



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“MURO ANCLADO DE CONCRETO ARMADO COMO ALTERNATIVA
EN LA CONSTRUCCIÓN DE CIMENTACIONES DE EDIFICIOS
CORPORATIVOS DE OFICINAS COMERCIALES PARA LA
CIMENTACIÓN DE UN EDIFICIO DE 3 SÓTANOS, 11 PISOS Y AZOTEA
CON MUROS ANCLADOS, COMPARADO CON CALZADURAS”**

**PRESENTADA POR EL BACHILLER
MARCOS MIGUEL RUIZ BENAVENTE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ
ENERO, 2017**

DEDICATORIA

A Dios todopoderoso, por permitirme la dicha de haber estudiado esta maravillosa carrera.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por todo su apoyo; y a mi Alma Máter, por transmitirme su sin fin de conocimientos, que me hicieron acreedor de una buena formación profesional.

RESUMEN

La presente tesis pretende desarrollar la técnica constructiva de los Muros Anclados que actualmente se utiliza cada vez más para dar confinamiento lateral al suelo, con relación a la alternativa de construcción tradicional de Calzaduras y además, realizar un presupuesto referencial sobre la aplicación del sistema de Muros Anclados comparándolo con el costo de la calzadura. Para cumplir esta finalidad se ha tomado como ejemplo el caso de un edificio de oficinas de 3 sótanos, 11 pisos y azotea, actualmente en ejecución, ubicado en la Calle Monte Rosa, cuadra 2, Manzana C, lotes 8 y 9, Urbanización Chacarilla del Estanque, Santiago de Surco que cuenta con Licencia de Edificación Nueva aprobada por la Municipalidad de Santiago de Surco con el diseño de calzaduras pero finalmente ejecutada con el sistema de Muros Anclados realizados con la empresa Pilotes Terratest del Perú S.A. El proyecto en ejecución tiene 72 oficinas y 206 estacionamientos. Se ha organizado el estudio en seis capítulos. En el primer capítulo se dan los conceptos básicos y definiciones sobre excavaciones profundas, necesidad de estudios geotécnicos, comportamiento del suelo de Lima y una metodología para plantear un sistema de contención de tierras. En el segundo capítulo se define y desarrolla en forma genérica el sistema de muros anclados, las tecnologías en que se basa, concepto de anclajes, tipos, aplicaciones, la parte de diseño estructural se aborda en forma sólo conceptual y el proceso constructivo. En el tercer capítulo se desarrolla, también en forma genérica, el sistema de calzaduras. En el cuarto se explica las características del proyecto y obra del Edificio Monte Rosa que se ha tomado como ejemplo. En el quinto capítulo se hace una evaluación económica para el ejemplo del edificio Monte Rosa, del sistema de muros anclados y el de calzaduras. En el sexto y último capítulo se desarrolla el proceso de ejecución de muros anclados para el mencionado edificio.

PALABRAS CLAVE: MURO ANCLADO Y CALZADURA

ABSTRACT

The present thesis intends to develop the constructive technique of the Anchored Walls that is currently being used increasingly to provide lateral confinement to the ground, in relation to the alternative of traditional Construction of Wedges and also, to make a reference budget on the application of the system of Walls Anchored compared to the cost of the shoe. To fulfill this purpose, the example of an office building of 3 basements, 11 floors and roof, currently in execution, located at Monte Rosa Street, block 2, Manzana C, lots 8 and 9, Chacarilla Urbanization Estanque, Santiago de Surco that has a New Building License approved by the Municipality of Santiago de Surco with the design of footwear but finally executed with the system of anchored walls made with the company Pilotes Terratest del Perú SA The project in execution has 72 offices and 206 parking lots. The study has been organized in six chapters. The first chapter gives the basic concepts and definitions on deep excavations, the need for geotechnical studies, the behavior of the soil of Lima and a methodology to propose a system of land containment. In the second chapter, the system of anchored walls, the technologies on which it is based, the concept of anchors, types, applications, the structural design part is dealt with in conceptual form and the construction process. In the third chapter the system of footwear is developed, also in generic form. In the fourth explains the characteristics of the project and work of the Monte Rosa Building that has been taken as an example. In the fifth chapter an economic evaluation is made for the example of the Monte Rosa building, the system of anchored walls and that of footwear. In the sixth and last chapter the process of execution of anchored walls for the aforementioned building is developed.

KEYWORDS: ANCHORED WALL AND WEDGE

INTRODUCCIÓN

El crecimiento rápido de la ciudad de Lima ha creado la necesidad de un mayor aprovechamiento de los espacios físicos que, a su vez, han llevado a la ejecución de edificios de gran altura y al empleo del subsuelo como una alternativa para diferentes obras de construcción, como por ejemplo, sótanos de varios niveles de edificios, estacionamientos subterráneos y también, vías de comunicación más rápida.

Uno de los grandes problemas urbanos que hoy afronta la capital es el déficit de estacionamientos, especialmente en los más importantes centros comerciales y financieros de la ciudad, hecho que ha generado un verdadero caos vehicular y urbano que se manifiesta en congestión, invasión de la vía pública y zonas privadas para estacionar.

Por tal razón los distritos con gran intensidad comercial y financiera que, por un lado permiten mayor coeficiente edificatorio y altura, por otro, han creado normas muy exigentes para la dotación de estacionamientos en propiedad privada tanto para edificios residenciales como para edificios comerciales, muy especialmente en este último caso que ha generado la construcción de sótanos de gran profundidad, de varios niveles. Sin embargo, la construcción subterránea de gran profundidad en los límites urbanos actuales de Lima, supone grandes riesgos, producto de la gran cantidad de edificaciones existentes dentro de una morfología de lotes confinados entre medianeras.

Por otro lado, de los análisis realizados en el suelo de Lima, es necesario considerar sus componentes que al estar en estado compacto y conformados por grava, piedras y arena, se ha confiado demasiado en su resistencia o soporte lateral sin estimar la magnitud de sus movimientos o las probables consecuencias que puede acarrear no prever un adecuado procedimiento de diseño y construcción.

Cualquier excavación que se practique en los suelos granulares gruesos de Lima, causa disipación de esfuerzos concentrados en el terreno y su correspondiente expansión en el suelo adyacente, lo que redundará en asentamientos y formación de grietas de tensión que originan cuñas de deslizamiento que pueden ser activadas por efecto de sobrecargas estáticas o dinámicas generadas en el área de excavación y cuyo disparador casi siempre es el agua infiltrada en el medio poroso.

Desde el punto de vista constructivo, una de las soluciones que se están empleando actualmente la constituyen los muros anclados de concreto armado como alternativa al procedimiento constructivo tradicional de la calzadura, método que habitualmente se utiliza para proteger las edificaciones vecinas de las excavaciones profundas.

Una calzadura soporta muy bien cargas verticales, pero no esfuerzos laterales de contención, estos son absorbidos por el propio peso de la calzadura, lo que obliga a construir grandes masas de concreto que por lo general se hacen de espesores variables. Esta premisa de contención lateral resulta teórica cuando por alguna razón, como un sismo o filtraciones, se producen esfuerzos laterales no previstos. Estos empujan horizontalmente las calzaduras y en fracciones de segundos se desploman con la parte del suelo adyacente que genera el esfuerzo. Esto no deja tiempo para nada y difícilmente se pueden tomar medidas de seguridad para evitar la tragedia. Los trabajadores que están en la parte inferior de la excavación no tienen escapatoria, por más que estén provistos de cascos, botas, guantes y todos los elementos de seguridad que existan.

En Lima se han hecho maravillas en calzaduras, pero en suelos muy estables como puede ser el Cercado o zonas aledañas. Lamentablemente en la mayoría de las zonas de expansión tenemos suelos inestables. Si a eso se suma que la mitad del agua potable se pierde por filtraciones y ésta genera una presión hidrostática lateral mayor a la del suelo, estamos frente a un problema inminente que debe ser resuelto.

Por eso, en excavaciones profundas se requiere construir bajo determinado procedimiento, muros que van anclados lateralmente al suelo con cables de acero postensados y cada muro es capaz de contener decenas de toneladas.

Los equipos para este trabajo son relativamente sencillos y baratos y existen de varios tipos, pero no disponemos de los suficientes en el medio, porque nadie exige que se usen. Si fuera obligatorio habría muchos y los costos de este sistema bajarían y lo más importante, no se producirían accidentes.

Se piensa que el remedio (muros anclados) puede ser caro comparado con una calzadura artesanal, pero el impacto en el costo del edificio no es importante, más aún si los precios de los inmuebles en el mercado se han elevado por demanda. Esta es una manera real de proteger la vida de los trabajadores y las propiedades adyacentes. Es por eso que también analizaremos aspectos de costos de ambos sistemas.

El sistema de Muros Anclados es oportuno por su rápido desarrollo en la protección de las paredes laterales de la excavación, ya que antes de iniciarse la excavación existía entre el suelo adyacente a la edificación y el mismo un equilibrio de empujes. Y que, al retirarse parte del suelo, se origina un déficit de tensiones produciéndose una deformación horizontal del terreno por debajo del nivel de cimentación.

Los Muros Anclados han sido diseñados para resistir la tracción de los tirantes, los cuales transmitirán el esfuerzo aplicado hacia la línea de falla del suelo. La aplicación de este sistema es adecuado para edificaciones con sótanos mayores de 7M de profundidad debido a que presenta mayor seguridad estructural, rapidez y ahorro de material, ya que las pantallas reciben las cargas y a la vez forman parte integrante de la estructura del edificio a construirse.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTO.....	II
RESUMEN.....	III
ABSTRACT.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	V
ÍNDICE.....	VIII

CAPÍTULO I: CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES

1.1. Cimentaciones Profundas.....	1
1.2. Estudios Geotécnicos.....	3
1.3. Comportamiento del Suelo de Lima.....	3
1.4. Metodología para Plantear un Sistema de Contención de Tierras.....	5

CAPÍTULO II: MUROS ANCLADOS

2.1. Características de los Muros Anclados.....	6
2.2. Tecnologías en las que se basa el Muro Anclado.....	6
A. Soil Nailing.....	7
B. Muro Pantalla.....	7
2.3. Anclajes en Muros.....	8
a. Partes de un Anclaje.....	8
b. Consideraciones básicas para el diseño de un anclaje.....	9
c. Tipos de Anclajes.....	9
2.4. Aplicaciones de Muros Anclados.....	9
2.5. Diseño del Muro como Elemento de Concreto Armado.....	10
2.6. Secuencia Típica del Proceso Constructivo de Muros Anclados.....	12
2.6.1. Consideraciones Constructivas.....	17
2.7. Proyecto de Muros Anclados Edificio de Oficinas Monte Rosa, materia de Análisis.....	20

CAPÍTULO III: CALZADURAS

3.1. Características de las Calzaduras.....	30
3.2. Función de las Calzaduras.....	31
3.3. Aplicaciones de las Calzaduras.....	31
3.4. Procedimiento Constructivo de Calzaduras.....	31
3.5. Calzaduras en los suelos de Lima.....	33
3.6. Proyecto Calzaduras del Edificio de Oficinas Monte Rosa, materia de Análisis.....	33

CAPÍTULO IV: CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y OBRA DEL EDIFICIO DE OFICINAS MONTE ROSA DE 3 SÓTANOS, 11 PISOS Y AZOTEA Y DE SU ENTORNO INMEDIATO

4.1. Antecedentes de la Edificación.....	36
4.2. Características del Terreno.....	36
4.3. Datos Relativos a la Obra que se Proyecta.....	37
4.4. Edificios Próximos.....	40
4.5. Obras o Instalaciones Subterráneas.....	43

CAPÍTULO V: EVALUACIÓN ECONÓMICA DE MUROS ANCLADOS Y DE CALZADURAS DEL EDIFICIO MONTE ROSA

5.1. Evaluación de Costos de Muros Anclados según Proforma de Valorización de Anclajes del Edificio Monte Rosa hecho por P.T.P. S.A.....	44
5.2. Evaluación de Costos de Calzaduras del Edificio Monte Rosa según Proyecto Aprobado Por la Municipalidad de Santiago de Surco.....	44
5.3. Comparación entre Costos de Calzaduras y Costos de Muros Anclados del Edificio Monte Rosa.....	44

CAPÍTULO VI: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL EDIFICIO DE OFICINAS MONTE ROSA DE 3 SÓTANOS, 11 PISOS Y AZOTEA

6.1. Excavaciones Masivas.....	47
6.2. Excavación, Preparación y Perfilado de la Banqueta con maquinaria.....	52
6.3. Shotcrete o Lechada de Cemento del Talud o Banqueta.....	54
6.4. Perforación de los Anclajes.....	54
6.5. Instalación del Anclaje de Cables.....	58
6.6. Inyección de Cemento.....	58
6.7. Extracción de la Tubería Metálica de Revestimiento.....	59
6.8. Excavación por paños alternados del talud hasta dejarlo a plomo.....	59
6.9. Colocación de la Armadura.....	60
6.10. Encofrado del Paño del Muro.....	61
6.11. Concreto del Paño.....	62
6.12. Tensado de Anclajes.....	64
6.13. Segunda Hilada.....	67
6.14. Tercera Hilada	

CONCLUSIONES.....	96
--------------------------	-----------

RECOMENDACIONES.....	99
-----------------------------	-----------

BIBLIOGRAFÍA.....	101
--------------------------	------------

ANEXOS.....	102
--------------------	------------

Anexo I: Arquitectura (Plantas, Cortes y Elevación).

Anexo II: Planos de Anclajes

Anexo III: Planos de Calzaduras

Anexo IV: Estructuras

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO: CONCEPTOS BÁSICOS Y DEFINICIONES

1.1. CIMENTACIONES PROFUNDAS

Se denominan **Cimentaciones Profundas** a aquellas que transmiten la carga al suelo por presión bajo su base, pero que además pueden contar con rozamiento en el fuste. Pueden estar constituidas por muros verticales profundos de concreto, llamados Muros Pantalla o por pilares hincados en el suelo, conocidos como Pilotes. Las Cimentaciones Profundas se usan en los siguientes casos:

- a. Cuando los esfuerzos transmitidos por el edificio no pueden ser distribuidos suficientemente a través de una cimentación superficial, y en la solución probable se sobrepasa la capacidad portante del suelo.
- b. Cuando el terreno tiende a sufrir grandes variaciones estacionales: por hinchamientos y retracciones.
- c. Cuando los estratos próximos al cimiento pueden provocar asientos imprevisibles y a cierta profundidad, caso que ocurre en terrenos de relleno o de baja calidad.
- d. En edificios sobre el agua.
- e. Cuando los cimientos están solicitados a tracción; tal como ocurre en edificios altos sometidos a esfuerzos por vientos, o en estructuras que necesitan elementos sometidos a tracción para lograr estabilidad, como estructuras de cables o cualquier estructura anclada al suelo.
- f. Para resistir cargas inclinadas, como aquellos pilotes que se colocan en los muelles para resistir el impacto de los cascos de barcos durante el atraque.
- g. Para el recalce de cimientos existentes.

Cuando el peso de un edificio es excesivo y el terreno es incapaz de soportarlo, puede recurrirse a dos tipos distintos de cimentaciones profundas:

- Muros o Pantallas Ancladas: son muros verticales profundos que soportan las presiones del terreno.
- Pilotes: son elementos puntuales que se hincan en el suelo transmitiendo las cargas a estratos más profundos y resistentes.

Las excavaciones profundas se realizan con mucha frecuencia para desplantar cimentaciones en zonas urbanas debido a la escasez de espacio, por lo cual la construcción bajo cota de terreno natural ha cobrado gran importancia.

En la actualidad, las edificaciones cuentan con la construcción de ciertos niveles de sótanos que pueden tener profundidades variables, generalmente por necesidades arquitectónicas, por optimización de espacios o por soluciones geotécnicas. En la mayoría de los edificios modernos de la ciudad, debido a la problemática de búsquedas de lugares utilizables, para sótanos de parqueos, observamos este tipo de obras. Por esta razón en este tipo de trabajos, es fundamental determinar métodos de excavación adecuados y sistemas seguros de sostenimiento, para proteger las paredes de excavación, evitando posibles fallas en edificios adyacentes.

En general, cuando empieza una nueva estructura a edificarse y si ésta requiere una excavación profunda para su cimentación, es estrictamente necesario estudiar bajo qué condiciones se realizarán los trabajos de excavación, ya que podrían causar pérdida de capacidad de carga, asentamientos, movimientos laterales en edificaciones colindantes, etc. Por esto es obligatorio determinar soluciones accesibles para realizar trabajos de excavaciones seguros y económicos.

1.2. ESTUDIOS GEOTÉCNICOS

Los Estudios Geotécnicos aportan información geológica y geotécnica fundamental para la realización de los proyectos y la construcción de estructuras. Las propiedades de los suelos y de las rocas se cuantifican mediante parámetros geotécnicos que se usan en general en los estudios del terreno y en particular en el cálculo y diseño de la cimentación. Éstos se establecen a partir de los resultados de los ensayos de campo y laboratorio o por los análisis retrospectivos del comportamiento de terrenos similares a los que se considere con obras semejantes en su estructura y carga. Tras el análisis de los datos obtenidos a partir de los ensayos de campo, laboratorio y la información geológica previa, se elabora el Informe Geotécnico. Este informe es el conjunto de documentos técnicos que se redacta para informar al proyectista del edificio sobre los datos y conclusiones referentes a las condiciones del terreno y a la cimentación de la estructura. Los trabajos de investigación se planifican en función de las propiedades del terreno y de la futura edificación, la cual cumplirá con las especificaciones de la normativa vigente, Reglamento Nacional de Edificaciones.

1.3. COMPORTAMIENTO DEL SUELO DE LIMA

Las investigaciones efectuadas por el Ingeniero Arnaldo Carrillo Gil establecen que en el suelo granular grueso de Lima existe una cohesión que no se debe a ninguna adhesión entre las partículas o algún cementante que las una, sino más bien un entrapamiento mecánico entre las partículas grandes y pequeñas que constituyen el suelo granular grueso. Es por ello que cuando este efecto se destruye, las propiedades resistentes disminuyen o se anulan produciéndose graves deslizamientos, pérdida de soporte o deformaciones inadmisibles.

Hay que recordar que el empuje de un suelo es mayor si el ángulo de fricción interna es menor y si el suelo no tiene cohesión. Según el Ing. Antonio Blanco Blasco el suelo gravoso de Lima es granular y no debería tener cohesión. Sin embargo, tiene una cohesión aparente, que es la que facilita la construcción de las calzaduras. Si hay presencia de agua, esta cohesión se pierde.

El suelo de Lima tiene condiciones ideales para este tipo de construcción. Sus características son:

- Peso unitario Seco 1.8 a 2.2 t/m².
- D relativa 70% a 95 %
- Cohesión entre 0.40 a 0.80kg/cm².
- Angulo de fricción interna 36° a 42°.

Se puede apreciar el perfil transversal y la estratigrafía del suelo de Lima en las Fotos 1 y 2.



Izquierda: Condición natural del suelo granular grueso de Lima Metropolitana.

Derecha: Estabilidad del suelo

1.4. METODOLOGÍA PARA PLANTEAR UN SISTEMA DE CONTENCIÓN DE TIERRAS

La metodología a seguir para plantear un sistema de contención de tierras es la siguiente:

a. Terreno:

- Perfil estratificado
- Características geotécnicas de los distintos estratos
- Presencia de agua (nivel freático)
- Agresividad del agua o del terreno.

b. Datos relativos a la obra que se proyecta:

- Profundidad de la excavación,
- Acciones de la estructura,
- Condicionantes constructivas y funcionales

c. Edificios próximos

- Estado de conservación
- Tipo de estructura y cimentación
- Situación de cargas de las cimentaciones

Este dato es primordial porque determinará si se puede o no se puede transmitir vibraciones y/o succiones del terreno, como suele pasar, por ejemplo, cuando se emplea trépanos en los muros pantallas.

d. Obras o instalaciones subterráneas próximas:

- Situación y características.

La estructura de contención a emplear deberá tener en consideración todas y cada una de estas exigencias.

CAPÍTULO II

MUROS ANCLADOS

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MUROS ANCLADOS

Es la tipología de Cimentaciones más difundida en áreas urbanas para edificios con sótano en un predio entre medianeras, en estacionamientos y a modo de barreras de contención de agua subterránea en túneles y carreteras.

Los **muros anclados**, también llamados pantallas ancladas, son una mezcla de tecnologías convencionales; mezcla la metodología del Soil Nailing con la del Muro Pantalla, constituyen un tipo de Cimentación Profunda muy usada en edificios de altura, que actúa como un muro de contención y brinda muchas ventajas por ahorro de costos y mayor desarrollo en superficies. Son construidas para efectuar una excavación profunda con la misión de resistir los empujes del terreno y limitar la entrada de agua al terreno. Son una opción a la construcción de muros de gran altura. Un elemento que trabaja a tracción se opone a las fuerzas de empuje activo del terreno. Es la técnica de anclajes inyectados postensados, tanto temporales como permanentes que se pueden realizar en suelo y roca. Los sistemas de anclajes utilizados según la normativa internacional son de cables o barra de acero especialmente diseñados para este fin. En el caso de cortes de gran altura, los empujes son tan altos que construir otro tipo de muros se vuelve poco práctico, antieconómico y sobre todo muy riesgoso. La construcción de anclajes en la parte superior del muro equilibra las fuerzas de empuje y reduce considerablemente las dimensiones del muro.

2.2. TECNOLOGÍAS EN LAS QUE SE BASA EL MURO ANCLADO

Como el Muro Anclado es una mezcla de muro pantalla y soil nailing, se deben tener en cuenta las consideraciones de diseño de ambos métodos que a continuación se explican:

A. Soil Nailing

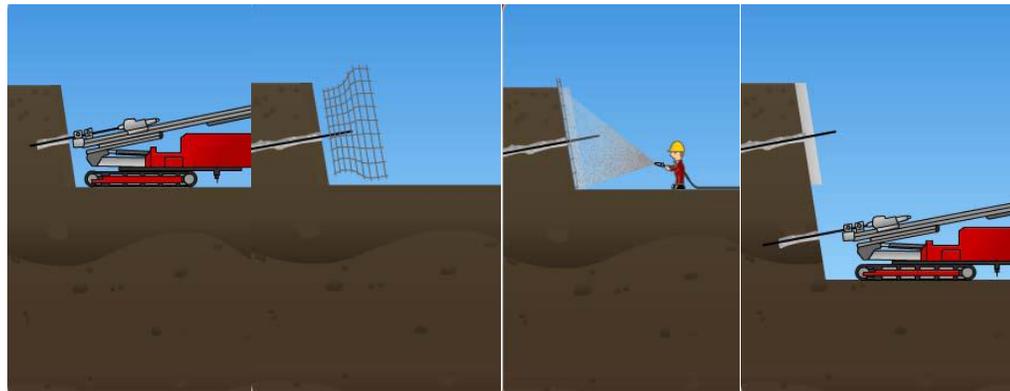
El "Soil Nailing" (suelo clavado) es un método moderno para contener cortes de suelos en obras viales o excavaciones en general. Tiene un amplio campo de aplicaciones en el sector de obras de Infraestructura y Edificación siendo una de las principales soluciones para la contención de taludes. Construir un muro mediante "soil nailing" significa reforzar el suelo a medida que se excava, mediante la perforación e instalación de pernos pasivos, que cortan la superficie potencial de falla porque trabajan fundamentalmente a la tracción y secundariamente al corte.

Para evitar desmoronamientos del suelo, se utiliza el "shotcrete", concreto "in situ" o en algunos casos mallas especiales. El corte de la excavación puede ser vertical, inclinado, o ejecutarse en terrazas. En general admite cualquier geometría y puede adaptarse para recibir vegetación.

Las principales ventajas del Soil Nailing frente a otros sistemas de contención de suelos son:

- Alta velocidad de ejecución, ya que la construcción del muro anclado acompaña prácticamente la excavación.
- Versatilidad para adaptarse a las diferentes geometrías de los taludes.
- Economía.
- Ausencia de cualquier otro elemento de entibación a ejecutar previamente.

FIGURA N° 1: Proceso Constructivo del Soil Nailing



1

2

3

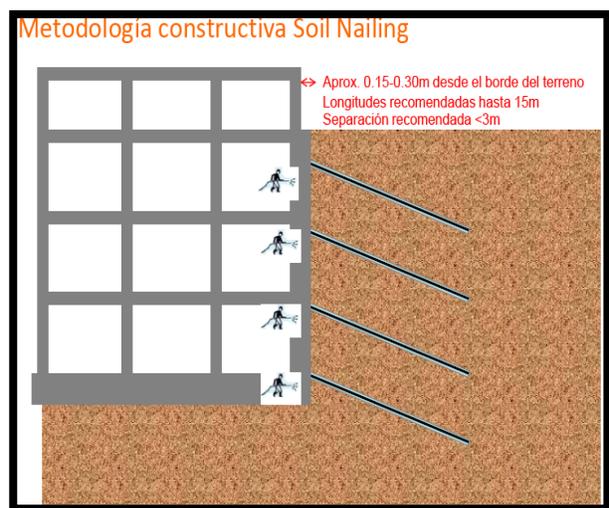
4

1. *Perforación Primer Nivel*
2. *Mallas Especiales*
3. *Shotcrete*
4. *Perforación 2do Nivel*

FIGURAS N° 2 y N° 3: Aplicaciones del Soil Nailing



En Infraestructura Vial



En Edificaciones

B. Muro Pantalla (Técnica distinta del Muro Anclado pero sobre la que se basa ésta).

Un **muro pantalla** o pantalla de concreto in situ es una estructura de contención flexible que se realiza en obra, es decir, en lugar de recurrir a paneles prefabricados, los elementos estructurales de este tipo de pantalla se ejecutan *in situ*. Las dimensiones de los paneles que conforman los muros pantalla son entre 4 y 5 m. de longitud, y 4 a 15 cm. de espesor. La longitud de la pantalla depende del dimensionamiento de la misma. Cada elemento que conforma un muro pantalla trabaja independientemente, y entre ellos presentan juntas que han de ser estancas (evitar el paso de agua a través de las mismas). El cálculo de las pantallas se suele realizar suponiendo que es una viga empotrada que soporta el empuje de tierras.

Proceso constructivo del muro pantalla (Ver Figs. N° 4, N°5, N°6 y N°7 y Fotos 3 y 4)

2°. Construcción del murete guía: Se realiza a ambos lados de la zanja, donde se construirá la pantalla. Sus funciones son guiar el accesorio de excavación (cuchara al cable o equipo hidráulico), evitar la caída de terreno de la zona superior de la zanja por efecto del golpe del elemento excavador, y por ser una zona "descomprimida"; facilitar que el lodo bentonítico se mantenga aproximadamente al nivel de la superficie de trabajo, haciendo que la presión del lodo sea superior que la del posible nivel freático, y permitiendo, con ello, que el lodo actúe correctamente sobre las paredes de la zanja (una vez excavada), servir de soporte a la armadura; la armadura de los paneles se colgará del murete guía.

3°. Excavación de las zanjas alternadas: La longitud de los paneles a excavar es, generalmente de entre 3 y 6 m. El orden de ejecución de los paneles depende del sistema de excavación y del tipo de pantalla, ya que pueden ejecutarse por el método primario-secundario (alterno) o continuo. La excavación se puede realizar de tres formas, con Cuchara bivalva, para terrenos no demasiado duros; con Trépano para terrenos excesivamente duros, o en roca; y con Hidrofresa que es un elemento excavador con ruedas dentadas que giran en sentidos contrarios, arrancando el terreno.

3°. Colocación de las juntas o encofrados laterales: Antes de vaciar, se colocan unos encofrados laterales o juntas, entre el panel excavado y el panel que se excavará más adelante. Su misión es evitar que se produzcan problemas a la hora de excavar los paneles contiguos. De no colocarse, habría irregularidades entre ellos, que darían lugar a filtraciones que podrían resultar antiestéticas, o incluso peligrosas. Estas juntas pueden ser láminas metálicas o tubos de concreto prefabricado. En ocasiones se dispone longitudinalmente, y a través de la junta, un elemento de goma de entre 30 y 40 centímetros de anchura. Cuando ha fraguado el concreto, se retira la junta. Y al ejecutar el nuevo panel, el elemento de goma evita que puedan producirse filtraciones en la unión entre ambos paneles. A pesar de que la colocación de este elemento de goma no es habitual, debería ser obligatorio.

4°. Colocación de la armadura: La armadura ha de estar previamente montada o armada. Para su colocación, se eleva la armadura con una grúa, y se introduce en el panel. Ha de quedar colgada, por medio de un elemento metálico, del murete guía. La armadura no puede apoyarse en el fondo de la zanja, dado que flectaría, y al entrar en contacto con las paredes de la excavación, perdería el recubrimiento de concreto de los laterales de la misma, así como su misión estructural.

5°. Vaciado: Al vaciar, la zanja está llena de lodo bentonítico. Para evitar que el concreto se contamine al mezclarse con éstos, es necesario que se llene con un tubo capaz de alcanzar una profundidad 3 m mayor a la parte superior del concreto. Como la densidad del concreto es superior a la de los lodos bentoníticos, quedará por debajo del lodo, y éstos se pueden ir extrayendo en superficie. Una vez que concluye el vaciado, la parte superior del concreto está contaminada por los lodos. Por lo tanto, habrá que seguir vaciando hasta que rebose, extrayendo la parte contaminada de concreto.

6°. Construcción de la viga de coronación: Una vez realizados todos los paneles, se hace una viga de coronación. Consiste en una viga de concreto, que une la parte superior de todos los paneles. tiene dos misiones: primero, hacer que todos los paneles trabajen conjunta o solidariamente; y segundo, eliminar definitivamente el concreto de la parte superior, que pudiera estar contaminado por los lodos bentoníticos, a pesar de todas las precauciones.

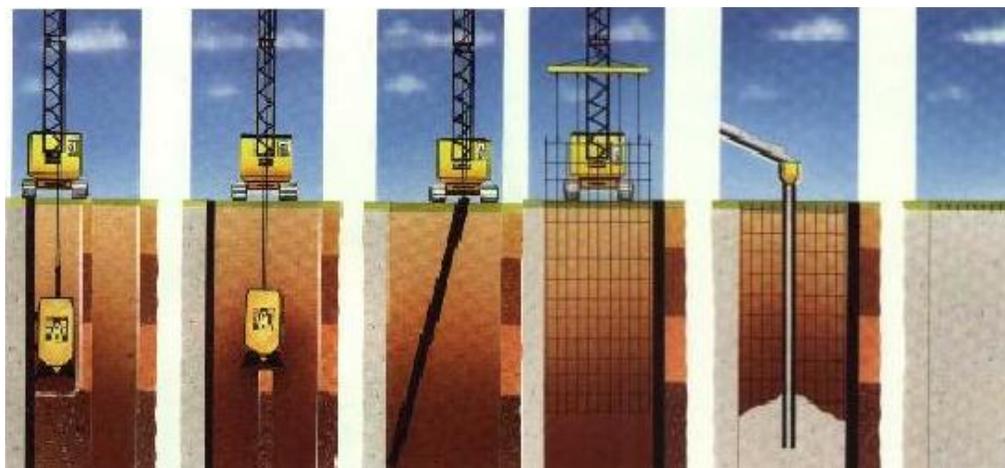
7°. Excavación del recinto interior: Una vez realizadas todas las operaciones previas, puede hacerse la excavación del recinto (generalmente interior) del muro pantalla. Si se ha previsto ejecutar elementos de soporte (anclajes o puntales), se van colocando a medida que se realiza la excavación.

