografía de la Figura 26 se observa la armadura horizontal anclada en uno de los muros de contención, con una longitud total de 1 m, de la cual 20 cm quedan embebidos en el muro mediante el uso de un aditivo de fraguado rápido, asegurando un anclaje efectivo. Estas varillas se traslapan con el resto de la armadura horizontal, garantizando la continuidad del refuerzo. La colocación de esta armadura horizontal y vertical se realizó una vez concluido el armado de la cimentación, durante la Fase 1.

Durante la Fase 3, también se dejaron varillas verticales embebidas antes del colado de la cimentación. En la fotografía derecha de la Figura 13 (sección anterior) se observa esta armadura, que sirvió como punto de anclaje para la rampa con pendiente del 4 %.



Figura 26 Anclaje de armadura horizontal y mallas de muro en eje "I"

En la Figura 27 se muestran los muros de contención que soportan la losa de la rampa del 16 %. Estos muros cumplen una doble función: actúan como muros de contención, ya que retienen el material de relleno compactado bajo la rampa, y como muros de carga, al resistir el peso propio de la losa y las cargas de los vehículos. Durante la Fase 3 no se dejaron las varillas verticales con la altura total de los muros, sino de aproximadamente 1 m, suficiente para el colado inicial de la cimentación; una vez concluida esta etapa, se procedió a completar el armado de los muros antes de continuar con el resto de la estructura.



Figura 27 Muros de contención para rampa del 16%

La Figura 28 muestra los muros de contención y estructurales correspondientes a la rampa del 4 %. En la fotografía izquierda se observa claramente la armadura vertical que sobresale del muro y que se integra con la losa de la rampa, logrando un comportamiento monolítico. Este muro se ubica entre los muros estructurales del eje 2 del Núcleo 1. También existe armadura sobresaliente en el muro entre los ejes 1 y 2, aunque no es visible en la fotografía.



Figura 28 Muro de contención para rampa del 4%

Para una mejor comprensión del desarrollo de las rampas, la Figura 29 muestra el esquema general. La rampa del 4 % se inicia en el eje D y se extiende desde el muro anclado hasta el eje 2. La zona de circulación vehicular se ubica entre el muro anclado y el eje 1, mientras que los parqueaderos se encuentran entre los ejes 1 y 2. Desde el eje A hasta el muro anclado, la losa es completamente horizontal. Por su parte, la rampa del 16 % inicia en el eje 1 y llega hasta el eje 3. Ambas rampas se apoyan sobre suelo compactado y están delimitadas por los muros descritos en las Figuras 27 y 28.

