

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**APLICACIÓN DEL SISTEMA ASCENDENTE – DESCENDENTE MEDIANTE
PILOTES PARA REUBICAR UNA SUBESTACION ELECTRICA EN MEDIO
DEL TERRENO DE CONSTRUCCION**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JACK ROGER ESTEBAN BARZOLA

Lima - Perú

2014

	Pág.
RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPITULO I: RESEÑA HISTÓRICA	10
1.1. ESTABILIZACIÓN EN EDIFICACIONES EN EL PERÚ.	10
1.1.1 Excavaciones profundas en Edificaciones	10
1.2. ESTABILIZACIÓN EN EDIFICACIONES DE LATINOAMÉRICA.	12
CAPITULO II: DEFINICIONES BÁSICAS	13
2.1. DEFINICIONES RELACIONADAS A TOP DOWN (ASCENDENTE – DESCENDENTE).	13
2.2. DEFINICIONES RELACIONADAS A PILOTES EXCAVADOS.	15
CAPITULO III: INFORMACIÓN DEL PROYECTO	17
3.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.	17
3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.	18
3.3. ALCANCES DEL PROYECTO.	21
3.4. RESTRICCIONES DEL PROYECTO.	23
CAPITULO IV: PLANEAMIENTO DEL PROYECTO	25
4.1. PLANTEAMIENTO DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS.	25
4.1.1. Layout de procesos constructivos.	25
4.1.2. Costos de procesos constructivos.	36
4.1.3. Cronograma de procesos constructivos.	43
4.2. PROCESO CONSTRUCTIVO APLICABLE AL PROYECTO.	45
4.2.1. Layout definitivo.	45
CAPITULO V: APLICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO	47
5.1. INGENIERIA DE DETALLE.	47

5.2. USO DE FILOSOFIA BIM (BUILDING INFORMATION MODELING).	54
5.3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.	55
5.3.1. Etapa de pilotes.	55
5.3.2. Etapa de excavación.	58
5.3.3. Etapa de estructura.	60
5.4. DEMOLICIÓN Y REUBICACIÓN DE SUB ESTACION.	61
5.5. VISUALIZACIÓN DEL CONCEPTO TOP DOWN.	62
5.6. COSTO REAL DE EJECUCIÓN.	63
CAPITULO VI: EVALUACIÓN DE ESTABILIZACIÓN CON PILOTES	64
6.1. DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE PRODUCCIÓN.	64
6.2. CONSIDERACIONES IMPORTANTES.	65
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	66
7.1. CONCLUSIONES.	66
7.2. RECOMENDACIONES.	68
BIBLIOGRAFÍA	69
ANEXOS	

RESUMEN

El terreno destinado para la construcción del nuevo Edificio Corporativo GyM tiene dentro de sus límites, a una edificación de 1 nivel que resguarda a una sub estación eléctrica en pleno funcionamiento perteneciente a Luz Del Sur; el nuevo edificio cuenta con un ambiente en el sótano destinado a la Sub Estación que será reubicada definitivamente.

El proceso de reubicación y construcción nos llevará a conocer nuevos sistemas constructivos que se vienen empleando en otros países (Ej. Chile, España) sobre todo en lo que se refieren a estabilización en edificaciones en donde apuntan a mejores plazos, previamente a conocer nuevos sistemas debemos conocer lo que se maneja en el mercado nacional.

Con estos nuevos sistemas constructivos se realizará diferentes planeamientos considerando el plazo, costo y tecnología disponible para así definir lo que más conviene al proyecto, entre lo convencional y/o aplicaciones importantes de nuevos sistemas (pilotes, anclajes, Top Down, etc.); con el planeamiento definido (En este caso el sistema descendente puntual con pilotes excavados) procederemos a elaborar el Layout de obra, coordinar la ingeniería de detalle y seguir con la secuencia constructiva identificando procesos y actividades que puedan servir para proyectos futuros que consideren usar pilotes excavados y/o Top Down (Ascendente – Descendente) dentro de su construcción.

Con el costo real final obtenido se constatará si fue acertada la decisión de adoptar el sistema usado y también frente a los otros procesos estudiados, en este caso el monto final está por encima del monto planeado sin embargo está por debajo de los otros procesos estudiados, es decir la opción tomada fue acertada sin embargo se deberán tomar en consideración el motivo de las diferencias y contemplarlas en futuras propuestas.

De lo estudiado y realizado en el proyecto podemos concluir que el sistema ejecutado resulto beneficioso al cliente y al proyecto, que se llegó a cumplir los objetivos y que como sistema no se descartaría usar en proyectos futuros.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°02.- Métodos de excavación y eliminación.	11
Cuadro N°03.- Costo acumulado de estabilización y estructuras Layout 1.	37
Cuadro N°04.- Costo acumulado de estabilización y estructuras Layout 2.	39
Cuadro N°05.- Costo acumulado de estabilización y estructuras Layout 3.	41
Cuadro N°06.- Costo acumulado de estabilización y estructuras Layout 4.	42
Cuadro N°07.- Comparativo de planteamientos.	45
Cuadro N°08.- Resistencias calculadas de pilotes columna.	49
Cuadro N°09.- Diámetro máximo de estribos para pilotes encamisados.	50
Cuadro N°10.- Costo real obtenido de lo ejecutado.	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Secuencia del sistema Top Down	13
Figura 2: Anclajes de gran capacidad en pilotes	14
Figura 3: Pilotes de rotación con entubación recuperable	16
Figura 4: Pilotes de rotación con lodos	16
Figura 5: Ubicación del proyecto	17
Figura 6: Vista desde el interior del terreno	18
Figura 7: Vista del edificio acabado al 100%	19
Figura 8: Cronograma general contractual (no considera la reubicación de la sub estación)	20
Figura 9: Estructura de división del trabajo del proyecto (EDT)	22
Figura 10: Estimación de tiempos con proceso constructivo tradicional (muros anclados)	24
Figura 11: Estimación de tiempos con proceso constructivo de pilotaje	24
Figura 12: Estimación de tiempos con proceso constructivo Top Down	24
Figura 13: Configuración de la estabilización del Layout 1	26
Figura 14: Vista en planta del Layout 1	27
Figura 15: Ubicación de la sub estación interfiriendo con la estructura del edificio	28
Figura 16: Movilización de la sub estación del Layout 1	29
Figura 17: Configuración de la estabilización del Layout 2	30
Figura 18: Configuración de la etapa de estructuras del Layout 2	31
Figura 19: Configuración de la estabilización del Layout 3	32
Figura 20: Configuración de la etapa de estructuras del Layout 3	33
Figura 21: Vista 3D del proceso constructivo del Layout 4	35
Figura 22: Configuración de la estabilización del Layout 4	35
Figura 23: Configuración de la estructura en el Layout 1	36
Figura 24: Área de la subestación estabilizada y área de estructura de la 2da etapa	36
Figura 25: Configuración de la estructura en el Layout 2	38
Figura 26: Área de la subestación provisional estabilizada y área de estructura de la 2da etapa	38
Figura 27: Configuración de la estructura en el Layout 3	39

Figura 28: Área de la subestación provisional estabilizada con pilotes y área de estructura de la 2da etapa	40
Figura 29: Configuración de la estructura en el Layout 4	41
Figura 30: Área de la subestación definitiva estabilizada con pilotes y área de estructura de la 1era etapa	42
Figura 31: Cronograma del Layout 1	43
Figura 32: Cronograma del Layout 2	43
Figura 33: Cronograma del Layout 3	44
Figura 34: Cronograma del Layout 4	44
Figura 35: Layout definitivo de obra (Ver ANEXO)	46
Figura 36: Curva de carga – asentamiento obtenido para pilotes columna (Ver ANEXO)	49
Figura 37: “Z” y aro de rigidez	50
Figura 38: Asas de izaje	51
Figura 39: Separadores	51
Figura 40: Fondo de armadura	52
Figura 41: Armadura de pilotes	52
Figura 42: Unión de vigas con pilotes	53
Figura 43: Detalle de refuerzo para tensado de anclajes en pilotes	53
Figura 44: Esquema de estabilización	54
Figura 45: Sub estación y estabilización terminada en modelo	54
Figura 46: Movilización de pilotera BG 28	55
Figura 47: Perforación de pilotes tipo columna de D=1000 mm	56
Figura 48: Pre armado de acero de refuerzo para pilotes	56
Figura 49: Izaje de acero para pilote y colocación de empalmes	56
Figura 50: Vaciado de concreto en el embudo del tubo “tremie”	57
Figura 51: Extracción del encamisado metálico y tubos “tremie” ordenados	57
Figura 52: Perforación diamantina para pase de inyección y anclaje de pilote	58
Figura 53: Pilotes ejecutados y señalizados	58
Figura 54: Excavación de área de sub estación definitiva	59
Figura 55: Inyección de anclajes de pilotes contraterreno	59
Figura 56: Excavación en segundo anillo	59
Figura 57: Losa, vigas y placas de concreto para Sub estación definitiva	60
Figura 58: Ejecución de losa y vigas de techo	60
Figura 59: Estructura final de la sub estación definitiva	61

Figura 60: Equipamiento de sub estación definitiva	61
Figura 61: Demolición de sub estación N° 41	62
Figura 62: Sub estación construida en forma descendente	62
Figura 63: Proceso de actividades para estabilización con pilotes excavados	64

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

m:	Metros.
mm:	Milímetros.
EDT:	Estructura de división del trabajo.
Fig.:	Figura.
Vista 3D:	Vista tridimensional.
Layout:	Plan.
EG,k:	Cargas permanentes características que actúan sobre el pilote.
EQ,k:	Cargas variables características que actúan sobre el pilote.
RI,k :	Resistencia características que presenta el pilote.
$\gamma_G, \gamma_Q: \gamma_p$:	Factores de seguridad parciales que propone la norma DIN 1054.
$q_{bl,k}$:	Resistencia del suelo en la punta del pilote obtenida de pruebas de carga o de experiencias en suelos similares.
A_b :	Área de la punta.
$q_{sl,k,i}$:	Resistencia de fricción que se activa en el fuste del pilote en el estrato i.
$A_{s,i}$:	Área de interacción entre el pilote y el suelo para el estrato de espesor h.
L:	Longitud.
D:	Diámetro del pilote.
Tn:	Tonelada.
Dmáx:	Diámetro máximo.
cm:	Centímetros.
Φ :	Diámetro de acero de refuerzo.
BIM:	Modelo de la información de la Edificación.
HM:	Hora máquina.
m ³ :	Metro cúbico.
HH:	Hora Hombre.
C:	Cohesión del suelo.
\emptyset :	Ángulo de fricción.
γ :	Peso unitarios del suelo.
Nc, N γ , Nq:	Parámetros de capacidad de carga en función de \emptyset .

INTRODUCCIÓN

El presente Informe de Suficiencia tratará de buscar alternativas que nos permitan reubicar la sub estación eléctrica a su lugar definitivo con menores costos y plazos, la búsqueda de alternativas nace también por la situación actual del mercado de construcción (excavación y estabilización), que por mayor exigencia de los proyectos se desarrollan sistemas que cumplan con las expectativas de los clientes.

Conocer que tan beneficiosos son los nuevos sistemas constructivos que se vienen planteando en estos años (pilotes excavados y Top Down), las consideraciones adicionales a tomar en cuenta e identificar los puntos de mejora para futuros proyectos y reafirmar la rentabilidad del sistema.

El informe inicia con una breve recopilación de información básica y necesaria para conocer los sistemas que usaremos en parte del proceso, conocer al proyecto para identificar la zona en donde debemos enfocarnos y no salir de sus alcances contractuales; posteriormente se realizará un análisis entre las diferentes alternativas que se propondrán para definir el sistema que se acomode mejor al proyecto y se pueda reubicar la sub estación eléctrica sin mayores problemas.

Una vez definido la alternativa a ejecutar se detallará el proceso desde el planeamiento, diseño, proceso constructivo, herramientas y formas de construir en este caso el BIM (Building Information Modeling) y conocer el costo real ejecutado para compararlo con lo planeado, realizar el feedback respectivo para futuros proyectos e identificar los procesos en caso se evalúe el uso de pilotes excavados como sistema de estabilización.

Con la información vertida en este informe estaremos en la capacidad de conocer al sistema de pilotes excavados y al sistema Top Down que nos podrán ayudar en otros proyectos tal como pudo cumplir las expectativas de nuestro Cliente.

CAPITULO I: RESEÑA HISTÓRICA

1.1. ESTABILIZACIÓN EN EDIFICACIONES EN EL PERÚ

1.1.1. Excavaciones profundas en edificaciones.

La excavación provoca el retiro de pesos substanciales de suelo y modifica de manera importante las tensiones existentes en el espacio circundante. Cuando se realizan excavaciones y existen edificaciones colindantes cada caso en particular deberá ser analizado para elegir algún método de estabilización adecuado.

Para el inicio de toda excavación profunda se requiere tener definido dos ítems importantes:

- A. Método de estabilización de taludes.
- B. Proceso constructivo de la excavación.

- A. Método de estabilización de taludes.

Cuadro N°01.- Métodos de estabilización

Método Tradicional	Método actual
- Calzaduras. 	- Muros pantalla (1990). 
- Pilas apuntaladas. 	- Muros anclados (1990). 

Método Tradicional	
<ul style="list-style-type: none"> - Inspección visual de Peck. 	

Fuente: Elaboración propia

B. Proceso constructivo de excavación.

Cuadro N°02.- Métodos de excavación y eliminación

Método Tradicional	Método actual
<ul style="list-style-type: none"> - Excavación mediante rampa con material extraído. 	<ul style="list-style-type: none"> - Excavación mediante rampa usado de acuerdo el tipo de proyecto y terreno. 
	<ul style="list-style-type: none"> - Excavación mediante faja. 

Fuente: Elaboración propia

La optimización de recursos resulta de un buen planeamiento y del mejoramiento de los procesos constructivos a través de la curva de aprendizaje; y es por ello que en el Perú el proceso constructivo que se ha dominado y empleado en los proyectos es el de excavación con faja y la estabilización con muros anclados

afrontando a los plazos más cortos requeridos por los clientes y mejorando en cada proyecto la optimización de estos procesos.

1.2. ESTABILIZACIÓN EN EDIFICACIONES DE LATINOAMÉRICA

En países sudamericanos (Ej. Chile, Argentina) con realidad cercana a la de Perú se inician nuevas formas de estabilización y excavación para afrontar las diferentes situaciones que se presentan en cada proyecto en particular, sea por naturaleza propia del terreno o por requerimiento del cliente en cuestión de costo y plazo; y al igual que nuestro país se especializan en ciertos procesos que con el uso continuo en los proyectos van optimizando recursos sea el caso de estabilización mediante pilotes y en estos últimos años la aplicación del sistema Top Down (Ascendente – Descendente).

A. Método de estabilización de taludes.

- Anclajes.
- Pilas ancladas.
- Pilotes.
- Pilotes anclados.
- Pilotes método ascendente descendente (Top Down).

El sistema desarrollado ampliamente en Chile, Argentina y en otros países es el de pilotes (sin anclajes y/o con anclajes), y en estos últimos años ya se viene desarrollando el sistema Top Down contando como proyecto icono el Mall Paseo San Bernardo que se inauguró en el año 2007 iniciando su funcionamiento de los pisos del nivel cero hacia arriba a pesar de que se continuaba con la excavación en la parte subterránea.

CAPITULO II: DEFINICIONES BÁSICAS

2.1. DEFINICIONES RELACIONADAS A TOP DOWN (ASCENDENTE – DESCENDENTE)

Método constructivo denominado “Ascendente – Descendente” consiste en construir inicialmente las paredes perimetrales y columnas de soporte de la estructura con muros pantalla, muros anclados o pilotes excavados, luego se excava hasta la cota inferior de losa y se vacía el envidado y la losa directamente sobre el terreno, repitiendo este proceso en cada nivel de sótanos, excavando y vaciando el concreto contra terreno se completa así la estructura bajo la superficie (descendente) mientras la estructura superior (ascendente) puede comenzar a construirse en forma independiente a medida que avanza el proceso.

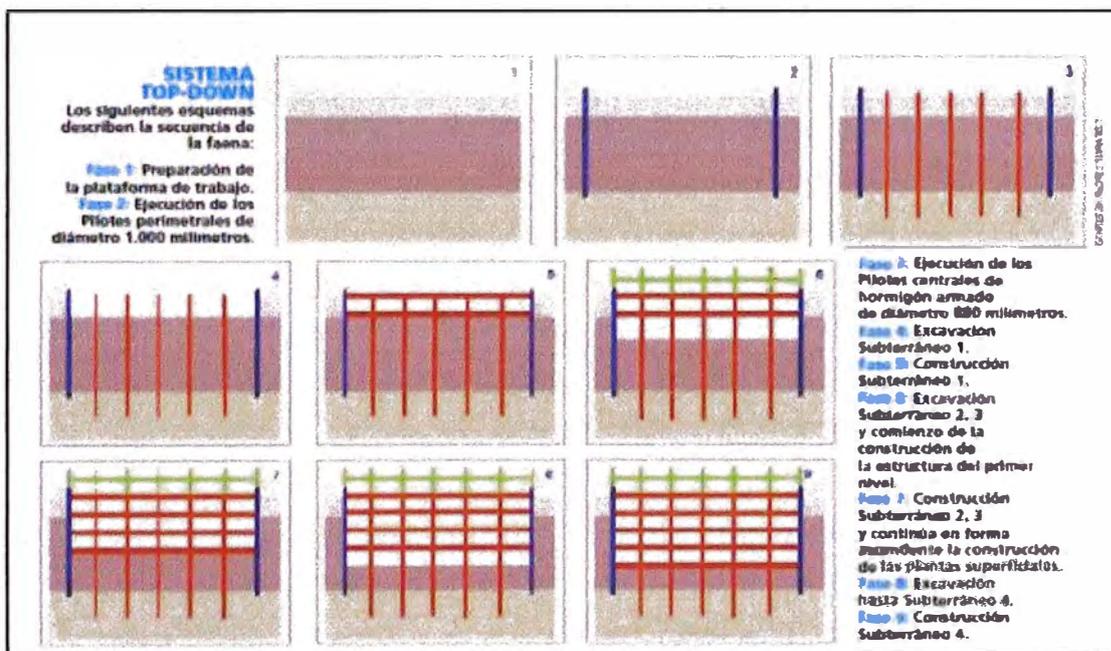


Figura 1: Secuencia del sistema Top Down

a. Ventajas

- El uso de anclajes postensados de gran capacidad, pueden transferir una carga de 180 toneladas que a su vez permite tener solo una línea de anclajes sobre pilotes con una profundidad de excavación de 1.8 m.