A continuación se grafica el sistema constructivo de Muro Pantalla. Tener en cuenta que la fase previa al procedimiento descrito es la construcción del murete guía:

Figura N° 4: Procedimiento del Muro Pantalla (Una de las tecnologías en que se basa el Muro Anclado)

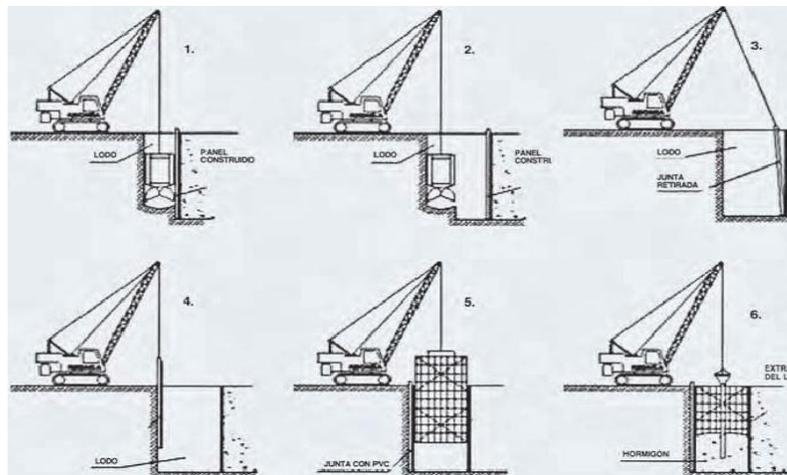
MUROS PANTALLA

(Técnica distinta del Muro Anclado pero sobre la que se basa éste)



Paso 2° Paso 2° Paso 3° Paso 4° Paso 5° Paso 5°

Figura N° 5: Proceso Constructivo del Muro Pantalla



1. / 2. Perforación de zanjas alternadas, con empleo eventual de lodos bentoníticos.
3. Extracción de encofrados de juntas (puede hacerse después de vaciar).
- 4 Colocación de encofrados de juntas entre paneles.
5. Colocación de armaduras.
6. Vaciado de paneles.

Fotos 3 y 4: Maquinaria Empleada en Muros Pantalla



Cuchara bivalva Excavadoras de pantallas

Figura N°6: Partes Fundamentales de un Anclaje

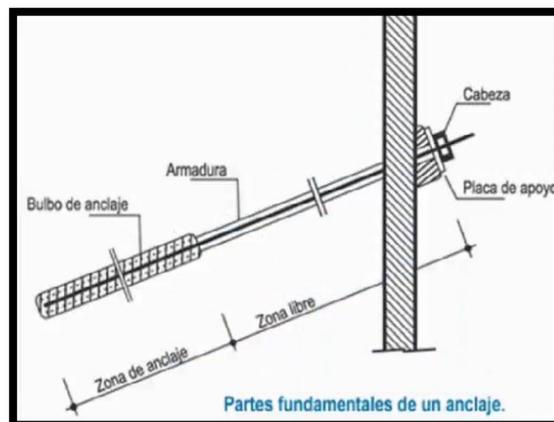
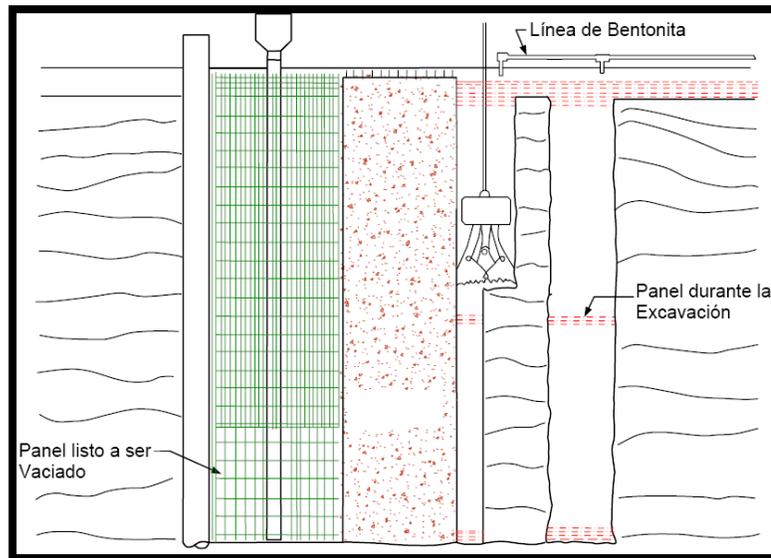


Figura N° 7: Construcción de Muro Pantalla de Concreto



2.3. ANCLAJES.

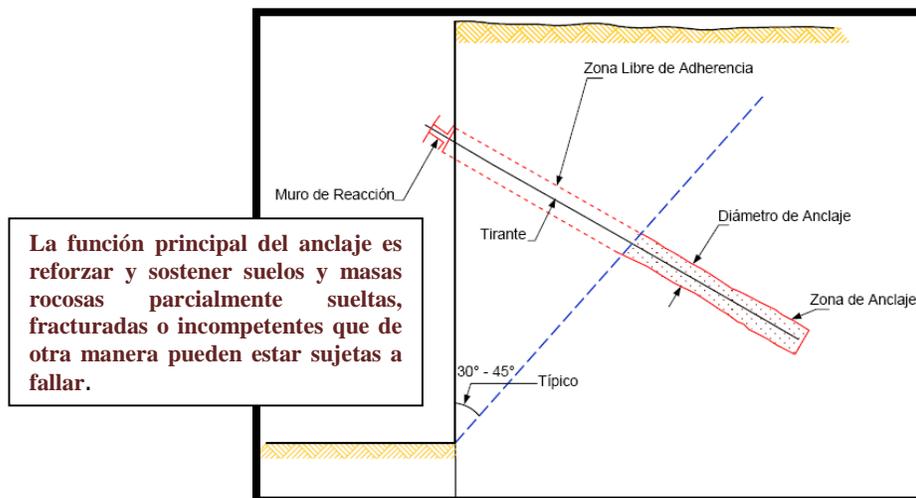
Los anclajes al terreno son dispositivos capaces de transmitir cargas de tracción aplicadas en la superficie de éste a sus zonas interiores, constituyen un medio esencial para garantizar la estabilidad de diversas estructuras, pueden usarse ventajosamente en situaciones en que se necesite su ayuda para que la masa de suelo pueda soportar un determinado estado de esfuerzos o tensiones.

Existen muchos tipos de anclajes, los que usualmente se utilizan son cables de acero de alta resistencia y baja relajación. Los anclajes son fijados al suelo por mortero en la zona del bulbo, el anclaje aporta la fuerza estabilizadora y la trasmite al suelo. La tipología de los anclajes al terreno a emplear en cada proyecto dependerá de las características geotécnicas del terreno y de la fuerza máxima a la que los anclajes puedan estar sometidos.

Los anclajes se realizan mediante perforación del terreno con diferentes diámetros y, dependiendo del tipo de elemento resistente a emplear, pueden ser de barra o de cable. Algunos de los trabajos que se realizan mediante anclajes son:

- Arriostramiento de muros pantalla.
- Muros anclados.
- Estabilización de taludes.
- Absorción de tracciones en cualquier tipo de cimentación.

Figura N° 8: Zona de Anclaje y Zona Libre de Adherencia



a. Partes principales de un anclaje (ver Figs. 9, 10, 11 y 12):

El **bulbo** es la parte correspondiente a la longitud adherida al terreno. Es la zona donde la fuerza de tracción se transfiere al terreno.

Zona libre es la zona entre el punto de fijación y el bulbo, donde el cable puede alargarse ante el tensando.

Cabeza es la parte externa del anclaje. El cable se tensa a la presión establecida (fuerza del anclaje) usando una plancha de acero apoyada en el muro de concreto.

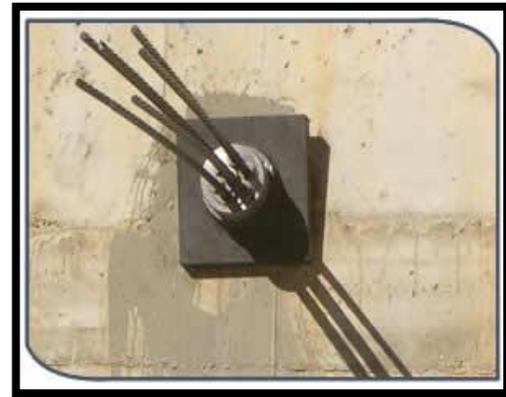
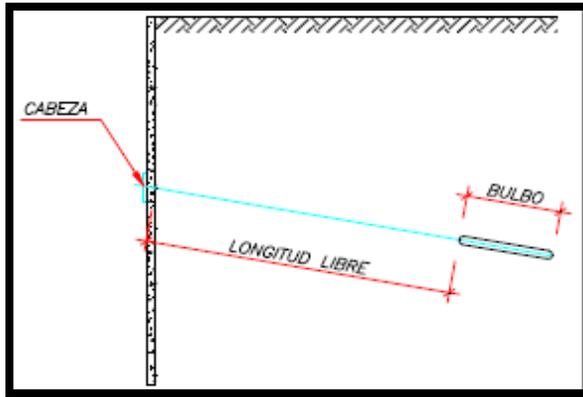


Fig.9: Partes de un anclaje: Bulbo, zona libre, longitud libre

Foto 5: ANCLAJE DE MURO

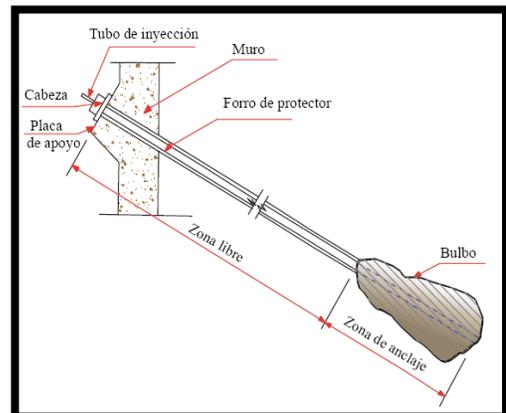
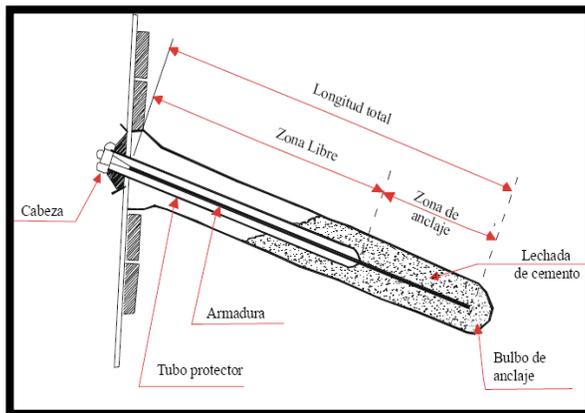
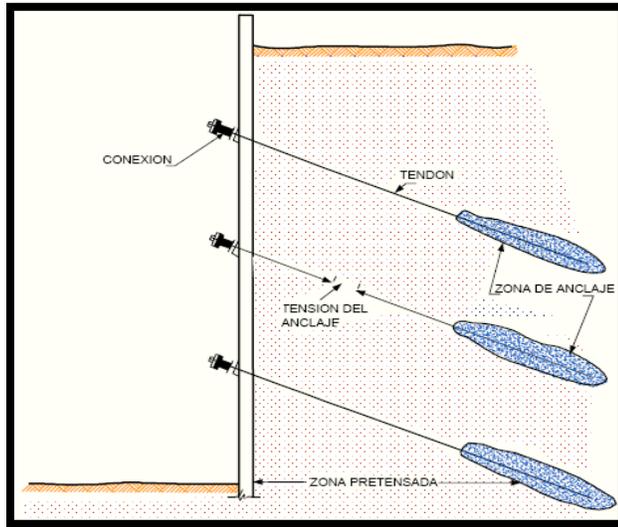


Fig. 10: Detalle de un Tirante Anclado

Fig. 11: Sección Típica de un Tirante Anclado

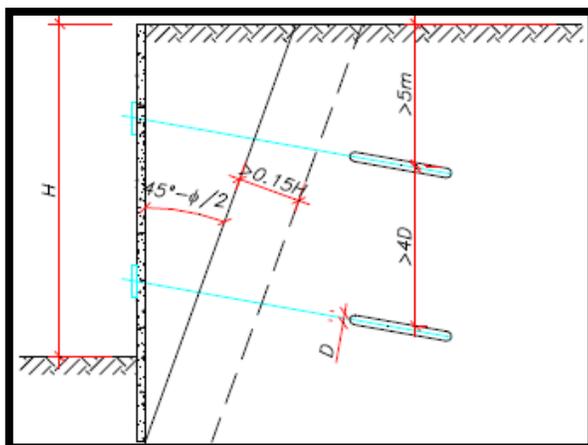


**FIGURA N° 12:
CORTE
SOPORTADO
CON ANCLAJES**

b. Consideraciones Básicas para el Diseño de un Anclaje

Según el Ing. Antonio Blanco Blasco para que los anclajes no transfieran las tensiones de la zona del bulbo al muro de concreto, éstos deben separarse una distancia mínima. Debido a que el anclaje aporta la fuerza estabilizadora y la trasmite al suelo se requiere que la fuerza se transmita más allá de la zona activa. Fig. 13

Fig. 13: Ubicación de anclajes.



Los anclajes deben llegar hasta una distancia tal que queden por detrás del posible plano de falla del suelo, y a esa distancia inicial se le añade una longitud adicional necesaria para resistir el empuje del suelo por fricción.

Los cálculos para determinar la fuerza de anclaje son realizados por las empresas que se encargan de hacerlos y de garantizar la estabilidad del muro. Estas empresas emiten un informe con las fuerzas de los anclajes, su longitud y ubicación en planta y altura.

Cuando no se tiene un solo anclaje, sino varios, debido a excavaciones profundas de 4, 5, 6, 7 u 8 sótanos, se hacen cálculos aproximados considerando teorías parecidas a las usadas en muros entibados, calculando reacciones de las acciones del terreno. Estas reacciones son las fuerzas que deben tener los anclajes.

c. Tipos de Anclajes

c1. En función de su **tiempo de servicio** es la siguiente:

c1.1. Anclajes provisionales:

Como su nombre lo indica, su misión en la obra es temporal, y trabajarán hasta que sean sustituidos por otros elementos estructurales permanentes. En el caso de una excavación de varios sótanos, el sostenimiento provisional se realiza con anclajes, hasta que son sustituidos por forjados definitivos. Su vida útil será menor a 2 años. Ejemplo: muros anclados.

c.1.2. Anclajes permanentes:

Su actuación es definitiva, durante toda la vida útil de la obra o superior a 2 años, por lo que se dimensionará con mayores coeficientes de seguridad y los niveles de protección serán mayores. En estos anclajes, la protección anticorrosión es uno de los aspectos fundamentales de diseño, y se realiza tanto para las zonas de bulbo y alargamiento libre, como para la cabeza de anclaje.

c.2. Según su forma de trabajar:

c.2.1. Anclajes pasivos:

No se pretensa la armadura después de su instalación. El anclaje entra en tracción al empezar a producirse la deformación de la masa de suelo o roca.

c.2.2. Anclajes activos:

Una vez instalado se pretensa la armadura hasta alcanzar su carga admisible, comprimiendo el terreno comprendido entre la zona de anclaje y la placa de apoyo de la cabeza.

c.2.3. Anclajes mixtos: La estructura metálica se pretensa con una carga menor a la admisible, quedando una fracción de su capacidad resistente de reserva para hacer frente a posibles movimientos aleatorios del terreno.

2.4. APLICACIONES DE MUROS ANCLADOS

Su aplicación es posible en lugares donde NO existe nivel freático y las condiciones del suelo son buenas. El sistema es de aplicación en los siguientes casos:

- Sótanos de edificios,
- Estacionamientos subterráneos,
- Comunicaciones subterráneas (túneles pozos).
- Obras marítimas y portuarias (diques secos).
- Cimentaciones Profundas.

El suelo de Lima tiene las condiciones ideales para este tipo de construcción.

2.5. DISEÑO DEL MURO COMO ELEMENTO DE CONCRETO ARMADO (SEGÚN EL ING. ANTONIO BLANCO BLASCO).

No es finalidad de este trabajo detallar el tema de cálculo estructural de los muros anclados. Sin embargo, algunos criterios de diseño inciden directamente en el proceso constructivo. Por tal razón, se ha hecho un resumen de los conceptos emitidos por el Ing. Antonio Blanco en una Conferencia para la ASOCEM sobre Diseño de Muros Anclados:

El primer paso en el diseño de anclajes pasa por la ubicación de zonas o modelos de análisis que guardan relación y características comunes, como son alturas de excavación, sobrecargas, tipos de suelos, etc.

El diseño debe contemplar las condiciones estáticas y de sismo, en ambos casos se deberá verificar las longitudes y cargas necesarias, para mantener la estabilidad de los taludes en ambas situaciones.

Algunas empresas emplean en sus cálculos de anclajes, programas especializados que permiten la determinación de las longitudes y cargas de los anclajes en función de las necesidades por tipo de zona de análisis.

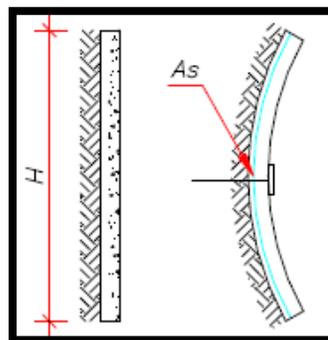
Los panelados en general deben tener dimensiones constantes a fin de uniformizar el sistema industrializado de encofrado; en Lima se han venido empleando muros de dimensiones variables como 3.50 x 5.00 (altura x ancho), 4.00 x 4.00, 3.50 x 4.50, entre otros; estos muros deben ser adecuadamente diseñados en función de la profundidad de excavación, de la altura de los techos de losas y cargas que cada anclaje pueda tomar.

La construcción del muro se realiza por paños. El proceso implica que los paños de concreto actúen de diferentes formas desde el estado inicial hasta el estado final de servicio. Es por esto que, según el Ingeniero Antonio Blanco, se pueden definir tres etapas de diseño: la inicial, la intermedia y la final:

a. Etapa inicial: Cuando se aplica la fuerza de anclaje al paño

En la etapa inicial, el paño está sometido a una fuerza que lo obliga a funcionar como una “zapata flexible”. Se dice que es un elemento flexible ya que los espesores de los muros son del orden de 30 a 50 cm. Al ser el muro un elemento flexible, las presiones del terreno se concentran en la zona del anclaje. La presión de respuesta de suelo no tiene una distribución uniforme como se supone en el caso de zapatas rígidas. Para estimar la forma de esta reacción del suelo, sobre el muro, se debe escoger un módulo de balasto del suelo. Generalmente se utiliza un programa de cómputo considerando una losa apoyada en resortes, sometida a la carga del anclaje distribuida en un área igual a la plancha del mismo.

Fig. 14: Muro anclado: de izquierda a derecha se ve un paño sin tensar y un paño tensado.



En esta etapa se hace el cálculo del refuerzo de la cara del muro adyacente al terreno. Una vez obtenida la presión variable actuando sobre el muro, el volado se diseña por flexión.

En esta etapa debe verificarse el punzonamiento que la plancha ejerce sobre el muro de concreto, generalmente las planchas tienen 30 cm. x 30 cm. Para obtener la sección crítica por punzonamiento, se considera una sección ubicada a “d/2” de las caras de la plancha. Cuando los espesores de muro no pasan por punzonamiento, se recomienda incrementar la resistencia mínima del concreto al momento del tensado, las dimensiones de las planchas y/o el espesor del muro. La verificación por punzonamiento puede gobernar la determinación del espesor del muro, dependiendo de la magnitud de las fuerzas de los anclajes. La idea es no necesitar refuerzo de acero por cortante, sino solamente por flexión.

Los espesores recomendados para los muros anclados, construidos en un buen suelo, como el de Lima, y para alturas normales de piso a piso son:

N° de sótanos	Espesor de muro (cm)
2 ó 3	30
4	40
5 ó 6	45
7 u 8	50 ó 55

b. Etapa intermedia: cuando se aplica la fuerza de anclaje al paño adyacente

Luego de tensar el muro, se procede a tensar un paño cercano y luego el intermedio entre dos ya tensados.

El muro trabajará como una losa sin vigas. Durante la ejecución de la primera fila, se podrá considerar una losa sin vigas en una dirección, con una franja de columna más esforzada. Cuando se ejecute una segunda fila, trabajará como losa sin vigas, armada en dos direcciones, con franjas de columnas más reforzadas.

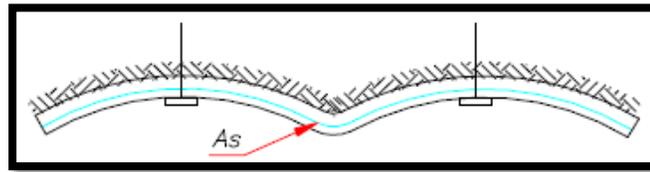


Fig. 15: Losa de 4 paños de muro anclados.

No es fácil en obra tener distintos aceros en zonas de franjas de columnas o zonas de franjas centrales, por lo que normalmente se uniformiza el diseño. Se debe recordar que la carga actuante se concentra en las zonas de los anclajes.

Para el cálculo de paños adyacentes, se encuentra el acero necesario en la cara exterior del muro (ver figura x).

c. Etapa final: cuando se construyen las losas de techos y liberan los anclajes

El diseño del muro, luego de la colocación de los anclajes, se realiza considerando un muro con apoyos laterales (constituidos por los techos de los sótanos del edificio). Esta característica hace que no exista el problema del volteo y que ya no se tenga como fuerza actuante al empuje activo, sino el llamado empuje de los suelos en reposo k_0 . Por tanto, se asume que el diagrama de empuje del suelo toma una forma rectangular.

Debido a esta etapa, es probable que el diseño del refuerzo necesite un incremento en algunos bastones negativos y positivos. Una forma de diseñar es disponer una malla de refuerzo para la cara en contacto con la tierra. Este refuerzo debe cumplir con el cálculo para la etapa inicial. El diseño del refuerzo vertical de la cara hacia el edificio se debe obtener verificando la etapa intermedia y la final.

Debido al empuje de la etapa final, por lo general, al refuerzo vertical, se le debe colocar bastones para controlar los momentos en los apoyos (losas) y para controlar los momentos que hay entre losa y losa. El refuerzo horizontal de la cara hacia el edificio se obtiene de la etapa intermedia o usando el acero mínimo de muros. Adicional a los refuerzos corridos y a los bastones obtenidos con el cálculo de la etapa final, también es usual colocar una malla de aproximadamente 2 m. de lado, como refuerzo en la zona de anclajes. Esto permite reducir el acero de la malla de la cara en contacto con la tierra, calculado según la primera etapa.

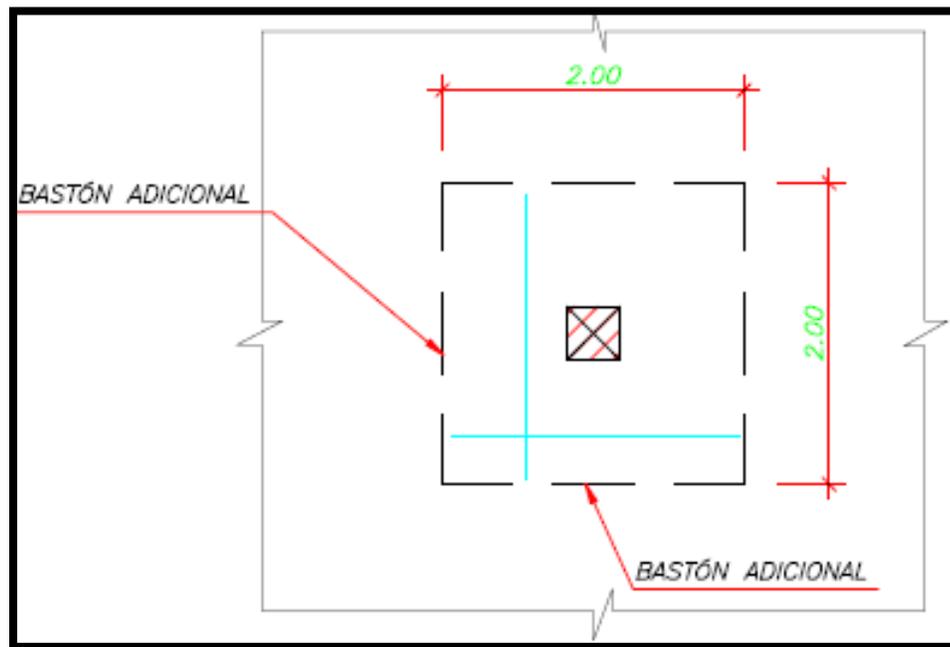
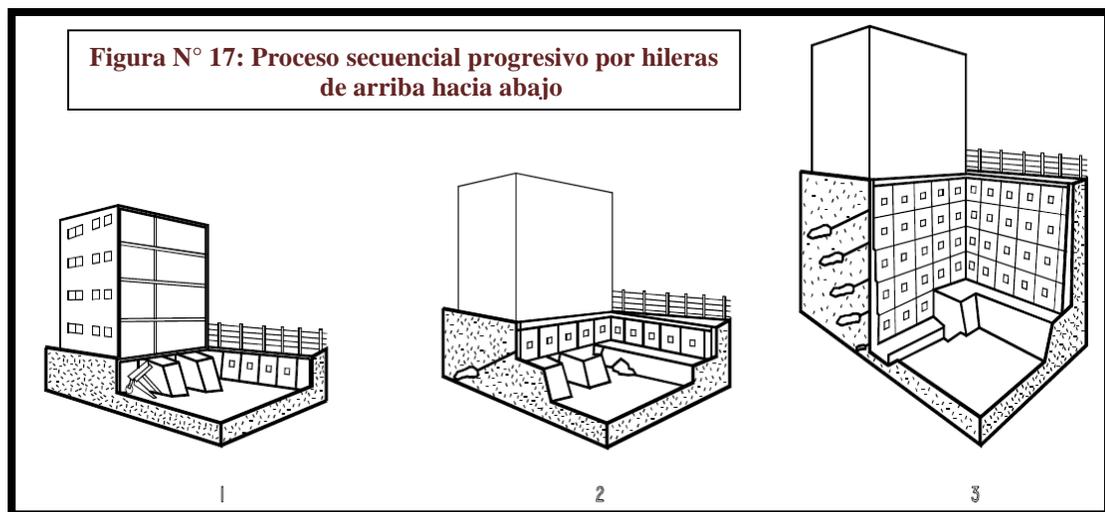


Fig. 16: Detalle típico del refuerzo adicional en la cara del muro en contacto con la tierra.

2.6. SECUENCIA TÍPICA DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE MUROS ANCLADOS.-

Una vez hecha la excavación masiva del primer anillo hasta el nivel de 1.00 m. a 1.50 m. por debajo de la altura del anclaje, dejando un talud o banqueteta de 1.00 m. en la parte alta, en los linderos del terreno donde se construirán los muros anclados, se realiza el procedimiento constructivo del Muro Anclado, secuencial progresivo por hileras de arriba hacia abajo (Fig.17).



Dicho procedimiento constructivo consiste en realizar excavaciones parciales alternadas y construir paños independientes para luego proceder a tensar el paño. La construcción de los muros se realiza conforme progresa la excavación. Los anclajes presionan al muro contra el suelo lo que permite confinarlos evitando que éste se mueva (Fig. 18).

Al terminar de construir una primera fila de muro, se pasa a repetir el proceso en una segunda fila.

Los paños son normalmente de 3m de altura por 4.5m o 5.0m de largo con refuerzos verticales y horizontales que sobresalen hacia abajo y hacia los costados, aproximadamente 50cm. Esto se hace con la finalidad de hacer el empalme con el futuro paño adyacente y luego con el paño de la fila inferior.

Cuando hay una edificación al costado con cimentaciones superficiales lo recomendable es hacer la primera fila del muro con longitudes de paños de hasta 2.5m. Esto se recomienda porque la cimentación del edificio existente no se está calzando y puede desestabilizarse si se quita 5 m de terreno.

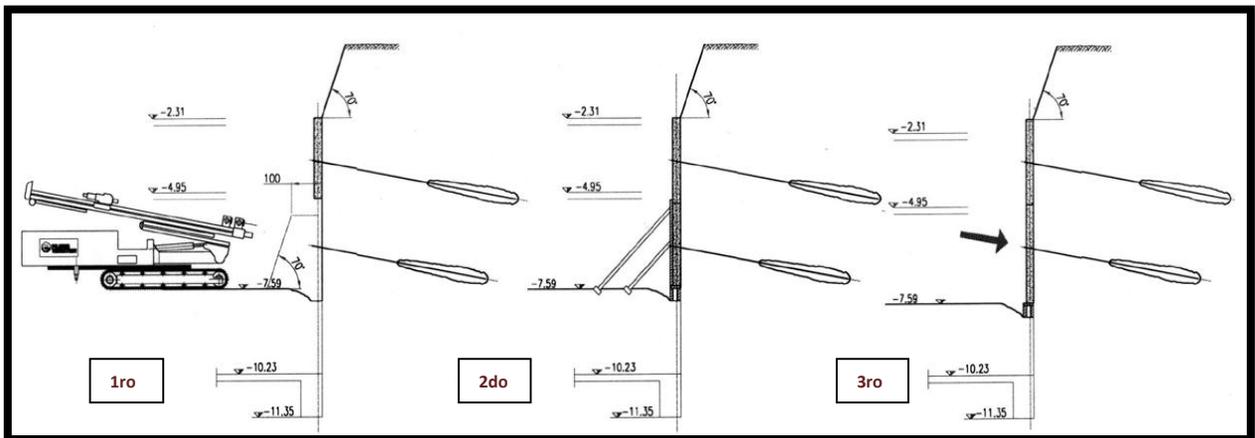


Fig. N°18: Secuencia Resumida del Proceso: 1ro. Perforación, inyección y anclaje, 2do. Construcción del muro (acero, encofrado y concreto) y 3ro. Tensado del anclaje

Los anclajes son temporales porque trabajarán hasta que sean sustituidos por estructuras permanentes, en el caso de una excavación de varios sótanos, el sostenimiento temporal se realiza con anclajes, hasta que son sustituidos por las losas de entrepiso.

