

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“MEJORA DE LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ETAPA DE
EXCAVACIÓN EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN MEDIANTE EL USO DE
HERRAMIENTAS LEAN”**

Tesis presentada por la Bachiller:

Espinoza Taype, Lisseth Rocío

para optar el Título Profesional de

Ingeniería Civil

Asesor:

Dr. Diaz Galdos, Miguel Renato

Arequipa – Perú

2022

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA
INGENIERIA CIVIL
TITULACIÓN CON TESIS
DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 12 de Diciembre del 2021

Dictamen: 000617-C-EPIC-2021

Visto el borrador del expediente 000617, presentado por:

2010221602 - ESPINOZA TAYPE LISSETH ROCIO

Titulado:

**MEJORA DE LOS SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN EN LA ETAPA DE EXCAVACIÓN EN PROYECTOS
DE EDIFICACIÓN MEDIANTE EL USO DE HERRAMIENTAS LEAN**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**1949 - DIAZ GALDOS MIGUEL RENATO
DICTAMINADOR**



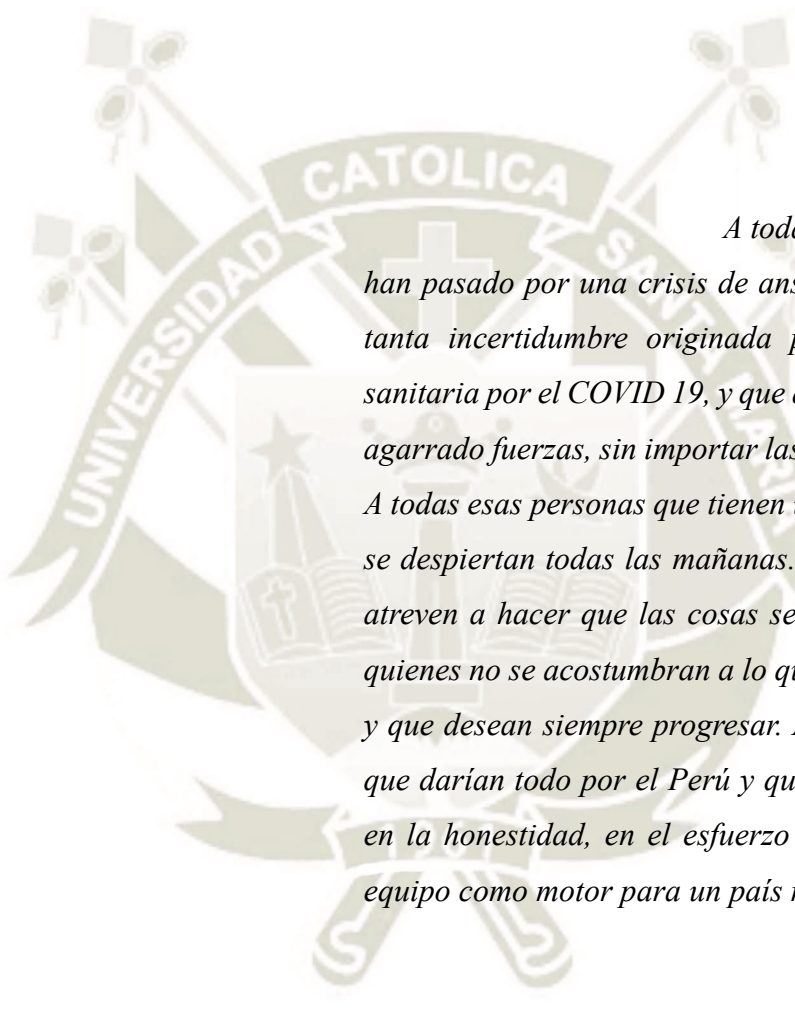
**3044 - GAMARRA TUCO RUBEN FRANCISCO
DICTAMINADOR**



**9633 - TORRES ALMIRON JENIFFER CARLA
DICTAMINADOR**



Dedicatorias



A todas las personas que han pasado por una crisis de ansiedad en medio de tanta incertidumbre originada por la emergencia sanitaria por el COVID 19, y que a pesar de ellos han agarrado fuerzas, sin importar las subidas y bajadas. A todas esas personas que tienen un sueño por el que se despiertan todas las mañanas. A todos los que se atreven a hacer que las cosas se hagan realidad, A quienes no se acostumbran a lo que no nos hace bien y que desean siempre progresar. A todos los jóvenes que darían todo por el Perú y que siguen creyendo en la honestidad, en el esfuerzo y en el trabajo en equipo como motor para un país mejor.

Agradecimiento

Mi gratitud es enorme hacia Dios quien en todo momento me ha llenado de fortaleza y ánimo para continuar; Él es un Dios de promesas y su fidelidad no cambia.

A mi mamá por ser el motor de cada sueño loco que tengo y por ser una compañera incondicional, a mi papá por siempre preguntarme por cómo va la tesis y por siempre sacarme una sonrisa con sus ocurrencias, a mi hermana por ver mis potencial y animarme a cumplir todos mis sueños, ella siempre ha sido un ejemplo para mí.