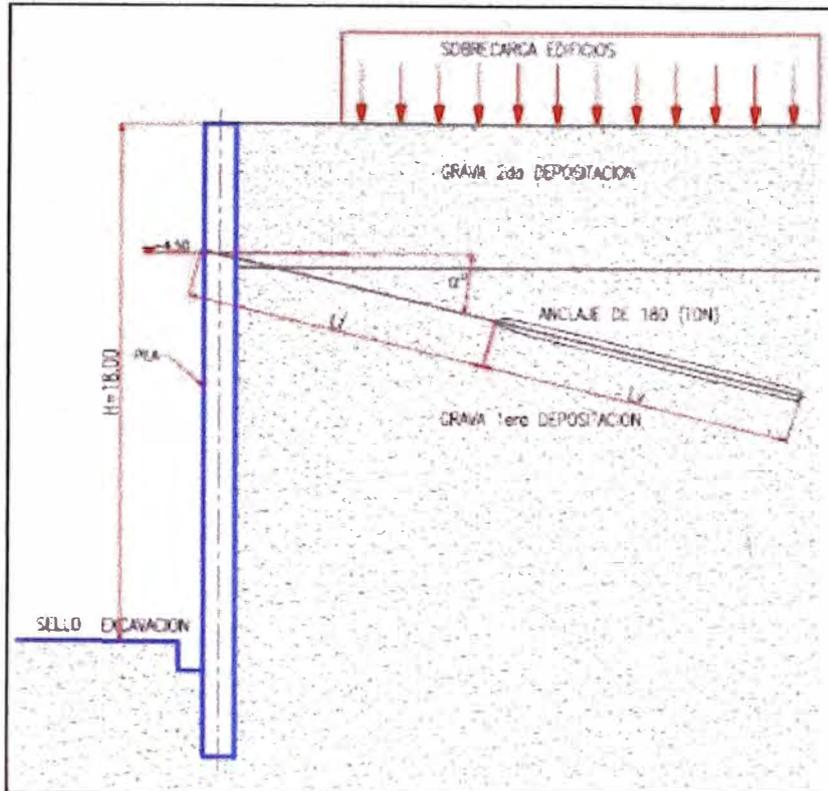


Figura 2: Anclajes de gran capacidad en pilotes

- En obras de edificación tradicionales este método permite independizar en el tiempo la construcción de la estructura subterránea “descendente” y la superficial “ascendente”.
- En obras de Infraestructura como por ejemplo estaciones de Metro o Pasos inferiores, permite poner en servicio la calle antes que haciéndolo por el método tradicional de excavación con sostenimiento perimetral a cielo abierto.
- Utilizando el Muro Pantalla perimetral se pueden presentar dos ventajas principales; reemplaza los muros perimetrales al diseñarse como elemento estructural y en zonas con presencia de napa trabaja como elemento impermeable permitiendo estas dos soluciones reducir los costos constructivos y de la obra en general al reemplazar elementos estructurales y reducción de plazos de la obra.
- En general permite independizar la construcción de la estructura reduciendo significativamente los plazos de construcción.

2.2. DEFINICIONES RELACIONADAS A PILOTES EXCAVADOS.

Los pilotes excavados o perforados y vaciados "in situ", constituyen una de las soluciones clásicas de cimentación o fundaciones especiales; su utilización está generalmente relacionada a la baja capacidad del suelo o bien por la necesidad de resistir grandes cargas transmitidas por la estructura a cimentar. Su diseño permite soportar combinaciones de esfuerzo verticales, horizontales y momentos flectores, como por ejemplo en las cimentaciones de puentes o pilotes utilizados como contención de excavaciones.

El desarrollo constante de nuevos equipos y herramientas hacen posible obtener rendimientos y profundidades de excavaciones crecientes, las empresas ofrecen profundidades hasta 60 m, dependiendo del tipo de suelo y condiciones de obra. Los diámetros normales de los pilotes oscilan entre 620 y 1500 mm y pueden emplearse en todo tipo de terreno, incluso en roca, si se utilizan las herramientas de perforación o excavación adecuadas.

a. Sistema de ejecución.

Las fases de ejecución de un pilote excavado y vaciado son básicamente tres (3).

1. Realización de la excavación o perforación, dependiendo del tipo de suelo se pueden utilizar camisas de acero recuperables o lodos tixotrópicos para sostenimiento de las paredes de excavación.
2. Colocación de armadura.
3. Colocación de concreto.

b. Tipos de perforación.

De acuerdo a la necesidad del proyecto se puede elegir el tipo de perforación a usar.

- Pilotes excavados con cuchara, trépano y entubación recuperable.
- Pilotes excavados con cuchara y lodos.

Pilotes perforados por rotación con lodos bentoníticos.

Pilotes perforados por rotación con camisa recuperable.

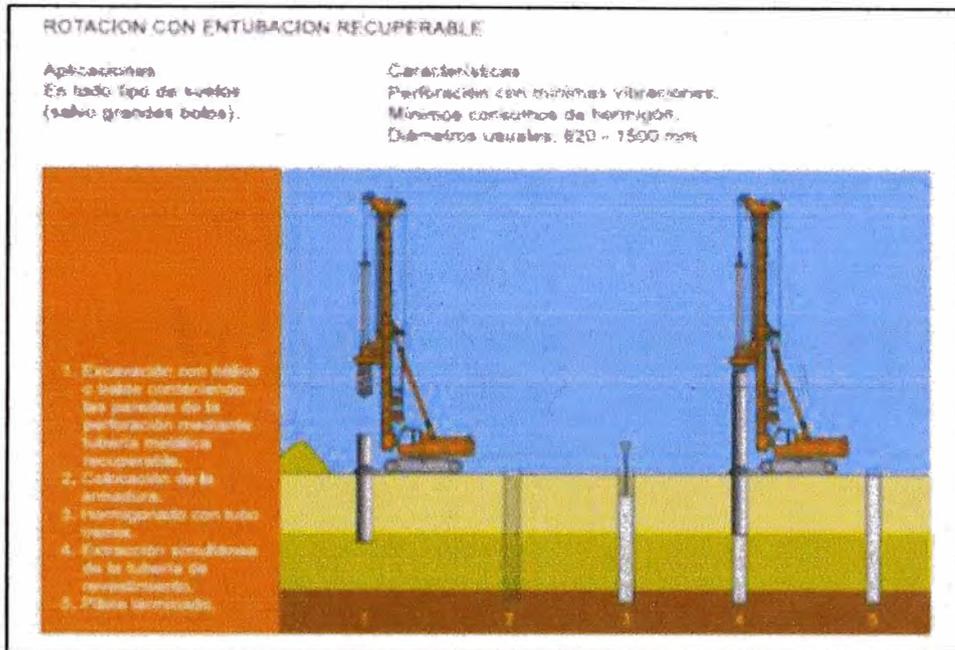


Figura 3: Pilotes de rotación con entubación recuperable

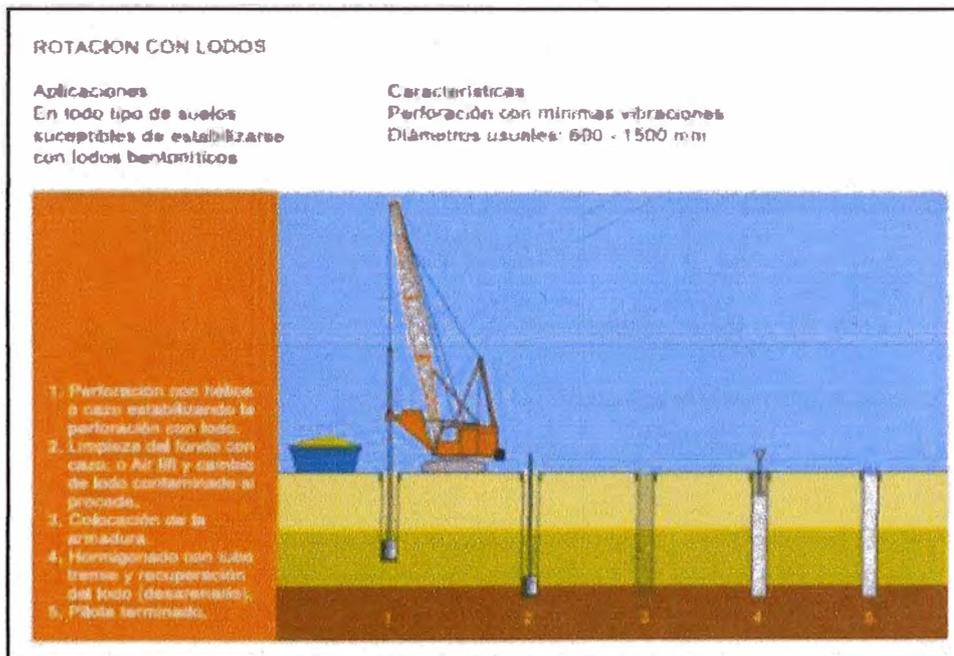


Figura 4: Pilotes de rotación con lodos

CAPITULO III: INFORMACIÓN DEL PROYECTO

3.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

El cliente, la Holding Graña y Montero S.A.A. representada por su Inmobiliaria Viva GyM S.A. adquiere el terreno ubicado en la Av. Petit Thouars N° 4951 – 4957, del distrito de Miraflores, provincia de Lima, departamento de Lima en las siguientes condiciones:



Figura 5: Ubicación del proyecto

- Edificación existente de 2 pisos en el frontis del terreno.
- Edificación existente de 1 piso en el frontis del terreno que viene a ser la subestación N° 41 perteneciente a Luz Del Sur.
- El área era usado como grifo.

Para la compra del terreno (área que no comprendía la subestación) se consideró realizar una compra posterior del área de la subestación a Luz Del Sur y únicamente realizar una demolición del mismo. Luz Del Sur no tiene intenciones de la venta del terreno y producto de ello dejar de suministrar energía a una zona de Miraflores, por tal motivo se tuvo que llegar a un acuerdo entre Viva GyM y Luz Del Sur que consiste en acondicionar un ambiente

definitivo ubicado en el sótano 1 del edificio a construir para que Luz Del Sur traslade la subestación, el costo del servicio de traslado será asumido por Graña y Montero S.A.A. y bordea el 15% del costo por de la compra del terreno y el 3% del presupuesto contractual del edificio.

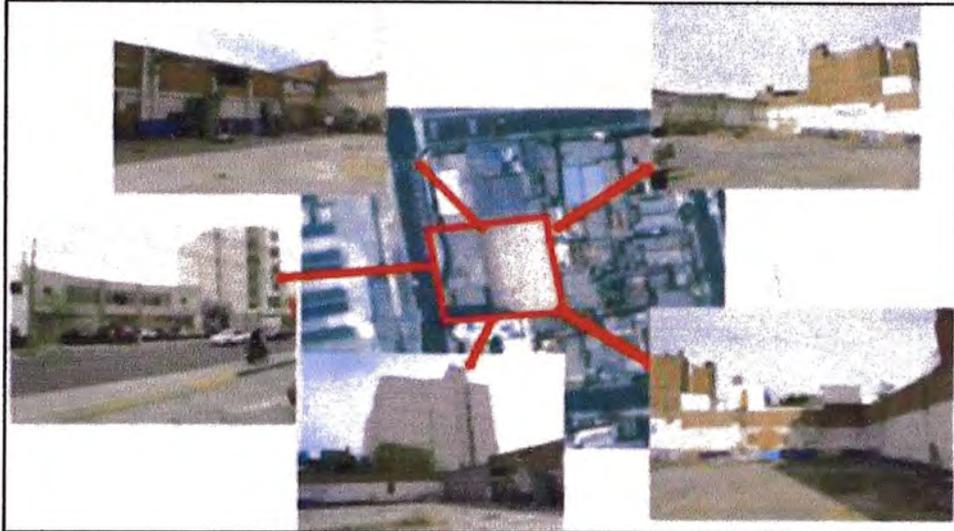


Figura 6: Vista desde el interior del terreno

3.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto "Edificio Corporativo GyM" consiste en la construcción de un edificio para oficinas de uso exclusivo para las empresas del Grupo Graña y Montero, la construcción pretende iniciar con la reubicación de la sub estación N° 41 de Luz del Sur mediante pilotes excavados y aplicando el concepto Top Down para suspenderla e iniciar la excavación masiva y estabilización de taludes mediante muros anclados.

La construcción del edificio consta de 4 sótanos más 1 nivel de cisternas haciendo uso de losas postensadas y concreto armado, la colocación de deslizadores (debajo de la zapata del ascensor) y aisladores sísmicos en el nivel ± 0.00 para aislar la estructura del sótano y la estructura de la torre que consta de 7 pisos más un nivel de azotea haciendo uso de prelosa, concreto armado y escaleras prefabricadas.



Figura 7: Vista del edificio acabado al 100%

a. Ubicación.

Av. Petit Thouars N° 4951 – 4957, del distrito de Miraflores, provincia de Lima, departamento de Lima.

b. Datos técnicos

Área del terreno: 1,698.75 m².

Área techada: 17,233 m²

c. Plazo de Ejecución.

12.5 meses de ejecución de obra que se computará al momento de ocurrir el último de los siguientes eventos:

- Firma del contrato.
- Notificación del concesionario al constructor para el inicio a los trabajos de construcción.
- La entrega del inmueble por parte del concesionario.
- Estudio de suelos definitivo.
- Proyecto definitivo.
- Remoción por parte de Luz del Sur ubicada dentro del terreno de Obra.
- Acuerdos de reubicación de los vecinos colindantes que se verían afectados como consecuencias de la ejecución de la obra.

d. Principales hitos.

- Acuerdos de reubicación con vecinos.
- Remoción de Sub estación.
- Inicio de obra.
- Colocación de aisladores sísmicos.
- Entrega de obra.

e. Cronograma de ejecución de obra

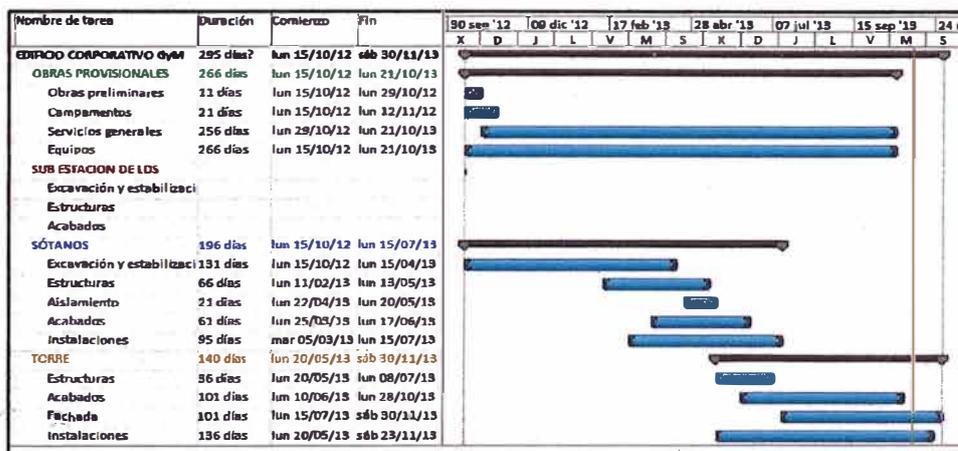


Figura 8: Cronograma general contractual (no considera la reubicación de la sub estación)

3.3. ALCANCES DEL PROYECTO.

El proyecto comprende la ejecución de las siguientes actividades que se encuentran dentro del EDT del proyecto (Fig. 9).

1. Sub estación
 - 1.1. Excavación y estabilización.
 - 1.2. Estructura de concreto armado.
 - 1.3. Acabados
2. Sótanos
 - 2.1. Excavación y estabilización.
 - 2.2. Estructura de concreto armado
 - 2.3. Instalaciones
 - 2.4. Acabados
3. Torre
 - 3.1. Estructura de concreto armado.
 - 3.2. Instalaciones.
 - 3.3. Acabados
 - 3.4. Fachada
4. Obras provisionales
 - 4.1. Obras preliminares.
 - 4.2. Servicios generales
 - 4.3. Campamentos.
 - 4.4. Equipos.

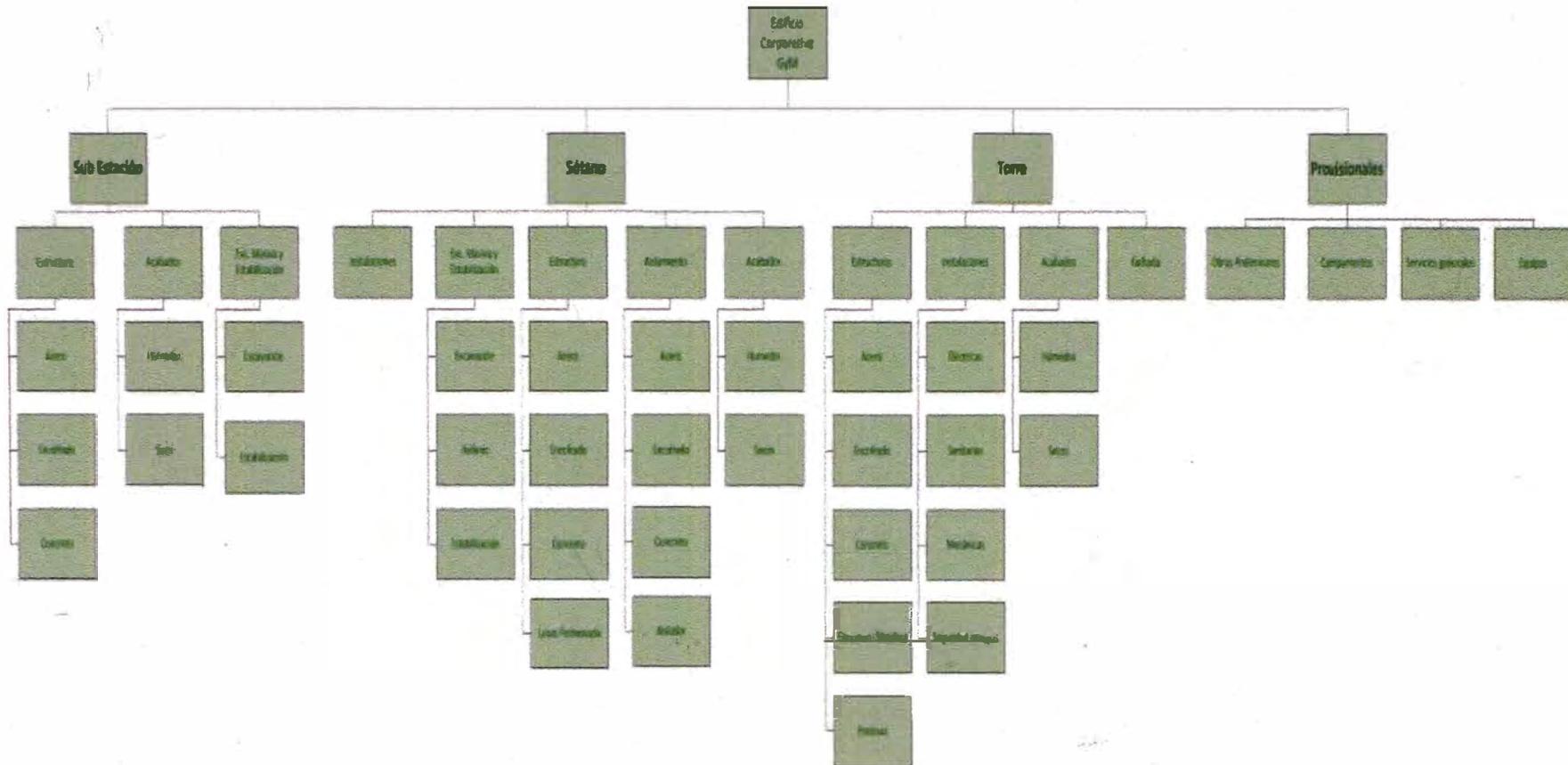


Figura 9: Estructura de división del trabajo del proyecto (EDT)

3.4. RESTRICCIONES DEL PROYECTO.

3.4.1. Sub estación dentro del terreno de construcción.

La principal restricción para el inicio de la construcción (excavación y estabilización) es la interferencia de la sub estación N° 41 de Luz del Sur con el Edificio a construir y que no se puede reubicar sin contar previamente un ambiente destinado para ello; la interferencia del área de la sub estación comprende columnas, vigas y losa de concreto armado del edificio en los sótanos 4, 3, 2 y 1.

El tiempo que se requiere para reubicar la sub estación a su lugar definitivo se estima en 15 días.