Resumen de la secuencia típica del proceso constructivo de muros anclados:

- 1°. Excavación Masiva y Eliminación de Material Excedente de la primera hilada, dejando taludes o banquetas perimetrales. Se realiza hasta 1.00 o 1.50 por debajo del nivel superior de anclaje. Este nivel es verificado por la empresa contratista antes de movilizar sus equipos.
- 2°. Excavación, Preparación y Perfilado de Banqueta con maquinaria, para anclaje,
- 3°. Shotcrete del talud o banqueta con lechada de cemento para estabilizarlo (Figs. 19 y 20),
- 4°. Perforación en el terreno mediante rotación o rotopercusión de conductos para anclaje. En el fondo de los orificios se suele realizar una sobre excavación de diámetro mayor para mejorar la sustentación de los anclajes. El proceso de perforación se inicia con un tubo de revestimiento de aproximadamente 10 a 20 centímetros de diámetro y una longitud para profundizar de 3 metros, como en este tubo quedan los residuos de perforación se introduce un barreno, el cual se encarga de extraerlo y poder continuar roscando otro tramo de tubo y luego el barreno, para seguir con este proceso hasta que se alcance la profundidad deseada. La perforación debe efectuarse con un correcto alineamiento y ángulo de inclinación, según el diseño.
- 5°. Se extrae la barra de perforación y se limpia el hueco, utilizando agua a presión. Se controla la longitud del sondeo mediante la varilla de perforación.

- 6°. Armado e Instalación del primer nivel de Anclaje: Se colocan cables o barras centradas dentro de la perforación. Para conseguir que el refuerzo de los anclajes se mantenga sin contacto con el suelo excavado se utilizan separadores transversales cada cierta distancia. El número de cables depende del diseño que a su vez está en función de las características y peso de las edificaciones vecinas.
- 7°. Inyección de la lechada de cemento para lograr el bulbo del anclaje que proporcionará el “anclaje efectivo” al suelo o roca. Vaciado parcial del primer nivel de anclajes: Se introduce una manguera flexible hasta el fondo del orificio excavado, que exteriormente está conectada a una bomba de concreto fluido o de mortero. El concreto o el mortero incluyen componentes expansivos para compensar la retracción de fraguado. Una vez iniciado el proceso de bombeo, se extrae lentamente la manguera lo suficiente para permitir que se supere ligeramente un vaciado equivalente a la longitud de anclaje del micropilote o anclaje.
- 8°. Excavación por paños alternados del talud hasta dejarlo a plomo (eliminación de banquetas o talud por tramos alternados con maquinaria). Ver Fotos 6 y 7,
- 9°. Perfilado manual a plomo y pañeteo con lechada de cemento del terreno aplomado,
- 10°. Colocación de armadura considerando el refuerzo en la zona alrededor de los anclajes,
- 11°. Encofrados del paño del muro,

- 12°. Vaciado del paño con concreto de resistencia $f'c = 280 \text{ Kg. /cm}^2$, para los que se van a tensar,
- 13°. Tensado de cables: Una vez fraguado el concreto del anclaje y del paño vaciado, se coloca una placa de acero que tiene un orificio centrado de un diámetro ligeramente superior al de la varilla. Se hace pasar la varilla a través del orificio, permitiendo que la placa se apoye parcialmente en la superficie del muro de concreto. Mediante la colocación de una tuerca exterior, y con el uso de un torquímetro se procede a tensar la varilla del micropilote hasta que supere aquella tensión que resistirá el micropilote cuando el muro anclado esté trabajando a su máxima sollicitación.
- 14°. Destensado de anclajes cuando ya se han ejecutado las losas de entrepisos.

Nota: Los demás cortes se harán con la misma secuencia mostrada para los dos primeros cortes.



Fotos 6 y 7: 2° Paso: Excavación, Preparación y perfilado de la banqueta con cargador frontal para el anclaje



3er Paso: Fig.19: Shotcrete para estabilizar talud y Foto 8: Pañeteo del Talud o Banqueta para estabilizarlo



Paso 4°: Figura N° 20: Perforación de anclaje y Foto 9: Perforación e Inyección para Anclaje de Muro



FOTOS 10 y 11: Máquinas Perforadoras – Inyectoras

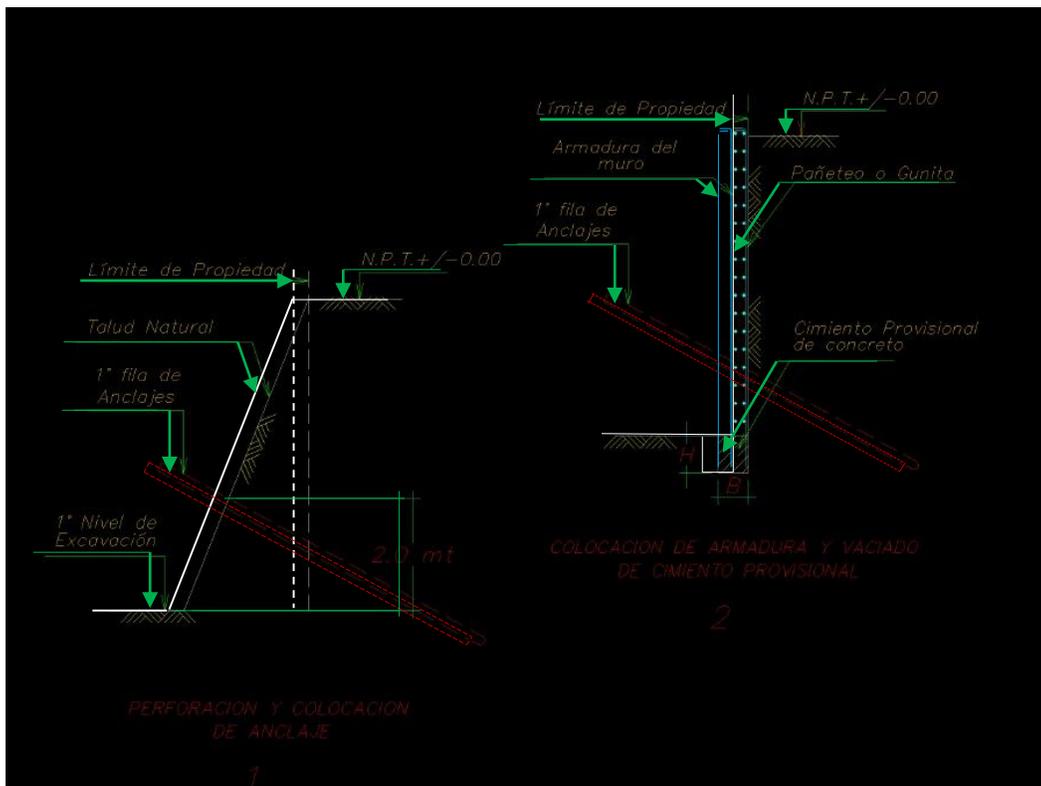


Figura N° 21: Pasos 4°, 5° y 6°: Perforación y Colocación de Anclaje y Paso 10°: Colocación de Armadura previa eliminación de banqueta

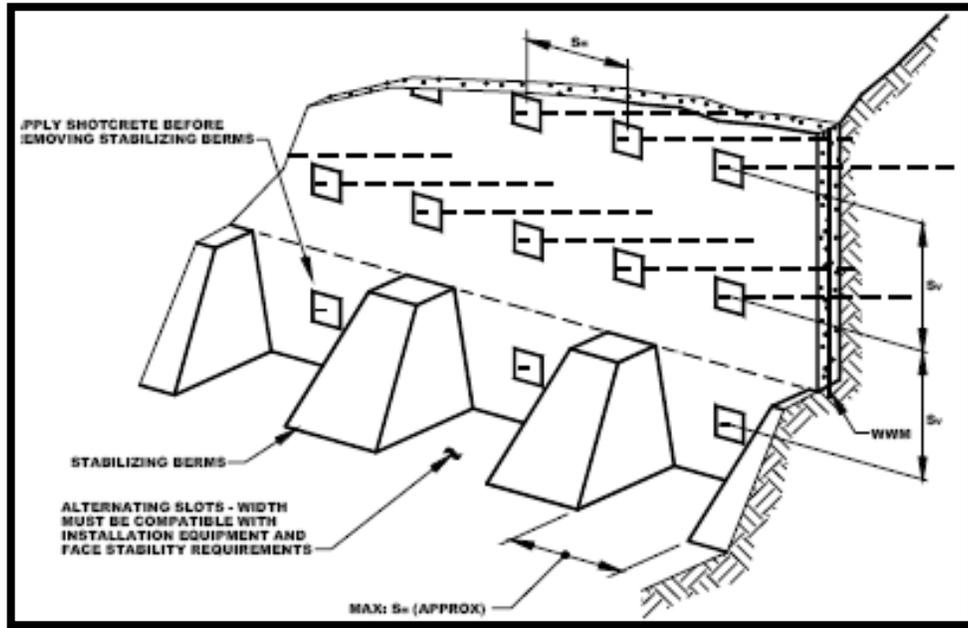


Figura N° 22: Paso 8°: Excavación por paños alternados del talud o banquetta hasta dejarlo a plomo



FOTO 12: Paso 8°: Excavación por paños alternados



Foto 10: Paso 10°: Se ha colocado el refuerzo dejando mechas para futuros empalmes hacia abajo.

Fuente ABB Ingenieros EIRL

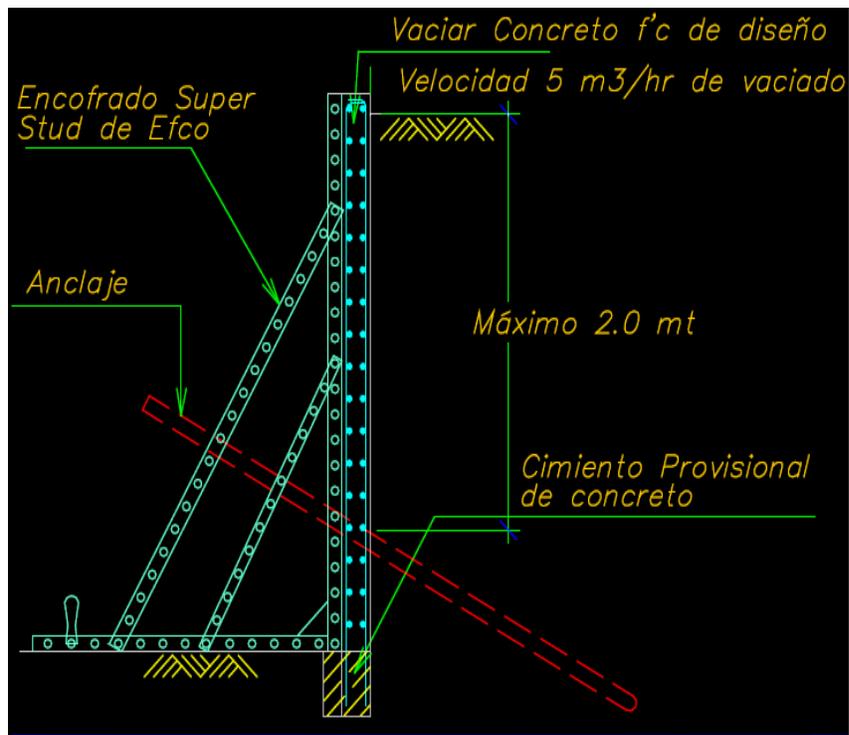


FIGURA N° 23: Paso 11°: Encofrado del paño del Muro Anclado

2.6.1. Consideraciones Constructivas

- a. La altura de los paños está sujeta a la capacidad de los encofrados y a la estabilidad del talud –Por lo general esta altura no supera los 3,50 m.
- b. La separación máxima entre anclajes recomendada es de 5m. Paños mayores generan zonas inestables durante la excavación de los anillos inferiores.
- c. El nivel de los anclajes no debe coincidir con el nivel de las losas, de lo contrario se dificulta el destensado de los anclajes.
- d. Se deben dejar las armaduras para el empalme de las losas y las vigas con el muro.
- e. Las columnas de borde son armadas y vaciadas junto con el muro. En lo posible los anclajes no deben coincidir con las columnas.
- f. La carga de los anclajes debe ser limitada a la resistencia del muro al punzonamiento. Por lo general los muros son de 30-50cm de espesor y las cargas no exceden 90tn.
- g. Cada panel de muro debe ser diseñado para punzonamiento y flexión.
- h. Si la carga del anclaje es muy alta, se debe reducir espaciamiento.
- i. Se debe realizar una inspección de la zona para determinar las interferencias y riesgos de perforación en terrenos vecinos.

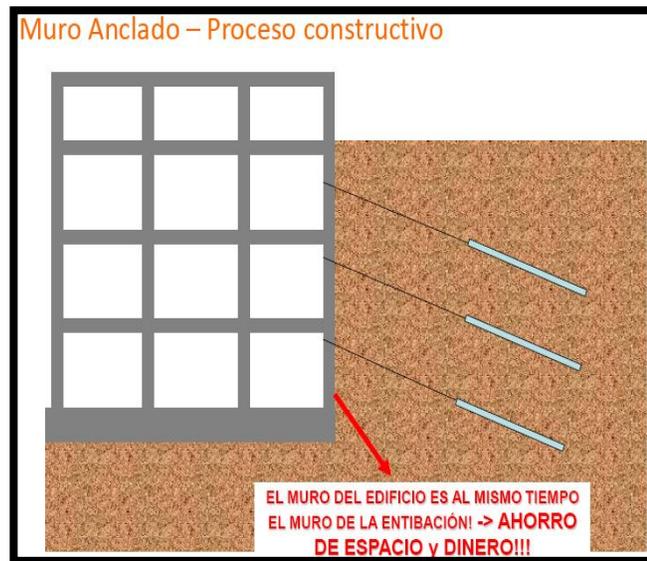


Figura N° 24

2.7. PROYECTO CIMIENTO CON MURO ANCLADO EDIFICIO DE OFICINAS MONTE ROSA

El proyecto que fue ejecutado por la empresa Pilotes Terratest del Perú se diseñó para tres linderos, a saber, el más crítico el izquierdo con Eje 1 donde se colocaron 5 anclajes por punto por ser colindante con el edificio de 8 pisos sin sótano, el frontal con eje H donde se colocaron tres anclajes por punto, colindante con la vía pública, el posterior con eje A donde se colocaron 3 anclajes por punto, colindante con edificaciones de 2 pisos y cerco de patio. A continuación se muestra el proyecto de Muros Anclados elaborado por Pilotes Terratest del Perú S.A.:

CUADRO N°1: LISTADO DE ANCLAJES POSTENSADOS DEL EDIFICIO MONTE ROSA

PROYECTO ANCLAJES POSTENSADOS (VER PLANOS EN ANEXOS)

OBRA: P09058 - Edificio Monte Rosa

PROYECTO PILOTES TERRATEST

LISTA DE ANCLAJES - Revisión 2 al 26 de Julio del 2010															
Sector	Numeración	Línea	Cant. anc.	Tipo Anclaje	Anclaje Tipo	ah m	NA m	Lv m	Lf m	Lo m	av °	Fw' kN	Fw' Ton	L anc. m	Lo tot m
Zona 1	1.01 @ 1.03	1	3	T-IGU	TERRA 6 - 2	5,00	-1,40	4,00	4,50	8,50	10	310	31	9,50	25,50
Casa de 2 pisos	2.01 @ 2.03		3	T-IGU	TERRA 6 - 2	5,00	-4,50	4,00	4,50	8,50	10	310	31	9,50	25,50
NT: 0.00 NPT: de -7,80 m															
Zona 2	1.04 @ 1.06	1	3	T-IGU	TERRA 6 - 2	5,00	-1,40	4,00	4,50	8,50	10	300	30	9,50	25,50
Patio	2.04 @ 2.06	2	3	T-IGU	TERRA 6 - 2	5,00	-4,50	4,00	4,50	8,50	10	300	30	9,50	25,50
NT: 0.00 NPT: de -7,80 m															
Zona 3	1.21 @ 1.23	1	3	T-IGU	TERRA 6 - 5	5,00	-3,50	4,00	4,50	8,50	10	650	65	9,50	25,50
Edificio 8 pisos															
NT: 0.00 NPT: de -7,80 m															
Zona 5	1.11 @ 1.15	1	5	T-IGU	TERRA 6 - 2	5,00	-2,00	4,00	4,50	8,50	10	300	30	9,50	42,50
Calle Monte Rosa	2.11 @ 2.15	2	5	T-IGU	TERRA 6 - 2	5,00	-5,50	4,00	4,50	8,50	10	300	30	9,50	42,50
NT: 0.00 NPT: de -9,10 m															
Zona 6	1.16 @ 1.20	1	5	T-IGU	TERRA 6 - 4	5,00	-2,00	4,00	4,50	8,50	10	560	56	9,50	42,50
Edificio de 8 pisos	2.16 @ 2.20	2	5	T-IGU	TERRA 6 - 5	5,00	-5,50	4,00	4,50	8,50	10	650	65	9,50	42,50
NT: 0.00 NPT: de -9,10 m															
TOTAL ANCLAJES			35												297,50

NOTA:

El peso de acero calculado incluye un metro adicional para el tensado (medido desde la placa)

ah= separación entre anclajes (en horizontal) o distancia de influencia de anclajes

NA = cota de intersección del eje del anclaje con el eje del muro

L1 = longitud del anclaje desde el eje del muro o pila hasta el centro del bulbo

Lo = longitud del anclaje desde la placa hasta el fin del bulbo

Lf = longitud libre (placa hasta inicio bulbo)

Lv = longitud del bulbo

Lad= longitud entre el eje del muro o pila y la placa

L anc = longitud del anclaje incluyendo 1,00 m de suplemento para el tensado

av = ángulo del eje del anclaje respecto de la horizontal

ah = ángulo del plano vertical que contiene el anclaje con el plano vert. perpendicular al muro (VER PLANO DE PLANTA)

F.S = 1.50

Fw = carga de servicio del anclaje por unidad de longitud del muro

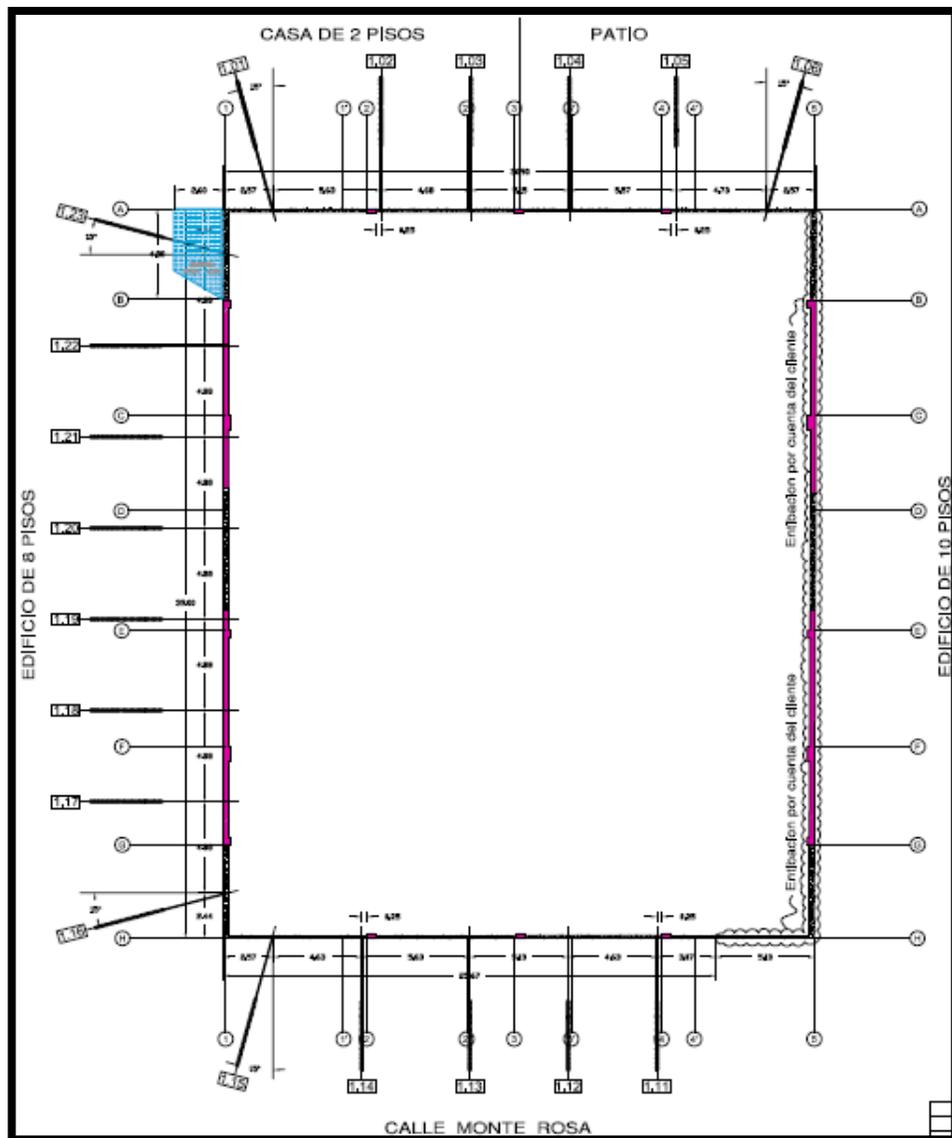
Fw' = carga de servicio del anclaje

**CUADRO N° 1: LISTADO DE
ANCLAJES POSTENSADOS
DEL EDIFICIO MONTE ROSA**

FIGURA N° 25:

PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE ANCLAJES SEGÚN LA EMPRESA CONTRATISTA PILOTES TERRATEST DEL PERÚ S.A.

Se verifican características de los edificios vecinos
(Ver más detalles en plano s de Anexos adjuntos)



FIGURAS N° 26 Y 27

En el Eje A se verifica la profundidad máxima del NFP = - 7.80 m.

(Ver planos en Anexos adjuntos)

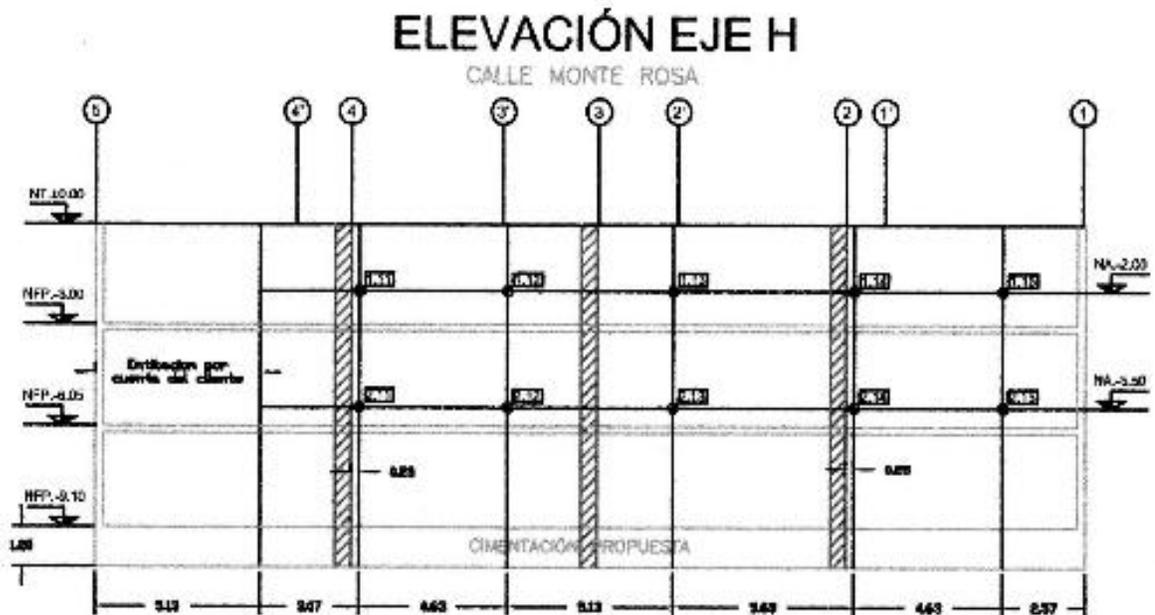


LEYENDA	
COLUMNAS O PLACAS	
NPT: NIVEL DE PISO TERMINADO	
NP: NIVEL DE PANELADO	
NA: NIVEL DE ANCLAJE	
NT: NIVEL DEL TERRENO	

FIGURAS N° 28 y 29

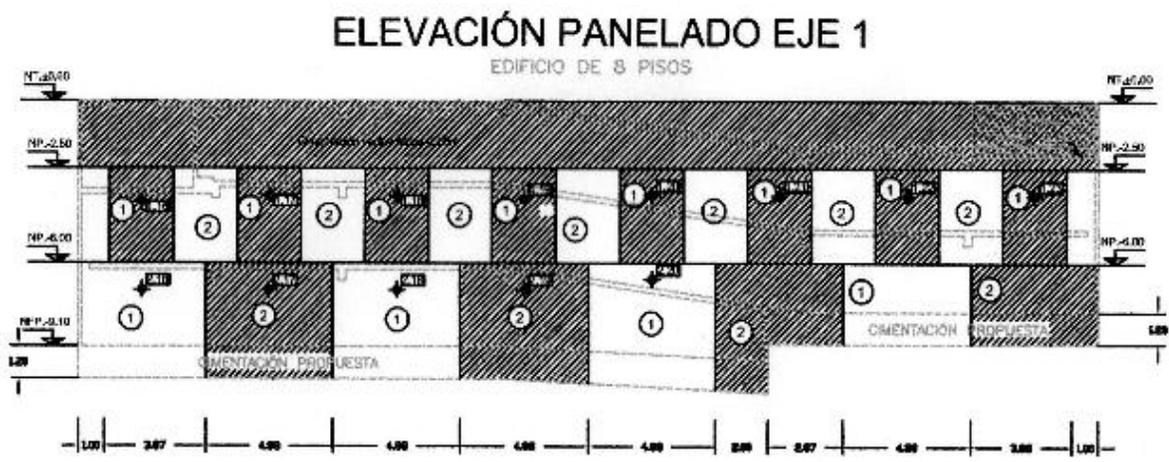
En el Eje H se verifica la profundidad máxima del NFP = - 9.10 m.

(Ver planos en Anexos adjuntos)



FIGURAS N° 30 y 31

En el Eje 1 (Sección Longitudinal se verifica la profundidad máxima desde NFP = - 9.10 m. en la parte delantera del lote hasta NFP = -7.80 en la parte posterior del lote
(Ver planos en Anexos adjuntos)



CAPÍTULO III:

CALZADURAS

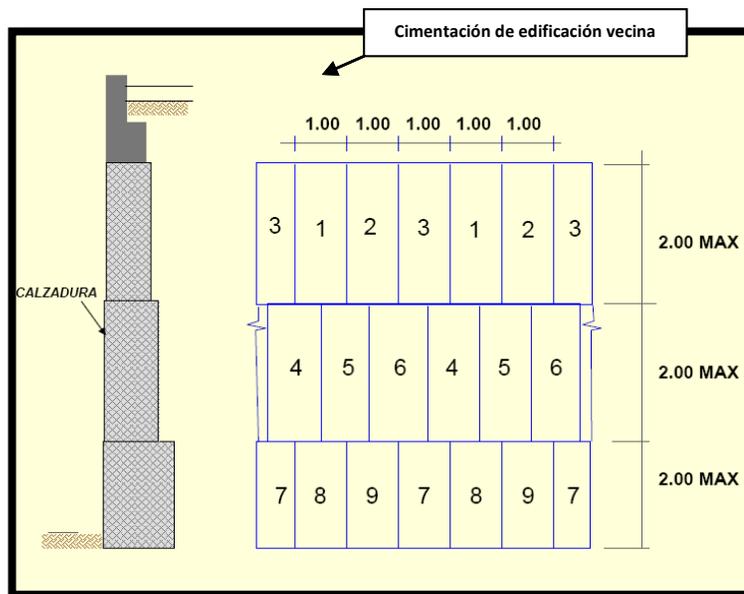
3.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS CALZADURAS

El término calzadura se emplea en nuestro país para muros de contención, de gravedad, **hechos con carácter provisional**, cuando se hace una excavación en un terreno colindante con algún vecino o la calle. También para el caso de calzar una cimentación existente, que ha sufrido algún asentamiento, con el objeto de poder transmitir las cargas actuantes a un estrato mejor más profundo.

Imaginemos que tenemos una cimentación de una columna o muro y necesitamos profundizar su nivel. Tendríamos que excavar por los costados de esa cimentación e ir colocando concreto pobre, segmento por segmento, crear una sub-zapata o falsa zapata, con un nivel inferior más profundo. En este caso no hay empuje lateral sino sólo carga vertical.

Imaginemos que tenemos que hacer un sótano en un terreno, para construir un nuevo inmueble y al costado se tiene un vecino sin sótano. En este caso tenemos que calzar el cimiento del vecino e ir construyendo segmentos de concreto pobre, constituyendo un muro de contención, que debe soportar los empujes laterales del terreno vecino y a la vez, transmitir las cargas verticales del cimiento existente. Este último caso es el que nos interesa explicar, pues cada vez es más frecuente que los edificios tengan sótanos y que estos se construyan, al costado de un vecino que no tiene sótano.

La ciudad de Lima, tiene en gran cantidad de sus distritos un suelo constituido por gravas con matriz de arenas, que tiene muy buena capacidad portante y donde se hacen excavaciones sin mayores problemas.



Nota.- Los números indican la secuencia de construcción de los paños de la calzadura

Figura N° 32.- Elevación Típica de Calzadura

Según el Ing. Antonio Blanco, hay que tener en cuenta que al diseñar una calzadura, se trabaja con coeficientes de seguridad al volteo y al deslizamiento menores a los usados en muros de contención, pensando en que se trata de una obra provisional. Si se trata de uno o dos sótanos, el empuje actuante es mínimo o nulo, debido a que la cohesión aparente del suelo gravoso de Lima supera al empuje teórico. Cuando las profundidades son mayores, el tema se complica. Es usual que los problemas con las edificaciones vecinas sean causados por las deformaciones laterales de la calzadura o por los asentamientos diferenciales. Varios edificios construidos en los últimos treinta años como el actual local de La Sunat en la Av. Benavides, la obra del Hotel Marriot o el local del Banco de la Nación en la esquina de Av. Arequipa con Javier Prado– tienen 5 sótanos y han sido hechos con calzaduras cuyos espesores en la base son del orden de 3.6 a 4m, con los que se ha conseguido un buen comportamiento.

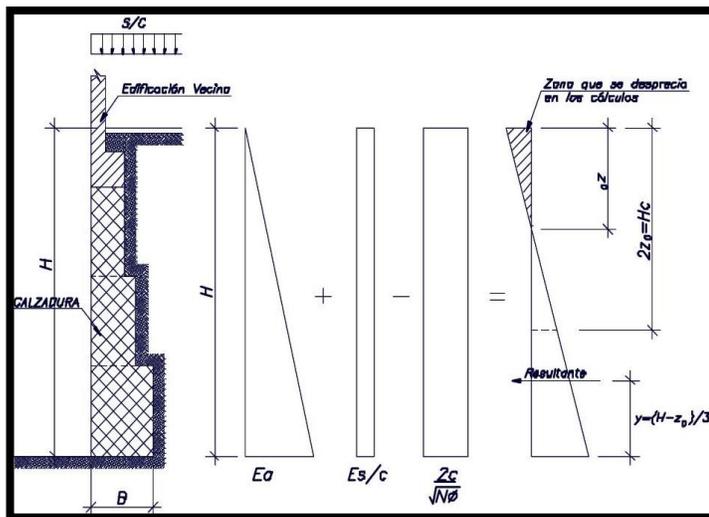
En los últimos años, en los que la confianza hacia las nuevas construcciones ha disminuido, debido a los accidentes ocurridos en algunas obras, el utilizar calzaduras en la construcción de muros de sótanos ha ocasionado problemas con terceros ya que se invade la propiedad vecina.