A mi querida amiga Luisa, quien a sido un alivio para mi alma en los momentos de dificultad.

Al Ingeniero Julio S., Ing. Rodrigo H., Ing. Xavier B. a quienes les tengo gran admiración por su trayectoria profesional.

A mi querido amigo Ing. Oscar Gonzales, por sus magníficas ideas y el apoyo sincero, ¡Gracias!

Agradezco infinitamente a la empresa V&V Bravo, a los ingenieros a quienes tuve el placer de conocer y hacer una linda amistad. ¡Nada de este trabajo hubiera sido posible sin ustedes!

RESUMEN

En Lima - Perú, como muchos países en vías de desarrollo, en los últimos años, existe la necesidad de crecer verticalmente, con edificaciones de 20 a 30 pisos y con sótanos de hasta 10 a 12 niveles para estacionamiento de vehículos. Esto ocurre por el déficit habitacional derivado de la población migrante. Este contexto ha hecho que las empresas constructoras aprovechen al máximo la disponibilidad de suelo y realicen edificaciones teniendo en cuenta la altura y profundidad para satisfacer esta demanda, haciendo que se creen sistemas de construcción de sótanos y excavaciones profundas, como los muros. Dicho esto, este estudio tiene como objetivo Demostrar el uso de herramientas LEAN para la mejora del sistema de construcción en la etapa de construcción de sótanos en la ejecución de un edificio en la ciudad de Lima-Perú durante la pandemia de COVID-19. El alcance de este estudio se centra en la excavación y construcción de muros anclados. El edificio en el estudio de caso tendrá nueve sótanos y 11 niveles de piso. Se aplicaron herramientas de LEAN como *Last Planner System*, *Choosing By Advanges*, *Value Stream Mapping*, entre otras, para la mejora del sistema de construcción de sótanos. Como resultado, se obtuvo una estandarización con base al número de sótanos, área, número de frontis y longitud de frontis.

Palabras claves:

Lean Construction, *Last Planner System* (LPS), *Value Stream Mapping* (VSM), *Choosing By Advantages* (CBA), excavación, construcción.

ABSTRACT

In Lima - Peru, like many developing countries, in recent years, there is a need to grow vertically, with buildings of 20 to 30 floors and with basements of up to 10 to 12 levels for parking vehicles. This occurs due to the housing deficit derived from the migrant population. This context has made construction companies take full advantage of the availability of land and build buildings taking into account the height and depth to meet this demand, creating systems for the construction of basements and deep excavations, such as walls. That said, this study aims to demonstrate the use of LEAN tools for the improvement of the construction system in the basement construction stage in the execution of a building in the city of Lima-Peru during the COVID-19 pandemic. The scope of this study is focused on the excavation and construction of anchored walls. The building in the case study will have nine basements and 11 floor levels. LEAN tools such as Last Planner System, Choosing By Advantages, Value Stream Mapping, among others, were applied to improve the basement construction system. As a result, a standardization was obtained based on the number of basements, area, number of fronts and length of fronts.

Keywords:

Lean Construction, Last Planner System, Value Stream Mapping (VSM), Choosing By Advantages (CBA), excavation, building construction.

INDICE

DICTAMEN APROBATORIO

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

ÍNDICES

ÍNDICES DE TABLAS

ÍNDICES DE FIGURAS

1. CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	3
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.5. ALCANCES.....	5
1.6. HIPOTESIS	5
1.7. VARIABLES	5
1.8. ANTECEDENTES	5
1.9. TIPO DE INVESTIGACION	6
1.10. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN	6
1.11. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN	9
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. <i>LEAN CONSTRUCTION</i> (LC).....	12
2.1.1. Antecedentes.....	12
2.1.2. Principios de <i>Lean Construction</i>	13
2.1.3. Desperdicios en la construcción según <i>Lean Construction</i>	15
2.2. HERRAMIENTAS DE <i>LEAN CONSTRUCTION</i>	17
2.2.1. <i>Last Planner System</i> (LPS).....	17
2.2.2. Programación maestra.....	19
2.2.3. <i>Pull Planning</i>	19
2.2.4. Recomendaciones para facilitar <i>Pull Planning</i>	20
2.2.5. Programación de fases	21
2.2.6. <i>Lookahead</i>	22
2.2.7. Planificación semanal	22
2.2.8. <i>Value Stream Mapping</i> (VSM)	23
2.2.9. Cadena de Valor.....	24