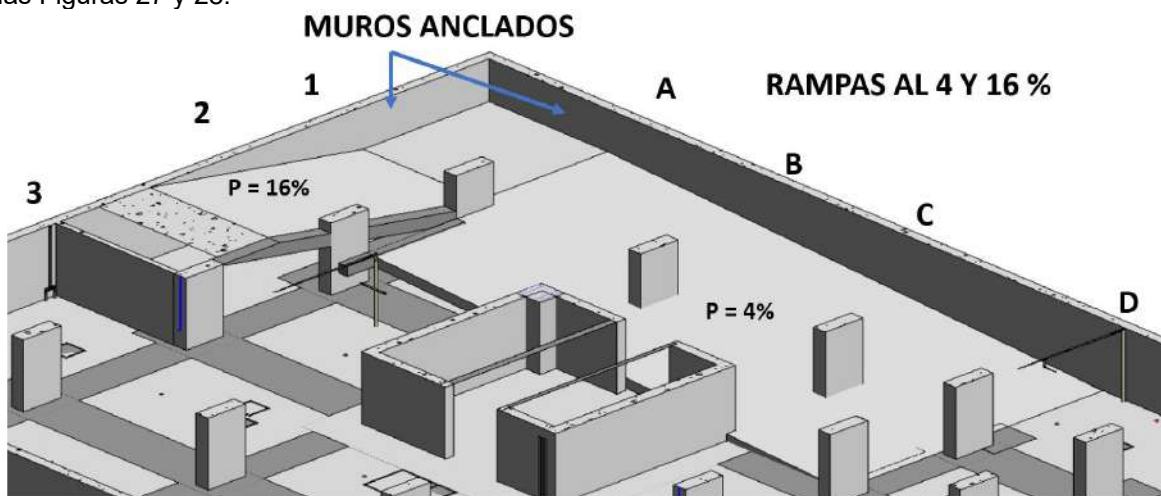


Figura 29 Rampas del 4% y del 16%

Las losas de las rampas se construyeron sobre rellenos compactados por capas, con control de humedad y densidad. En la Figura 30 (izquierda) se observa el proceso de relleno en el área correspondiente a la rampa del 16 %, mientras que en la fotografía derecha se visualizan las varillas verticales del eje 1, que constituyen el arranque de la rampa. Estas varillas, de 16 mm de diámetro, están dispuestas cada 20 cm y se anclan directamente en la cimentación. En el plano horizontal, se colocaron varillas de 10 mm de diámetro, separadas cada 25 cm, formando la armadura de la losa de la rampa.



Figura 30 Relleno compactado y armadura de arranque para la rampa del 16 % en el subsuelo S5.

Desde el punto de vista estructural, un detalle relevante se presenta en la rampa del 4 %, que inicia en el eje D (ver esquema de la Figura 31). La losa de esta rampa tiene un espesor de 32 cm, y en el tramo comprendido entre los ejes C–D se intercepta con la losa de cimentación. En consecuencia, únicamente en ese tramo se dispuso la malla superior de la rampa, considerando que la malla inferior coincide con la armadura existente de la cimentación. Ambas se colaron simultáneamente durante la Fase 2, garantizando la continuidad estructural.



Figura 31 Rampa del 4% y cimentación fundida en fase 2.

9. HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE

En edificaciones de gran altura con subsuelos y muros anclados en su perímetro, la cimentación se construye generalmente de cara a cara entre los muros de contención, con una altura variable según el nivel de esfuerzos estructurales. Esta cimentación se extiende por debajo de los muros anclados hasta la cara exterior en contacto con el terreno, lo que implica que sus caras laterales quedan confinadas por el suelo circundante, permaneciendo expuesta únicamente la cara superior.

En el caso del Edificio Luz, la cimentación presenta una considerable densidad de armadura, lo que genera espacios libres muy reducidos entre varillas. En ciertos sectores, la separación libre entre varillas es de apenas 2 a 3 cm en una dirección y 10 cm en la perpendicular (ver Figura 22). En tales condiciones resulta prácticamente imposible introducir un vibrador por el único acceso disponible —la cara superior—, comprometiendo la compactación del hormigón.

En otras zonas de la cimentación los espacios entre varillas son ligeramente mayores (8 a 10 cm), pero se dispone igualmente de dos mallas principales —superior e inferior— y varillas verticales de corte, lo que mantiene una importante congestión de acero. En las vigas de cimentación (ver Figura 19), la separación libre entre estribos es también de 8 a 10 cm, con un cerco completo y cinco vinchas. En los nudos estructurales, donde las vigas de cimentación interceptan con las columnas, la densidad aumenta aún más debido a la presencia simultánea de armaduras longitudinales, transversales y verticales, lo que dificulta que el hormigón se distribuya y compacte correctamente. Como estas zonas quedan bajo tierra, los defectos de compactación o nidos de grava podrían pasar inadvertidos visualmente, pese a que la superficie exterior luzca uniforme.

Ante este panorama, la solución más adecuada fue emplear hormigón autocompactante (self-compacting concrete) un material altamente fluido que puede desplazarse con facilidad entre los espacios reducidos del refuerzo, fluyendo de forma continua y homogénea hasta alcanzar todo el volumen de la sección. Su principal ventaja radica en que el material se auto compacta sin necesidad de vibrado mecánico, garantizando una distribución uniforme sin intervención adicional.

Este tipo de hormigón debe ser diseñado específicamente por especialistas, a fin de asegurar la resistencia estructural requerida. En este proyecto, la resistencia de diseño fue de 25 MPa. El diseño de la mezcla se realizó de manera conjunta entre los profesionales de Rosero Construye y Holcim (David Rosero, 2025), siguiendo los lineamientos del ACI 306R.