3.2. FUNCIÓN DE LAS CALZADURAS

Las calzaduras tienen por función prevenir las fallas por inestabilidad o asentamiento excesivo y mantener la integridad del terreno colindante y de las obras existentes en él, hasta entre en funcionamiento las obras de sostenimiento definitivas. Funcionan como un muro de contención por gravedad.

Los empujes laterales que se presentan sobre un muro de contención como las calzaduras son de forma triangular cuya magnitud depende de:

- Peso unitario del terreno,
- Ángulo de fricción interno del terreno,
- Cohesión del terreno,
- Sobrecarga en el terreno vecino



Donde:

γ = Peso específico del terreno

z = Altura desde la superficie
 ϕ = Ángulo de fricción interna del terreno

K_a = Coeficiente de empuje activo del terreno

K_p = Coeficiente de empuje pasivo del terreno

c = Cohesión del terreno

H_c = Altura en donde se tiene una fuerza horizontal resultante nula

FIGURA N° 33.- DIAGRAMA DE FUERZA DE EMPUJE DEL SUELO

3.3. APLICACIONES DE LAS CALZADURAS

En terrenos de baja capacidad portante, generalmente sueltos, no es fácil hacer una excavación y construir calzaduras tradicionales, como las que sí hacemos en la grava de Lima. La razón fundamental es que la calzadura trabaja como un muro de contención, generalmente en voladizo, y los empujes laterales son mayores en terrenos sueltos.

3.4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE CALZADURAS

Para los trabajos de calzaduras será necesario ejecutar zanjas a intervalos bajo la cimentación vecina. Éstas se rellenarán con concreto ciclópeo de $f'c=100$ Kg./cm²., con 25% de piedra de 3” a 8”, es decir, aproximadamente 4 1/2 bolsas de cemento por metro cúbico, construyéndolas por paneles alternados, hasta constituir una faja continua de apuntalamiento unida a la otra antigua y colocada a la profundidad requerida. Las longitudes que quedan sin apoyo por la formación de los paneles alternados deberán distribuirse por igual a lo largo de la zona de calzaduras y en ningún caso la suma de las longitudes sin apoyo deberá exceder a un cuarto de la longitud total por calzar. Si el muro vecino está excesivamente cargado, la longitud sin apoyo en cualquier punto dado no debe exceder a un quinto o un sexto de la longitud total. La excavación de las zanjas intermedias transmite una carga adicional a las zanjas ya terminadas.

La altura de la excavación debe ser del orden de 2m, aun cuando se podría hacer con menos altura.

El espesor de la excavación será de 40 a 60 cm. Por consiguiente, para evitar la fluencia lateral del suelo desde la parte de abajo de la primera serie de zanjas, la excavación para la segunda serie deberá ser más profunda que la primera y las juntas entre paños de todas las etapas consecutivas serán desplazadas $\frac{1}{2}$ paño para no coincidir. Algunas veces, como fase final en la calzadura, se suele llevar a cabo la colocación de lechada de cemento a presión en las líneas recurrentes entre la obra antigua y la nueva. Esto hace que el terreno bajo la nueva cimentación se vea sometido a esfuerzos previos, en calzaduras pequeñas quizás no sea necesario, pero puede resultar ventajoso en cimentaciones anchas o de formas irregulares en las que es difícil asegurar una distribución completa del concreto bajo la estructura, sin embargo, se considera siempre que un relleno seco proporciona mayor solidez que uno blando o húmedo. Si lo que hay que calzar es una zapata aislada, la situación es más compleja, y muy probablemente se deba trabajar con anchos menores.

Un muro de contención, hecho sin refuerzo de acero (muros de gravedad), tiene un espesor variable, pudiendo llegar a un ancho equivalente al 50% de la altura del muro. En el caso de las calzaduras, el muro se construye en forma independiente, segmento por segmento y dentro de una altura mantenemos el espesor. Como ya se dijo, los coeficientes de seguridad para el volteo y deslizamiento, son menores a los que usamos en el diseño de un muro normal, por el hecho de ser una obra provisional. Sin embargo, El diseño estructural de la calzadura, no sólo debe verificar el factor de seguridad al volteo y al deslizamiento, sino también el de las presiones sobre el suelo. El concreto de la calzadura debe colocarse en la obra lo antes posible una vez excavada cada una de las zanjas, y debe hacerse hasta que su altura sea tal que falten solamente unos centímetros para alcanzar la parte inferior de la cimentación existente, dejándose luego fraguar y contraer antes de apisonar con mortero o concreto fino y seco para que entre en estrecho contacto la obra nueva con la antigua.

Si existe la posibilidad de algún retraso en el comienzo de la colocación del concreto, conviene dejar unos centímetros de suelo y eliminarlos únicamente cuando el concreto esté listo para ponerlo en obra. Deberá esperarse un mínimo de cinco (5) días entre la construcción de paños alternados de una misma faja.

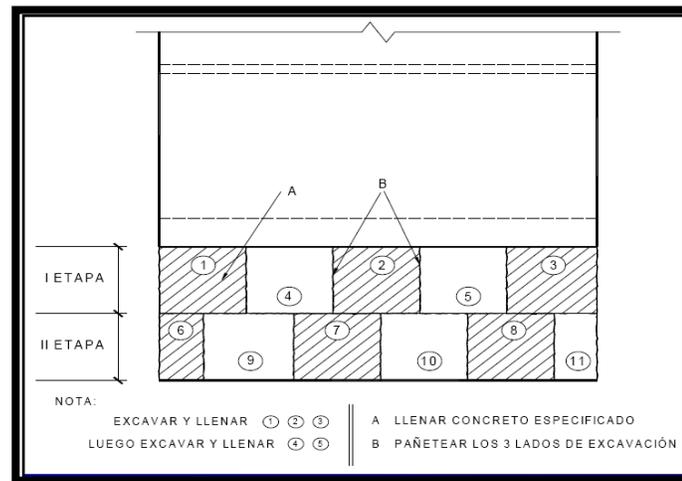


FIGURA N° 34.- Esquema del procedimiento de Calzaduras

3.5. CALZADURAS EN LOS SUELOS DE LIMA (según el Ing. Arnaldo Carrillo Gil)

Cualquier excavación que se practique en los suelos gruesos granulares de Lima causa disipación de esfuerzos en el terreno y su correspondiente expansión en el suelo adyacente, lo que redunda en asentamiento y formación de grietas de tensión que originan cuñas de deslizamiento activadas por efecto de sobrecargas estáticas o dinámicas, y cuyo disipador casi siempre es el agua infiltrada en el medio poroso. Por otro lado, las investigaciones establecen que la ejecución de excavaciones para sótanos profundos con taludes próximos a la vertical en los suelos granulares gruesos de Lima, plantea la necesidad de considerar los parámetros de resistencia al corte del suelo a muy bajas presiones de confinamiento.

La repercusión o efectos que en las estructuras adyacentes puedan tener los trabajos de una excavación mayor de diez metros, tanto en su estabilidad como en futuros asentamientos, adquiere fundamental importancia en muchas áreas de la ciudad, como es el caso de los recientes derrumbes ocurridos, donde debió efectuarse un adecuado diseño de la excavación, de sus calzaduras y soportes, así como una supervisión experta, que hubieran evitado pérdidas humanas y materiales.

La excavación profunda de sótanos modifica de manera importante las tensiones existentes en el espacio circundante. Estos cambios de tensiones han producido en los suelos granulares gruesos de Lima levantamiento imperceptible del fondo de las excavaciones y superficialmente, desplazamientos horizontales importantes hacia el interior de las paredes de la misma.

Se llega a la conclusión de que la pared lateral de la excavación se deforma de manera importante en su parte superior moviéndose casi paralelamente hacia el centro de la excavación, estimándose que en el fondo, este movimiento es pequeño, por lo que deberá tomarse mayor cuidado en el apuntalamiento o protección del talud de corte en su coronación durante la excavación y construcción, y menor en el pie de la misma.

Para evitar problemas y adoptar criterios bien fundados, es recomendable tomar en consideración el probable comportamiento del suelo, que por encontrarse en estado compacto y estar conformado por piedras y grava empacada en arena, se ha confiado en el pasado demasiado en su resistencia y soporte lateral, sin estimar la magnitud de sus movimientos y las probables deformaciones que puede sufrir por la aplicación de apreciables cargas externas.

De los casos estudiados se establece que un gran número de factores interrelacionados influyen en la magnitud y distribución de los movimientos que acompañan a la ejecución de una excavación en el suelo granular grueso de Lima, éstos pueden deberse a una programación inadecuada del proceso y forma de excavación, a eventos sísmicos ocurridos durante las diferentes etapas de construcción, a falta de soporte o inconveniente colocación de puntales

Finalmente, el procedimiento constructivo debe tomar en cuenta dejar bermas o espaldones de tierra como soporte provisional de la excavación, los mismos que serán retirados posteriormente una vez terminada la calzadura o colocados los puntales apoyados en la estructura del sótano del edificio en construcción, es decir, empleando el método llamado ascendente- descendente que consiste en levantar la estructura en el centro de la excavación para actuar como soporte de los puntales, o en su defecto alojar columnas definitivas de la cimentación de los sótanos en perforaciones realizadas desde la superficie del terreno apoyadas en la parte inferior, lo que permite iniciar la construcción en forma ascendente al mismo tiempo que la excavación se practica

de forma descendente, soportándose con los techos o puntales apoyados en ellos, procedimiento que ha sido ejecutado en nuestro medio con éxito en algunos casos de excavaciones mayores de 20.00 metros de profundidad con edificios adyacentes hasta de 15 a 25 pisos de altura.

3.6. PROYECTO CALZADURAS DEL EDIFICIO DE OFICINAS MONTE ROSA

El proyecto de Calzaduras que fue aprobado por la Comisión Técnica Calificadora de Proyectos en la especialidad de Estructuras de la Municipalidad de Santiago de Surco, se plantea en los cuatro lados del terreno del edificio Monte Rosal. La profundidad máxima a excavar es de – 9.20 m. pegada a un lindero y está en la parte delantera del terreno.

En la parte posterior la profundidad máxima a excavar es de -7.85 m. Los niveles se muestran en los planos de calzaduras que se muestran a continuación:

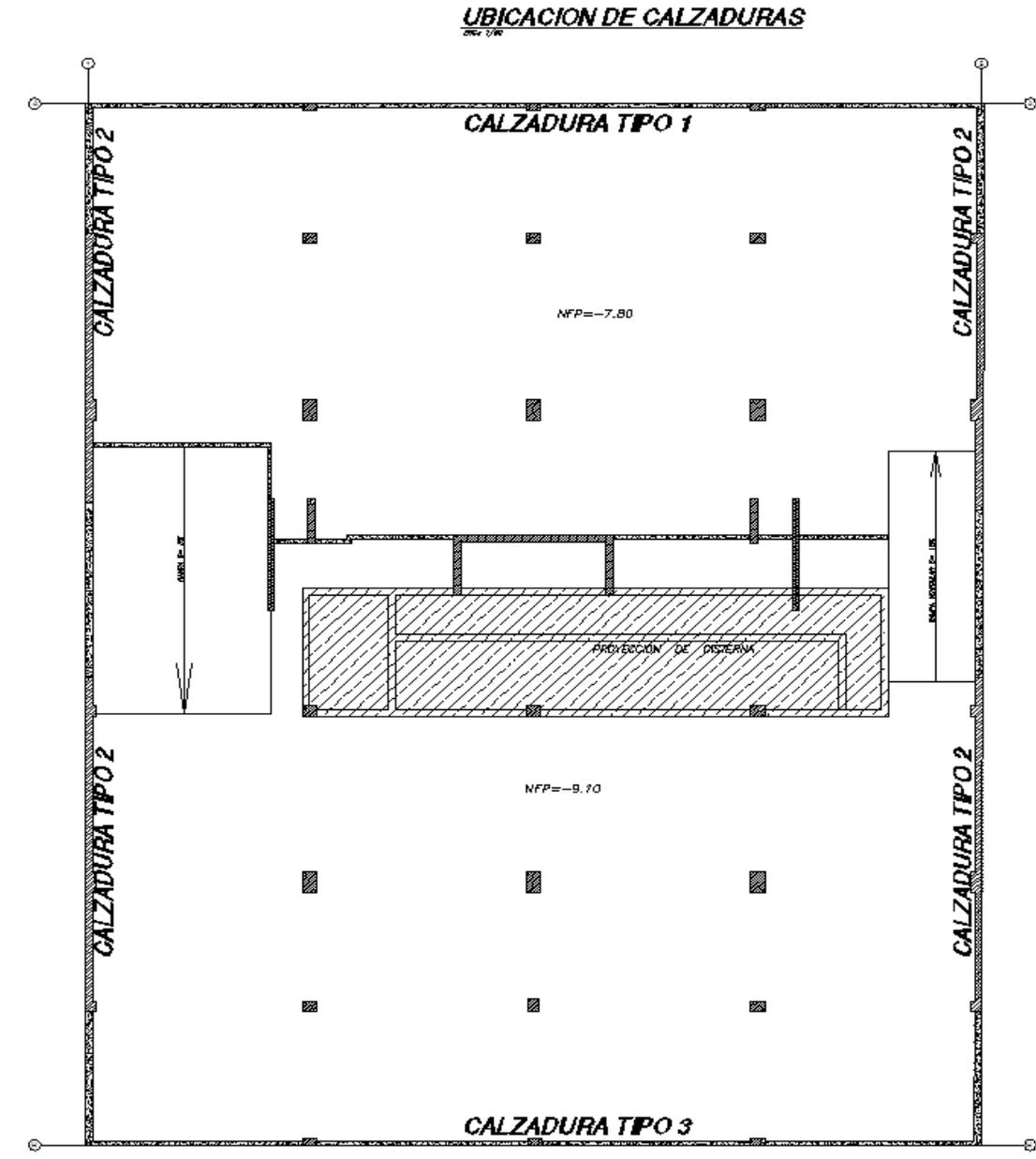


FIGURA N° 35.- Planta de Ubicación de Calzaduras del Edificio de Oficinas Monte Rosa.

(En anexos adjuntos ver planos más detallados)

CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DEL PROYECTO

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO Y OBRA DEL EDIFICIO DE OFICINAS MONTE ROSA DE 3 SÓTANOS, 11 PISOS Y AZOTEA Y DE SU ENTORNO INMEDIATO

4.1. ANTECEDENTES DE LA EDIFICACIÓN.-

El proyecto, materia de estudio, cuenta con Licencia Definitiva de Edificación Nueva N° 1233-2015-SGLAU-GDU-MSS para la construcción de 3 sótanos, 11 pisos y azotea, para el uso de Oficinas, está ubicado en la Calle Monte Rosa, manzana C, lotes 8 y 9, urbanización Chacarilla del Estanque, en el Centro Financiero del distrito de Santiago de Surco, cuenta con zonificación comercial CZ (Comercio Zonal).

Fue aprobado por la Comisión Técnica Calificadora de Proyectos en todas las especialidades, y en particular, en Estructuras fue aprobada la cimentación con el diseño de calzaduras pero se tomó la decisión de hacerla con el sistema de Muros Anclados con la empresa Pilotes Terratest del Perú S.A., por las consideraciones que se explican en este estudio.

El área del terreno es de 1201.20 m²., 30.80 m. por el frente y 39.00 por los lados derecho e izquierdo y 30.90 por el fondo.

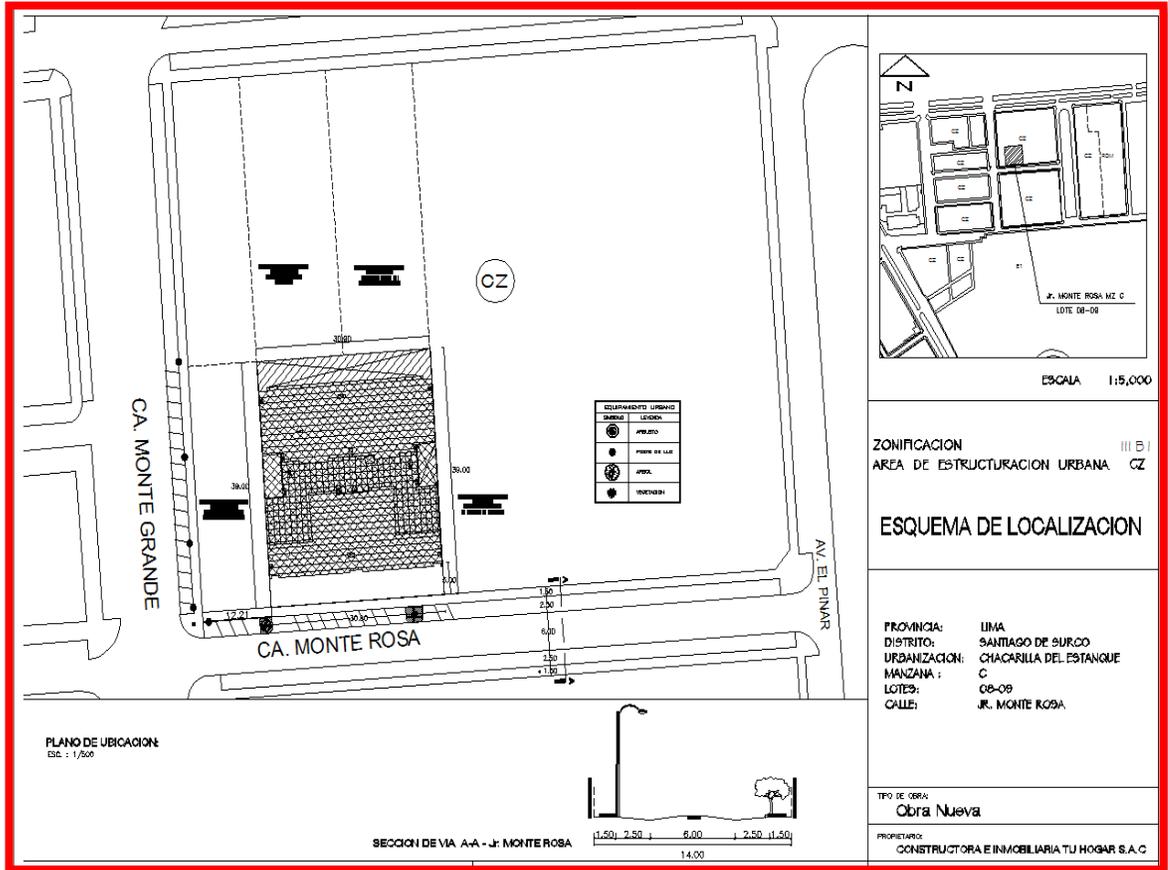


Figura N° 37: Plano de Ubicación y Esquema de Localización

4.2. CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO:

El terreno es un conglomerado de grava con resistencia $\sigma = 4.50 \text{ Kg/cm}^2$ (SEGUN E.M.S.). El suelo presente en la profundidad activa de cimentación está conformado por una arena mal graduada, en estado semidenso. Este material granular es de partículas subredondeadas y no presenta fracción gruesa.



FOTO 11: Corte donde se aprecia el perfil del terreno natural: típico conglomerado

Según el estudio de suelos, las condiciones de cimentación plantean la alternativa de cimentación con zapatas aisladas de concreto armado, zapatas corridas, zapatas conectadas a una profundidad de desplante de 1.40m., compactadas mediante el uso de equipo manual, antes del vaciado del concreto. A este tipo de suelo le corresponde: 4.50 kg/cm².

4.3. DATOS RELATIVOS A LA OBRA QUE SE PROYECTA

a. Arquitectura:

En cuadro N° 2 se muestran las áreas por piso, el uso y los parámetros urbanísticos y edificatorios del proyecto del Edificio de Oficinas Monte Rosa. El área del terreno es de 1,201.20 m². y el área total construida en los 3 sótanos, 11 pisos y azotea es de 13,849.78 m². Se plantean 206 estacionamientos para 72 oficinas con áreas que van de 80.00 a 150.00 m².. Los estacionamientos están distribuidos en 5 pisos, 3 de los cuales son sótanos más el primero y el segundo piso. Por debajo del tercer sótano, en el nivel -13.20 se ubica la cisterna que mide 20.00 m. de largo, 5.00 m. de ancho y 3.00 m. de profundidad. Ver Planos de todas las plantas en escala 1:200, cortes y elevación en Anexos adjuntos al final del trabajo.

CUADRO N° 2: Parámetros Urbanísticos y Áreas por Piso según Plano de Ubicación aprobado

CUADRO NORMATIVO			CUADRO DE AREAS ESC: 1/200	
PARAMETROS	PARAMETROS SEGUN NUEVO PLAN URBANO	PROYECTO	AREAS	TOTALES
			TERCER SOTANO	1191.30 m ²
USOS PERMISIBLES Y COMPATIBLES	COMERCIO - PCM	OFICINAS	SEGUNDO SOTANO	1191.30 m ²
FRENTE MINIMO	-----	30.00 ml	PRIMER SOTANO	1191.30 m ²
LOTENORMATIVO	LOTENEXISTENTE	1,201.20 m ²	PRIMER PISO	1040.98 m ²
ALTURA MAXIMA	31.60 ML + 2.00 ML = 33.60 ML	33.50 ml	SEGUNDO PISO	975.27 m ²
RETIRO FRONTAL JE. MONTE ROSA	6.00 ml	6.00 ml	TERCER PISO	866.19 m ²
RETIRO LATERAL	-----	-----	CUARTO PISO	866.19 m ²
ALINAMIENTO DE FACHADA	12.00 ml	12.00 ml	QUINTO PISO	866.19 m ²
ESTACIONAMIENTOS	PARA EL USO DE OFICINAS SE CONSIDERA 1 ESU/POR CADA 40 m ² DE AREA TENDIDA DE OFICINAS PARA ESTACIONAMIENTOS PARA HABITACION	38 ESTACIONAMIENTOS DOBLES	SEXTO PISO	866.19 m ²
		127 ESTACIONAMIENTOS SIMPLES	SEPTIMO PISO	866.19 m ²
		TOTAL:206 ESTACIONES DE ESTACIONAMIENTOS	OCTAVO PISO	866.19 m ²
			NOVENO PISO	866.19 m ²
			DECIMO PISO	866.19 m ²
			DECIMO PRIMER PISO	866.19 m ²
			AZOTEA	216.52 m ²
			OTRAS INSTALACIONES	120.70 m ²
			AREA CONSTRUIDA TOTAL	13,849.78 m ²
			AREA DE TERRENO	1,201.20 m ²

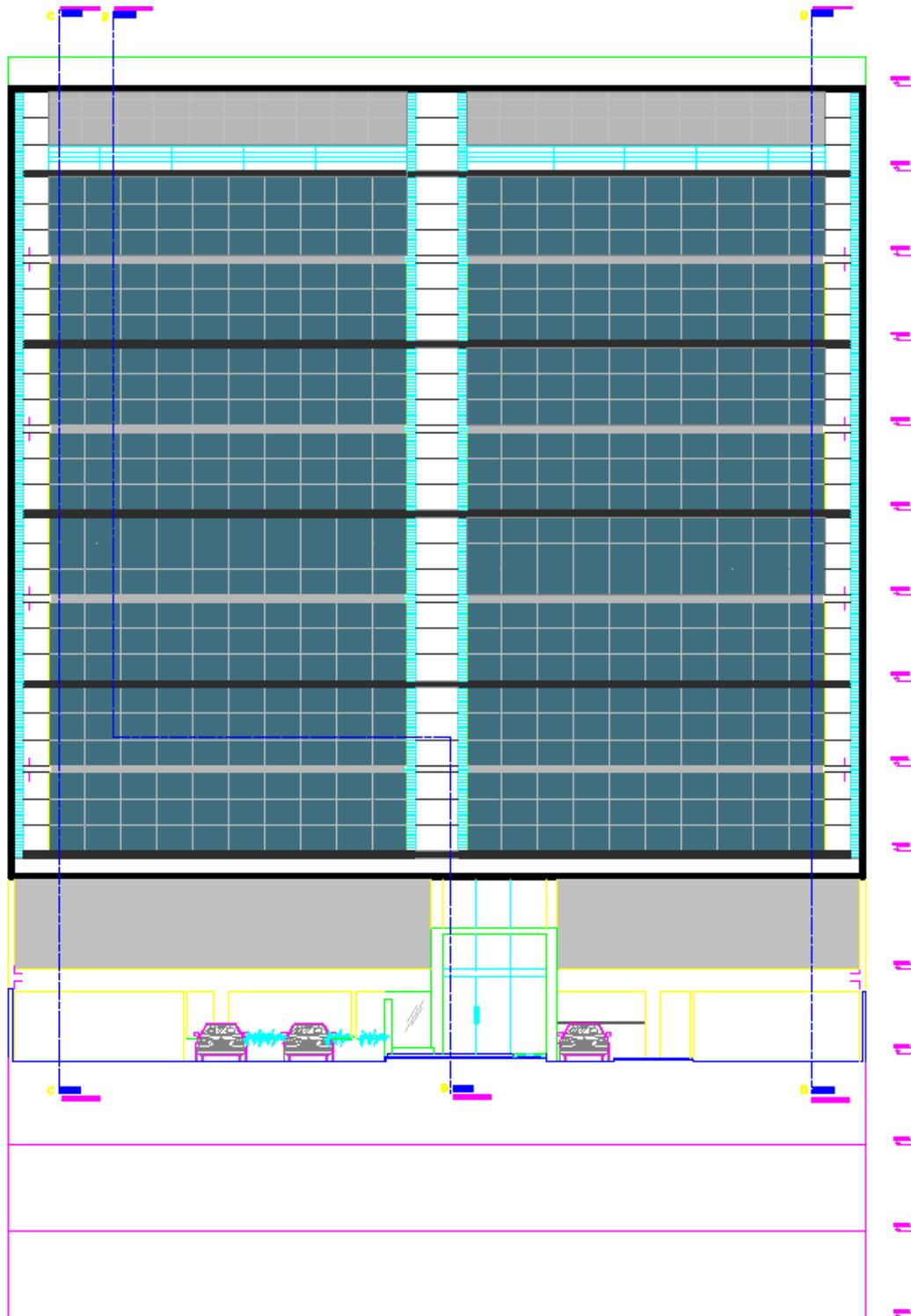


Fig. 38: Elevación Principal Calle Monte Rosa

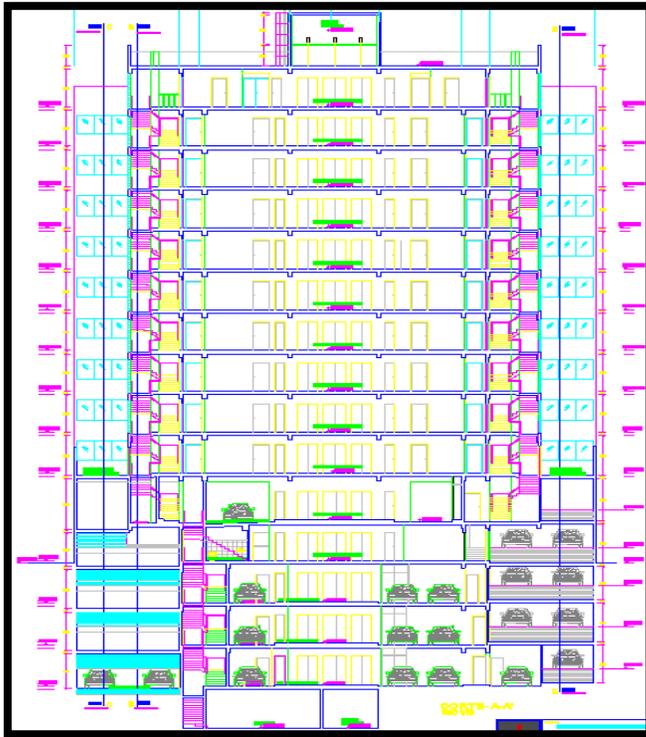


Fig. 39: Corte A-A' - Transversal a Edificio Monte Rosa

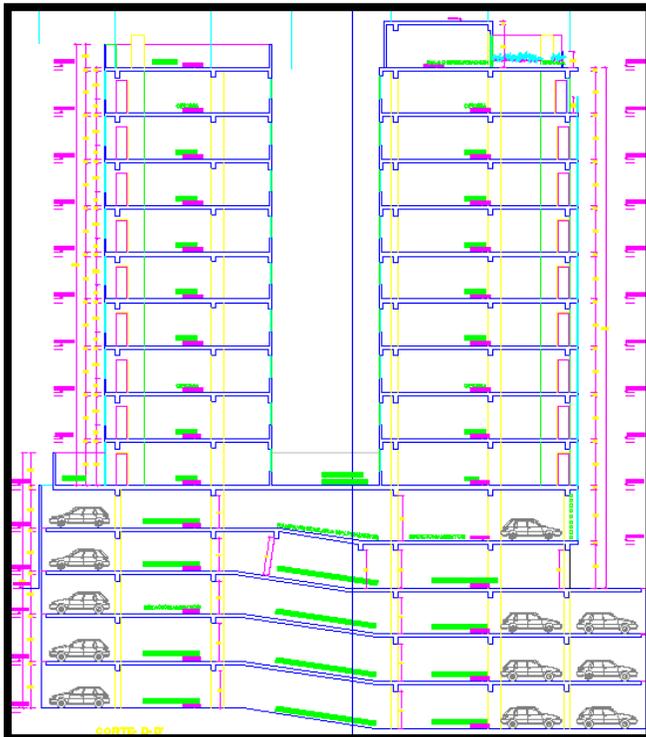


Fig. 40: Corte D-D' - Longitudinal a Edificio Monte Rosa

b. Estructuras:

b.1. Cimentación.-

El tercer sótano tiene el nivel de falso piso de -9.10m. La cimentación planteada por el proyectista plantea un sistema de zapatas aisladas, zapatas conectadas y vigas de cimentación.