Para reducir tiempos que se incurrirán en la construcción del edificio y reubicar la sub estación analizamos diferentes sistemas de construcción para minimizar tiempos que incluyan la definición de la ingeniería del proyecto, en la Fig. 10 se muestra los tiempos que toma en desarrollar un proyecto con el sistema tradicional que es el más usado en nuestro país, en la Fig. 11 se muestra los tiempos del sistema con pilotes que es más usado en Chile y en la Fig. 12 se muestra el nuevo sistema Top Down que ya tiene como 2 años de práctica en Chile; como se puede observar con los diferentes sistemas se puede inferir que las precedencias entre actividades cambian dependiendo del tipo de sistema a aplicar, las actividades se muestran en secuencias y en paralelo.

Es interesante ver el impacto en plazo que tiene un sistema respecto al otro que para poder optar con un sistema se tiene que tomar en cuenta el costo implicado y los requerimientos del Cliente y poder satisfacer sus necesidades.

Analizando estos sistemas nos permitirá mostrar las opciones necesarias para poder lograr los requerimientos del cliente.

Actividades	Antes de la Construcción									Construcción										
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11
Definición del Proyecto	Diseño																			
Excavación y estabilización																				
Sótano																				
Edificio																				

Figura 10: Estimación de tiempos con proceso constructivo tradicional (muros anclados)

Actividades	Antes de la Const.			Construcción										
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11
Definición del Proyecto	Diseño													
Excavación y estabilización														
Sótano														
Edificio														

Figura 11: Estimación de tiempos con proceso constructivo de pilotaje

Actividades	Antes de la Const.			Construcción						
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7
Definición del Proyecto	Diseño									
Excavación y estabilización										
Sótano										
Edificio										

Figura 12: Estimación de tiempos con proceso constructivo Top Down

CAPITULO IV: PLANEAMIENTO DEL PROYECTO

4.1. PLANTEAMIENTO DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

Conociendo las diferentes formas de estabilización usadas en el Perú y las usadas en otros países cuyas realidades constructivas no están muy lejanas a la nuestra; conociendo la información del proyecto, sus alcances y restricciones que impide una construcción convencional nos obliga a incluir el proceso constructivo dentro del planeamiento general analizando diferentes formas de iniciar la construcción considerando la remoción de la sub estación.

Los diferentes procesos constructivos serán analizados de acuerdo a su impacto en el proyecto, la decisión de optar por uno de ellos será de acuerdo a los siguientes factores principales:

Costo.

Plazo.

Tecnología disponible.

4.1.1. Layout de procesos constructivos.

De las diferentes opciones que se pensaron realizar 4 de ellas fueron las de mayor posibilidad de ejecución tenían.

A. Layout de la primera opción.

Esta primera opción consiste en considerar a la sub estación como una construcción colindante que no pertenece al terreno de construcción, esta consideración permitirá estabilizar gran parte del perímetro del terreno y el perímetro de la sub estación (Fig. 13) para luego secuencialmente realizar la excavación (Fig. 14), posteriormente la estructura, la habilitación del ambiente definitivo en el sótano 1, la reubicación, demolición y completar la estabilización y la estructura pendiente.

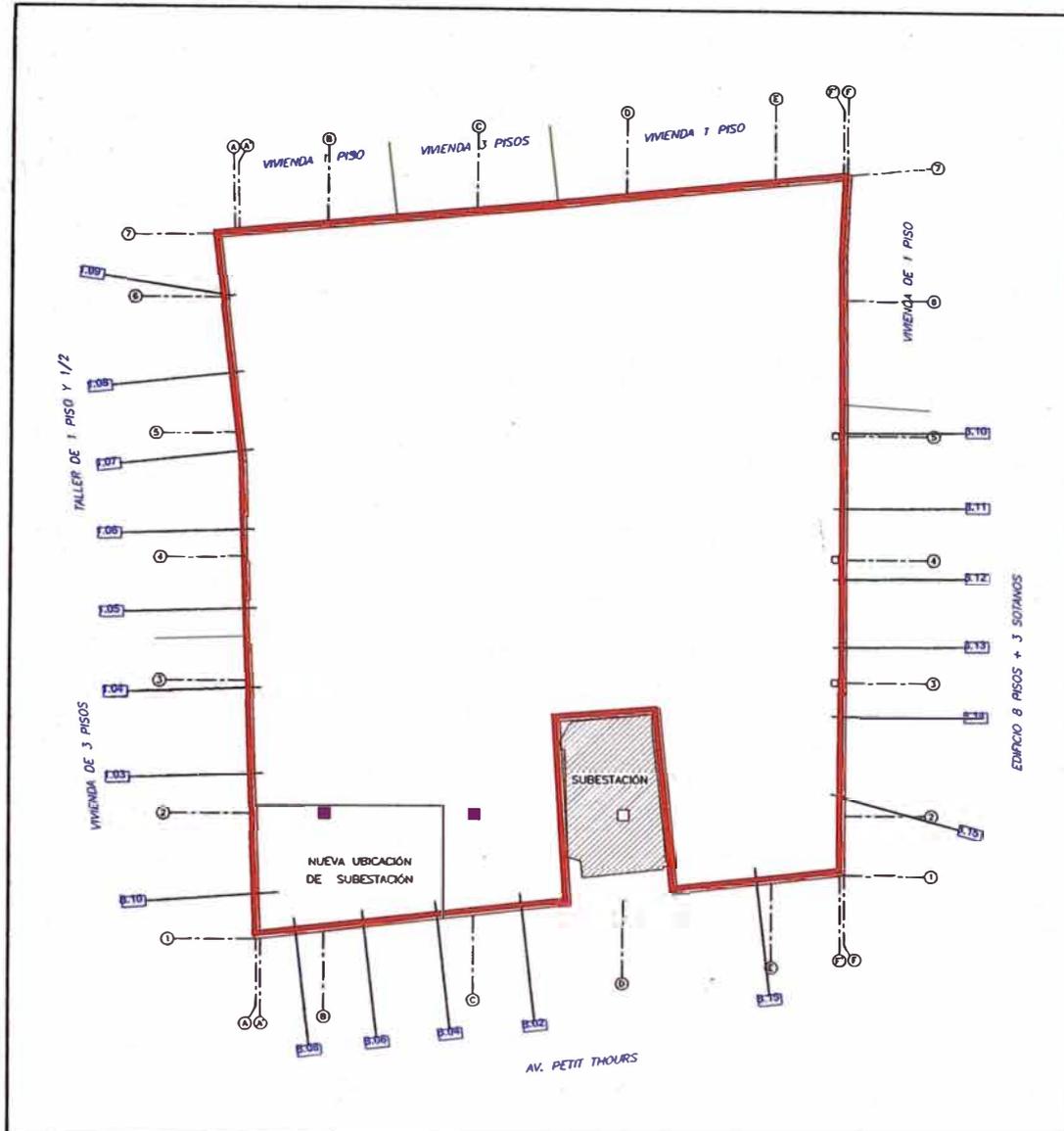


Figura 13: Configuración de la estabilización del Layout 1

En la Fig. 13 se muestra la sub estación en medio del terreno de construcción así como la columna que es contenida dentro de esta área, también se muestra la nueva ubicación definitiva destinada a la sub estación.

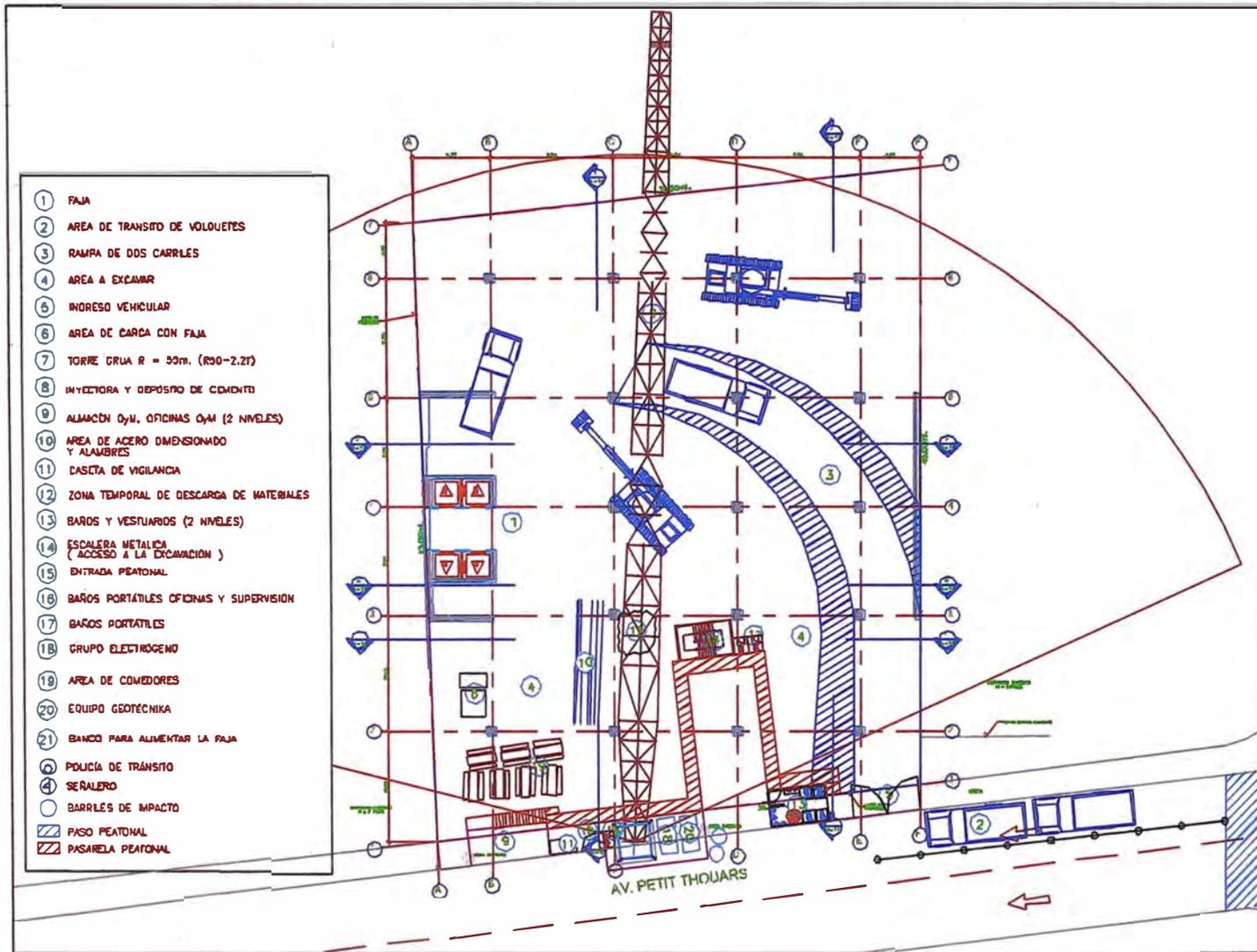


Figura 14: Vista en planta del Layout 1

Esta opción es en primera impresión la más lógica para la ejecución sin embargo se debe tener en cuenta que la demolición posterior alargaría el plazo de una construcción convencional y su principal restricción sería la necesidad de consultar al especialista estructural la elaboración de detalles especial de soporte al no construir una columna que se encuentra dentro del área de la sub estación (Fig. 15), tanto la elaboración de estos detalles como su ejecución implicarían mayor tiempo y mayor costo invertidos en algo provisional.

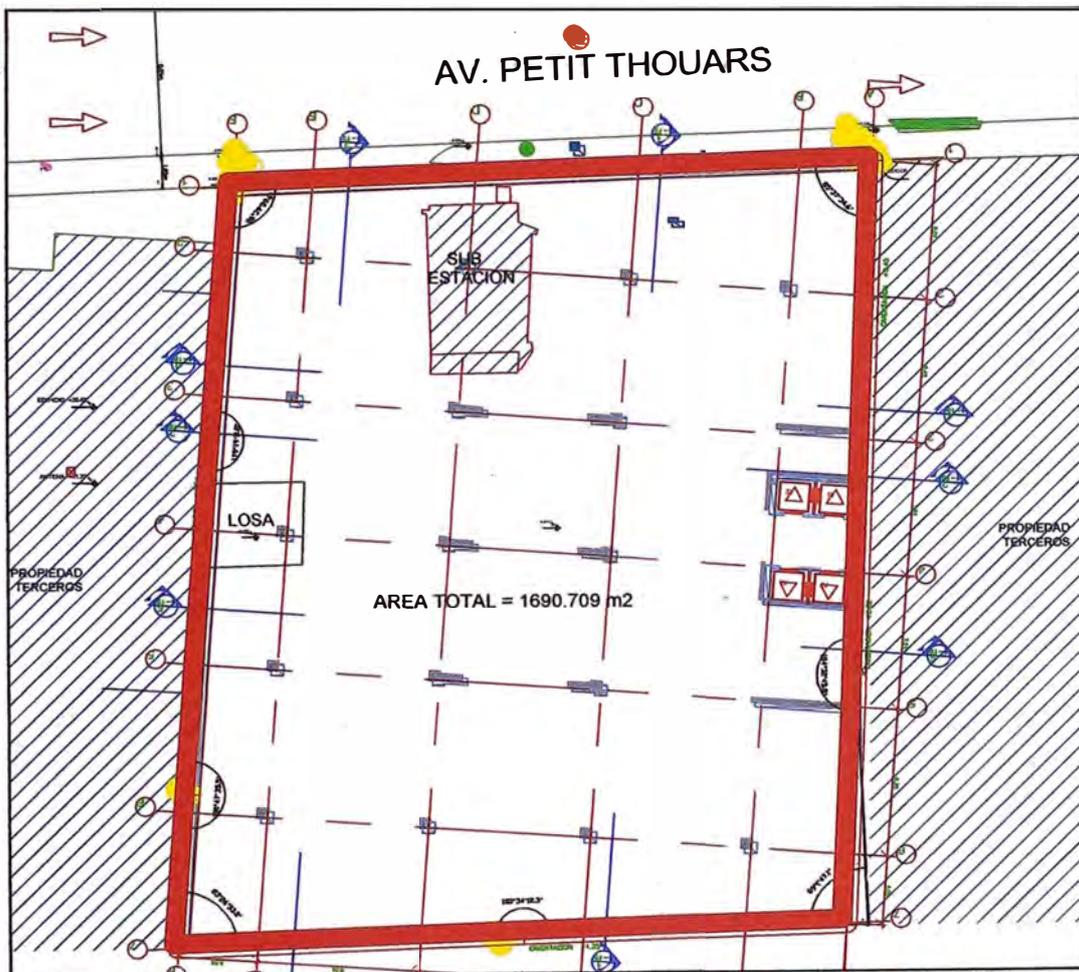


Figura 15: Ubicación de la sub estación interfiriendo con la estructura del edificio

En la Fig.16 se muestra el movimiento que realizará la sub estación para su remoción definitiva.

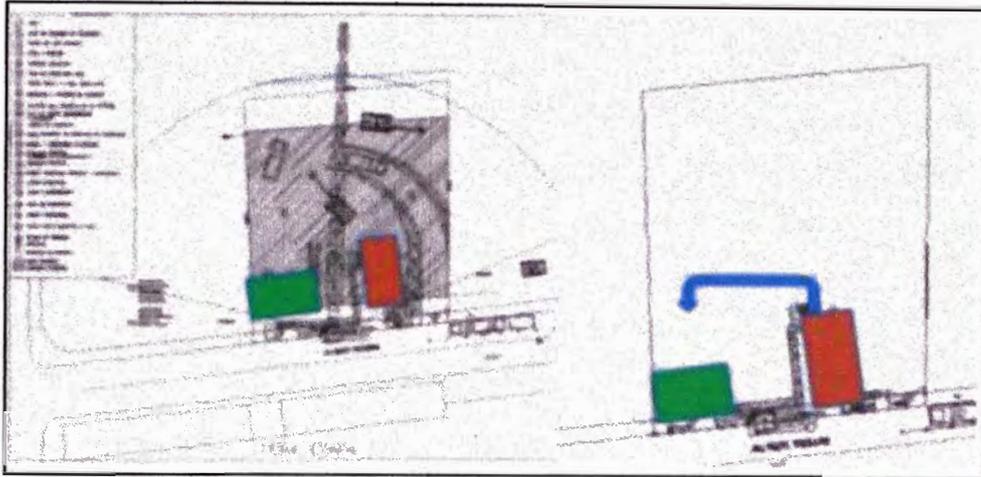


Figura 16: Movilización de la sub estación del Layout 1

Ventajas:

- Secuencia constructiva convencional y conocida al inicio de construcción.
- El tiempo que toma la ejecución del 85% del trabajo para desarrollar la ingeniería de soporte provisional de la estructura en la zona de la sub estación.
- Traslado directo de las conexiones de la sub estación en un tiempo estimado de 1 semana, considerando que se implementarán nuevos equipos.

Desventajas:

- Elaboración de una ingeniería especial para soporte provisional.
- Incremento en el costo por trabajos provisionales que no agregan valor a la estructura.
- Trabajo lento en el 15% restante del trabajo.

B. Layout de la segunda opción.

Esta segunda opción tiene por primera instancia la liberación de la restricción que es la sub estación, para lograr ello se plantea la construcción de un ambiente provisional que albergará al equipamiento de la sub estación en un área que no afectará el soporte de la estructura (Fig. 17) que era el principal

inconveniente de la primera opción, al ser un traslado provisional el equipamiento a usar deberá ser el mismo que está operando en la sub estación y sea mediante una conexión más simple que la definitiva para no generar nuevamente mayor costo en trabajos provisionales y que no agregan valor.

Esta opción de iniciar la construcción aumenta el plazo en 45 días que es el tiempo en trasladar provisionalmente la sub estación tendiendo tiempos muertos y dejar sin suministro de energía a una zona de Miraflores.