El hormigón autocompactante presenta un costo superior al del hormigón convencional debido a su formulación especial, compuesta por cemento, polvo mineral, agregado fino, agregado grueso de pequeño tamaño, aditivos, agentes expansivos y agua. Esta composición le confiere alta retención de humedad y una excelente cohesión interna, fundamentales para mantener su fluidez sin segregación de materiales.

La cimentación correspondiente a la Fase 3 se coló el sábado 9 de agosto. Durante los días siguientes (domingo y lunes), no se permitió el ingreso de personal a la obra, en cumplimiento del requisito del hormigón autocompactante que prohíbe el tránsito sobre la superficie fresca durante las primeras 24 horas. El martes 12 de agosto, se inició el curado mediante aplicación de agua sobre la superficie expuesta y la colocación de mantas térmicas saturadas, utilizadas para mantener la humedad y temperatura de la mezcla.

En la Figura 32, se observa a la izquierda la colocación de las mantas térmicas húmedas sobre la cimentación, y a la derecha, una fotografía tomada días después donde aún permanecen visibles dichas mantas sobre el hormigón de la Fase 3.



Figura 32 Manta térmica utilizada para el curado del hormigón.

Con el fin de controlar el gradiente térmico, se instalaron termómetros en distintos puntos de la cimentación para monitorear rigurosamente la temperatura durante el proceso de fraguado. Este control permitió garantizar la durabilidad y la resistencia final del hormigón, evitando fisuración térmica o pérdida de humedad prematura.

Las fotografías de la Figura 33 fueron tomadas 14 días después de la fundición del hormigón de la Fase 3, observándose que aún permanecían colocadas varias de las mantas térmicas de curado, lo que evidencia el cumplimiento de un proceso de curado prolongado y controlado.

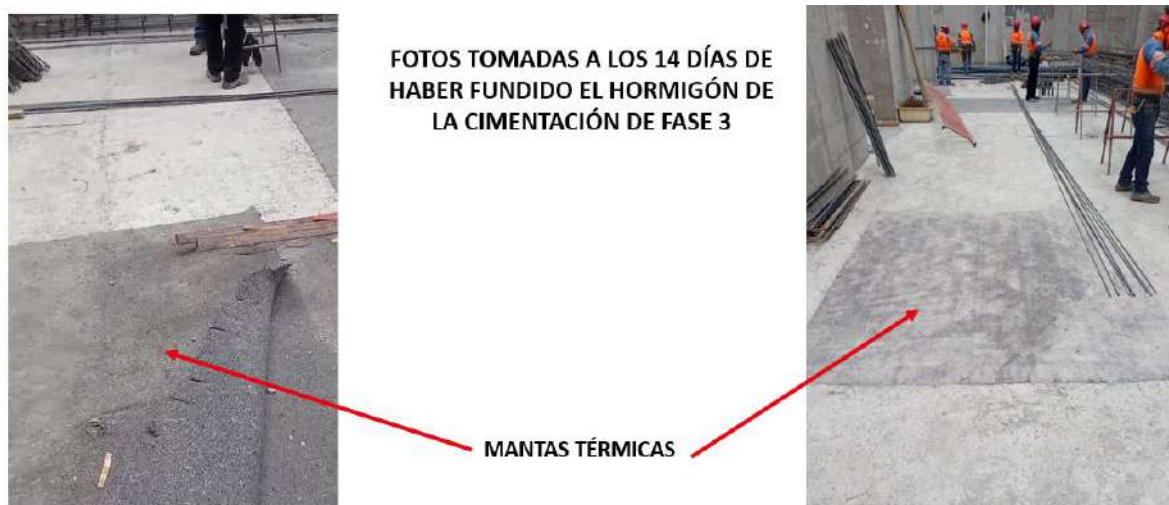


Figura 33 Fotografías tomadas 14 días después de la fundición del hormigón de cimentación.