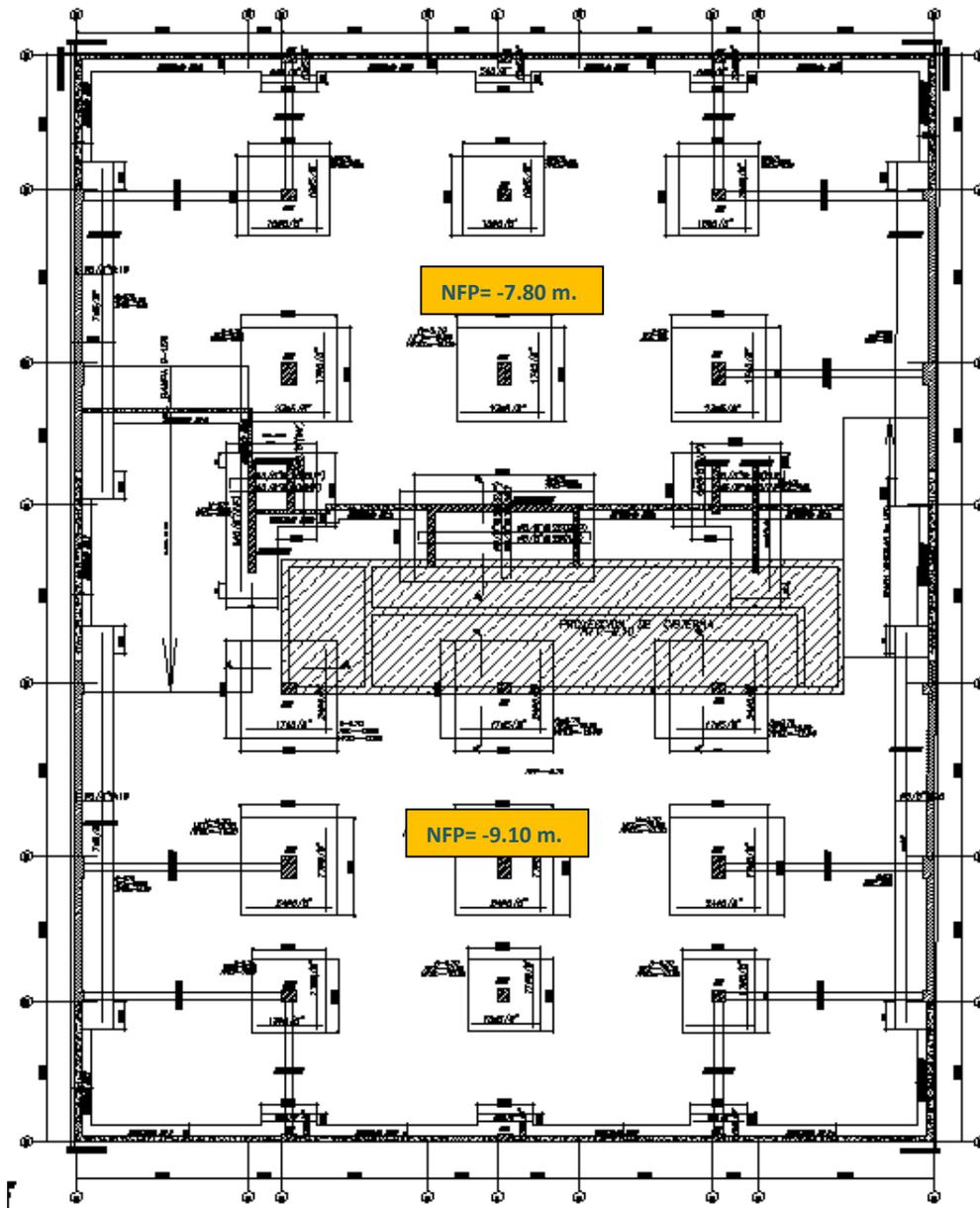


Figura N° 41: Cimentación

b.2. Planteamiento Estructural.

El proyecto plantea un sistema combinado de pórticos y placas de concreto armado.

4.4. EDIFICIOS PRÓXIMOS

El terreno está ubicado entre medianeras de la siguiente manera:

- **Por la izquierda** entrando con un edificio de ocho (08) pisos de aproximadamente 25 años de antigüedad en buen estado de conservación que no cuenta con sótanos. En la excavación masiva se descubrió la altura de su cimentación de 0.70 m., poco profunda de concreto ciclópeo. Se verificó además, atrás, colindante con el terreno, la cimentación y estructura de una cisterna más profunda que el fondo de su cimentación. Ver plano de ubicación en Figura N° 37 y perfil de la cimentación del edificio vecino en la foto 11.



Foto 12: El terreno limita por el lindero izquierdo (entrando) con un edificio de 8 pisos sin sótano



Foto 13: Nótese el perfil de cimentación del edificio de 8 pisos colindante por el lindero izquierdo (Primera Hilada). Al fondo baja el nivel de fondo de cimentación por la cisterna existente



Foto14: Cerco del edificio colindante sin Columnas sobre el eje 1 en el lindero izquierdo

- **Por el lindero derecho**, entrando, con un edificio de 10 pisos con 2 sótanos de 02 años de antigüedad en muy buen estado de conservación. En la construcción de sus sótanos ha ejecutado dentro de nuestro terreno, calzaduras con una profundidad de 7.00 m. y un espesor de hasta 1.50 m. Su sistema constructivo es de pórticos y muros de corte.

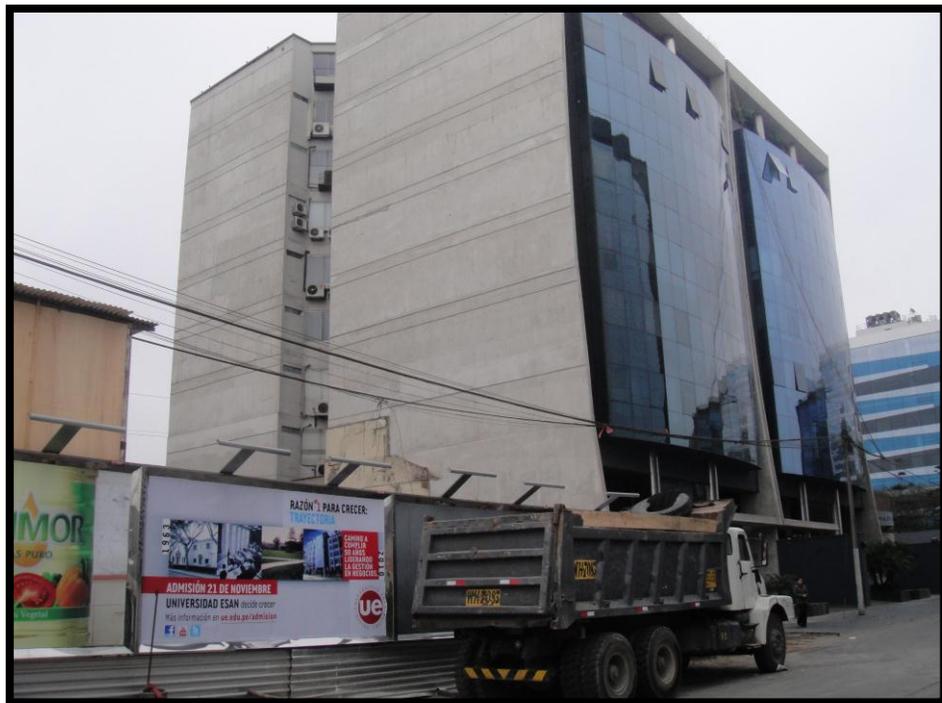


Foto 15: Por el lindero derecho el terreno limita con un edificio de 10 pisos que cuenta con 2 sótanos

- **Por el lindero del fondo:** Con edificaciones de dos pisos en no muy buen estado donde se observa en las fotos que no hay columnas



FOTO 16: Nótese al fondo el perfil de cimentación de edificaciones de 2 pisos colindante por el fondo. No se observan columnas. (Primera Hilada de Muros Anclados)

- **Por el frente:** Con la vía pública, con la vereda de la calle Monte Rosa



Foto 17: Vista desde adentro del lote del lindero frontal

4.5. OBRAS O INSTALACIONES SUBTERRÁNEAS PRÓXIMAS

No se encontró ninguna instalación subterránea próxima. Los buzones de desagüe se verificaron en la berma adyacente a la acera del frente.

CAPÍTULO V

EVALUACIÓN DE COSTOS DEL PROYECTO DEL EDIFICIO MONTE ROSA DE MUROS ANCLADOS Y DE CALZADURAS

Antes de iniciar la ejecución de la obra otro aspecto importante que se evaluó en el proyecto del Edificio Monte Rosa fue el costo de ejecutar la obra con el sistema de calzaduras frente al costo de hacerlo con muros anclados. Este capítulo se propone realizar la evaluación de costos con ambos sistemas para determinar finalmente cuál resulta más ventajoso desde el punto de vista económico.

La evaluación de costos en ambos casos considera tres linderos, el frontal (eje H), el lateral izquierdo (eje 1) y el posterior (eje A); no incluye el derecho (eje 5) porque en la excavación masiva se encontró que la profundidad de los sótanos del edificio vecino de 10 pisos es de -7.00 m. en la parte posterior del lote cuyo NTT es de -7.85 m. que resulta en una diferencia de nivel hasta el fondo de cimentación del edificio Monte Rosa de 1.60.00 m. y en la parte delantera del lote cuyo NTT es de -9.15 la diferencia de nivel resulta en 2.90 m. En este eje 5 se harán calzaduras cualquiera sea el sistema que se adopte.

5.1.EVALUACIÓN DE COSTOS DE MUROS ANCLADOS SEGÚN PROFORMA DE VALORIZACIÓN DE ANCLAJES DEL EDIFICIO MONTE ROSA HECHO POR P.T.P. S.A

En el Cuadro N° 3 se ve la valorización final del sistema de Muros Anclados hecha por la contratista Pilotes Terratest del Perú S.A.

El monto total que se pagó por 326.00 m. de anclajes temporales en dos hileras o niveles de los tres linderos descritos para tres sótanos es de **U.S. \$ 52,130.38 (Cincuentaidós mil ciento treinta y 38/100 dólares americanos), equivalente a S/. 144,922.46 (Ciento cuarentaicuatro mil novecientos veintidós y 46/100 nuevos soles)**. Se ha considerado como tipo de cambio S/. 2.78 por dólar. Este costo incluye anclajes del terreno en tres linderos, no así la ejecución de los muros de contención de concreto armado

5.2.EVALUACIÓN DE COSTOS DE CALZADURAS DEL EDIFICIO MONTE ROSA SEGÚN PROYECTO APROBADO POR LA MUNICIPALIDAD DE SANTIAGO DE SURCO.

Asimismo, se ha evaluado el costo de ejecución del proyecto de Calzaduras aprobado dentro del trámite de licencia de Edificación Nueva por la Municipalidad de Santiago de Surco en los tres linderos mencionados, el frontal (eje H), el lateral izquierdo (eje 1) y el del fondo (eje A).

En el Cuadro N° 4 se muestran los metrados del concreto de las calzaduras en los tres linderos indicados. Para fines de la comparación no se ha presupuestado el diseño de calzada para el lindero derecho (eje 5) porque de todas maneras se haría con calzaduras cualquiera sea el sistema de cimentación que se elija. En el Cuadro N° 5 se muestran los metrados del encofrado de las calzaduras de los tres ejes y en el Cuadro N° 6 se muestra el resumen del **presupuesto de las calzaduras para los tres linderos que resulta en U.S. \$ 140,018.36 (ciento cuarenta mil dieciocho y 36/100 dólares americanos), equivalente a S/. 389,251.04 (trescientos ochentainueve mil doscientos cincuentauno y 04/100 nuevos soles)**.

5.2.1. COMPARACIÓN ENTRE COSTOS DE CALZADURAS Y COSTOS DE MUROS ANCLADOS DEL EDIFICIO MONTE ROSA.

Del análisis de los costos realizados en los numerales 5.2 y 5.3 se ha determinado que para el edificio de Oficinas Monte Rosa el costo de realizar la cimentación comparando muros anclados con calzaduras es como sigue:

- **Con muros anclados ha sido de U.S. \$ 52,130.38 (Cincuenta y dos mil ciento treinta y 38/100 dólares americanos), equivalente a S/. 144,922.46 (Ciento cuarenta y cuatro mil novecientos veintidós y 46/100 nuevos soles).**

- **Con calzaduras hubiera sido de \$140,018.36 (ciento cuarenta mil dieciocho y 36/100 dólares americanos), equivalente a S/. 389,251.04 (trescientos ochenta y nueve mil doscientos cincuenta y uno y 04/100 nuevos soles).**

CUADRO N° 3:

Costo Total del Trabajo de la Perforación de Banquetas y Anclajes Temporales: Costo Total del Contrato = \$52,130.38

Obra: EDIFICIO MONTE ROSA

Medición del : 03-09-10 al : 17-09-10											
ANCLAJES TEMPORALES											
ITEM	DESCRIPCION	Contrato				Acumulado a la Fecha		Acumulado a EDP Anterior		Ejecutado en EDP Actual	
		Und.	Cant.	USD/UNID.	Total (USD)	CANT.	Monto en USD	CANT.	Monto en USD	CANT.	Monto en USD
1	Movilización y Desmovilización	glo	2.00	2,951.15	5,902.30	2.00	5,902.30	1.00	2,951.15	1.00	2,951.15
2	Anclajes Temporales	M.L	326.00	141.80	46,228.08	323.00	45,802.67	170.00	24,106.67	153.00	21,696.00
3	Perforación de Banquetas	M.L									
4	Horas Stand By del equipo de Perforación	Horas		164.18		20.00	3,283.70	10.00	1,641.85	10.00	1,641.85
TOTALES					52,130.38	54,988.67	28,699.67	26,289.00			
Total Neto EDP											TOTAL 26,289.00
Monto total del contrato \$52,130.38											
Costo Directo											26,289.00
Gastos Generales y Utilidad											(incluido)
Sub Total 1											USD 26,289.00
Amortización del Adelanto en Efectivo											25%
Sub Total 2											USD -6,268.14
IGV											19%
TOTAL											USD 23,824.82
Retención: Fondo de Garantía											B 5%
											-1,314.45
TOTAL A PAGAR E.D.P. N° 1											USD 22,510.37
Adelanto :		13,032.60									
Valorización No1		-6,764.46									
Valorización No2		-6,268.14									
Saldo :											

CUADRO N° 4

METRADOS DE CALZADURAS SEGÚN PROYECTO APROBADO

ITEM	DESCRIPCION	NIVEL	L	A	H	VOLUMEN
1.00	CALZADURA POSTERIOR (1)					417.96
		1	30.90	0.40	1.00	12.36
		2	30.90	0.70	1.00	21.63
		3	30.90	1.00	1.00	30.90
		4	30.90	1.20	1.00	37.08

		5	30.90	1.50	1.00	46.35
		6	30.90	1.70	1.00	52.53
		7	30.90	2.00	1.00	61.80
		8	30.90	2.30	1.00	71.07
		9	20.80	2.70	1.50	84.24
2.00	CALZADURA PARED LATERAL IZQUIERDA (2)					434.46
		1	39.00	0.40	1.00	15.60
		2	39.00	0.70	1.00	27.30
		3	39.00	1.00	1.00	39.00
		4	39.00	1.20	1.00	46.80
		5	39.00	1.50	1.00	58.50
		6	39.00	1.70	1.00	66.30
		7	39.00	2.00	1.00	78.00
		8	39.00	2.20	1.20	102.96
3.00	CALZADURA PARED FRONTAL (3)					508.00
		1	30.90	0.40	1.00	12.36
		2	30.90	0.70	1.00	21.63
		3	30.90	1.00	1.00	30.90
		4	30.90	1.20	1.00	37.08
		5	30.90	1.50	1.00	46.35
		6	30.90	1.70	1.00	52.53
		7	30.90	2.00	1.00	61.80
		8	30.90	2.20	1.00	67.98
		9	30.90	2.50	1.00	77.25
		10	30.90	2.70	1.20	100.12
	TOTAL VOLUMEN DE CALZADURA 1+2+3:					1,360.42 M3

CUADRO N° 5

METRADOS DE ENCOFRADOS DE CALZADURAS

ITEM	DESCRIPCION	NIVEL	L	A	AREA
1.00	AREA DE ENCOFRADO CALZADURA POSTERIOR (1)				278.40
			30.90	8.00	247.20
			20.80	1.50	31.20
2.00	AREA DE ENCOFRADO DE CALZADURA L. IZQUIERDA (2)				319.80
			39.00	8.20	319.80
3.00	AREA DE ENCOFRADO DE CALZADURA PARED FRONTAL (3)				315.18
			30.90	10.20	315.18
TOTAL ENCOFRADO 1+2+3:					913.38

CUADRO N° 6

PRESUPUESTO DE CALZADURA DE EDIFICIO MONTE ROSA

IT	DESCRIPCION DE PARTIDAS	UN	CANT	PU	PARCIAL(S/.)	TOT (\$)
1.00	EXCAVACION MANUAL	M3	1,360.42	48.00	65,299.97	
2.00	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	M3	1,768.54	18.00	31,833.73	
3.00	ENCOFRADO PARA CALZADURA	M2	913.38	25.00	22,834.50	
4.00	CONCRETO F'C= 100 KG/CM2-HORMIGON 30% PIEDRA	M3	1,360.42	200.00	272,083.20	
					392,051.40	\$140,018.36

CAPÍTULO VI

PROCESO CONSTRUCTIVO DEL EDIFICIO DE OFICINAS MONTE ROSA 3 SÓTANOS, 11 PISOS Y AZOTEA.

En el presente capítulo se expondrá el proceso constructivo de la ejecución de la cimentación con Muros Anclados de los sótanos de un edificio de oficinas ubicado en la Calle Monte Rosa, Manzana C, lotes 8 y 9, urbanización Chacarilla, Santiago de Surco. El proyecto cuenta con la Licencia de Edificación Nueva N°1233-2010-SGLAU-GDU-MSS del 2010 para 3 sótanos, 11 pisos y azotea para el uso de Oficinas.

En la ejecución de los trabajos de cimentación profunda con muros anclados, para un adecuado desempeño en obra y minimizar los tiempos muertos, se hace muy necesario coordinar la programación con los contratistas responsables del movimiento de tierras, con los ejecutores de los muros de concreto armado y con la empresa encargada de realizar las perforaciones, inyecciones y tensado de los anclajes (Pilotes Terratest del Perú S.A. en este caso). Se debe destacar la importancia que en esta etapa tienen las maquinarias de movimiento de tierras porque son ellas las que abren los frentes de trabajo para los contratistas de la ejecución de los anclajes y para los ejecutores del acero, encofrado y concreto de los paños a ser tensados.

Como ya se dijo en el numeral 2.6 de este trabajo, el procedimiento constructivo de los muros excavados con anclajes consiste en realizar excavaciones parciales y construir paños independientes para luego proceder a tensar el paño. La construcción de los muros se realiza conforme progresa la excavación. Los anclajes presionan al muro contra el suelo lo que permite confinarlos evitando que éste se mueva.

Los procesos a tener en cuenta durante la ejecución de los trabajos de cimentación con Muros Anclados en el edificio Monte Rosa se detallan en el presente Capítulo.

6.1. EXCAVACIONES MASIVAS.

Se refieren a las que ocupan área considerable generalmente practicada para sótanos, piletas, cisternas, etc. Pueden ser ejecutadas manualmente o con maquinaria.

En el edificio Monte Rosa, la excavación masiva se hizo por etapas determinadas por cada hilada de anclajes. En la primera hilada se hizo hasta la profundidad requerida para realizar los anclajes de ésta según los niveles definidos en el plano de anclajes que se muestra en los Anexos adjuntos.

En el proceso se descubrió el nivel de la cimentación de las edificaciones vecinas colindantes más críticas o vulnerables que fueron por el lindero izquierdo, el edificio de 8 pisos con una cimentación superficial de aproximadamente 0.60 m. (Ver fotos 13 y 14) y por el lindero del fondo con edificaciones de 2 pisos también con cimentación superficial de 0.60 m. y el cerco sin columnas que encierra un patio (Ver foto 16) en ítem 4.4.

Las excavaciones se desarrollaron de acuerdo con los niveles determinados en los planos de diseño para cada nivel de muros. En todos los casos se determinó la cota de los anclajes y se excavó hasta la profundidad de -1.50 m. por debajo el nivel del anclaje, de manera que los equipos de perforación puedan pararse adecuadamente en frente del talud y hacer su trabajo de forma segura.



Foto N° 18: Excavación Masiva del recinto de la primera hilada y Eliminación de Material Excedente

MAQUINARIA EMPLEADA EN LA EXCAVACIÓN MASIVA

Se realizó con la siguiente maquinaria:

- **Cargador frontal** (Ver fotos 21, 22, 27 y 28): Adecuado para la excavación y eliminación de material excedente en la primera hilada donde aún no se había profundizado la excavación.
- **Pequeño cargador frontal con retroexcavadora**: También adecuado para excavaciones menores. En la parte de la retroexcavadora se le puede cambiar el accesorio por el de martillo. Esto fue muy útil para la demolición de calzaduras de 7.00 m. de profundidad que invadieron el terreno cuando se construyó el edificio vecino de 10 pisos colindante por el lado derecho (eje5). Ver Fotos del 23 al 26 y 27 y 28.

- **Volquetes de 16 m3. a 20 m3:** En los momentos de mayor eliminación de material excedente se usaron hasta 8 volquetes que llegaron a hacer en una jornada hasta 36 viajes.
- **Retroexcavadora de Orugas:** Fue de mucha utilidad en el trabajo de Excavación masiva y eliminación de material excedente en el desarrollo de la segunda hilada de anclajes porque su cuchara alcanza mayor altura y profundidad y fue muy versátil para moverse dentro del terreno excavado. Fue la máquina más usada en casi todo tipo de trabajos incluyendo la excavación y perfilado de banquetas para realizar los anclajes. Ver foto 30.
- **Retroexcavadora de Llantas:** Fue de mucha utilidad en el trabajo de eliminación de material excedente de la segunda hilada de anclajes porque su cuchara alcanza mayor altura y profundidad. Ver foto 31.



FOTOS 19 y 20: Cargador Frontal



Fotos 21 y 22: Pequeño Cargador Frontal con Retroexcavadora



FOTO 23: Pequeño Cargador Frontal con Retroexcavadora. El accesorio de la cuchara de la excavadora puede cambiarse por un martillo. FOTO 24: Se observa al Martillo demoliendo las calzaduras hechas por el vecino.



FOTO 25: Cargador Frontal y Pequeño Cargador Frontal con Retroexcavadora en pleno trabajo de excavación de la primera hilada



FOTO 26: Trabajo combinado de la pequeña retroexcavadora con el cargador frontal



FOTO 27: Volquetes de 16 m³ a 20 m³



FOTO 28: Volquetes de 16 m³ a 20 m³



FOTO 29: Retroexcavadora de Orugas

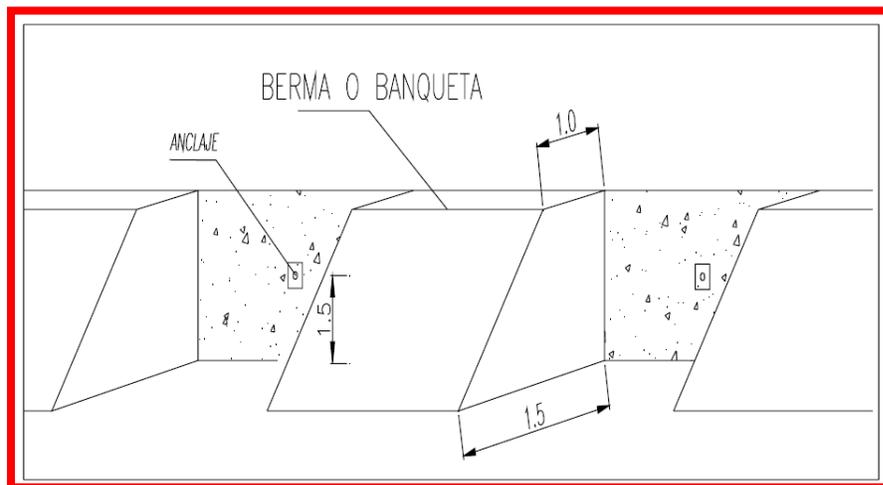


FOTO 30: Retroexcavadora de Llantas

6.2. EXCAVACIÓN, PREPARACIÓN Y PERFILADO DE LA BANQUETA CON MAQUINARIA.

En esta etapa se excavaron los módulos o paños de la primera fila de forma intercalada en contorno a la excavación, se dejó una berma o banqueta de 1.0 m. en la corona y 1,5 en la base por el ancho del módulo correspondiente, (ver figura N° 29).

Se hicieron los anclajes de la fila a trabajar con sus respectivos muros y se avanzó a la siguiente fila inferior solo hasta que la anterior esté tensionada; se descendió parcialmente al siguiente nivel de anclajes solo bajo el criterio del profesional de PTP que evaluó la situación en particular. En la Figura 43, se ilustra el procedimiento a seguir para dos filas de anclajes, este proceso será para los (N) filas que se necesite anclar. (Ver Figura N° 42).



**Figura N° 42: Paños Intercalados entre banquetas
Procedimiento de construcción de un sótano con pantalla anclada**



FOTO 31: Edificio Monte Rosa: Nótese los paños vaciados del 1er anillo intercalados con las banquetas

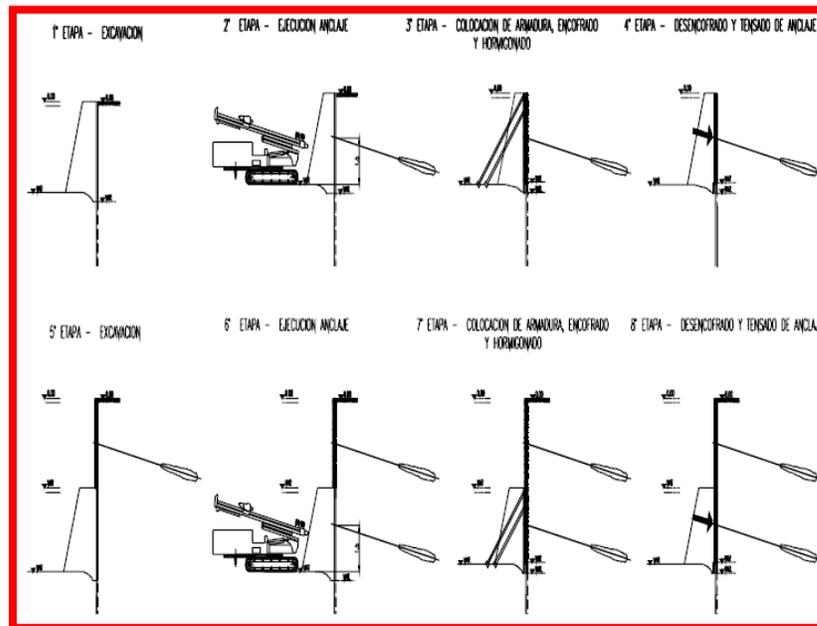


Figura N° 43: Procedimiento a seguir para dos filas de Anclajes

6.3. SHOTCRETE O LECHADA DE CEMENTO DEL TALUD O BANQUETA

La lechada ejerce un empuje hidrostático sobre las paredes e impide que éstas colapsen. Al extraer el suelo excavado se libera la presión horizontal natural sobre las paredes y se genera en el plano vertical una condición de equilibrio plástico que desarrolla un empuje activo. Para que la zanja se mantenga estable es necesario que el empuje sea menor que la presión hidrostática ejercida por la lechada. Las partículas coloidales de bentonita se adhieren a las paredes del terreno, formando una delgada costra impermeable, que impide la fuga de la lechada en excavaciones realizadas en depósitos de suelo permeable. El empuje depende de la resistencia al corte de los suelos excavados, la presión hidrostática ejercida por la lechada depende de su densidad.

6.4. PERFORACIÓN DE LOS ANCLAJES

La perforación de los anclajes puede hacerse siguiendo dos alternativas:

- Perforación continua sobre la banquetta perimetral de la excavación.
- Perforación intercalada sobre los muros a construir como se ve en la figura 29.

Cabe anotar que se puede perforar antes o después de haber fundido el muro. Para este último caso hay que dejar un pase o tubo PVC de 6” con la inclinación especificada. Esta alternativa se dará de acuerdo a las necesidades de obra, aunque es recomendable realizar perforación continua ya que no habría tropiezos entre los frentes de excavación y construcción de muro. La perforación se realizó por medio de tubería de revestimiento de 115 o 90 mm, ya que las propiedades del suelo así lo requirieron. Terminada la perforación se colocaron los cables según especificaciones del diseño y se hizo de inmediato el llenado del elemento con lechada (mezcla de agua cemento).

Estas alternativas son viables y dan buenos resultado bajo la adecuación oportuna del terreno y del sitio de trabajo previamente coordinado; por ello se recomienda dar prioridad a esta labor, de esto depende optimizar la jornada trabajo en función de perforar el mayor número de metros lineales.



Fotos 32 y 33: Movilización de Equipos a la obra por parte de la empresa Pilotes Terratest del Perú S.A.: Máquina perforadora e inyectora de concreto.



Fotos 34 y 35: Bomba Concretera para la lechada y Compresora

Figura N° 43: Características del Anclaje N° 1.10 ubicado en la primera hilada del eje H

Generalmente se utilizan taladros horizontales para perforar orificios cuyo diámetro sea el previsto para el primer nivel superior de anclajes. En el fondo de los orificios se suele realizar una sobre excavación de diámetro mayor para mejorar la sustentación de los anclajes.

**PILOTES
TERRATEST**

PARTE DE EJECUCION DE ANCLAJES
F-PQD-7-01.05 Rev/2

OBRA: Edificio Monte Rosa

ANCLAJE N°:	2.18	
PROYECTO/PLANO N°:	PC9053	
Tipo Anclaje:	Teña	
Diámetro cables (pulgadas):	0.6	
D Largo Total (LT)	m 9.50	
A Longitud Perforación (LO)	m 8.50	
T Longitud Libre (Lf)	m 4.50	
Longitud Bulbo (Lv)	m 4.00	
O Angulo Horizontal αH	o -	
S Angulo Vertical αV	o 10	

PERFORACION	MAQUINA: Mustang. Compresora e Inyectora	
	METODO DE PERFORACION: Tubex - 90	
	OPERADOR PERFORACION: Julio cheng.	

PROFUNDIDAD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
S Roca																									
U Bolones																									
E Grava																									
L Arena																									
O Limos																									
Obstáculos																									
Agua de Napa ?																									

OBSERVACIONES SOBRE PERFORACION: bangueta sobre talud. 2 MT. FECHA PERFORACION: 07-09-2010
FECHA INYECCION: 07-09-2010

DATOS INYECCION	DESCRIPCION	VARIOS
Marca Cemento	Sol	Descripción Compresor
Tipo	I	PCM 7.50 LBS
Relación a/c: (Lts./Kg).	0.45	Presión Máxima Utilizada
Litros de Agua / Bolsa	19	14 bares
Peso por Bolsa (Kg)	212.5	Uso de Espuma
(1*) Volumen Teórico	Litros 100.81	Si
(2*) Volumen Mezclado	Litros 195.6 Sacos 6	Tipo de Espuma Perforación
Volumen Inyectado	Litros 195.6 Sacos 6	Quick - Foam
Presión Inyección Final (bares)	15	Dosificación Espuma
Aditivo para Lechada Usado		300 cc / 200 L H ₂ O
Dosis de Aditivo por Saco		Encamisado Hasta
Distancia Libre para Tubo Trompeta		10.50
OBSERVACION SOBRE INYECCION Y OTROS		
INGENIERO O ENCARGADO EN OBRA RESPONSABLE POR EL MANDANTE		
FIRMA		
INGENIERO O ENCARGADO EN OBRA DE PILOTES S.A.		
Victor Valverde		
FIRMA		

(1*) $V_{teórico\ perf.} = (\text{radio} \times \text{radio} \times 3.14 \times L_0) / 1000 = (\text{Radio} = \text{Radio del Área de corte})$.