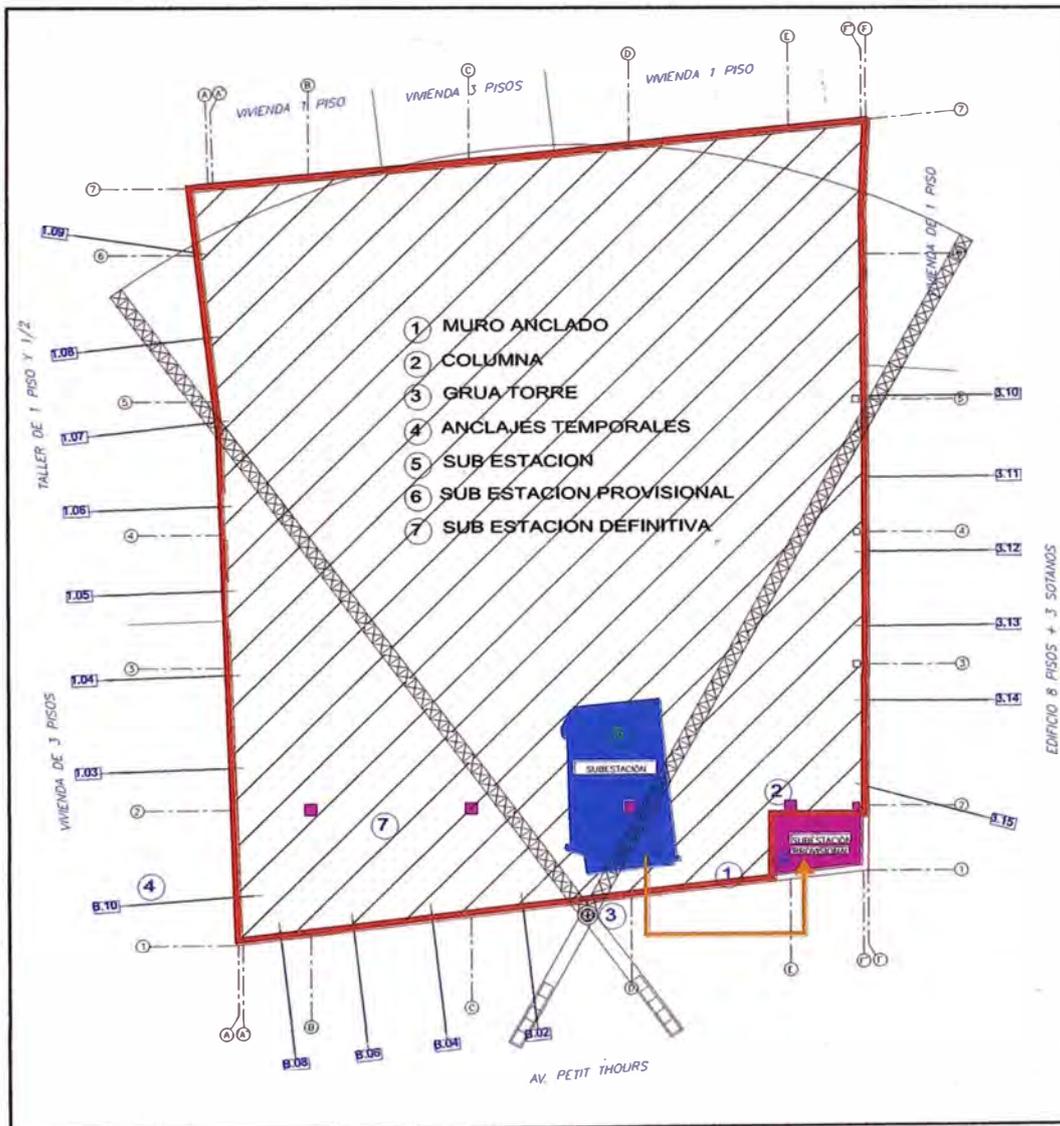


Figura 17: Configuración de la estabilización del Layout 2

Luego de realizar el 90% de la excavación, estabilización y estructura llegando al nivel de vereda se procede a trasladar la sub estación a su lugar definitivo (Fig.18).

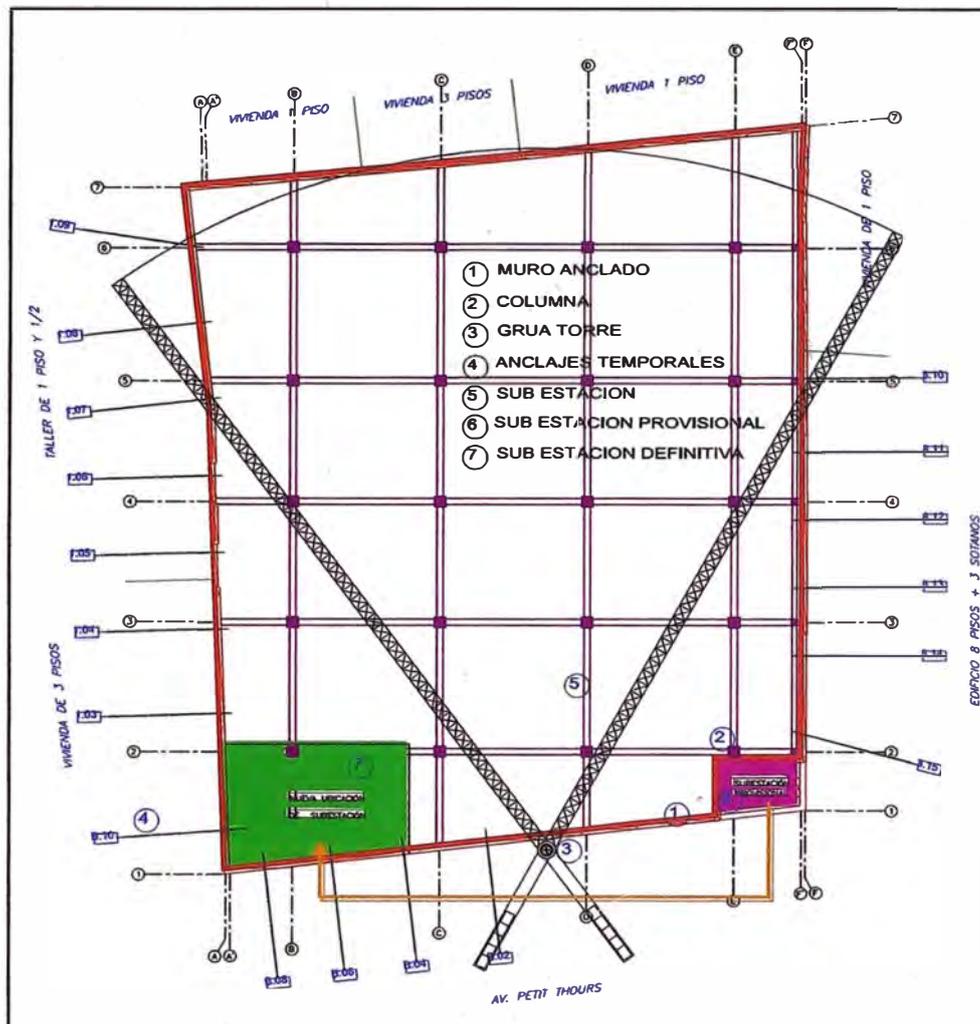


Figura 18: Configuración de la etapa de estructuras del Layout 2

Ventajas:

- Al trasladar la sub estación provisionalmente se iniciaría la construcción en forma convencional y rápida abarcando el 90% de los trabajos.
- No se tiene que elaborar detalles especiales de soporte y sostenibilidad.

Desventajas:

Luego de realizar el 90% de la excavación, estabilización y estructura llegando al nivel de vereda se procede a trasladar la sub estación a su lugar definitivo (Fig.20).

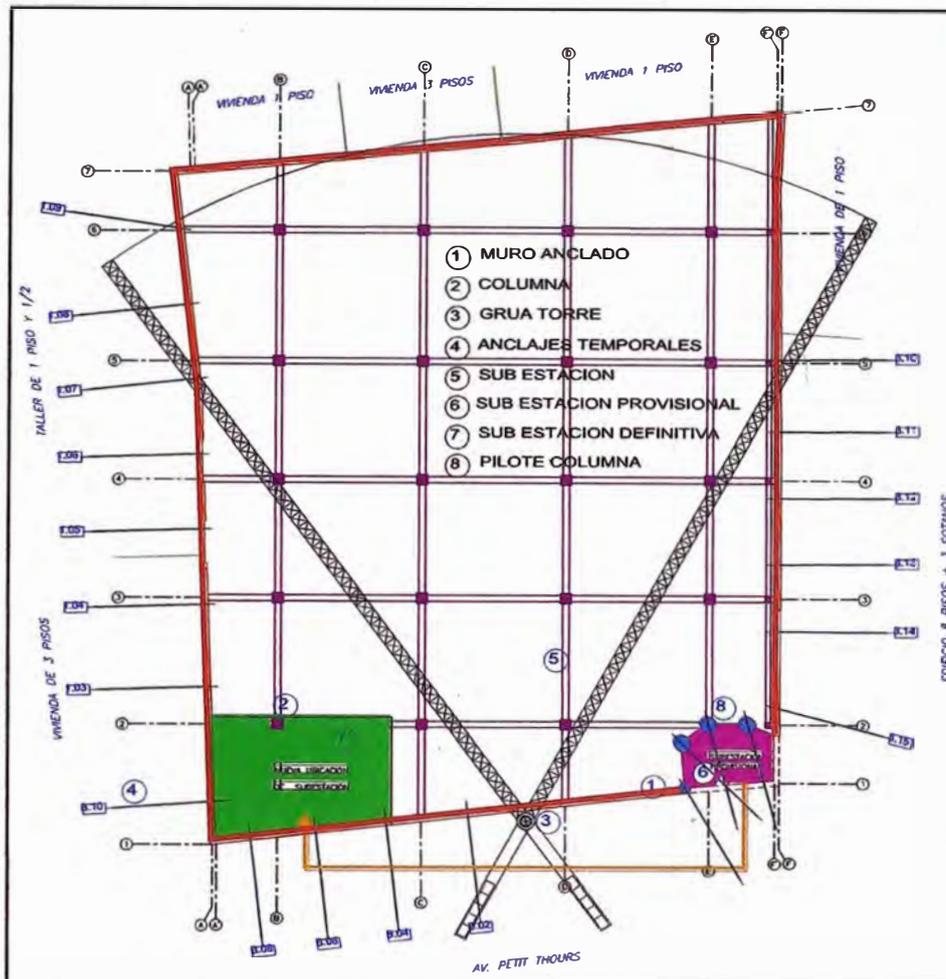


Figura 20: Configuración de la etapa de estructuras del Layout 3

D. Layout de la cuarta opción.

El hecho de pensar usar pilotes como sistema de estabilización nos permite independizar el proceso de excavación y estabilización propiamente dicha: para poder concretar un proceso que nos ayude a facilitar la construcción sin implicar mayores costos y plazos se debe resolver las principales restricciones de las opciones anteriores.

1. - Realizar el 100% de columnas para lograr la estabilidad de la estructura sin tener detalles especiales y provisionales que no agregan valor.

2. No realizar traslados provisionales de la sub estación para no ocasionar tiempos de espera.
3. Realizar el traslado de la sub estación antes de la excavación masiva.

Teniendo en claro estos objetivos debemos encontrar un proceso constructivo que nos lleve a cumplirlos.

Independizar la excavación de la estabilización nos permitirá realizar la excavación masiva posterior al traslado de la sub estación previamente estabilizada, con esto estaríamos asegurando el punto 3 y estaríamos optando por usar pilotes para lograrlo.

Para realizar el punto 2 se deberá construir el ambiente definitivo antes que realizar la construcción de la estructura, es decir construir el ambiente del sótano 1 antes de construir el sótano 4 (una construcción descendente) y es en donde entra el concepto de Top Down (ascendente – descendente) que mediante pilotes nos ayuda a estabilizar la zona y poder vaciar losas estructurales contra terreno y apoyadas en los pilotes, esta losa no sólo estará apoyada en pilotes perimetrales sino también en las columnas que se tiene en el proyecto (Fig. 21); esto nos lleva al punto 1 en donde se debe realizar el 100% de columnas antes de la reubicación y los pilotes justamente en el sistema Top Dow cumplen la función de pilotes columnas que son diseñadas para soportar fuerzas axiales: entonces liberando estos 3 objetivos esenciales podemos plantear que el proceso de construcción a usar será basándose en el concepto de Top Down y pilotes (Fig. 22) el cual seguirá la siguiente secuencia general.

1. Realización de pilotes perimetrales para estabilización.
2. Realización de pilotes tipo columna
3. Excavación del volumen ocupado por el ambiente definitivo.
4. Construcción de los elementos estructurales horizontales.
5. Acondicionamiento del ambiente para el traslado definitivo.
6. Demolición de sub estación.
7. Construcción convencional.

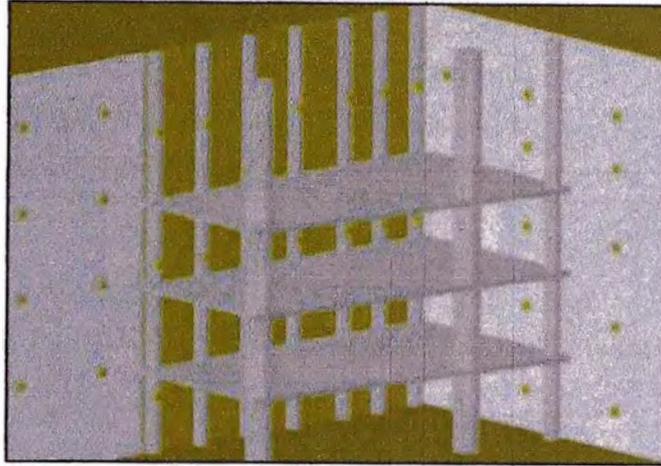


Figura 21: Vista 3D del proceso constructivo del Layout 4

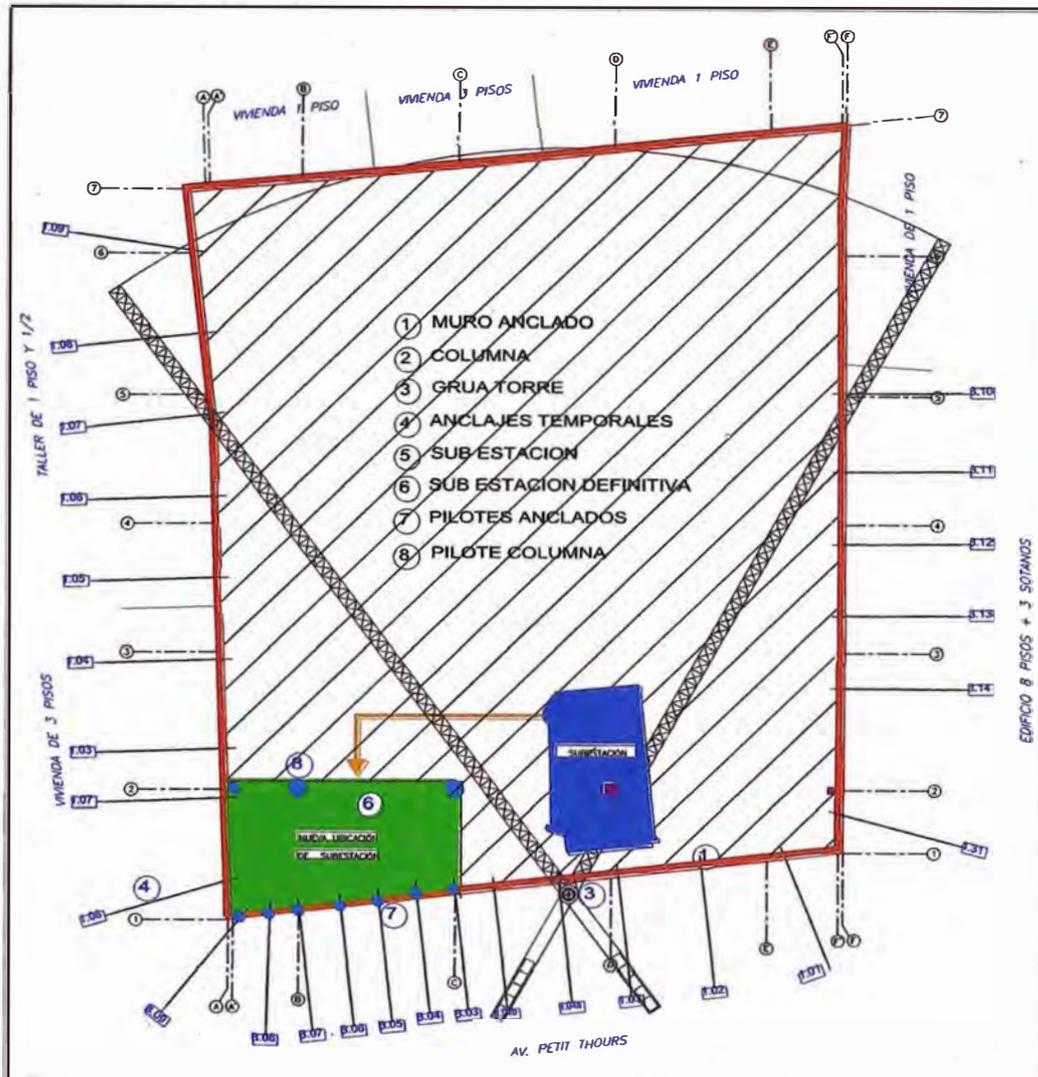


Figura 22: Configuración de la estabilización del Layout 4

4.1.2. Costos de procesos constructivos.

A. Costo de Layout primera opción.



Figura 23: Configuración de la estructura en el Layout 1



Figura 24: Área de la subestación estabilizada y área de estructura de la 2da etapa

En la fig. 23 y fig. 24 se muestra la ubicación de la sub estación estabilizada en su perímetro influyendo en la estructura (columnas, vigas y losas); la zona achurada en la planta será la que será la primera etapa de los sótanos, el área que no se encuentra achurada y junto con el área de la sub estación comprenderán la segunda etapa.

Cuadro N°03.- Costo acumulado de estabilización y estructuras Layout 1

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
01	SÓTANOS				
01.01	SÓTANOS - ETAPA 1				4,801,636.37
01.01.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				658,292.69
01.01.02	ESTABILIZACIÓN				1,779,218.18
01.01.03	ESTRUCTURAS				2,364,125.50
01.02	SUB ESTACION				122,983.23
01.02.01	ESTRUCTURAS				39,155.12
01.02.02	ARQUITECTURA				58,323.88
01.02.03	INSTALACIONES				25,504.23
01.02.04	TRASLADO (LUZ DEL SUR)				-
01.03	SÓTANOS - ETAPA 2				384,239.32
01.03.01	DEMOLICION				69,851.60
01.03.02	ESTABILIZACIÓN				70,998.09
01.03.03	MOVIMIENTO DE TIERRAS LOCALIZADO				1,062.89
01.03.04	ESTRUCTURAS				242,326.84
COSTO DIRECTO (S/.)					5,308,858.92

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N°03 se muestra el costo (precios del 2012) de cada etapa hasta llegar al nivel ± 0.00 y liberar la restricción de la construcción con la reubicación de la sub estación al 100%.

B. Costo de Layout segunda opción.

En la fig. 25 y fig. 26 se observa la forma de estabilización destinando una zona (esquina inferior derecha) para la reubicación provisional de la sub estación, el ambiente provisional será un container y el traslado provisional de los equipamientos estará a cargo de Luz del Sur; la zona achurada será la primera etapa de la estabilización y estructura, la estabilización y estructura del área destinada para la reubicación provisional será la segunda etapa de los sótanos.



Figura 25: Configuración de la estructura en el Layout 2

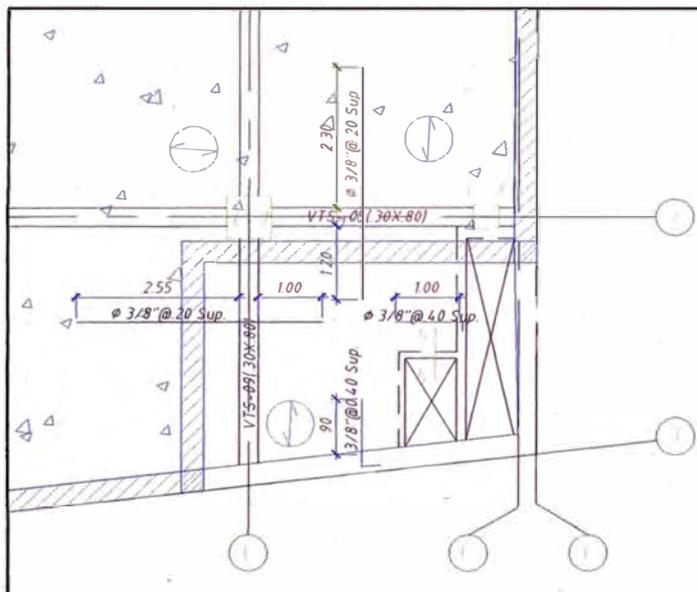


Figura 26: Área de la subestación provisional estabilizada y área de estructura de la 2da etapa

Cuadro N°04.- Costo acumulado de estabilización y estructuras Layout 2

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
01	SÓTANOS				
01.01	OBRAS PROVISIONALES - SE				60,662.10
01.02	SÓTANOS - ETAPA 1				4,902,500.39
01.02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				676,414.79
01.02.02	ESTABILIZACIÓN				1,637,147.79
01.02.03	ESTRUCTURAS				2,588,937.81
01.03	SUB ESTACION				122,983.23
01.03.01	ESTRUCTURAS				39,155.12
01.03.02	ARQUITECTURA				58,323.88
01.03.03	INSTALACIONES				25,504.23
01.03.04	TRASLADO DEFINITIVO (LUZ DEL SUR)				-
01.04	SÓTANOS - ETAPA 2				141,307.39
01.04.01	DEMOLICION				23,371.14
01.04.02	ESTABILIZACIÓN				100,658.75
01.04.03	ESTRUCTURAS				17,277.49
COSTO DIRECTO (S/.)					5,227,453.11

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N°04 se muestra el costo (precios del 2012) de cada etapa hasta llegar al nivel ±0.00 iniciando la liberación de la restricción de la construcción con la reubicación provisional de la sub estación.