10. INFORMACIÓN DEL SUELO Y COMPORTAMIENTO DE CIMENTACIÓN

La Tabla 1 presenta las principales características geotécnicas del suelo sobre el cual se construyó el Edificio Luz, ubicado frente al parque La Carolina, en la ciudad de Quito. De acuerdo

con el Informe de Suelos elaborado por Salvador (2023), el estrato aluvial se encuentra a una profundidad aproximada de 17.5 m. Sin embargo, durante la excavación se observó que el material aluvial comenzó a aparecer desde los 15 m, como se muestra en la Figura 34.

Durante el proceso de excavación, el trabajo con retroexcavadora resultó complejo debido a la presencia de rocas volcánicas de diversos tamaños, lo que evidenció la heterogeneidad del depósito. Se identificaron bloques de roca de entre 30 y 40 cm de diámetro, además de fragmentos menores, de entre 10 y 15 cm, junto con material volcánico más fino. Esta composición refleja la naturaleza aluvio-volcánica del subsuelo en la zona de La Carolina, con depósitos arrastrados y mezclados provenientes de eventos volcánicos y fluviales pasados.

En la Figura 34 también se aprecia el muro de contención anclado, así como la cimentación construida en la Fase 1, la cual se prolonga por debajo de la base del muro. La armadura vertical exterior del muro concluye con una pata de anclaje de 50 cm, que se funde monolíticamente con la losa de cimentación exterior. En la fotografía, dicha pata aparece doblada temporalmente para facilitar el trabajo, aunque posteriormente se restituye a su posición final de 90 grados.

Un aspecto constructivo relevante fue la disposición del material de trabajo en proximidad al punto de utilización. En la cimentación de los muros estructurales del Núcleo 2, las varillas de acero se almacenaron cerca de la zona de armado, optimizando tiempos de instalación y reduciendo el riesgo de deformaciones durante el transporte interno.



Figura 34 Suelo aluvial, a partir de los 15 m, de profundidad en edificio Luz.

La clasificación del suelo se determinó a partir de la velocidad promedio de la onda de corte (V_{s30}) en los 30 m superiores del terreno, medida desde el nivel natural del suelo —coincidente con la cota de la calle—. Los ensayos de sísmica de refracción realizados por Haro y Bonifaz (2023) reportaron velocidades de 346 m/s en la línea sísmica 1, 400 m/s en la línea 2 y 399 m/s en la línea 3, a profundidades cercanas a 16 m. A partir de esta profundidad, las velocidades muestran un incremento sostenido, lo que evidencia una transición hacia materiales más competentes.

Considerando la profundidad de la cimentación y las velocidades medidas, se determinó que el perfil de suelo corresponde al tipo C, conforme a los criterios de clasificación de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15).

Tabla 1 Características del suelo donde se encuentra edificio Luz. Salvador (2023)

Características del suelo de edificio Luz	Valor
Período fundamental del suelo	0.16 s
Estratos de suelo aluvionales tipo	ML, SL, GP
Presencia de esquistos de pómez en estado	Húmedo a saturado
Nivel freático detectado entre	10 a 13 m
Compacidad relativa suelta	Hasta 5 m
Compacidad relativa media	De 5 a 10 m
Compacidad relativa densa, muy densa y rechazo en SPT	De 10 a 30 m
Número de golpes N de SPT corregido a 17.50 m	50
Tipo de suelo a 17.50 m	Aluvial
Velocidad de la onda de corte V_{s30}	324 m/s
Clasificación del tipo de suelo de acuerdo a NEC-15	D
Coefficiente de Balasto (estimado)	43200 KN/m ³
Capacidad portante del suelo	36 T/m ²
Capacidad portante del suelo para análisis sísmico	47.88 T/m ²
Características del suelo para muros anclados de 0 a 8.5 m	
Peso Unitario	1.75 T/m ³
Cohesión	4.0 T/m ²
Coefficiente de empuje activo K_a	0.41
Características del suelo para muros anclados de 8.5 a 17.7 m	
Peso Unitario	1.80 T/m ³
Cohesión	1.5 T/m ²
Coefficiente de empuje activo K_a	0.33

11. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

La vinculación entre la academia y la práctica profesional resulta esencial para la formación integral del ingeniero estructural. Las visitas académicas a obras permiten que los estudiantes comprendan cómo los principios teóricos se materializan en condiciones reales de construcción, donde influyen factores como la secuencia constructiva, la logística y las restricciones del entorno urbano. En el caso del Edificio Luz, esta experiencia evidenció que una cimentación de gran magnitud, por sus dimensiones y densidad de refuerzo, no puede ejecutarse en una sola etapa. Las limitaciones de espacio, accesibilidad y control de calidad hacen imprescindible su planificación por fases, lo que a su vez implica un diseño estructural que considere explícitamente estas etapas en el análisis del comportamiento global del edificio.

El diseñador estructural desempeña un rol determinante en esta coordinación, pues debe proponer y modelar las fases constructivas de modo que cada una garantice estabilidad y control de deformaciones durante la ejecución. Incorporar el análisis por etapas dentro del proceso de diseño no solo mejora la seguridad estructural, sino que fortalece la integración entre diseño y construcción, promoviendo un enfoque más realista y sostenible en la ingeniería moderna.

Desde el punto de vista constructivo, la alta congestión de armaduras en la cimentación, combinada con el confinamiento lateral de los muros anclados, reduce drásticamente la posibilidad de compactación mecánica adecuada del hormigón. En tales condiciones, la adopción de hormigón autocompactante se presenta como una solución técnica óptima, capaz de asegurar la continuidad, homogeneidad y calidad del material en espacios de difícil acceso. Este tipo de hormigón, complementado con un curado controlado mediante mantas térmicas, garantizó en el Edificio Luz la resistencia de diseño, la durabilidad y la integridad estructural a largo plazo, a pesar de las complejidades constructivas del proyecto.

En términos generales, el análisis y documentación del proceso constructivo de la cimentación del Edificio Luz aportan un referente técnico valioso para el diseño y la ejecución de obras similares en entornos urbanos con suelos de características aluvio-volcánicas, como los del sector de La Carolina en Quito. Este estudio demuestra la importancia de integrar el conocimiento académico, la ingeniería estructural y la experiencia de obra, promoviendo una práctica profesional más reflexiva, colaborativa y fundamentada en la evidencia técnica.

AGRADECIMIENTO

Brian Cagua agradece el apoyo de ANID-Subdirección de Capital Humano/Doctorado/2022-folio 21220089, por la beca para realizar sus estudios de postgrado en Chile.

REFERENCIAS

1. ACI 306 R-16 (2016). Guide to Cold Weather Concreting, *American Concrete Institute*.
2. Aguiar R., Cagua B., (2025), *Revisión de diseño estructural de edificio Luz*, **CEINCI-LAB** Consultores, 49 p, ceincilab.wordpress.com
3. Aguiar R., Rosero J., Bozzo L., (2025), "Protocolo de instalación de un disipador SLB de cuarta generación", *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, **30, 1**, 1-17.
4. Bozzo L., Pérez L., Morales R., Bozzo G., (2024), *Memoria de cálculo Proyecto Edificio Luz, Quito Ecuador*, Luis Bozzo Estructuras y Proyectos SL, 42 p, www.luisbozzo.com.
5. Bozzo L., (2017) *Ensayo de una estructura con disipadores de energía SLB, realizada en Laboratorio de Estructuras de la UNAM*, en ciudad de México, <https://www.youtube.com/watch?v=cFNpNaaVRWo>
6. Haro J., Bonifaz H., (2023). *Estudios Geofísicos. Proyecto Edificio Luz*. Anexo en Informe de Salvador R. (2023).
7. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. *Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda*.
8. Rosero D., (2025) *Diseño de hormigón auto compactante, para la cimentación de edificio Luz*. Trabajo en conjunto con empresa Holcim.
9. Salvador R., (2023), *Estudio Geotécnico para diseño de cimentaciones del Edificio Luz a construirse en la calle Pablo Arturo Suárez y Av. Eloy Alfaro, Quito*, Informe de 49 pp.
10. Ulcuango D. Lema A., (2025), *Revisión y aprobación del Proyecto Estructural*. Empresa Colaboradora de Proyectos ECP.