FOTO 36: Perforación e Inyección de Anclajes



FOTO 37: Perforación e Inyección de Anclajes sobre la banqueta

6.5. EXTRACCIÓN DE LA TUBERÍA METÁLICA DE REVESTIMIENTO.

Se extrae la tubería metálica una vez realizada la perforación del anclaje



FOTO 39: Tubos para perforar Anclajes

6.6. INSTALACIÓN DEL ANCLAJE DE CABLES

Terminada la perforación se colocaron los cables según especificaciones del diseño y se hizo de inmediato el llenado del elemento con lechada (mezcla de agua cemento). Por ejemplo en los anclajes a lo largo del eje 1 que era el más crítico porque colindaba con un edificio de 8 pisos con cimentación superficial, se colocaron 5 cables. En el eje A, en el lindero posterior que colinda edificaciones de 2 pisos y el cerco de un patio, se colocaron 3 cables; en el eje h, en el lindero que colinda con la calle Monte Rosa sólo se colocaron dos cables. La cantidad de cables se calcula en función del peso y vulnerabilidad de las edificaciones vecinas.

En el Armado del primer nivel de anclajes se suelen colocar varillas centradas, de diámetro apropiado, en los orificios previamente perforados. Las varillas colocadas son roscadas en la parte exterior para facilitar su proceso de tensado y sujeción. Para conseguir que el refuerzo de los anclajes se mantenga sin contacto con el suelo excavado se utilizan separadores transversales cada cierta distancia.



FOTO 38: Cables de Acero para los Anclajes

6.7. INYECCIÓN DE CEMENTO.-

Los anclajes fueron llenados tan pronto como se terminó cada una de las perforaciones, efectuando simultáneamente la recuperación de las camisas de revestimiento. Hecho el llenado se esperó entre 4 a 7 días para que el bulbo madure y tenga la capacidad de asumir la solicitud de carga especificada, el tiempo dependerá del uso de aditivos en el llenado.

Se introdujo una manguera flexible hasta el fondo del orificio excavado, la misma que exteriormente está conectada a una bomba de concreto fluido o de mortero (Ver Fig. 36). El concreto o el mortero incluyen componentes expansivos para compensar la retracción de fraguado. Una vez iniciado el proceso de bombeo, se extrae lentamente la manguera lo suficiente para permitir que se supere ligeramente un vaciado equivalente a la longitud de anclaje.

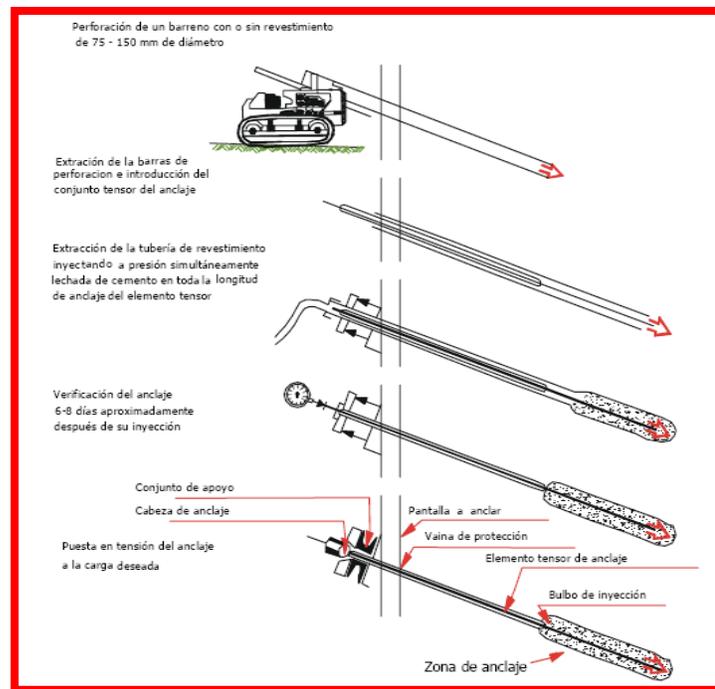


Fig. 44: Secuencia de Anclajes

6.8. EXCAVACIÓN POR PAÑOS ALTERNADOS DEL TALUD HASTA DEJARLO A PLOMO

Se debe realizar este paso del procedimiento que es muy importante, porque se debe tener especial cuidado en no eliminar en forma continua las banquetas sino alternadamente para no dejar desprotegido al terreno y la edificación vecina. En esta parte se perfila y prepara el terreno para recibir el muro de concreto armado.

6.9. COLOCACIÓN DE LA ARMADURA.

Como ya se dijo, adicional a los refuerzos corridos y a los bastones obtenidos con el cálculo de la etapa final, también es usual colocar una malla de aproximadamente 2 m. de lado, como refuerzo en la zona de anclajes. Esto permite reducir el acero de la malla de la cara en contacto con la tierra, calculado según la primera etapa. Ver ítem 2.5, literal c. Ver Figura N° 16.



FOTO 40: LUEGO DE HABER PERFORADO, INTRODUCIDO EL ANCLAJE E INYECTADO CONCRETO, SE CONTINÚA CON LA COLOCACIÓN DE LA ARMADURA DEL PAÑO DE MURO ANCLADO.



FOTO 41: SE OBSERVA EL REFUERZO QUE SE REALIZA EN EL ELEMENTO ESTRUCTURAL

6.10. ENCOFRADO DEL PAÑO DEL MURO

Armado el de refuerzo dl muro, se encofra y funde el primer nivel superior del muro, teniendo cuidado de que no se integre a las varillas, para lo que se suele dejar un espacio alrededor de la varilla sin fundir. Además se suele envolver a la varilla con material no adhesivo como papel de aluminio para asegurar su falta de contacto temporal con el concreto del muro. Se deja prevista una ventanilla en el encofrado para vaciar posteriormente la parte del muro que no ha sido vaciada en esta fase.



FOTO 42: Vaciando concreto.



FOTO 43: Encofrado paño entre anclajes 117 y 118. Obsérvese anclaje 117 tensado, requisito necesario para trabajar los paños adyacentes



FOTO 44: Encofrado y vaciado alternado de muros

6.11. CONCRETO DEL PAÑO

En los paños con anclajes se usó concreto premezclado de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$. Para el resto de elementos de concreto armado se usó $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$.

Anclado del primer nivel superior de muros: Una vez fraguado el concreto de un micropilote y del muro superior al de la varilla de anclaje, se coloca una placa de acero que tiene un orificio centrado de un diámetro ligeramente superior al de la varilla.

6.12. TENSADO DEL ANCLAJE.

Para el tensado de los anclajes se deberá cumplir la maduración del bulbo y que el muro vaciado haya cumplido mínimo 210 kg/cm² de resistencia para poder llevar el anclaje a la solicitud del diseño. En la obra del edificio Monte Rosa se trabajó con concreto de $f'c = 280$ Kg/cm². Y se solicitaba a la empresa contratista realizarlos al tercer día de haber vaciado y curado.

Para el tensado se utilizó un gato unitario o multitorón que llevará cada cable o torón a la carga de trabajo especificado (ver fotografía siguiente).

Anclado del primer nivel superior de muros: Una vez fraguado el concreto de un micropilote y del muro superior al de la varilla de anclaje, se coloca una placa de acero que tiene un orificio centrado de un diámetro ligeramente superior al de la varilla. Se hace pasar la varilla a través del orificio, permitiendo que la placa se apoye parcialmente en la superficie del muro de concreto. Mediante la colocación de una tuerca exterior, y con el uso de un torquímetro se procede a tensar la varilla del micropilote hasta que supere aquella tensión que resistirá el micropilote cuando el muro anclado esté trabajando a su máxima sollicitación.

Posteriormente se retira la tensión sobre la varilla aflojando la tuerca.

La Integración del primer nivel de anclajes al primer nivel superior de muros se hace a través de la ventanilla que se dejó para el vaciado complementario del muro, se introduce nuevamente la manguera en el orificio del anclaje y se completa su vaciado. Adicionalmente se vacía el concreto faltante del muro alrededor de la varilla de anclaje.



FOTO 45: Tensado del Anclaje con Gata Hidráulica



FOTO 46



**Foto 47: Armado de acero con refuerzo adicional en la zona de anclaje.
Nótese la marca de la losa**

6.13. SEGUNDA HILADA

Se repite el procedimiento descrito para la primera hilada cuidando de integrarlas. Incluyendo la excavación masiva y eliminación de material excedente.



**FOTO 48: Excavación Masiva y Eliminación de Material Excedente en
Segunda Hilada**



FOTO 49: Concluidos todos los paños de la primera hilada completando todos los pasos descritos desde el ítem 6.1 hasta el 6.12 se realiza la Excavación Masiva de la Segunda Hilada donde se han dejado las banquetas perimetrales, siguiendo el mismo procedimiento.



FOTO 50: Perforación e Inyección de Anclajes en la Segunda Hilada



FOTO 51: Encofrado de un paño en la Segunda Hilada



FOTO 52: Se están concluyendo los vaciados de los paños de la segunda hilada. Nótese las ventanas en la parte alta del encofrado por donde se vaciará el concreto del paño colocando una tabla en forma diagonal donde se forma una rebaba de concreto denominada cachimba.

6.14. TERCER NIVEL Y CIMENTACIÓN.

No requirieron muros anclados, se excavó por partes alternadas a manera de calzaduras.



FOTO 53: Muros anclados concluidos en dos niveles y el tercer nivel sin anclajes hasta la cimentación.

CONCLUSIONES

1. Las excavaciones profundas para cimentaciones son un tema de aplicación de la Mecánica de Suelo y la Geotecnia. El análisis de las excavaciones profundas estará en función de las condiciones geotécnicas en las que se pretenda realizar la excavación profunda, estudiando el comportamiento del suelo y posteriormente aplicar los conocimientos y criterios ingenieriles.
2. Por otra parte, el problema fundamental de las excavaciones profundas es el estudio de su estabilidad general. Se deberán analizar todas las posibilidades de falla en las paredes. La influencia del agua y la resistencia al corte son asuntos a considerar.
3. Otro punto que será de consideración, es la estabilidad de las paredes de la excavación, cuando estas se realicen en forma de taludes. Su solución estará relacionada con los factores de seguridad, previa obtención de los parámetros geotécnicos de las pruebas de resistencia al corte realizadas para el caso particular de excavaciones.
4. Los Muros Anclados ejemplifican el caso de un sistema mixto que forma parte integral de la edificación a construirse, mientras que las Calzaduras, trabajaran como sistemas provisionales.

5. En lo referente al proceso constructivo de los sistemas de muros anclados, se recomienda que su avance sea mediante secciones alternadas, destacando la sincronización entre el continuado de la excavación y el vaciado del muro. El procedimiento explicado en este estudio deberá seguirse escrupulosamente a fin de evitar fallas o accidentes.

6. Deberá prestarse mucha atención a la puesta en marcha en obra de los sistemas de contención, ya que al momento de ejecutarse este tipo de trabajos, los obreros y demás personal deberán tener conocimiento de los riesgos laborales que aquello implica. La seguridad será aplicada como medio de protección personal en todo momento para evitar tragedias o prevención de accidentes.

7. Del análisis del presupuesto de la cimentación realizado para el edificio de Oficinas Monte Rosa se ha determinado que realizar la cimentación profunda con muros anclados es mucho más económico que realizarla con calzaduras. Para dicha obra, el presupuesto del muro anclado fue de **S/. 144,922.46 (Ciento cuarentaicuatro mil novecientos veintidós y 46/100 nuevos soles)** y el de calzaduras resultó en **389,251.04 (trescientos ochentainueve mil doscientos cincuentauno y 04/100 nuevos soles)**, es decir, las calzaduras hubieran costado más de dos veces y media del costo de los muros anclados.

De aquí se determina que para cierto nivel de profundidad de sótanos en edificaciones que puede ser a partir de 8.00 m., se justifica el sistema de muros anclados porque resulta más rentable.

8. El control de deformaciones y por ende de daños, es de gran importancia en el diseño y construcción de los muros anclados. Esta ventaja en comparación con estructuras de contención convencionales (calzaduras) garantizan el mínimo impacto en las estructuras colindantes

9. Los muros anclados tienen las siguientes ventajas sobre el sistema de calzaduras:
 - a. No se invade propiedad vecina,
 - b. Control de corrimientos del talud,
 - c. Seguridad en el proceso de excavación,
 - d. Facilita proceso constructivo de la edificación,
 - e. Rapidez en excavación y el muro es el definitivo),
 - f. Menor Costo cuando la profundidad de la excavación es mayor a 8.00 m.,
 - g. Control de corrimientos del talud,
 - h. Se controla ocurrencia de grietas de tensión,
 - i. Posibilidad de retensar para cerrar grietas,
 - j. Se controla daños en edificaciones vecinas.

10. Toda excavación altera el estado tensional del suelo y puede llevar a la pérdida de estabilidad del talud. La estabilización de taludes involucra aspectos de seguridad, costo y plazo. Las decisiones sobre la estabilidad de los taludes requieren conocer el suelo, control de la humedad y observación permanente.

11. El procedimiento tradicional de calzadura tiene inconvenientes que se hacen evidentes en excavaciones profundas. Las pantallas ancladas ofrecen ventajas constructivas y pueden ser competitivas desde los 10m. Ya el procedimiento constructivo en el conglomerado está dominado. Los muros anclados requieren también del conocimiento exhaustivo de las características y condiciones del suelo, experiencia en el tema y control.

RECOMENDACIONES

1. La metodología de diseño y construcción permiten tener la seguridad necesaria durante la excavación de la obra. Es importante indicar que una adecuada programación, previa al inicio de trabajos, minimiza los tiempos muertos y maximiza la eficiencia.
2. En calzaduras, el factor tiempo es importante considerando que aumenta el riesgo de derrumbe por posibles alteraciones de los parámetros del suelo al estar sometido a períodos largos de exposición.
3. Antes de tomar una decisión sobre el sistema de cimentación a seguir, se deberá evaluar todas las variables técnicas, económicas, de seguridad y eficiencia.
4. Los principales documentos necesarios para un análisis y diseño de anclajes lo conforman:
 - Estudio de Mecánica del Suelo.
 - Planos de Estructuras de la cimentación.
 - Planos de Arquitectura, (planta, cortes y elevaciones).
 - Plano de ubicación de estructuras colindantes, indicando tipo de estructura, cantidad de pisos, cotas de cimientos, existencia de estructuras subterráneas (sean cisternas, cuartos de bombas, sótanos, etc.).

- Planos de interferencias de servicios públicos.
 - Plano de interferencia futura (grúas móviles o fijas).
 - Los estudios básicos son de vital importancia en los cálculos de las longitudes, orientación y fuerza de los anclajes.
5. En el Sistema de Muros Anclados, la adecuada planificación previa al inicio de obras, minimiza tiempos muertos tener a tiempo las interferencias, evita atrasos.
6. No se recomienda usar calzaduras para profundidades mayores a dos sótanos y cuando se usen hasta los niveles recomendados, será necesario especificar sus características, previo estudio del suelo.
7. En el diseño de muros anclados con anclajes temporales o permanentes deberá prestarse especial atención en la verificación de los esfuerzos por punzonamiento ocasionados por los dispositivos de anclaje. En el diseño deberán considerarse las solicitaciones correspondientes a cada una de las diferentes etapas de la construcción.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. ALVA HURTADO, Jorge E., “Diseño y Construcción de Cimentaciones”, Segunda Parte “Sistemas de Soporte Lateral”, Capítulo 6, Comité Peruano de Mecánica de Suelos, Fundaciones y Mecánica de Rocas, Lima 2008.
2. ANTONIO BLANCO BLASCO INGENIEROS E.I.R.L., “Calzaduras”: Conferencia (Lima, 10 de Junio del 2008). En: Asociación de Productores de Cementos – ASOCEM.
3. ANTONIO BLANCO BLASCO INGENIEROS E.I.R.L., “Sistemas de Estabilización del Terreno para el caso de Excavaciones de Edificios con Sótanos: Caso Especial de Muros Anclados”: Conferencia (Lima, 20 de Abril del 2010). En: Asociación de Productores de Cementos – ASOCEM.
4. CABRERA PÉREZ, Adolfo, Ingeniero Civil, Magister en Geotecnia, Máster en Mecánica del Suelo, Gerente General del Geofundaciones, Informe técnico sobre Muros Anclados. Lima Diciembre 2008.
5. CARRILLO GIL, Arnaldo, “*Geotecnia para la Ejecución de Calzaduras en el suelo de Lima*”: Conferencia. En: IV CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN (Diciembre 2008, LIMA) realizada en el Lima Sheraton Hotel, organizada por el Instituto de la Construcción y Gerencia - ICG. Resumen del IV Congreso Internacional de la Construcción.
6. INSTITUTO DE CONSTRUCCIÓN Y GERENCIA, “Experiencias Constructivas en Calzaduras – Edificio Parque Monterrico”: Conferencia. En: IV CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN (Diciembre 2008, LIMA).

ANEXOS DE PLANOS

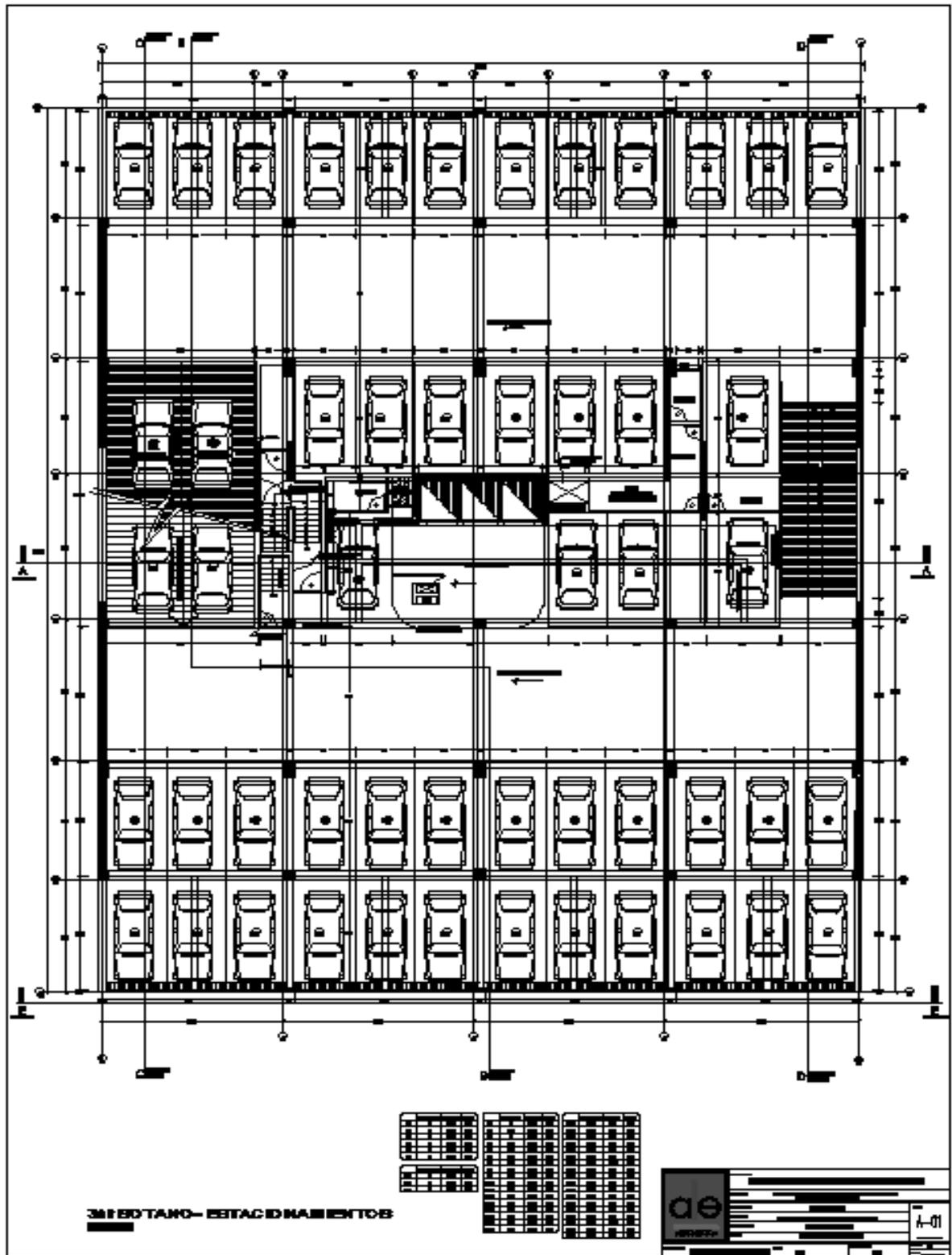
ANEXO I: ARQUITECTURA: DEL A-1 AL A-15

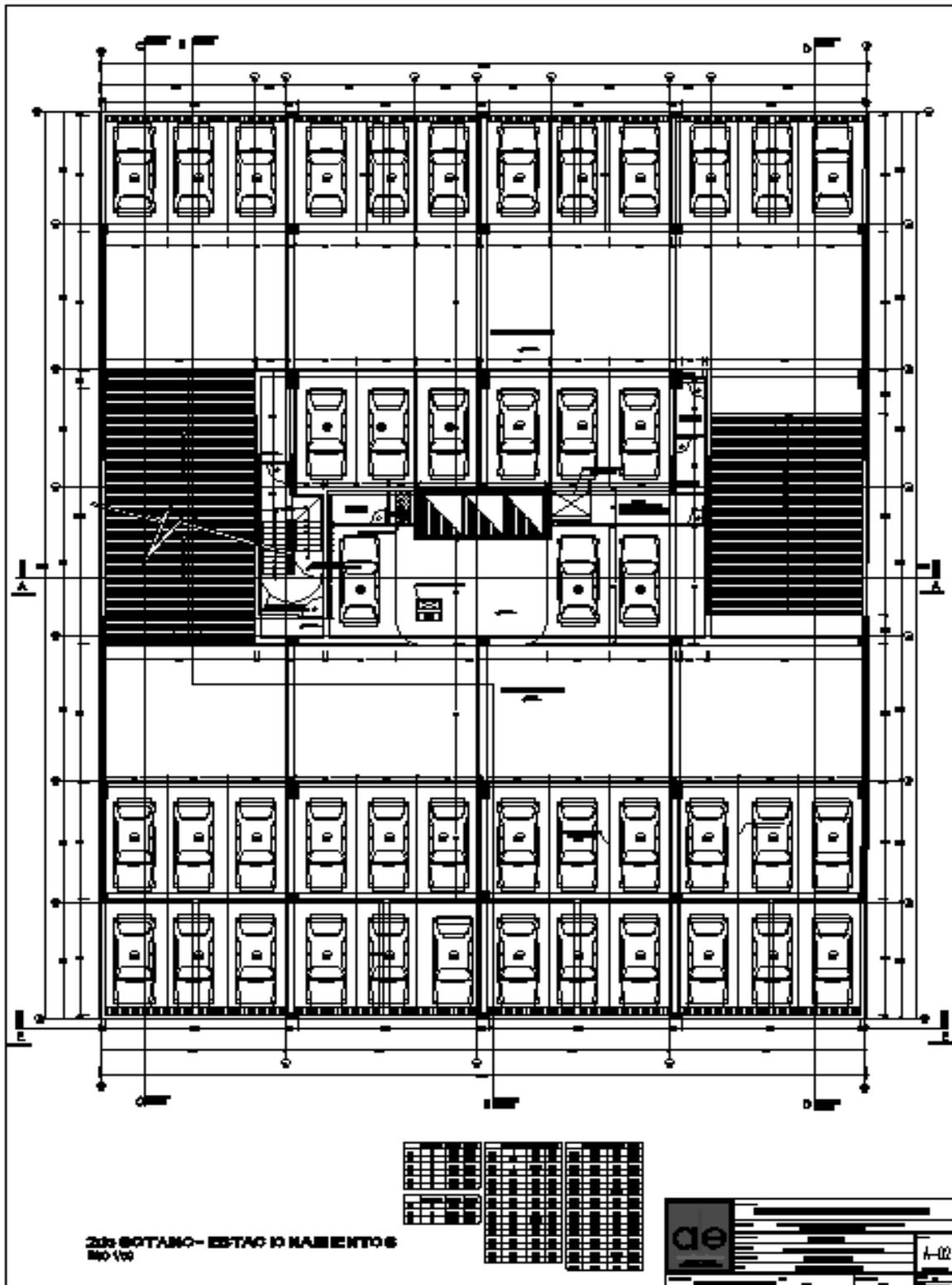
ANEXO II: PLANOS DE ANCLAJES: LISTADO PLANTAS Y ELEVACIONES ANCLAJES

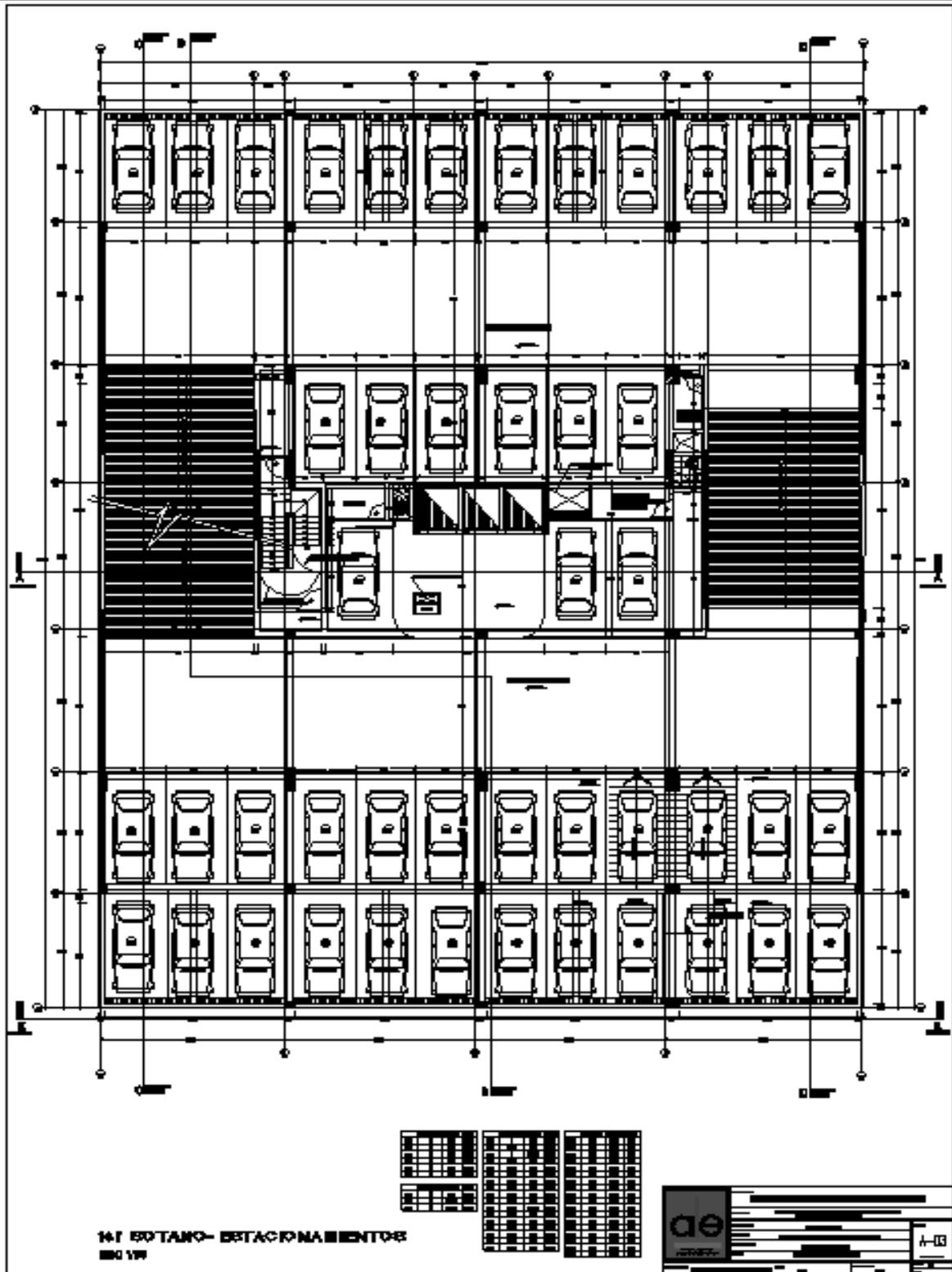
ANEXO III: PLANOS CALZADURAS: DEL EC-1 AL EC-2

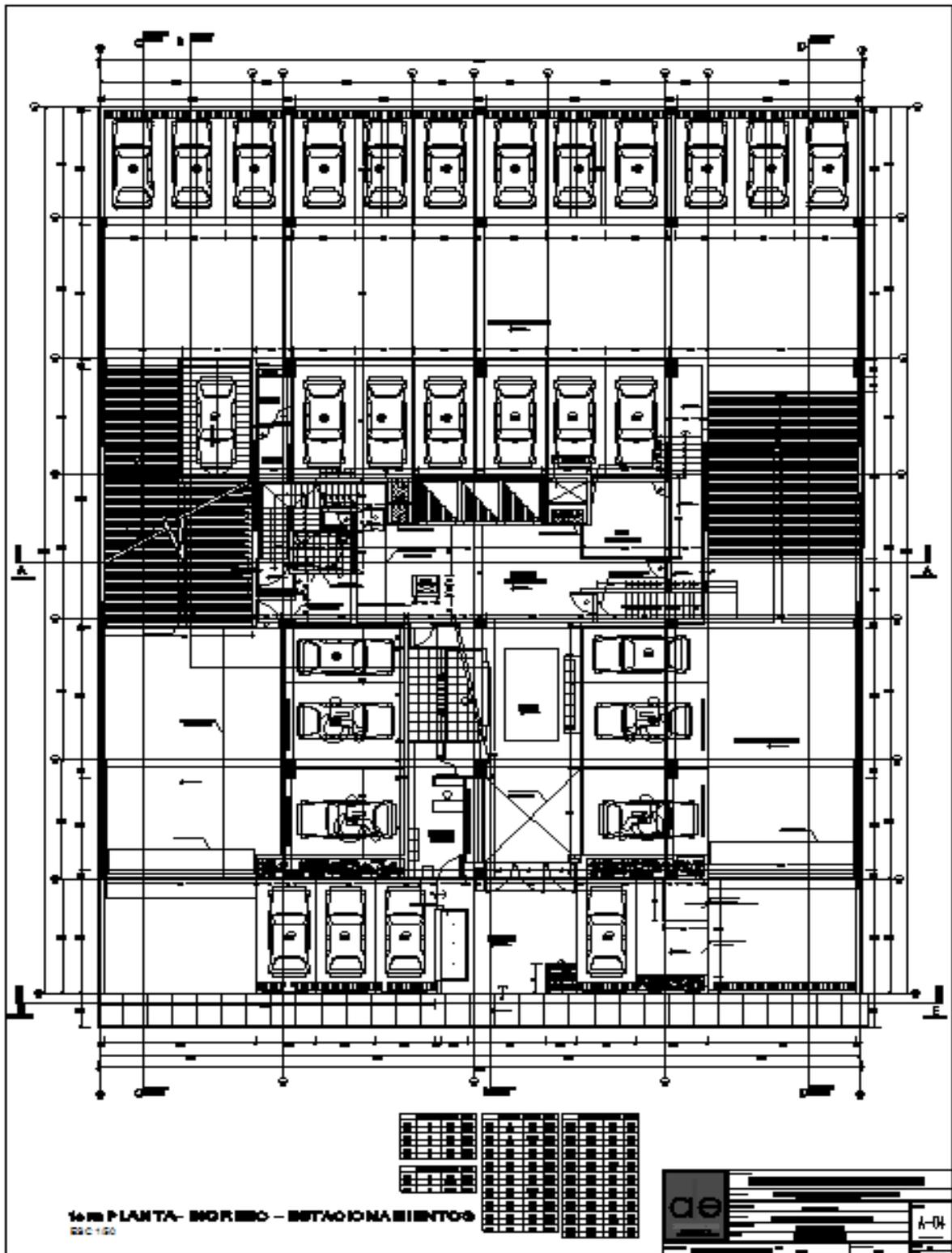
ANEXO IV: ESTRUCTURAS: E-01 Y DEL E-04 AL E-06