C. Costo de Layout tercera opción.



Figura 27: Configuración de la estructura en el Layout 3

Cuadro N°05.- Costo acumulado de estabilización y estructuras Layout 3

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
01	SÓTANOS				
01.01	ESTABILIZACIÓN PROVISIONAL				156,563.71
01.02	OBRAS PROVISIONALES - SE				60,389.10
01.03	SÓTANOS - ETAPA 1				4,765,230.15
01.03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				650,228.66
01.03.02	ESTABILIZACIÓN				1,560,559.50
01.03.03	ESTRUCTURAS				2,554,441.99
01.04	SUB ESTACION				122,983.23
01.04.01	ESTRUCTURAS				39,155.12
01.04.02	ARQUITECTURA				58,323.88
01.04.03	INSTALACIONES				25,504.23
01.04.04	TRASLADO DEFINITIVO (LUZ DEL SUR)				-
01.05	SÓTANOS - ETAPA 2				157,039.32
01.05.01	DEMOLICION				27,184.86
01.05.02	ESTABILIZACIÓN				102,796.40
01.05.03	ESTRUCTURAS				27,058.05
COSTO DIRECTO (S/.)					5,262,205.51

Fuente: Elaboración propia

D. Costo de Layout cuarta opción.

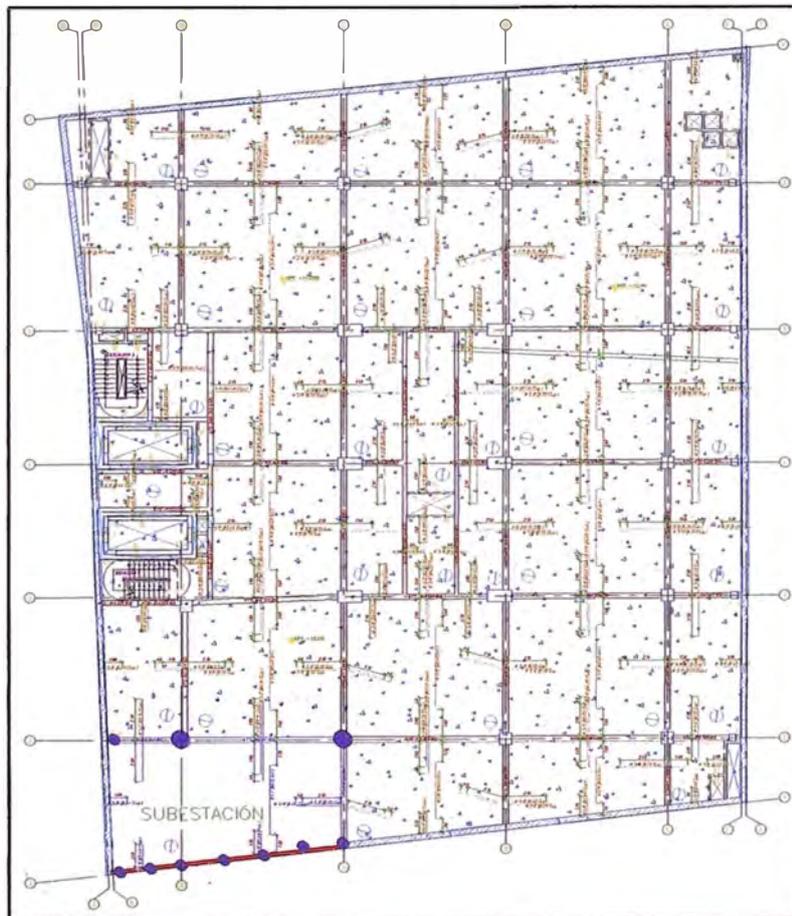


Figura 29: Configuración de la estructura en el Layout 4

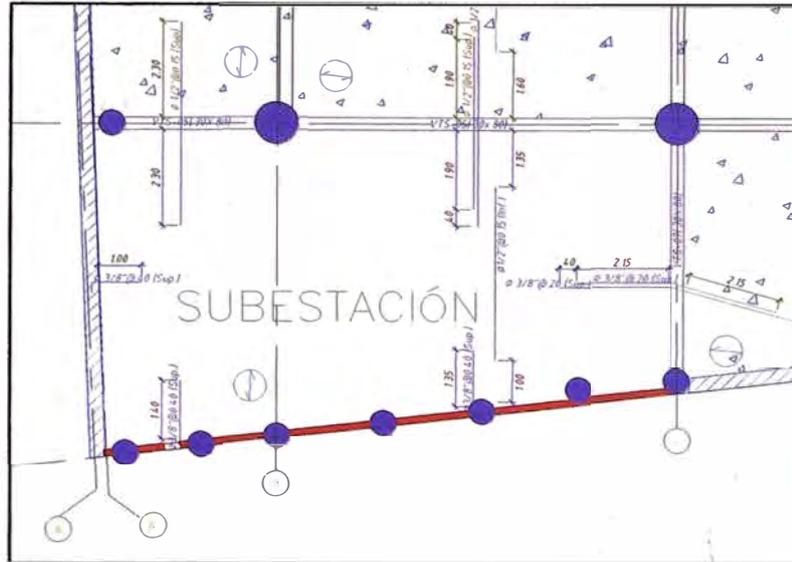


Figura 30: Área de la subestación definitiva estabilizada con pilotes y área de estructura de la 1era etapa

En la fig. 29 y fig. 30 se observa la forma de estabilización mediante pilotes columnas y pilotes anclados para construir el ambiente de la subestación definitiva en el sótano 1 como primera etapa para luego implementar el equipamiento definitivo.

Cuadro N°06.- Costo acumulado de estabilización y estructuras Layout 4

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio (S/.)	Parcial (S/.)
01	SÓTANOS				
01.01	SUB ESTACION				576,590.97
01.01.01	ESTABILIZACIÓN				227,718.80
01.01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				42,928.41
01.01.03	ESTRUCTURAS				221,228.69
01.01.04	ARQUITECTURA				59,210.84
01.01.05	INSTALACIONES				25,504.23
01.01.06	TRASLADO DEFINITIVO (LUZ DEL SUR)				-
01.02	SÓTANOS				4,301,825.82
01.02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				647,391.39
01.02.02	ESTABILIZACIÓN				1,434,470.23
01.02.03	ESTRUCTURAS				2,219,964.20
COSTO DIRECTO (S/.)					4,878,416.78

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro N°06 se muestra el costo (precios del 2012) de cada etapa hasta llegar al nivel ± 0.00 iniciando la construcción definitiva del ambiente de la subestación mediante pilotes, este concepto es llamado Top Down al iniciar una construcción descendente en parte del edificio.

4.1.3. Cronograma de procesos constructivos.

A. Cronograma de Layout primera opción.

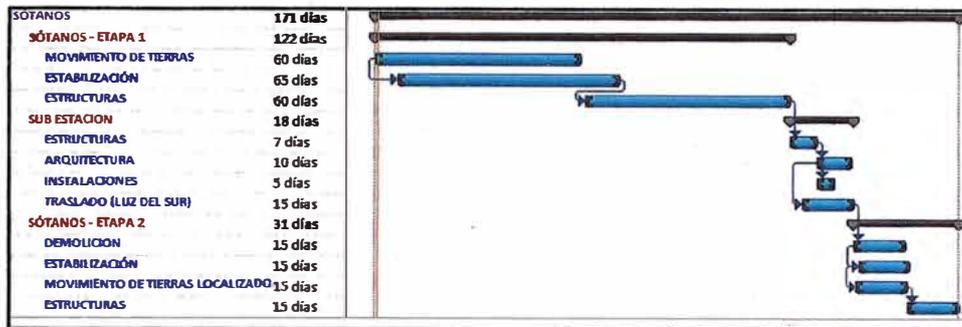


Figura 31: Cronograma del Layout 1

En la fig.31 se muestra el cronograma general del primer planteamiento de la construcción tomando **171 días** de ejecución hasta llegar al nivel ± 0.00 con un costo directo de **S/. 5'308,858.92**, este costo y cronograma no involucra el inicio de las especialidades de Arquitectura e Instalaciones del Edificio.

B. Cronograma de Layout segunda opción.

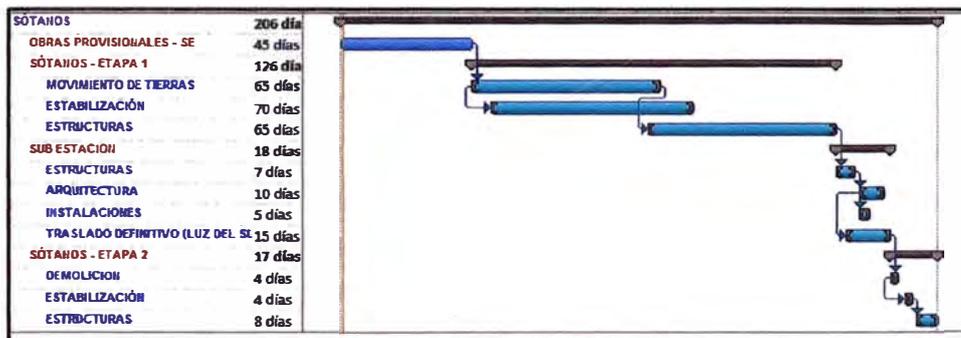


Figura 32: Cronograma del Layout 2

En la fig.32 se muestra el cronograma general del segundo planteamiento de la construcción tomando **206 días** de ejecución hasta llegar al nivel ± 0.00 con un costo directo de **S/. 5'227,453.11**, este costo y cronograma no involucra el inicio de las especialidades de Arquitectura e Instalaciones del Edificio.

C. Cronograma de Layout tercera opción.

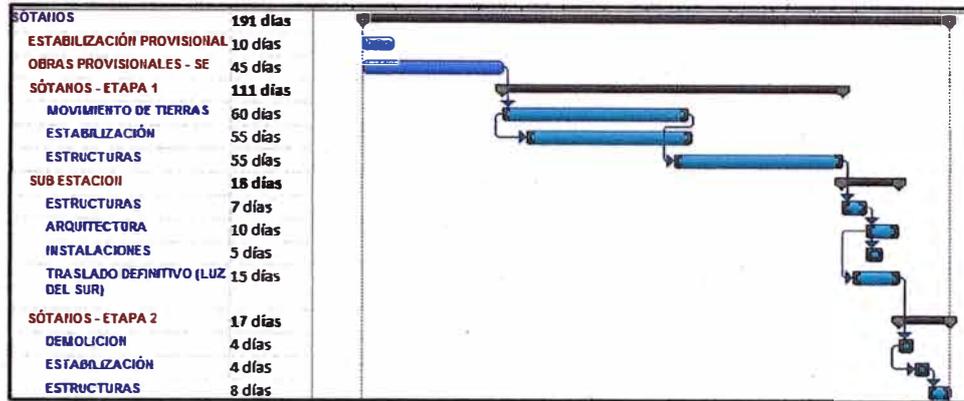


Figura 33: Cronograma del Layout 3

En la fig.33 se muestra el cronograma general del tercer planteamiento de la construcción usando pilotes con el fin de reducir los tiempos (15 días en la etapa 1 de sótanos) tomando **191 días** de ejecución hasta llegar al nivel ± 0.00 con un costo directo de **S/. 5'262,205.51**, este costo y cronograma no involucra el inicio de las especialidades de Arquitectura e Instalaciones del Edificio.

D. Cronograma de Layout cuarta opción.

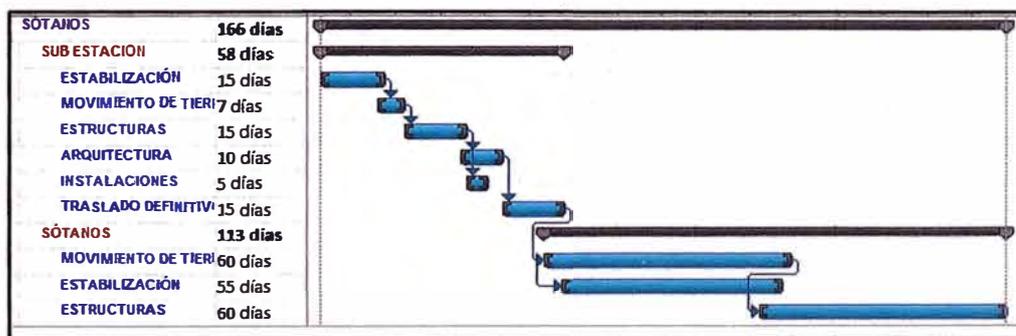


Figura 34: Cronograma del Layout 4

En la fig.34 se muestra el cronograma general del cuarto planteamiento de la construcción usando pilotes anclados, pilotes tipo columna y concepto del sistema Top Down (construcción descendente) con el fin de reducir los tiempos en actividades provisionales, el tiempo de ejecución es de **166 días** hasta llegar al nivel ± 0.00 con un costo directo de **S/. 4'878,416.78**, este costo y cronograma

no involucra el inicio de las especialidades de Arquitectura e Instalaciones del Edificio.

4.2. PROCESO CONSTRUCTIVO APLICABLE AL PROYECTO.

De acuerdo al análisis de cada planteamiento propuesto se decide optar por la alternativa más beneficiosa en plazo y costo, en cuanto a la tecnología disponible es de fácil acceso al contar con empresas especializadas en estabilización que cuentan con los equipos necesarios; de acuerdo al cuadro N°07 la alternativa que se aplicaría en el proyecto será el cuarto planteamiento (Layout 4).

Cuadro N°07.- Comparativo de planteamientos

Item	Planteamiento	Costo	Plazo	Tecnología aplicable
1.00	Layout 1	S/. 5,308,858.92	171 días	Muros anclados y cortes de viga a la cara de columna.
2.00	Layout 2	S/. 5,227,453.11	206 días	Muros anclados y cortes de viga a la cara de columna.
3.00	Layout 3	S/. 5,262,205.51	191 días	Muros anclados y pilotes excavados
4.00	Layout 4	S/. 4,878,416.78	166 días	Pilotes excavados, concepto de top down y muros anclados.

Fuente: Elaboración propia

4.2.1. Layout definitivo.

El layout es un esquema de trabajo que varía de acuerdo a las actividades a realizar, en esta caso bordeamos los trabajos que inician con la construcción de la sub estación definitiva y finaliza en la ejecución de los sótanos, básicamente se cuenta con cuatro (04) layout que cubre todas las actividades (Fig.35).

- Layout de la etapa de construcción de la sub estación definitiva.
- Layout de excavación con rampa.
- Layout de excavación con faja.
- Layout de la etapa de construcción de los sótanos.

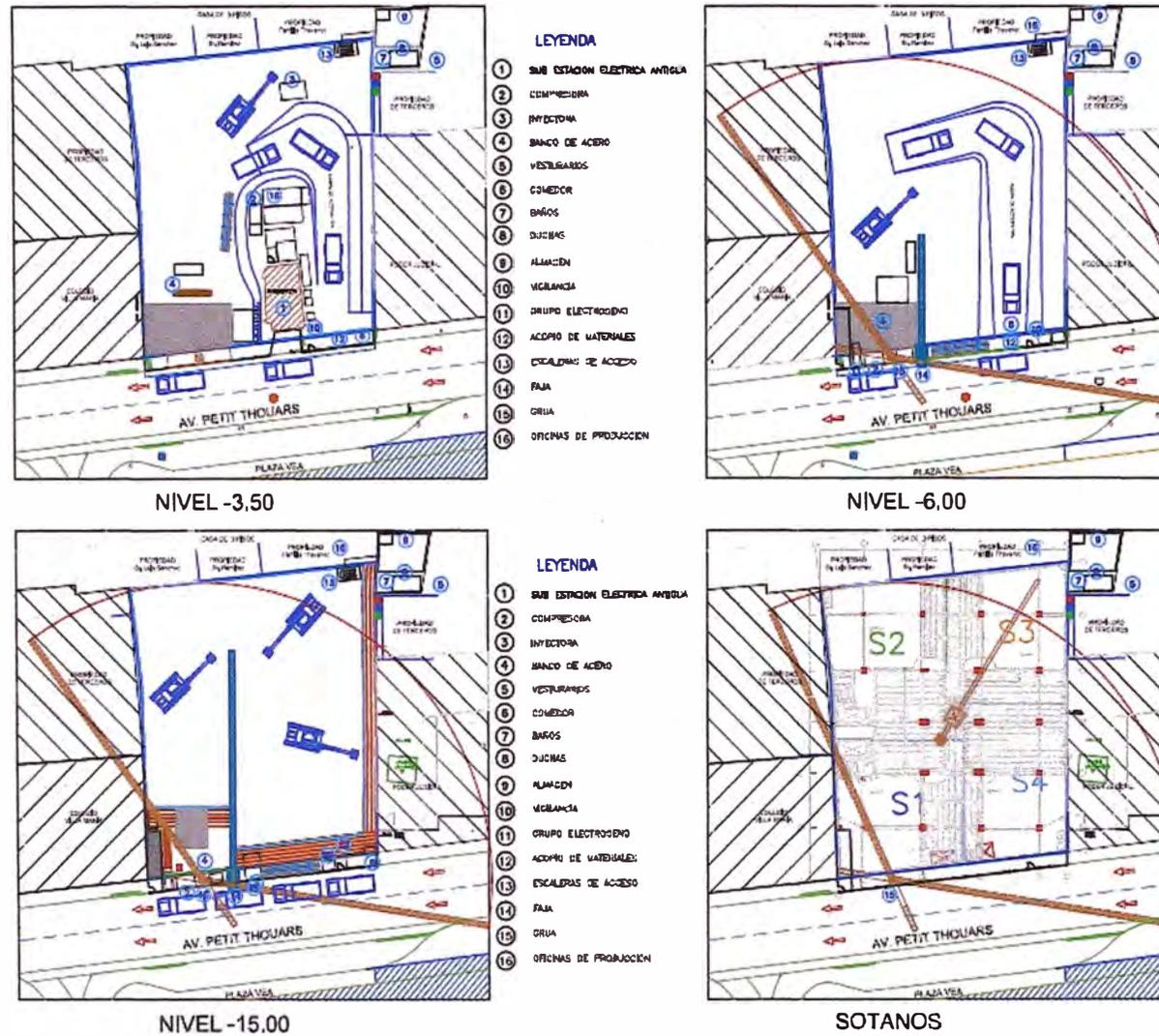


Figura 35: Layout definitivo de obra (Ver ANEXO)

CAPITULO V: APLICACIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

5.1. INGENIERIA DE DETALLE.

Ya definido el sistema y proceso constructivo a usar se procede a coordinar la ingeniería de detalle de la estabilización y pilotes.