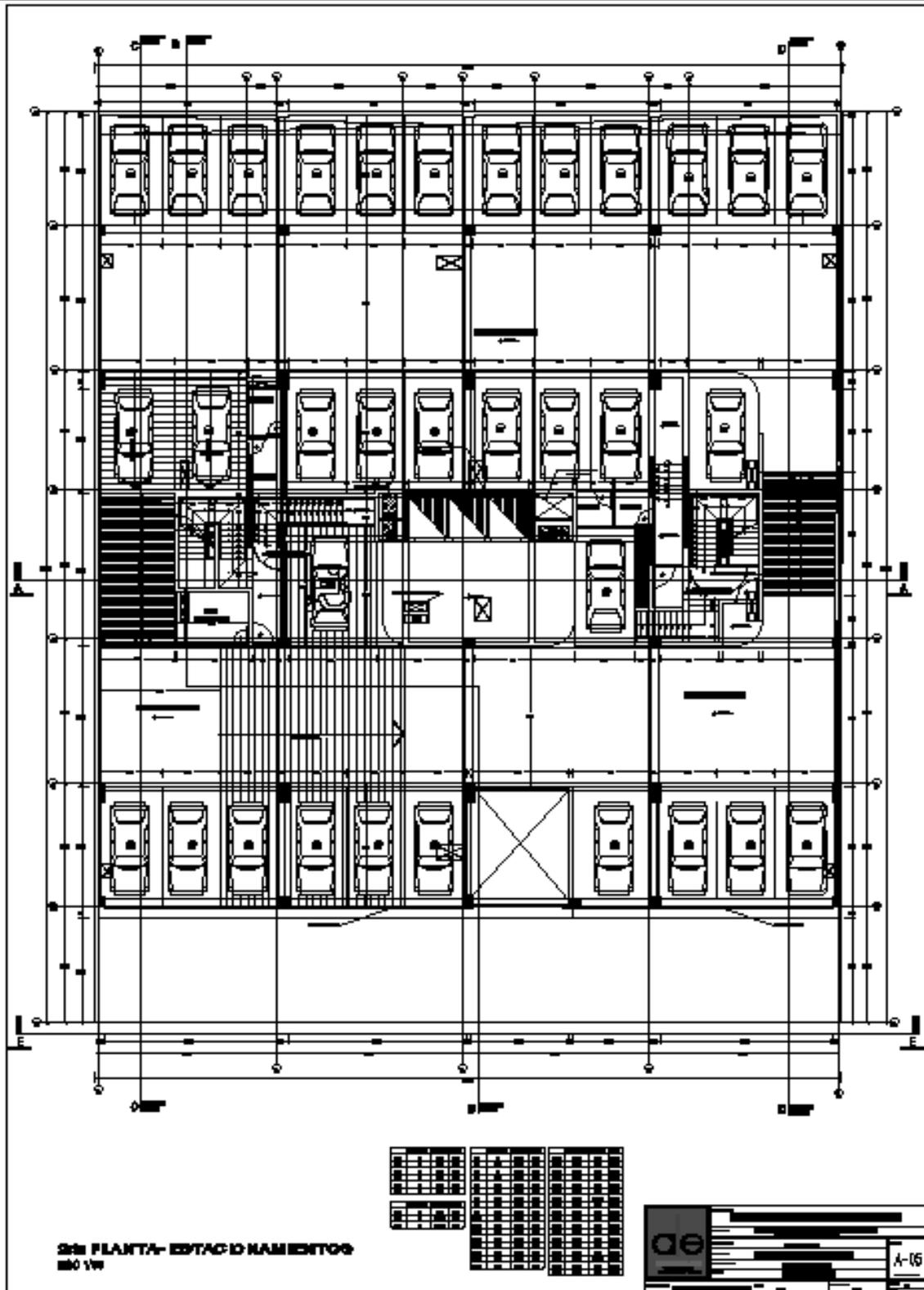
**ANEXO I:
PLANOS DE ARQUITECTURA:
DEL A-1 AL A-15**

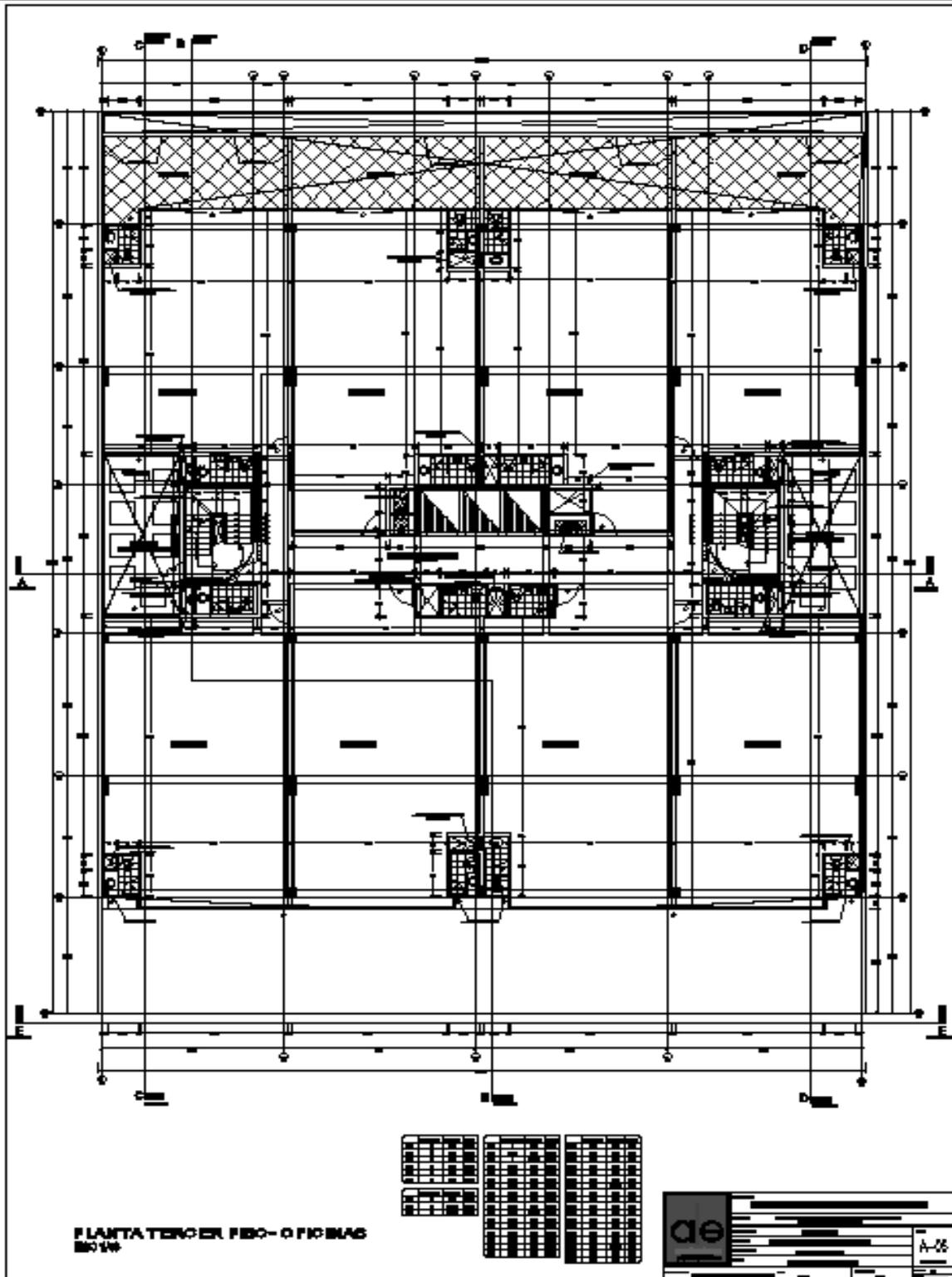


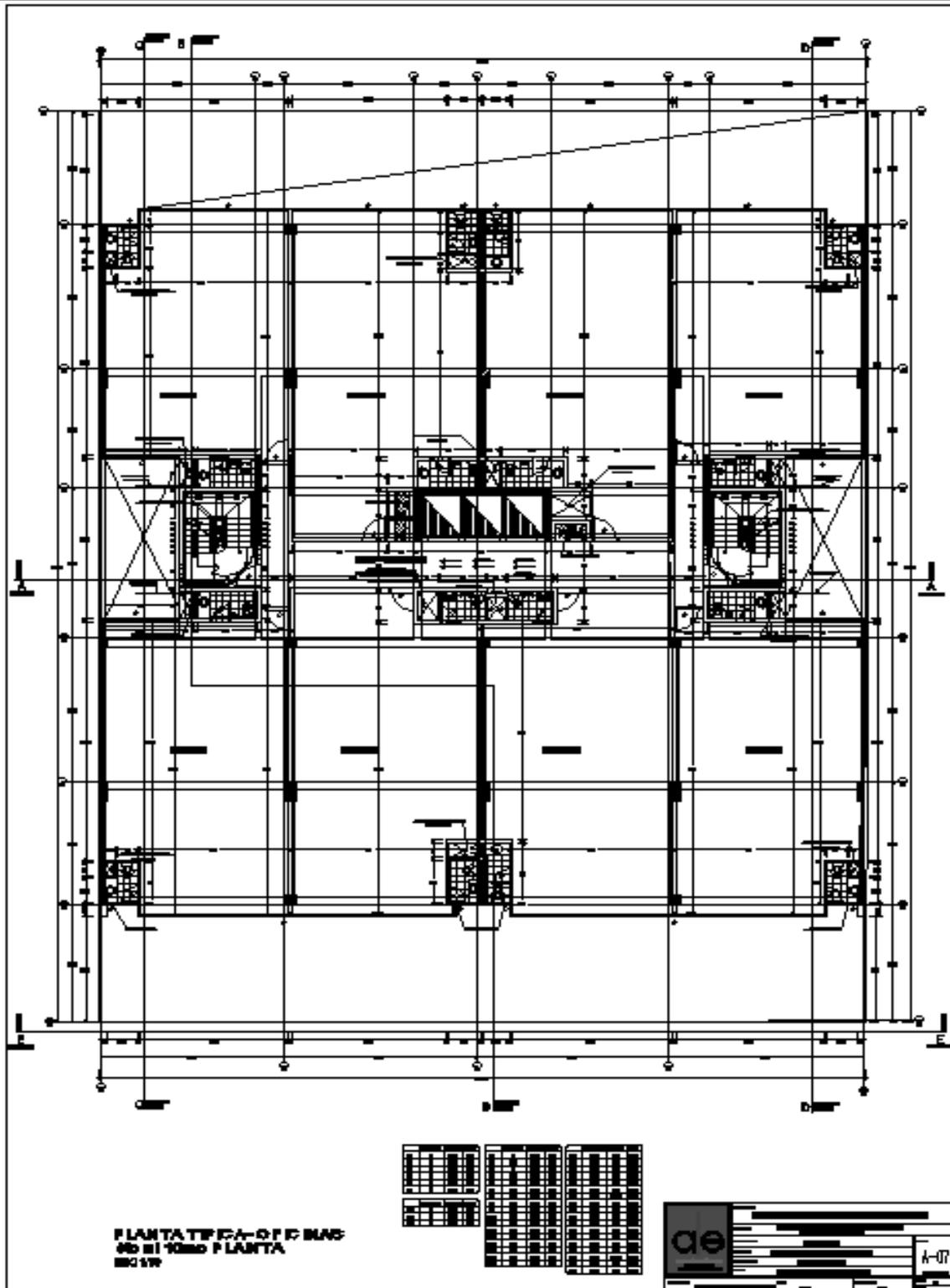


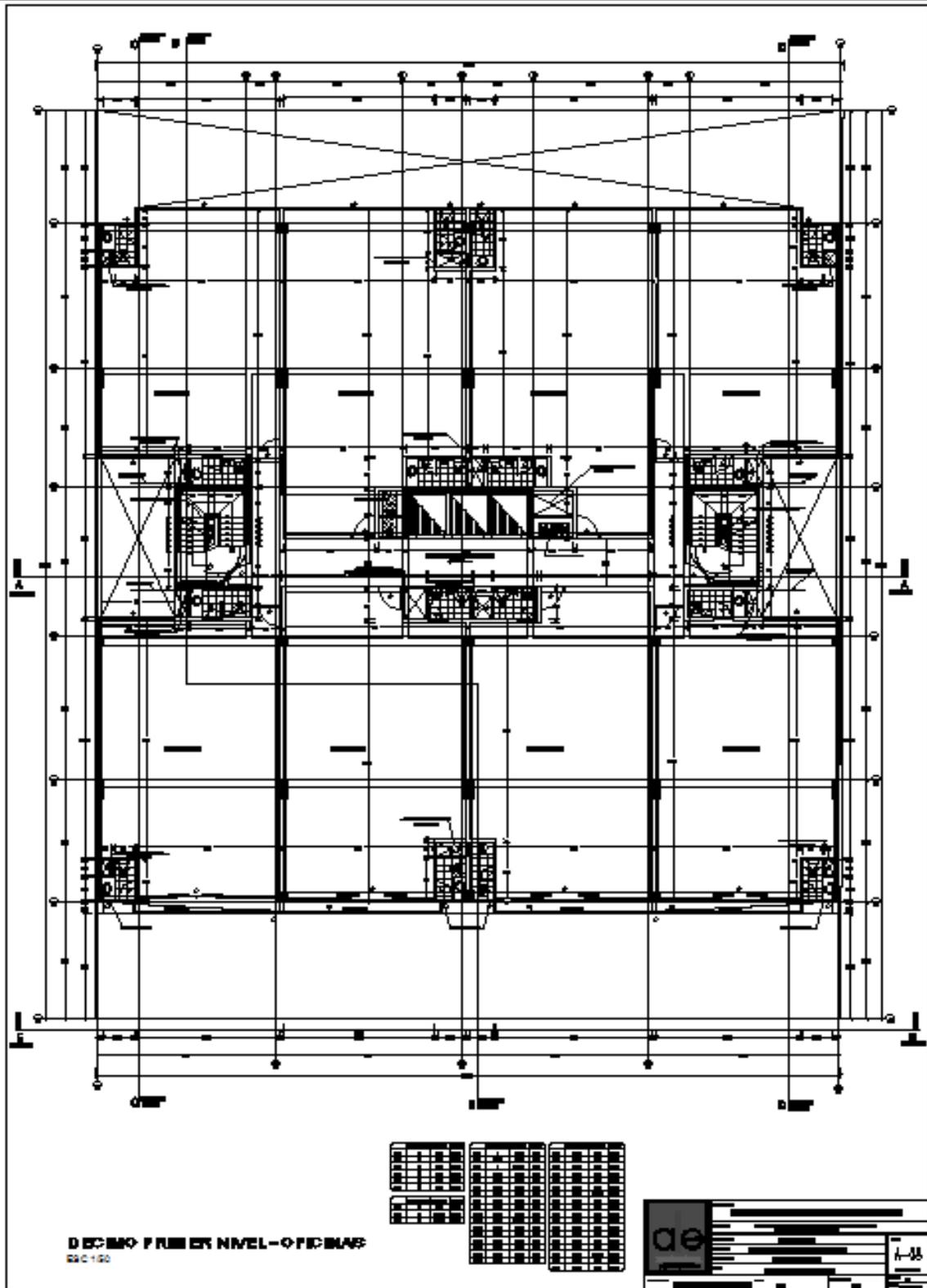


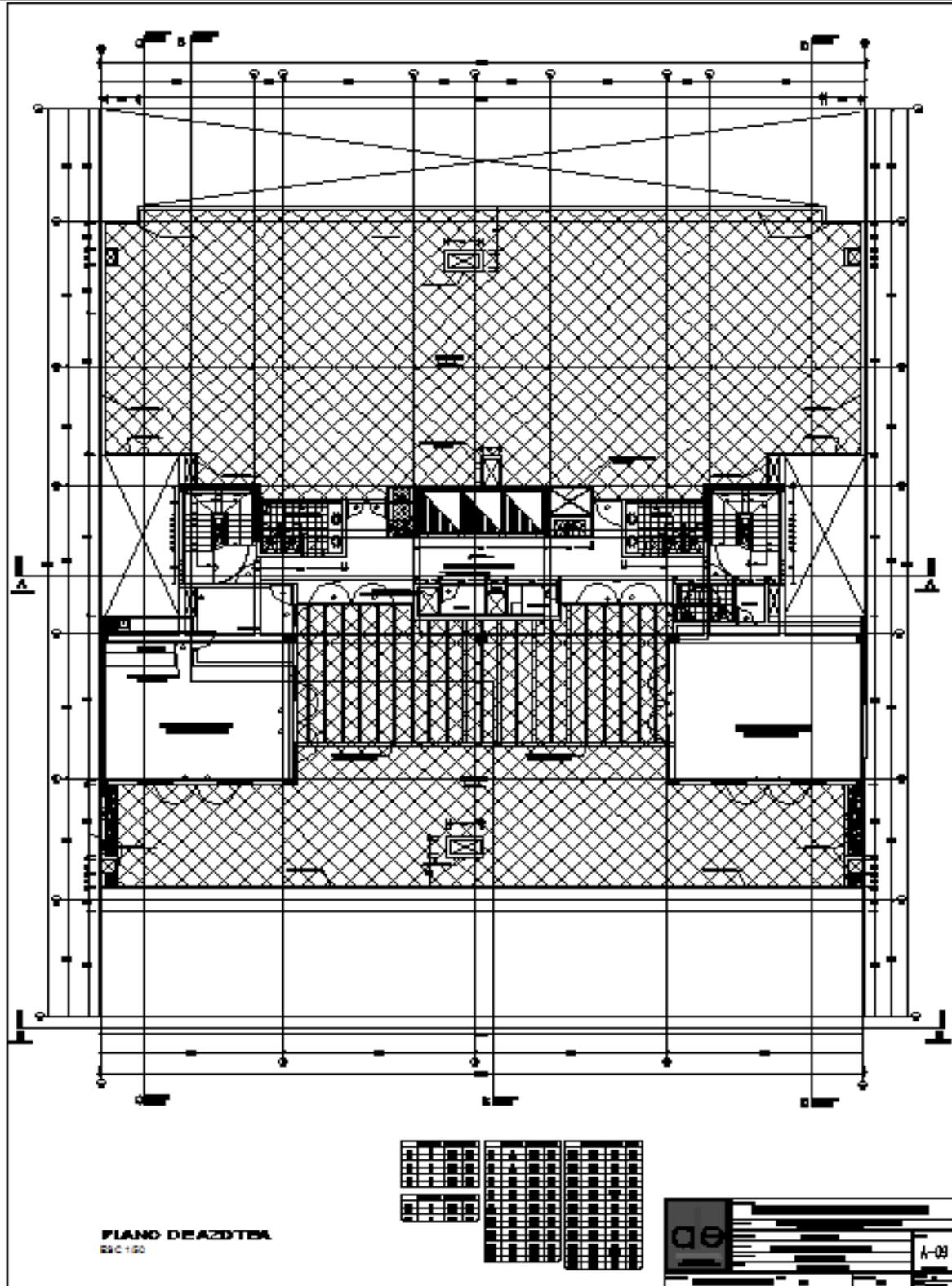


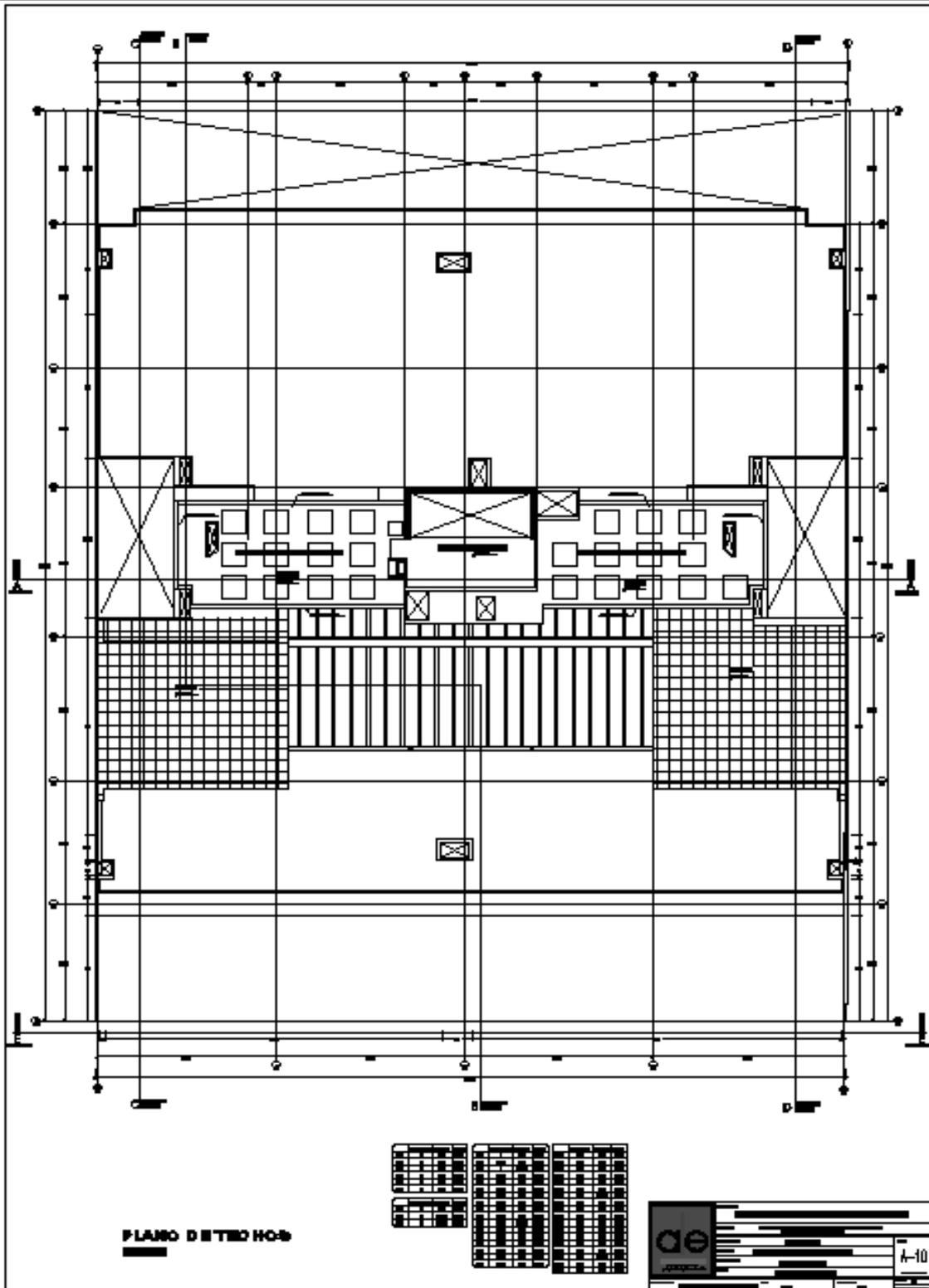


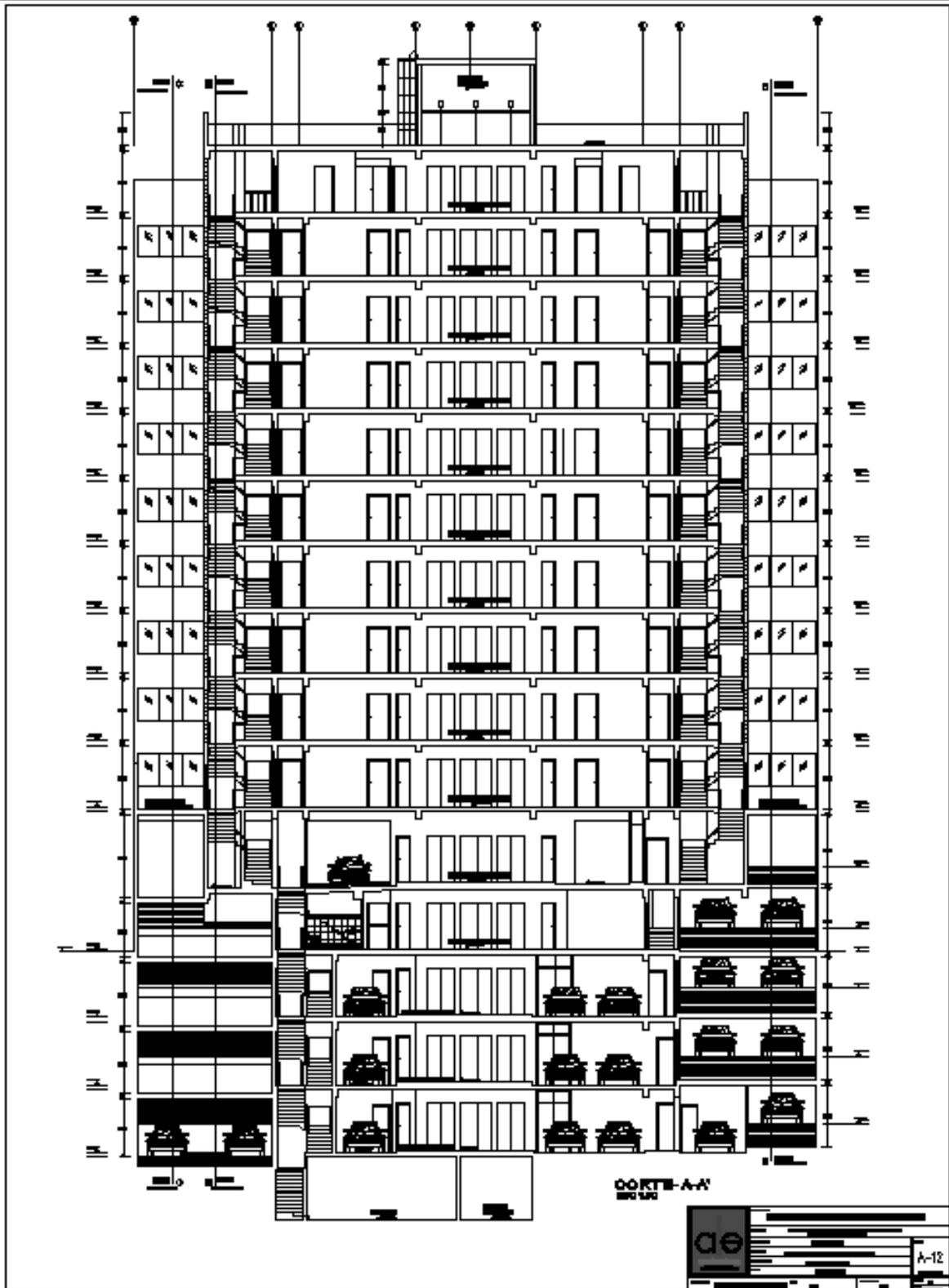


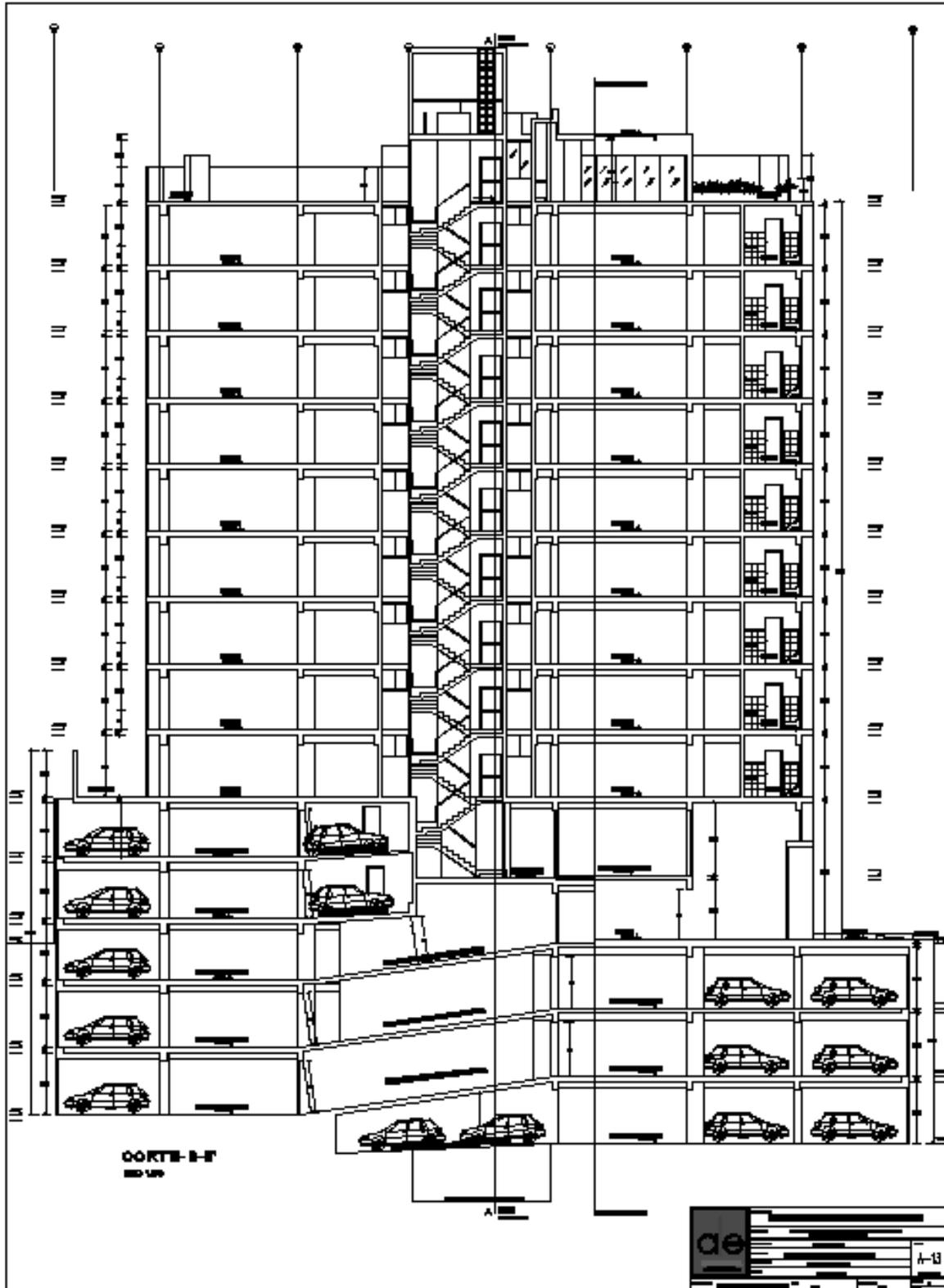


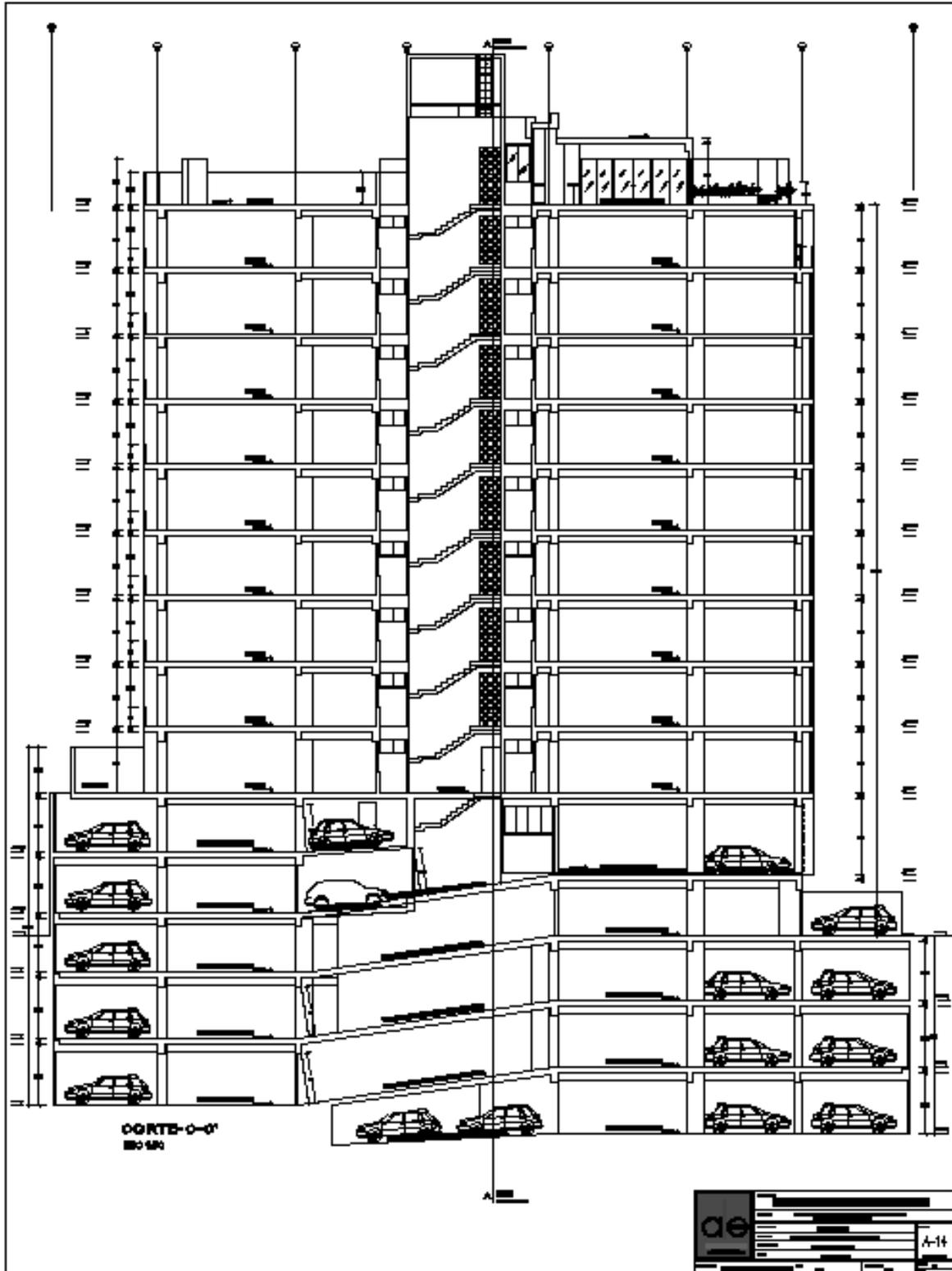


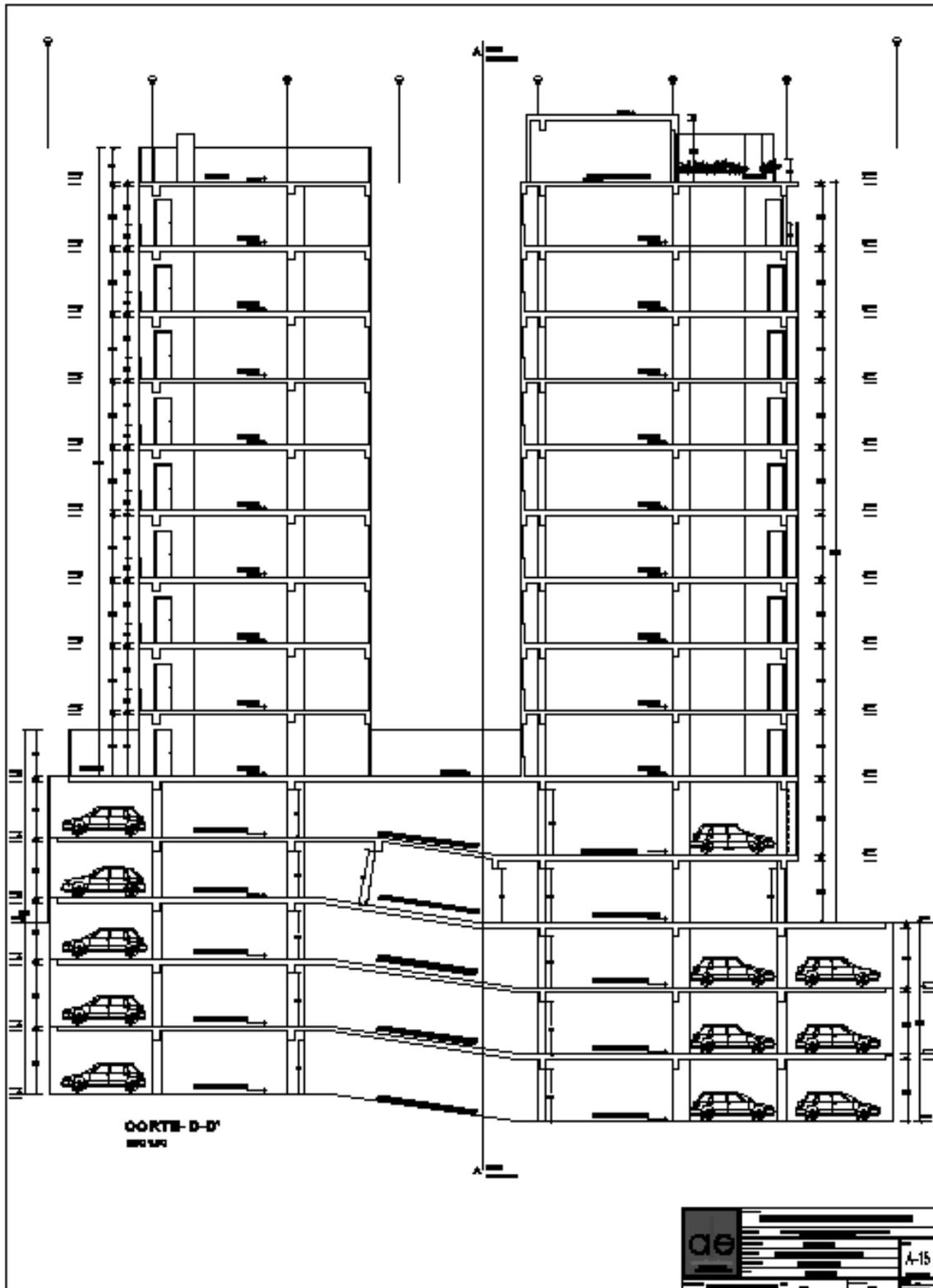












ANEXO II:

PLANOS DE ANCLAJES (03):

LISTADO PLANTAS Y ELEVACIONES ANCLAJES



PROYECTO ANCLAJES POSTENSADOS
OBRA: P09058 - Edificio Monte Rosa
PROYECTO PILOTES TERRATEST

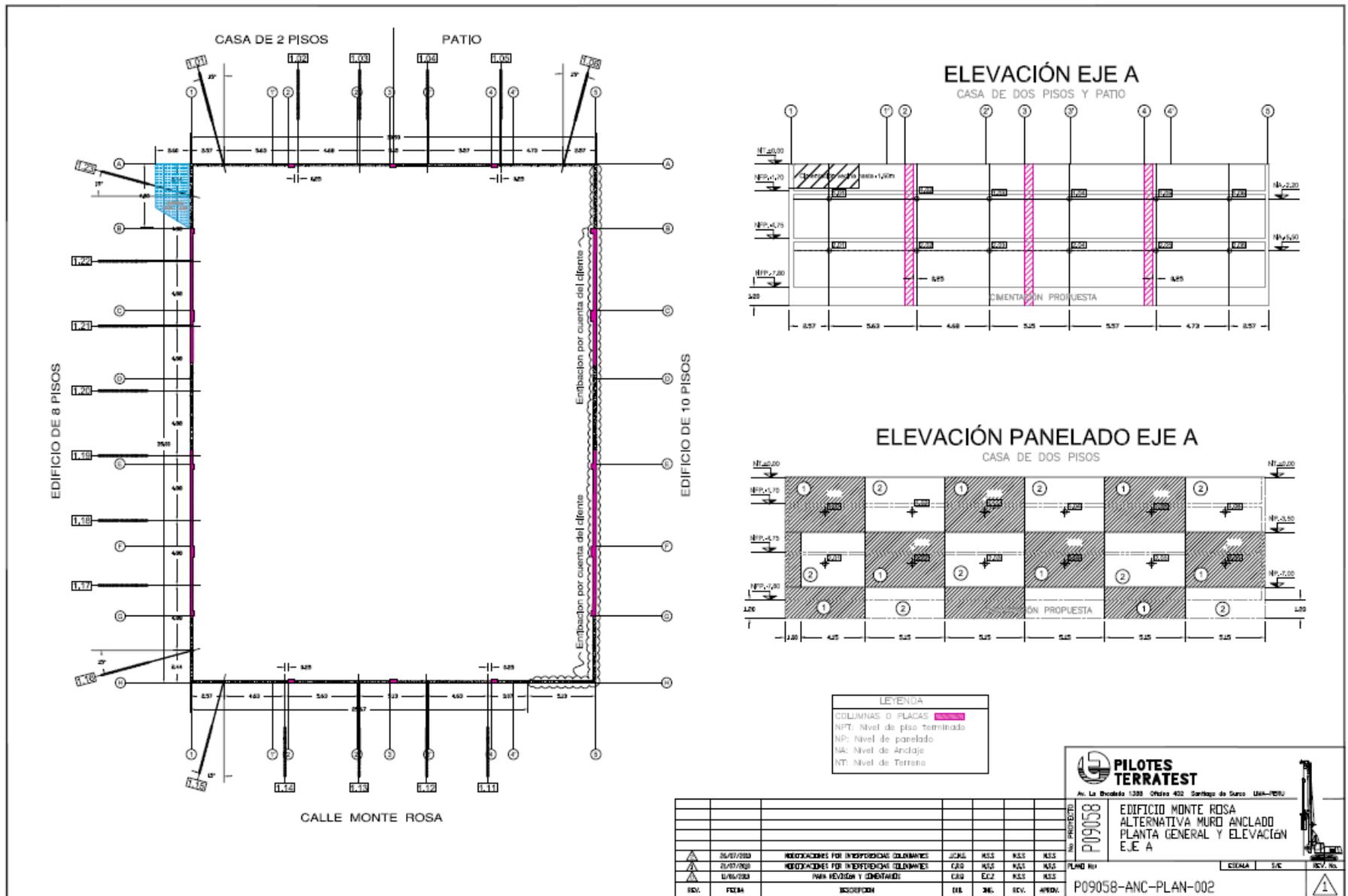
PLANILLA STANDARD

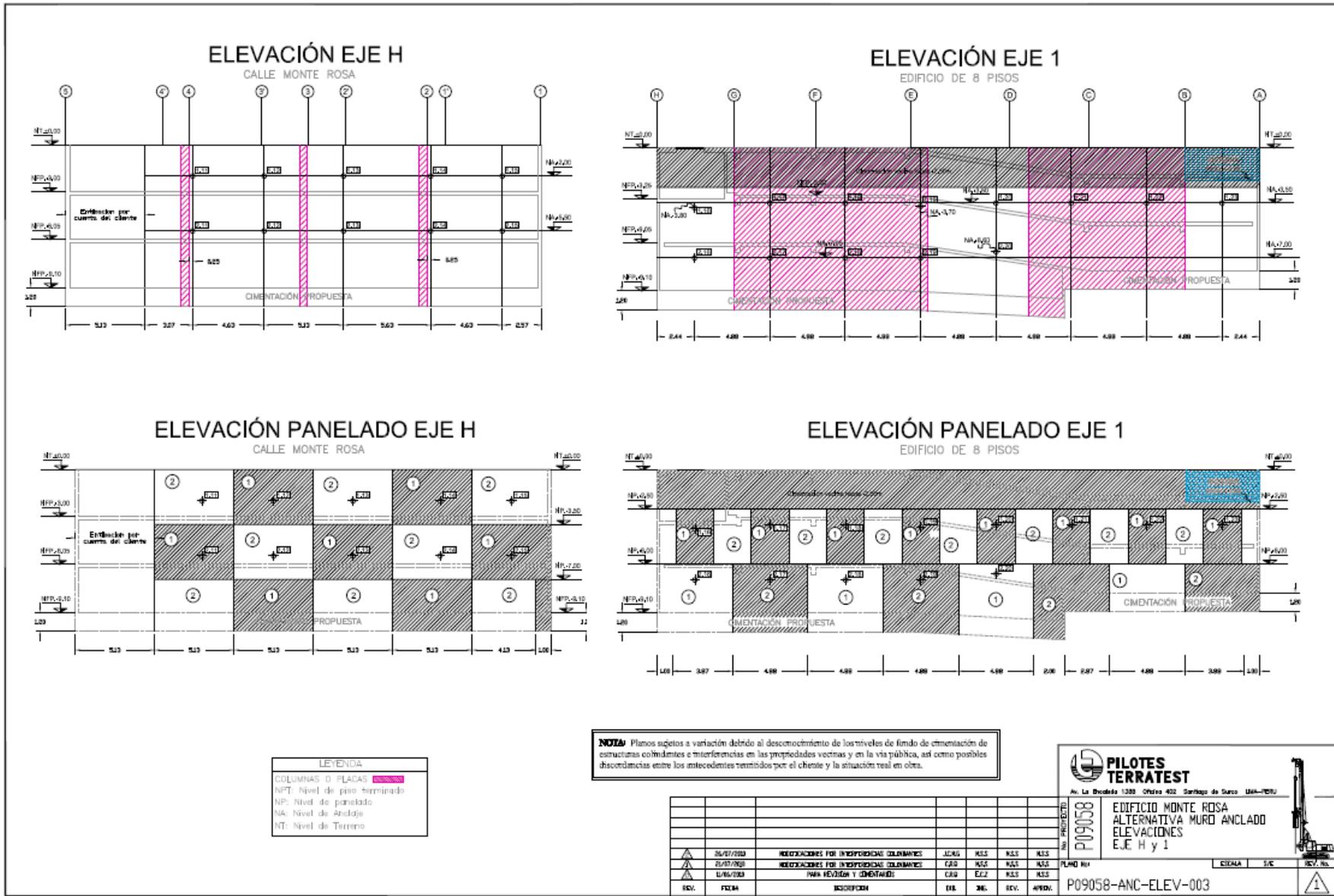
LISTA DE ANCLAJES - Revisión 2 al 26 de Julio del 2010															
Sector	Numeración	Línea	Cant. anc.	Tipo Anclaje	Anclaje Tipo	ah m	NA m	Lv m	Lf m	Lo m	av °	Fw' kN	Fw' Ton	L anc. m	Lo tot m
Zona 1	1.01 @ 1.03	1	3	T-IGU	TERRA 6 - 2	5.00	-1.40	4.00	4.50	8.50	10	310	31	9.50	25.50
Casa de 2 pisos	2.01 @ 2.03		3	T-IGU	TERRA 6 - 2	5.00	-4.50	4.00	4.50	8.50	10	310	31	9.50	25.50
NT: 0.00 NPT: de -7.80 m															
Zona 2	1.04 @ 1.06	1	3	T-IGU	TERRA 6 - 2	5.00	-1.40	4.00	4.50	8.50	10	300	30	9.50	25.50
Patio	2.04 @ 2.06	2	3	T-IGU	TERRA 6 - 2	5.00	-4.50	4.00	4.50	8.50	10	300	30	9.50	25.50
NT: 0.00 NPT: de -7.80 m															
Zona 3	1.21 @ 1.23	1	3	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.00	-3.50	4.00	4.50	8.50	10	650	65	9.50	25.50
Edificio 8 pisos															
NT: 0.00 NPT: de -7.80 m															
Zona 5	1.11 @ 1.15	1	5	T-IGU	TERRA 6 - 2	5.00	-2.00	4.00	4.50	8.50	10	300	30	9.50	42.50
Calle Monte Rosa	2.11 @ 2.15	2	5	T-IGU	TERRA 6 - 2	5.00	-5.50	4.00	4.50	8.50	10	300	30	9.50	42.50
NT: 0.00 NPT: de -9.10 m															
Zona 6	1.16 @ 1.20	1	5	T-IGU	TERRA 6 - 4	5.00	-2.00	4.00	4.50	8.50	10	560	56	9.50	42.50
Edificio de 8 pisos	2.16 @ 2.20	2	5	T-IGU	TERRA 6 - 5	5.00	-5.50	4.00	4.50	8.50	10	650	65	9.50	42.50
NT: 0.00 NPT: de -9.10 m															
TOTAL ANCLAJES			35												297.50

NOTA:

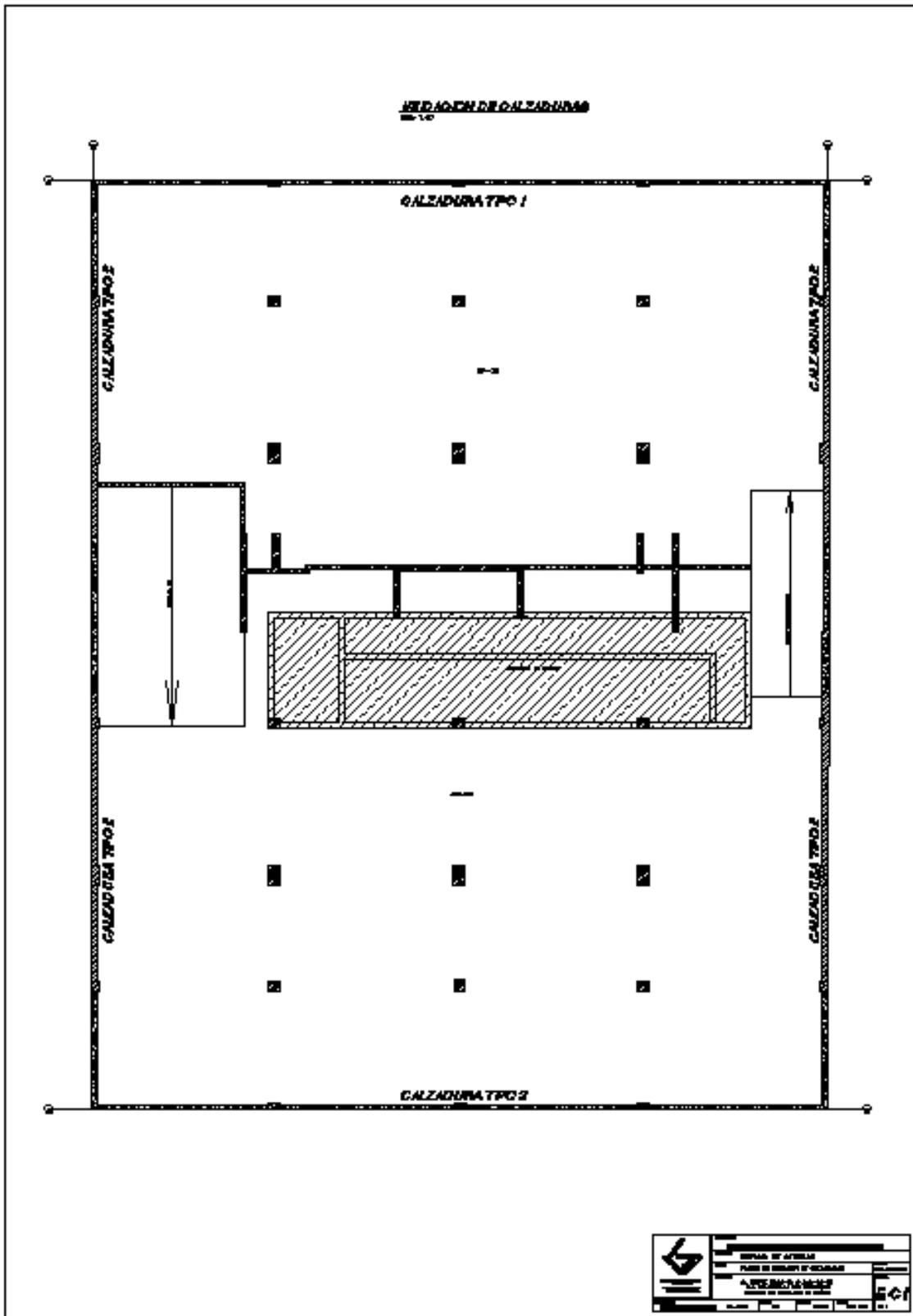
El peso de acero calculado incluye un metro adicional para el tensado (medido desde la placa)

ah=	separación entre anclajes (en horizontal) o distancia de influencia de anclajes
NA =	cota de intersección del eje del anclaje con el eje del muro
L1 =	longitud del anclaje desde el eje del muro o pila hasta el centro del bulbo
Lo =	longitud del anclaje desde la placa hasta el fin del bulbo
Lf =	longitud libre (placa hasta inicio bulbo)
Lv =	longitud del bulbo
Lad=	longitud entre el eje del muro o pila y la placa
L anc =	longitud del anclaje incluyendo 1,00 m de suplemento para el tensado
av =	ángulo del eje del anclaje respecto de la horizontal
ah =	ángulo del plano vertical que contiene el anclaje con el plano vert. perpendicular al muro (VER PLANO DE PLANTA)
F.S =	1,50
Fw =	carga de servicio del anclaje por unidad de longitud del muro
Fw' =	carga de servicio del anclaje

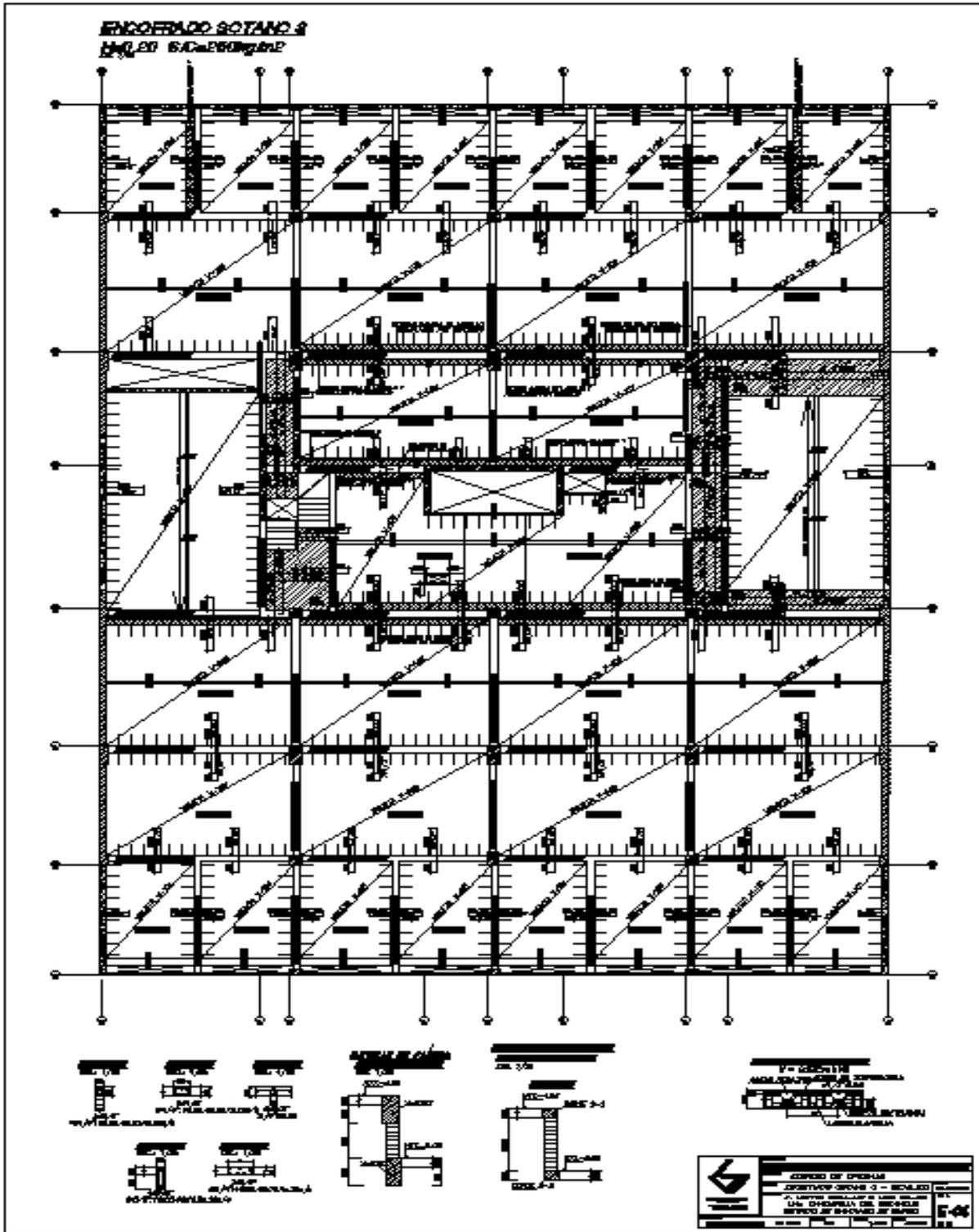


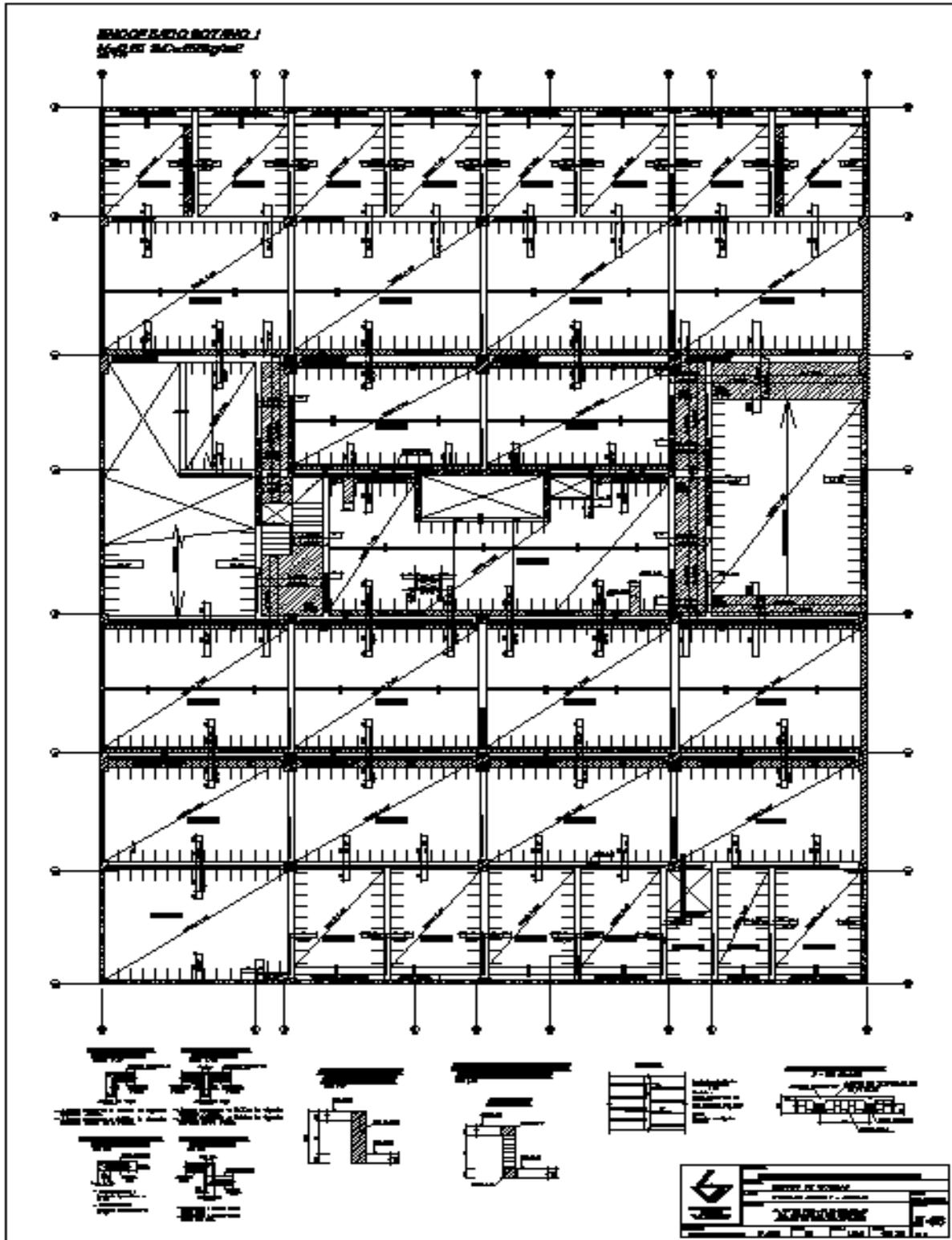


ANEXO III:
PLANOS DE CALZADURAS (03):
DEL EC-1 AL EC-2



ANEXO IV:
PLANOS ESTRUCTURAS (04):
E-01 Y DEL E-04 AL E-06





“Muro Anclado de Concreto Armado como alternativa en la construcción de cimentaciones de edificios corporativos de oficinas comerciales para la cimentación de un edificio de 3 sótanos, 11 pisos y azotea con muros anclados, comparado con calzaduras”

Autor: Bach. Marcos Miguel Ruiz Benavente