A. Pilotes columnas.

Se procede a ver el cálculo de los pilotes que formará parte de la estructura definitiva del edificio.

Se considera que las cargas sin mayorar actuantes en cada columna tanto para el estado estático como para el caso sísmico son iguales, los pilotes se empotrarán en es un estrato de grava arenosa muy denso, conocido como "Conglomerado de Lima".

Carga Muerta: $E_{G,k} = 135$ ton.

Carga Viva: $E_{Q,k} = 580$ ton.

El diseño de pilotes se realiza mediante el método de estado límite de acuerdo a la norma alemana DIN1054 (2005-01), el estado de rotura se verificará con la siguiente fórmula.

$$E_{G,k} * \gamma_G + E_{Q,k} * \gamma_Q \leq \frac{R_{l,k}}{\gamma_P}$$

Dónde:

$E_{G,k}$: Cargas permanentes características que actúan sobre el pilote.

$E_{Q,k}$: Cargas variables características que actúan sobre el pilote.

$R_{l,k}$: Resistencia característica que presenta el pilote.

γ_G , γ_Q : γ_P : Factores de seguridad parciales que propone la norma DIN 1054 (2005.01)

Para las cargas contempladas se debe cumplir:

Estado estático:

$$135*1.35 + 580*1.50 \leq R_{l,k}/1.40$$

$$1052.25 \text{ Tn} \leq R_{l,k}/1.40$$

Los factores de seguridad que propone la norma DIN 1054 para el método estático es 1.35 para la carga muerta y 1.50 para la carga viva.

Estado sísmico:

$$135*1.00 + 580*1.00 \leq R_{l,k}/1.40$$

$$715 \text{ Tn} \leq R_{l,k}/1.40$$

Los factores de seguridad que propone la norma DIN 1054 para el método sísmico son 1.00 tanto para la carga viva como para la carga muerta.

La resistencia característica del pilotes $R_{l,k}$ está dada por la resistencia de punta $R_{bl,k}$ y la resistencia por fricción $R_{sl,k}$ mediante la siguiente ecuación:

$$R_{l,k} = R_{bl,k} + R_{sl,k} \gamma_Q = q_{bl,k} * A_b + \sum_i q_{sl,k,i} * A_{s,i}$$

Dónde:

$q_{bl,k}$ = Resistencia del suelo en la punta del pilote obtenida de pruebas de carga o de experiencias en suelos similares.

A_b = Área de la punta, Para $D=1.00$ m, $A_b = 0.785$ m².

$q_{sl,k,i}$ = Resistencia de fricción que se activa en el fuste del pilote en el estrato i .

$A_{s,i}$ = Área de interacción entre el pilote y el suelo para el estrato de espesor h :

$$A_{s,i} = h_i * \pi * D$$

Para un pilote de longitud embebida en el suelo $L=8$ m, se obtiene la siguiente curva de carga asentamiento con los siguientes parámetros del suelo ($c = 0$ kg/cm², $\Phi = 37^\circ$, $\gamma = 1900$ kg/m³, $N_c = 55.63$, $N_q = 42.92$, $N_\gamma = 66.19$).

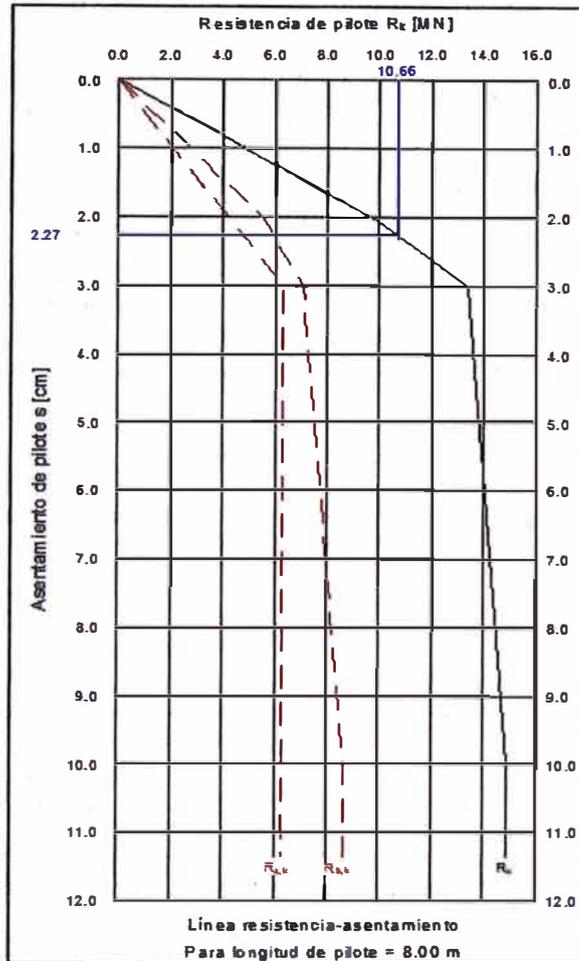


Figura 36: Curva de carga – asentamiento obtenido para pilotes columna (Ver ANEXO)

En el cuadro N°08 se presenta la resistencia calculada para la punta y fricción del pilote de $D=1\text{m}$ y $L=8\text{m}$ embebido en un estrato único conformado por el conglomerado de Lima.

Cuadro N°08.- Resistencias calculadas de pilotes columna

Asentamiento relativo s/D	Asentamiento cabeza (cm)	$R_{s,k}$ (MN)	$R_{b,k}$ (MN)	$R_{i,k}$ (MN)
0.02	2.0	4.189	5.498	9.687
0.03	3.0	6.283	7.069	13.352
0.10	10.0	6.283	8.639	14.922

Fuente: Pilotes Terratest

Para el estado límite, tenemos que:

$$R_d = R_{i,k}/1.40 = 14.922/1.4 = 10.658 \text{ MN} = 1065.8 \text{ Ton}$$

Verificación estado estático: $1052.25 \leq R_{i,k}/1.40$; 1052.25 Ton < 1065.8 Ton **OK**

Verificación estado sísmico: $715 \leq R_{i,k}/1.40$; 715 Ton < 1065.8 Ton **OK**

De acuerdo a la fig. 36, a la carga de 1065.8 Ton le corresponde un asentamiento de 2.27 cm siendo menor al asentamiento máximo permisible (2.54 cm).

B. Refuerzo de Pilotes

Para el refuerzo de los pilotes (Fig. 41) se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El diámetro exterior de la armadura para pilotes de $D=1000$ mm, debe ser de 800 mm, y para pilotes de $D=600$ mm, debe ser 450 mm no más, de acuerdo al cuadro N° 09, la diferencia se debe al espesor de la camisa (doble pared y pared simple).

Cuadro N°09.- Diámetro máximo de estribos para pilotes encamisados

Diámetro nominal pilote (m)	Diámetro máximo ($D_{m\acute{a}x.}$) entre bordes externos de estribos	
	Perforación c/camis doble pared	Perforación c/camis de inicio pared simple
0.60	0.45	0.45
0.80	0.60	0.64
1.00	0.80	0.84
1.20	1.00	1.04
1.50	1.30	1.34

Fuente: Pilotes terratest

- Se debe considerar, para efectos de rigidizar la armadura y el transporte e izaje de la misma, aros de rigidez que van por dentro de las barras longitudinales. Comenzando desde el fondo y terminando por debajo del empalme, el espaciamiento entre aros de rigidez debe ser de 2.50 m. Entre aros deben colocarse zetas, construidos en base de fierro corrugado (3/4") (Ver Fig. 37).



Figura 37: "Z" y aro de rigidez

Se requiere asas de izaje con fierro de fierro dulce o liso de 1" (25 mm) (A44-28H ó A36). Se recomienda por cada cuerpo de armadura 2 asas de izaje, y estas deberán medir 75 cm aprox. por cada una de ellas (Ver Fig. 38).



Figura 38: Asas de izaje

En cada aro deben colocarse al menos cuatro separadores de manera de que no sobrepases un diámetro de 900 mm y 500 mm, ya que de lo contrario la armadura no entrará en la tubería recuperable. No se recomienda calugas para mortero debido a que estas se revientan cuando se introduce la malla en la tubería. Si son recomendables los separadores cilíndricos de mortero simple ($f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$) siempre que lo posibilite la separación entre estribos (Ver Fig. 39).

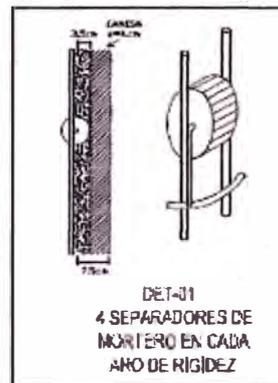


Figura 39: Separadores

En el extremo inferior de pilote es de práctica colocar una pequeña canastilla. Con esto se pretenden lograr que la armaduras longitudinales no se hundan o claven en el terreno y que al estar dobladas hacia dentro, el peso de la columna el concreto sobre las patas dobladas impida un eventual levantamiento de armaduras durante el vaciado (Ver Fig. 40).

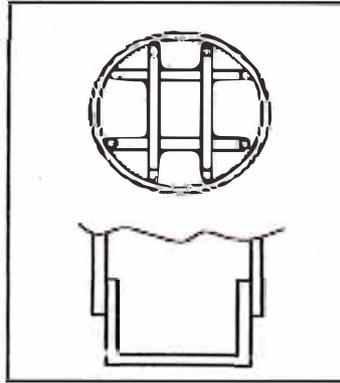


Figura 40: Fondo de armadura

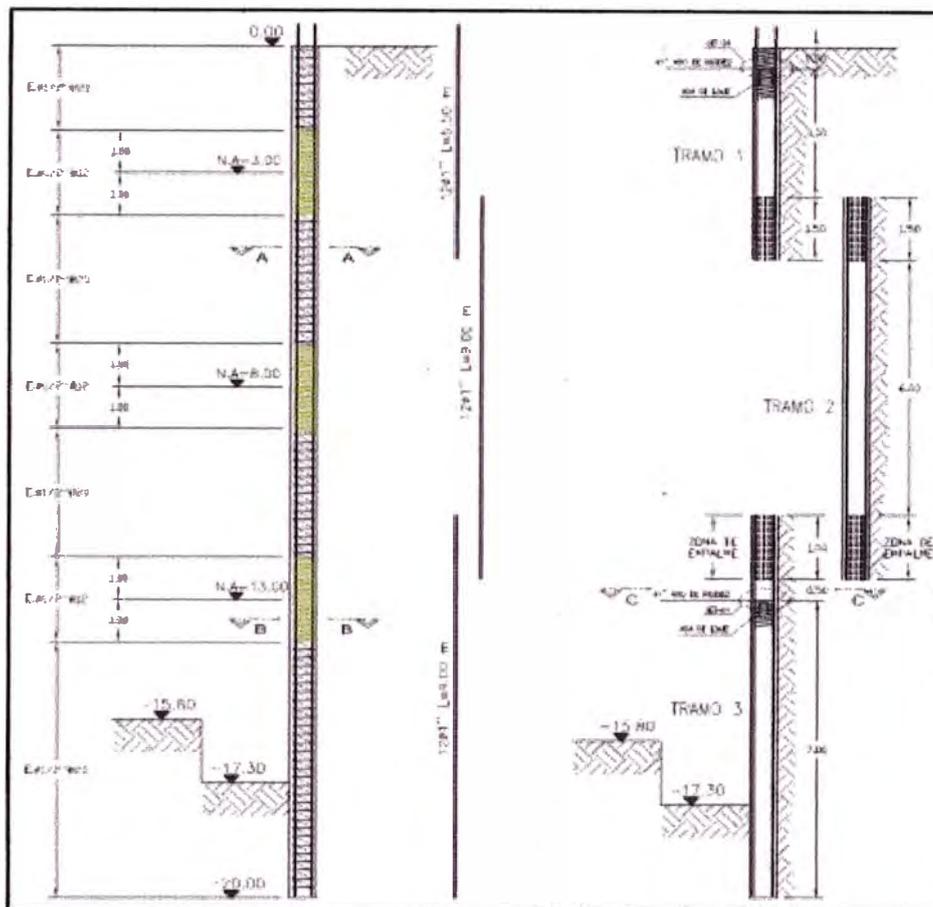


Figura 41: Armadura de pilotes

C. Conexión de vigas a pilotes

La conexión de las vigas que se apoyan en los pilotes columna se realizará con anclajes químicos HILTI HRE 500 tal como se indica en la Fig. 42.

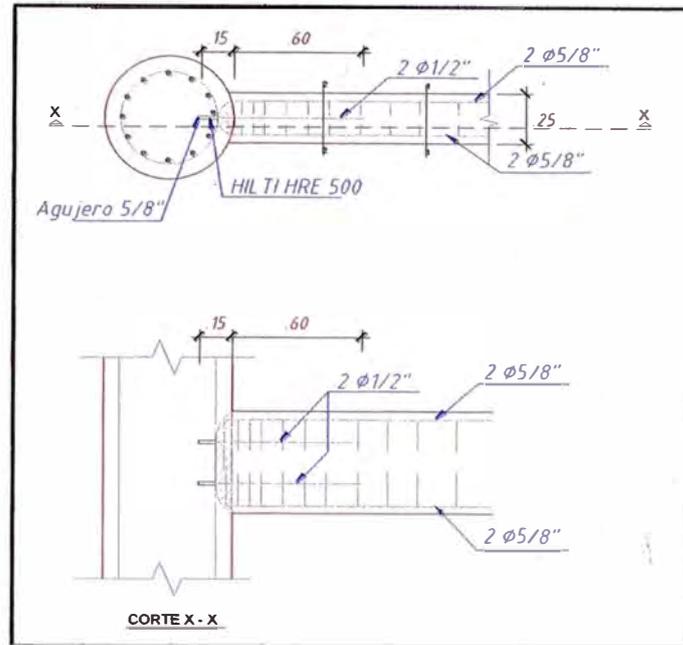


Figura 42: Unión de vigas con pilotes

D. Estabilización, anclajes temporales.

El panelado de la estabilización comprenderá paños fijos de concreto con cuatro (04) líneas de anclaje y pilotes de concreto con dos (02) líneas de anclaje con un detalle especial de refuerzo para su tensado (Fig. 43).

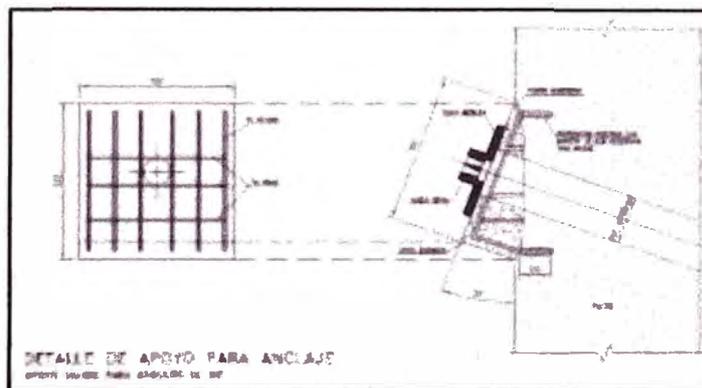


Figura 43: Detalle de refuerzo para tensado de anclajes en pilotes

El esquema de estabilización en la zona de la sub estación es el que se muestra en la Fig. 44 que comprende paños de muros anclados pilotes anclados.

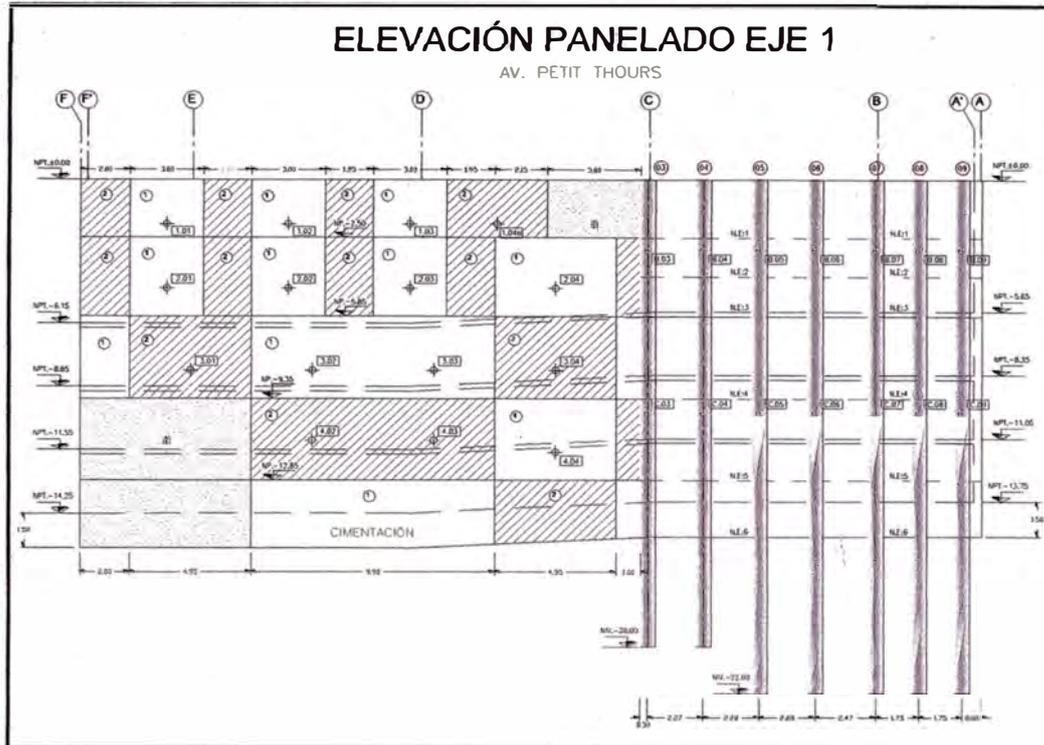


Figura 44: Esquema de estabilización

5.2. USO DE FILOSOFIA BIM (BUILDING INFORMATION MODELING).

El uso de esta filosofía ya se encuentra dentro de la gestión de los proyectos de construcción, en el Perú su uso aún está enfocado en la etapa de ejecución aunque tiene mayor impacto desde la etapa de diseño. Se empleará esta filosofía con el fin de realizar una construcción virtual para considerar en nuestro planeamiento y considerar detalles que no interrumpen la construcción.

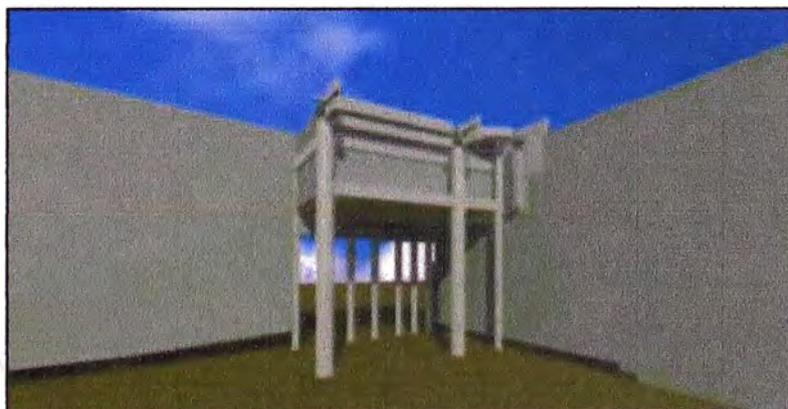


Figura 45: Sub estación y estabilización terminada en modelo

5.3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO.

El sistema de construcción Top Down en edificaciones consta de tres fases bien definidas, las dos últimas que avanzan en secuencia paralela.

Etapa de pilotes.

Etapa de excavación.

Etapa de estructura.

5.3.1. Etapa de pilotes.

La etapa de pilotes inicia con la movilización (Fig. 46) de equipo de perforación, la elección del equipo depende mucho del sistema de ejecución a realizar y a su vez el sistema se determina por las características del terreno y particularidades del proyecto.



Figura 46: Movilización de pilotera BG 28

La perforación o también llamada excavación (Fig. 47) de pilotes se hace por medio de perforadores hidráulicas con puntas de tungsteno, diamantadas o por cuchadas hidráulicas y/o mecánicas, el sistema de ejecución para este caso será el de rotación con entubación recuperable a través de una máquina perforadora tipo hélice denominada PILOTERA de marca BAUER BG 28 conteniendo las paredes de la perforación, este equipo fue elegida por la empresa ejecutora de pilotes.

El acero de refuerzo que se coloca en los pilotes es prearmado (Fig. 48) en varios cuerpos en banco para luego ser izado (Fig. 49) y colocado en la perforación realizada, por cada cuerpo colocado se colocan los empalmes necesarios para el siguiente cuerpo.



Figura 47: Perforación de pilotes tipo columna de D=1000 mm

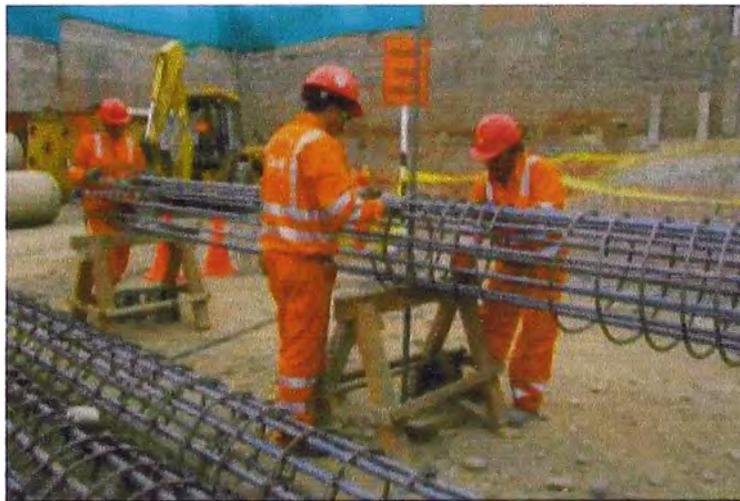


Figura 48: Pre armado de acero de refuerzo para pilotes



Figura 49: Izaje de acero para pilote y colocación de empalmes

Previamente al vaciado del concreto se debe verificar que el fondo esté libre de sedimentos e impurezas, el vaciado de concreto se realiza a través de tubos de acero de tramos acoplables de 1 a 6 metros, con uniones herméticas denominados tubos "tremie", en la parte superior de los tubos "tremie" se coloca una especie de embudo, que es por donde ingresa el concreto premezclado de $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$, cemento tipo I, piedra 67, slump > 8" (Fig.50).



Figura 50: Vaciado de concreto en el embudo del tubo "tremie"

A medida que avanza el llenado se van retirando los tubos "tremie" (Peso = 100 kg) y se van guardando ordenadamente, durante el vaciado del concreto se extrae poco a poco el encamisado metálico, siempre manteniendo una carga de concreto dentro de la última camisa (Longitud de camisa = 4.00 m) (Fig.51).

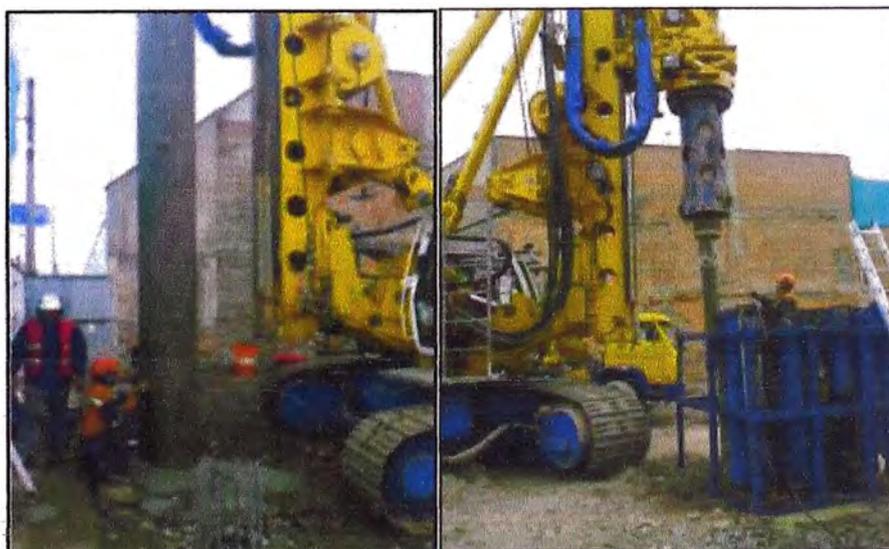


Figura 51: Extracción del encamisado metálico y tubos "tremie" ordenados

Para el anclaje de los pilotes se debe realizar una perforación diamantina con un ángulo de 15° (Fig.52) con el fin de dejar el pase necesario para realizar la inyección del anclaje, realizar el refuerzo indicado en la Fig. 43 para luego poder tensar los cables temporales al igual que en los muros anclados.

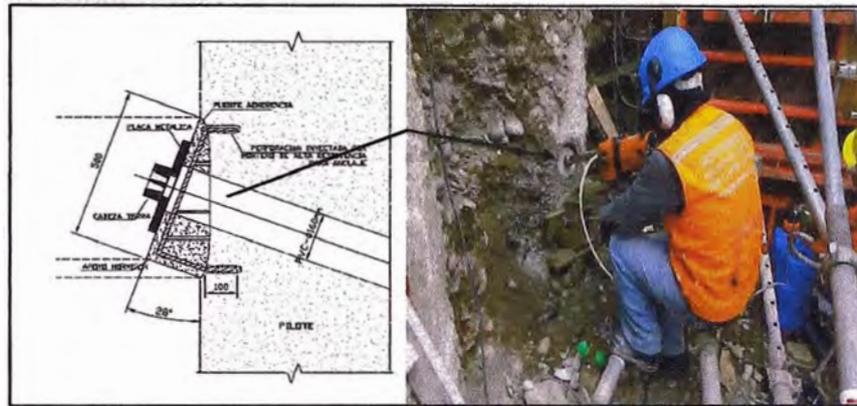


Figura 52: Perforación diamantina para pase de inyección y anclaje de pilote

5.3.2. Etapa de excavación.

Una vez ejecutado los pilotes se procede a señalar mediante capuchones el acero que continuara en los pisos superiores (Fig.53).



Figura 53: Pilotes ejecutados y señalizados

Una vez señalizados se procede a realizar la excavación mediante una excavadora sobre rueda modelo John Deere 410D (Fig.54), en el proceso de excavación se va realizando pañeteos del terreno entre pilotes, se construye el muro anclado a lado de la edificación colindante (Colegio Villa María), cuando se llegue al nivel de la línea de anclajes se procede a la perforación e inyección de los anclajes (Fig.55).



Figura 54: Excavación de área de sub estación definitiva



Figura 55: Inyección de anclajes de pilotes contraterreno

Luego de ejecutar el primer anillo (primera línea de anclajes) se continúa con la excavación (Fig.56) hasta llegar al fondo de losa que será el techo del segundo sótano.



Figura 56: Excavación en segundo anillo

5.3.3. Etapa de estructura.

En la etapa de estructura se inicia con la construcción de losa y vigas contra terreno, luego con las placas de concreto que son los muros de la sub estación definitiva (Fig. 57), posterior a la ejecución de las placas se procede a la ejecución de las vigas superiores y a la losa estructural que será el techo de la sub estación (Fig.58).



Figura 57: Losa, vigas y placas de concreto para Sub estación definitiva



Figura 58: Ejecución de losa y vigas de techo

La estructura final de la sub estación definitiva que forma parte del sótano 1 del edificio se muestra en la Fig.59.

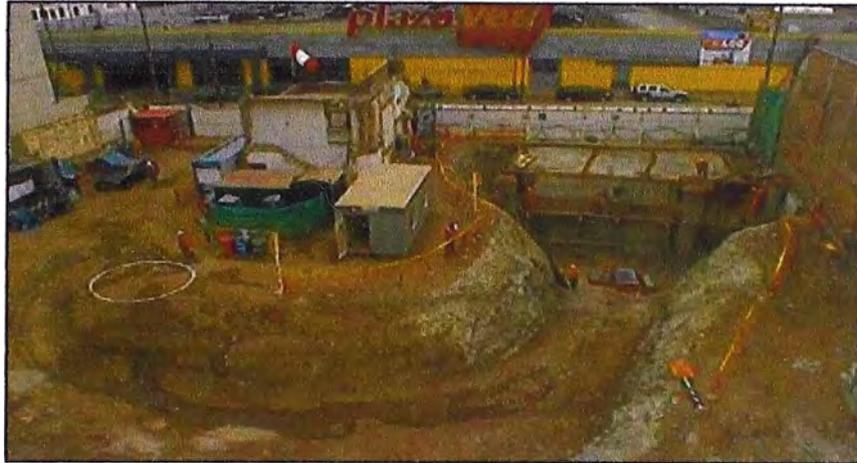


Figura 59: Estructura final de la sub estación definitiva

5.4. DEMOLICIÓN Y REUBICACIÓN DE SUB ESTACION.

Luego de tener el ambiente listo para la sub estación se hace entrega del ambiente mediante memoria descriptiva a Luz Del Sur para que inicie el acondicionamiento de sus equipos (Fig.60), el plazo de ejecución de traslado es de 15 días para luego proceder con la demolición de la sub estación antigua.

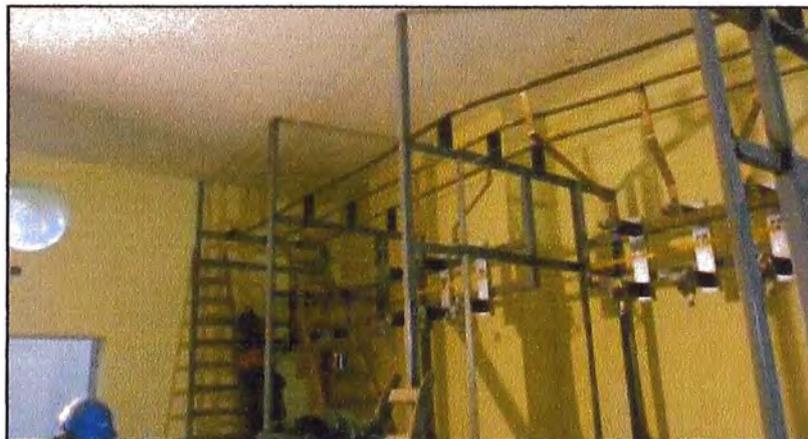


Figura 60: Equipamiento de sub estación definitiva

Luego del traslado de la sub estación se inicia el cómputo del plazo de la construcción del edificio al cumplirse este hito, la demolición se realiza en un tiempo de 2 días incluida la eliminación (Fig. 61), durante el periodo de la reubicación se pudo avanzar con la excavación desde la parte posterior del terreno.



Figura 61: Demolición de sub estación N° 41

5.5. VISUALIZACIÓN DEL CONCEPTO TOP DOWN.

Si bien el sistema Top Down es un sistema que consiste en construir en primera etapa de forma descendente, como segunda etapa en forma ascendente y por tercera la combinación paralela de las anteriores, con el planteamiento de reubicar la sub estación se llegó a realizar la primera etapa del sistema Top Down (construcción descendente) por ser un alcance puntual (Fig.62).

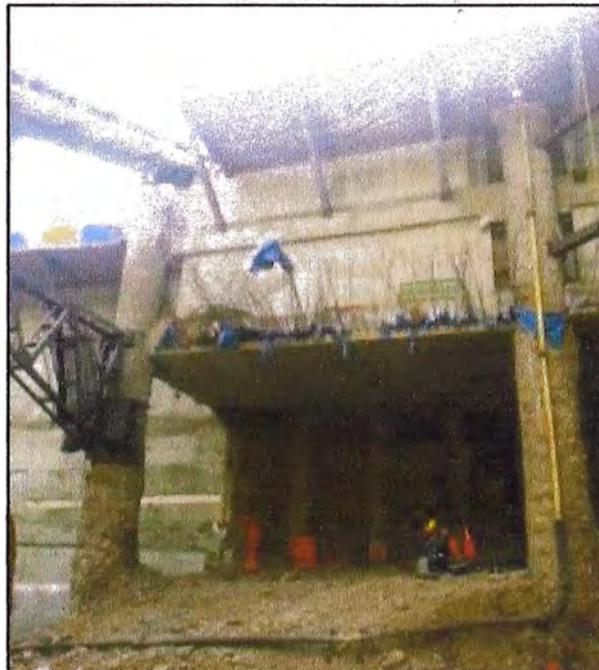


Figura 62: Sub estación construida en forma descendente

5.6. COSTO REAL DE EJECUCIÓN.

Los presupuestos y cronogramas obtenidas en el planeamiento (previos a la ejecución) vienen a ser resultados de compromiso al que apuntamos obtener como resultado final; la variación de estos resultados depende de la variación de los tarifas, cantidades de trabajo (metrados), variabilidades, rendimientos, cambio de recursos, mejoras de procesos, etc.

En el cuadro N°10 se tiene el exportado de los costos reales gastados teniendo la misma estructura que el EDT y que el presupuesto previsto, en este mismo cuadro se compara con el previsto teniendo como resultado que esta etapa del proyecto (Sub estación y sótanos) resulto ser más costoso de lo planeado, el 90% de esta diferencia se encuentra en dos partidas; la primera en que el precio unitario de excavación por metro cúbico (m3) que fue mayor al previsto y se tuvo que pagar por HM adicionales para realizar el acceso, la otra partida es la de concreto premezclado que en sus precios unitarios previstos no se consideraba los consumibles tanto para la ejecución y para reparaciones post vaciados y post encofrados. El costo obtenido es mayor de lo planeado sin embargo aún está por debajo de los otros planteamientos analizados.

Cuadro N°10.- Costo real obtenido de lo ejecutado

FRENTE / PARTIDA	MOD	MAT	EQU	SUBC	Total general	Costo Previsto
01.01 - SUBESTACIÓN	48,307.25	234,165.29	23,550.72	325,961.02	632,004.28	576,590.97
0104 - DEMOLICIÓN Y DESMONTAJE				4,498.20	4,498.20	
0301 - CONTROL DE CALIDAD			390.17	1,020.00	1,410.17	
0504 - EXCAVACIÓN MASIVA				32,639.13	32,639.13	
0507 - ANCLAJE DE MURO PANTALLA Y PILOTES				178,081.38	178,081.38	
0602 - CONCRETO PREMEZCLADO		34,310.18	2,139.49	7,777.35	44,227.02	
0606 - CONCRETO DE MURO PANTALLA Y PILOTES		58,297.92	4,130.38	8,581.67	89,010.17	
0701 - ENCOFRADO Y DESENCOFRADO		371.53	11,488.18	17,955.21	29,814.92	
0702 - ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE MURO PANTALLA	108.74	19,827.44	1,136.27	6,371.46	27,443.91	
0801 - ACERO VARILLAS	47,779.88	93,923.79	2,173.86	23,314.38	167,191.73	
1001 - ESTRUCTURA Y CARPINTERÍA METÁLICA				23,952.13	23,952.13	
1101 - MUROS DE ALBAÑILERÍA		833.00		1,096.20	1,729.20	
1301 - TARRAJEO		623.74	1,993.68	17,289.50	19,886.92	
1305 - SOLAJUEO		1,172.75	98.67	145.00	1,416.42	
1401 - ACABADO PISO DE CONCRETO				4,638.21	4,638.21	
1902 - INSTALACIONES ELÉCTRICAS	416.83	24,930.60		154.60	25,504.23	
2101 - PINTURA		94.34		2,466.20	2,560.54	
01.02 - SOTANO	665,386.01	2,183,658.11	231,892.93	1,312,389.82	4,396,228.87	4,301,825.82
0301 - CONTROL DE CALIDAD		601.43	-59.32	20,320.00	20,862.11	
0501 - PERFILADO	21,220.78	1,228.09			22,448.87	
0502 - RELLENO LOCALIZADO MANUAL	4,165.54	114.38	3,283.80	480.00	8,043.72	
0504 - EXCAVACIÓN MASIVA	19,843.51	1,039.45		424,781.24	445,644.20	
0507 - ANCLAJE DE MURO PANTALLA Y PILOTES	276.72	2,570.15	3,391.76	494,874.80	501,113.25	
0602 - CONCRETO PREMEZCLADO	34,010.24	920,000.82	17,823.48	7,531.25	979,185.77	
0606 - CONCRETO DE MURO PANTALLA Y PILOTE	14,413.57	263,436.70	6,908.31		286,758.58	
0701 - ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	229,119.14	127,280.38	165,102.02	1,975.50	523,457.02	
0702 - ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE MURO PANTALLA	53,810.23	41,210.59	18,332.81		113,353.83	
0801 - ACERO VARILLAS	244,938.45	718,081.72	8,828.92	53,250.89	1,025,099.78	
0803 - ACERO VARILLA EN MURO PANTALLA	22,840.42	102,345.52	5,138.02		130,123.96	
0902 - MONTAJE DE PRELOSAS	8,888.81	1,328.10		37,808.20	47,821.11	
0905 - PRETENSADO Y POSTENSADO	14,439.17	5,003.55	1,283.81	271,808.34	292,334.87	
Total general	716,693.26	2,417,743.40	255,443.65	1,638,350.84	5,028,211.15	4,878,416.79

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO VI: EVALUACIÓN DE ESTABILIZACIÓN CON PILOTES

6.1. DEFINICIÓN DE ACTIVIDADES DE PRODUCCIÓN.

Para poder evaluar una construcción que use pilotes excavados como sistema de estabilización en todo su perímetro se debe tomar en consideración las siguientes partidas que permitirán definir los procesos, su secuencia y su planeamiento.

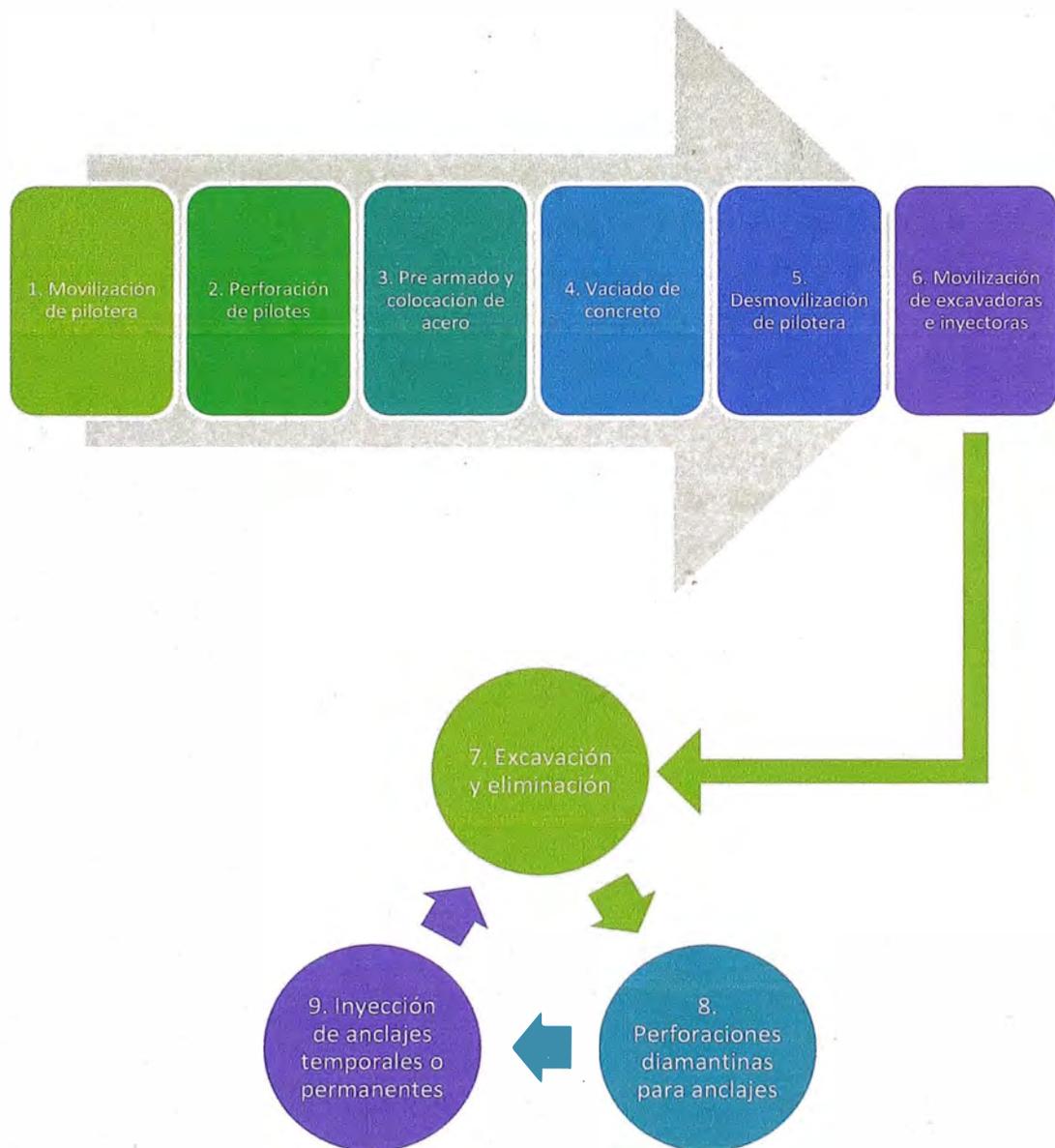


Figura 63: Proceso de actividades para estabilización con pilotes excavados

6.2. CONSIDERACIONES IMPORTANTES.

Para usar el sistema de pilotes excavados como sistema de estabilización en edificaciones y se pueda obtener las mayores ventajas que brinda este sistema debemos tomar en cuenta lo siguiente:

Si el terreno de construcción esté libre de edificaciones colindantes se puede aplicar pilotes por fuera del perímetro, si el proyecto tuviese edificaciones colindantes se debe tener en cuenta que el uso de pilotes quitará área construida entre el 5% al 8% de los sótanos.

Se podría ejecutar la estabilización y excavación a pesar que no se tenga el diseño completo del edificio, esto implicaría contar con licencia de estabilización y excavación sin embargo para el inicio de toda construcción la normativa peruana solicita el diseño completo del edificio para poder otorgar la licencia.

De acuerdo al tipo de suelo se diseña el diámetro del pilote y la separación entre estos con el fin de garantizar la estabilización.

Realizar monitoreo de ruido en el proceso de perforación de pilotes para verificar que se encuentre dentro de los rangos del área urbana en donde se ubica el proyecto.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES.

Se llegó a reubicar la sub estación dentro del plazo previsto (tiempo menor a lo planeado) pero a un costo 3% mayor a lo previsto (S/. 149,814.36) con precios del 2012.

Para los pilotes de 60 cm de diámetro se utilizó 1 mixer por pilote y para los pilotes de 100 cm de diámetro se utilizó 3 mixer con una frecuencia de 10 minutos.

El control de calidad del concreto fue el estándar, mediante protocolos de liberación y toma de muestras de probetas para ensayos de compresión.

La mejora de costos se vería reflejado en la rapidez de ejecución del proyecto aplicando el sistema Top Down.

Para la realización de un pilote, sólo se tiene que considerar una cuadrilla de acero compuesta por 4 personas, ya que no es necesario tener un encofrado (las camisas hacen la función del encofrado) y el vaciado se realiza directamente del mixer por las tuberías "tremie" de la pilotera, se podría mejorar el rendimiento pre dimensionando el acero de pilotes.

El uso del concepto Top Down como una aplicación puntual de todo el proceso que conlleva este sistema nos brinda conocer las implicancias y detalles a tomar en cuenta en los proyectos futuros que pretendan usar el sistema Top Down en su totalidad de procesos.

El mercado actual lanza proyectos más agresivos y complejos en diseño, construcción, costos de inversión y plazos que con esquemas tradicionales sería muy difícil de cumplir obligándonos a optar por nuevos sistemas.

Debido al ruido provocado por la perforación de la maquina pilotera se tuvo que realizar un monitoreo de ruido para corroborar que no sobrepase a los límites de nivel de ruido establecidos por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental Para Ruido D.S. N° 085-2003-PCM según el tipo de zona, la obra está ubicada en zona residencial teniendo como límites a 60 dB en turno diurno y 50 dB en turo nocturno, el nivel de ruido promedio registrado a 1.00 metro fue de 148.45 dB, a 3.00 metros fue de 101.7 dB y a 5.00 metros fue de 92.6 dB.

La resistencia del fuste en el pilote es debido a la longitud de 8m embebida en el suelo que sirve como cimentación del pilote, esta resistencia de fuste es de 628.3 Ton y la resistencia en punta para el pilote de 1 metro de diámetro es de 863.9 Ton.

El asentamiento calculado para una carga de diseño de 1,065.8 Ton es de 2.27cm que es menor al asentamiento máximo permisible del suelo (2.54cm) indicado en el informe de estudios de suelo.

7.2. RECOMENDACIONES.

Para proyectos que decidan optar por el sistema Top Down en su totalidad de procesos deberían mejorar el diseño de soporte de las losas sobre los pilotes, en este proyecto se trabajó mediante braquetes de concreto vaciados in situ, sin embargo al tener un proyecto completo este tipo de detalles pequeños pero dificultosos demandará gran cantidad de horas hombre (HH) para poco metraje, dando como resultado una productividad baja.

En caso se tenga como alternativa realizar una estabilización con pilotes se deberá realizar el comparativo de plazo y costo que implicaría este novedoso sistema con el sistema de muros anclados (sistema tradicional y de mayor demanda en el Perú).

El hecho de contar con toda el área del terreno como área de obras provisionales no implica dejar de hacer un Layout de obras provisionales con áreas necesarias de requerimiento.

Para aumentar la producción de pilotes diarios al obtenido en este proyecto (1.5 pilotes / día ó 35 ml al día) se deberá tener el doble juego de camisas, esto con el fin de usar el segundo juego cuando el primer juego este en proceso de limpieza, no habría problema de espacio por tener doble juego ya que se cuenta con todo el área del terreno para obras provisionales.

Se pudo haber usado muros anclados en vez de pilotes de $D=600$ mm como estabilización de la sub estación debido a que se tuvo que seguir una secuencia con la excavación, en caso fuese un sistema Top Down completo se justifica el uso de pilotes.

La mejora de costos se ve en la rapidez de ejecución del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- ALFARO FÉLIX, Omar.** Estabilización de excavaciones profundas en edificaciones,[diapositiva], Lima, Métodos de estabilización. 2008. 91p.
- CHAPPLE C. Paula.** Sistema Top Down en Mall paseo San Bernardo, BIT 65. 2009.
- CONGRESO** Chileno de sismología e ingeniería antisísmica (18a, 2005, Concepción, Chile). Entibación y socializado en excavaciones muy profundas en el centro urbano de Santiago, Santiago, Chile, PilotesTerratest, 2005. 38 p.
- PILOTES TERRATEST S.A.C.** Pilotes en proyecto Mall San Bernardo, [paper], Santiago, Aplicación del sistema Top Down, 2007. 5p.
- PILOTES TERRATEST S.A.C.** Proceso constructivo de pilotes excavados mediante pilotera rotativa, [diapositivas], Santiago, Equipo para perforación de pilotes, 2012. 31p.
- SAUCEDO SULZER, Mariano.** Aplicación de muros de pilotes en obras viales en Lima. [paper], Lima. Muros con pilotes excavados. 2011. 10p.
- KRONSA INTERNACIONAL S.A.** Construcción de cuatro sótanos para aparcamiento en C/Dr. Fleming, [paper], Cádiz, Método Ascendente – Descendente, 2008. 1p.
- PILOTES TERRATEST S.A.C.** Pilotes In Situ, [diapositivas], Madrid, Definiciones y aplicaciones de pilotes in situ, 2008. 16p.



EDIFICIO CORPORATIVO
GyM

Referencia:

PLANEAMIENTO

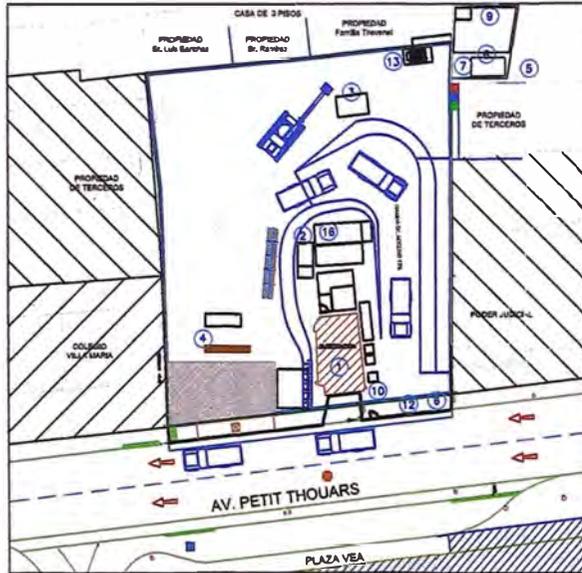
Plano:

LAYOUT DE OBRA

Fecha:

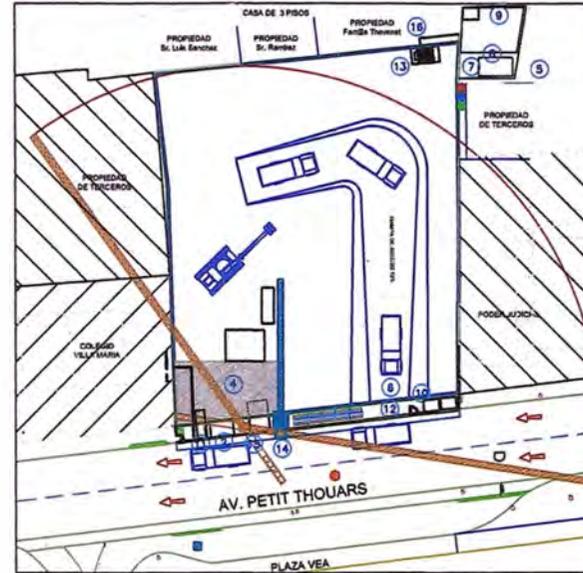
30-09-2013

L-P01

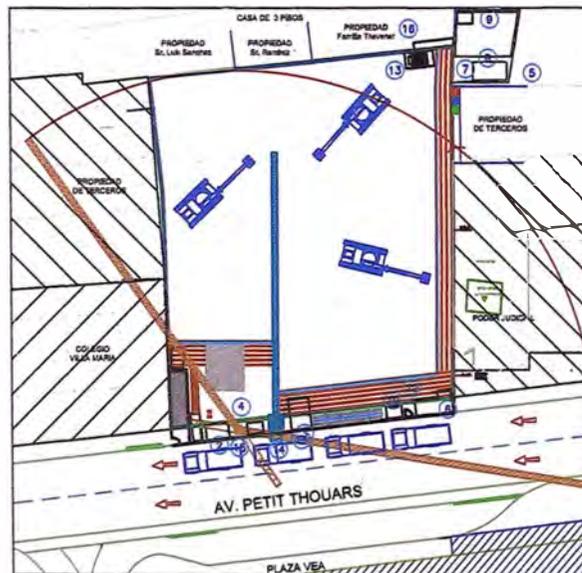


NIVEL -3.50

- LEYENDA
- 1 SUB ESTACION ELECTRICA ANTIGUA
 - 2 COMPRESORA
 - 3 INYECTORA
 - 4 BANCO DE ACERO
 - 5 VESTURARIOS
 - 6 COMEDOR
 - 7 BAÑOS
 - 8 DUCHAS
 - 9 ALMACEN
 - 10 VIGLANCIA
 - 11 GRUPO ELECTROGENO
 - 12 ACOPIO DE MATERIALES
 - 13 ESCALERAS DE ACCESO
 - 14 FAJA
 - 15 GRUA
 - 16 OFICINAS DE PRODUCCION



NIVEL -6.00



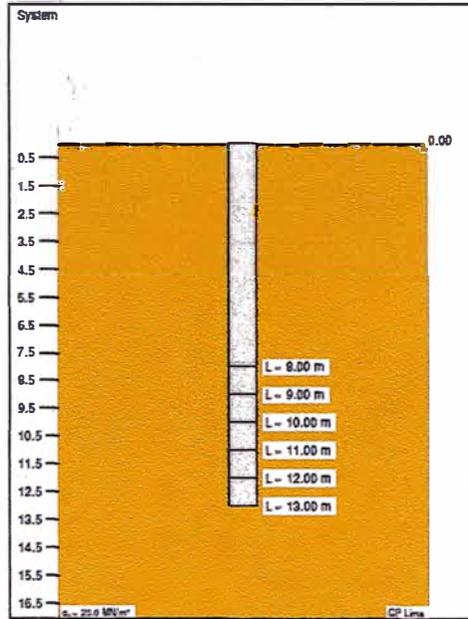
NIVEL -15.00

- LEYENDA
- 1 SUB ESTACION ELECTRICA ANTIGUA
 - 2 COMPRESORA
 - 3 INYECTORA
 - 4 BANCO DE ACERO
 - 5 VESTURARIOS
 - 6 COMEDOR
 - 7 BAÑOS
 - 8 DUCHAS
 - 9 ALMACEN
 - 10 VIGLANCIA
 - 11 GRUPO ELECTROGENO
 - 12 ACOPIO DE MATERIALES
 - 13 ESCALERAS DE ACCESO
 - 14 FAJA
 - 15 GRUA
 - 16 OFICINAS DE PRODUCCION

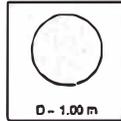


SOTANOS

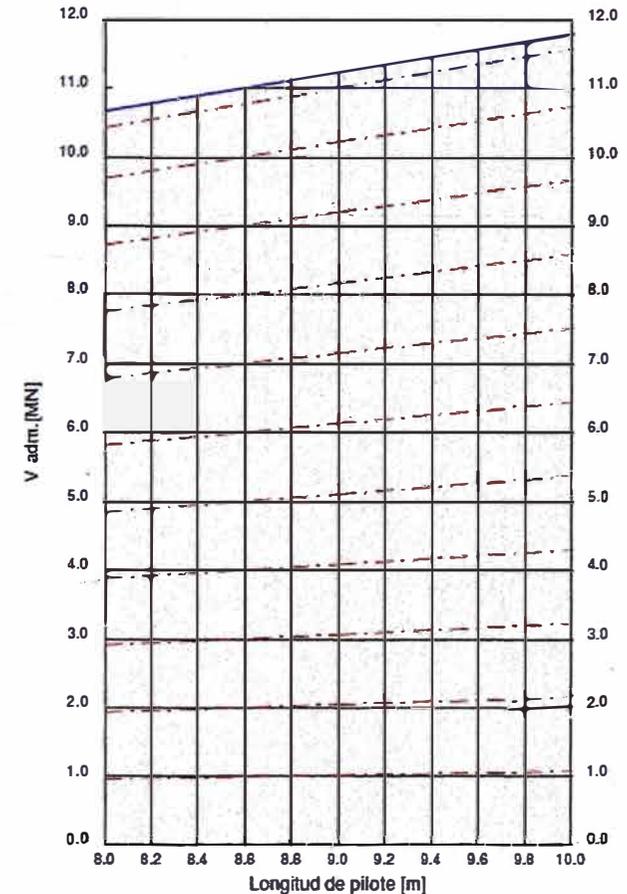
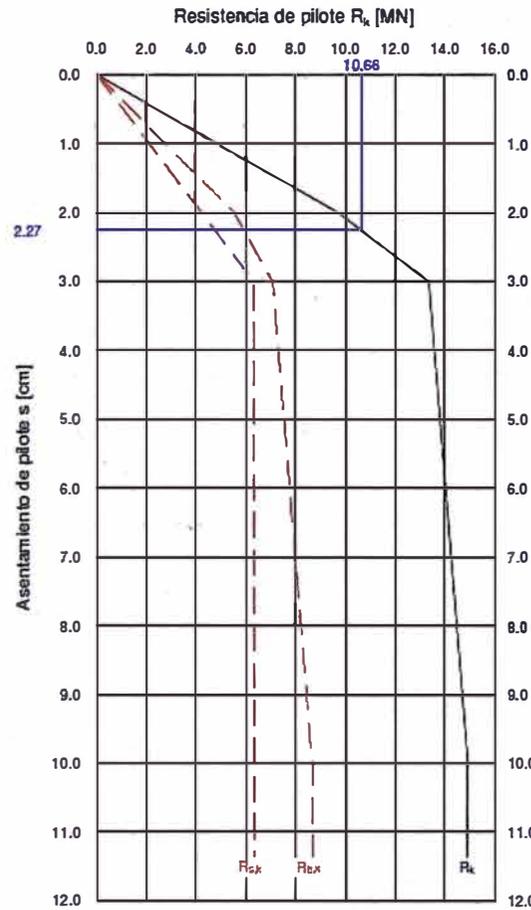
P10195 - GMD Petit Thouars



Suelo	q_c [MN/m ²]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	$q_{s,adm}$ [MN/m ²]	$q_{s,adm}$ [MN/m ²]	$q_{s,adm}$ [MN/m ²]	$q_{s,adm}$ [MN/m ²]	Designación
GP Lima	25.0	0.0	7.000	9.000	11.000	0.2500	GP Lima



Base de cálculo
 PLOTE por Punta en GP Lima
 Relación (min.. max.) = 1.00
 Interpolación de fricción lateral:
 para $q_c < 7.5$ MN/m² activado
 para $c_{u,k} < 60$ kN/m² activado
 Diámetro de pilote = 1.000 m
 $\gamma_p = 1.40$
 $\gamma_G = 1.00$
 $\gamma_Q = 1.00$
 Proporción de carga viva = 100.0 %
 Adm. V



D [m]	Longitud [m]	$R_{s,k}$ [MN]	R_b [MN]	$R_{s,k}$ [MN]	V adm. [MN]	s [cm]
1.000	8.00	14.923	10.659	10.659	10.659	2.27
1.000	9.00	15.708	11.220	11.220	11.220	2.26
1.000	10.00	16.493	11.781	11.781	11.781	2.25
1.000	11.00	17.279	12.342	12.342	12.342	2.24
1.000	12.00	18.064	12.903	12.903	12.903	2.24
1.000	13.00	18.850	13.464	13.464	13.464	2.23

$V adm. = R_{s,k} / (\gamma_p \cdot \gamma_{G,Q}) = R_{s,k} / (1.400 \cdot 1.000) = R_{s,k} / 1.40$
 Relación cargas vivas(Q)/carga total(G+Q) [-] = 1.00

COMPARAR Rd con: $E_{g,k} \times 1.35 + E_{q,k} \times 1.5$

Línea resistencia-asentamiento
 Para longitud de pilote = 8.00 m