2.2.10.	Nivel General de actividad (NGA).....	27
2.2.11.	Carta balance (CB).....	28
2.2.12.	<i>Choosing By Advantages</i> (CBA).....	29
2.2.13.	Beneficios de CBA.....	31
2.3.	EXCAVACIONES	32
2.4.	CONSTRUCCIÓN DE SÓTANOS.....	34
2.4.1.	Procedimientos para construcción de sótanos	35
2.5.	PROCEDIMIENTOS PARA EXCAVACIONES PROFUNDAS.....	35
2.5.1.	Conformación de rampas	36
2.5.2.	Método de pasamanos con el uso de banquetta o montículo.....	36
2.5.3.	Método pasamanos con conformación de plataforma.....	37
2.5.4.	Uso de faja transportadora	38
2.5.5.	Uso de Grúa y baldes basculantes	39
2.5.6.	Sistema de izaje vertical o faja vertical.....	40
2.6.	Protocolo COVID-19.....	40
3.	CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	42
3.1.	ETAPA 1: Análisis de los diferentes procedimientos existentes para eliminación de material:.....	43
3.2.	ETAPA 2: Mejora del sistema de construcción con LEAN.....	44
3.2.1.	Identificación del valor	44
3.2.2.	Nivel de actividad y Cartas Balance	46
3.2.3.	Flujo de Trabajo con <i>Last Planner System</i> (LPS)	47
3.2.4.	Decisión de alternativas con el <i>Choosing by Advantages</i> (CBA)	48
3.3.	ETAPA 3: Estandarización de Datos.....	48
4.	CAPITULO IV: REVISIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	49
4.1.	PROYECTO: CAMINO REAL.....	50
4.1.1.	Características de la excavación.....	51
4.1.2.	Estructuras existentes.....	52
4.1.3.	Reinicio de Obra.....	54
4.1.4.	<i>Layout</i> de Obra y Obras provisionales.....	55
4.1.5.	Muros anclados.....	57
4.1.6.	Ingeniería de los muros anclados	58
4.1.7.	Partes de los muros anclados	58
4.1.8.	Longitud de los anclajes.....	59
4.1.9.	Diagrama aparte de presión de tierra en muros anclados	59
4.1.10.	Presión en los anclajes	60
4.1.11.	Fuerza en los anclajes	61

4.1.12.	Suelos	61
4.1.13.	Cálculo de estabilidad	62
4.1.14.	Análisis y diseño estructural de muros anclados	65
4.1.15.	Análisis del diseño de los muros anclados del proyecto Camino Real	67
4.1.16.	Procesos constructivos	78
4.1.17.	Indicadores de productividad.....	78
4.1.18.	Análisis de Cuello de botella	78
4.1.19.	Análisis de Cuello de botella/Sin mejoras incluidas	79
5.	CAPITULO V: APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN	82
5.1.1.	Escenarios de para la Aplicación de VSM.....	84
5.1.2.	Escenario Actual – Método bloques de concreto para el sostenimiento del encofrado – VSM 1	85
5.1.3.	Mapa del estado Futuro 1 – Método Muros enterrados – VSM 2	104
5.1.4.	Escenario futuro 2 – Método de <i>Shotcrete</i> VSM3.....	110
5.1.5.	Análisis de los escenarios del VSM 1, VSM 2 y VSM 3.....	116
5.1.6.	Reducción de <i>Lead Time</i> (LT) en sistema de construcción de sótanos mediante escenarios con el uso de VSM	117
5.1.7.	Análisis Comparativo de los costos entre los escenarios VSM 2 y VSM 3	118
5.2.	Cronograma optimizado con <i>Last Planner System</i> (LPS).....	120
5.2.1.	Plan Maestro	121
5.2.2.	Plan de fases	122
5.2.3.	<i>Pull Planning</i>	122
5.2.4.	<i>Lookahead Planning</i>	124
5.2.5.	Perforación:.....	124
5.2.6.	Etapas de Perforación	125
5.2.7.	Etapas de instalación de Acero, encofrado y vaciado.....	125
5.2.8.	Eliminación de Material.....	125
5.2.9.	Análisis de Restricciones	126
5.2.10.	Plan semanal	128
5.2.11.	Plan Diario	130
5.2.12.	Nivel General de Actividad (NGA).....	132
5.2.13.	Carta balance (CB)	135
5.3.	Procedimientos para excavaciones profundas.....	144
5.3.1.	Método de Rampa	145
5.3.2.	Método pasamanos con banquetas o montículo.....	145
5.3.3.	Método pasamanos con plataforma.....	145
5.3.4.	Decidir la mejor alternativa	146

5.3.5.	<i>Choosing By Advantages (CBA)</i>	146
5.3.6.	Objeto de la decisión.....	147
5.3.7.	Selección del panel de expertos.....	148
5.3.8.	Aplicación CBA	148
5.3.9.	Implementación de la alternativa	153
5.3.10.	Eliminación por el método de faja transportadora empotrada.....	154
5.3.11.	Eliminación por el método de Grúa balde	154
5.3.12.	Resumen del control de la eliminación de acuerdo al tipo de metodología 155	
5.3.13.	Análisis del cuello de botella incluyendo mejoras	155
5.3.14.	Resumen del volumen eliminado por anillo	158
5.3.15.	Resumen del volumen eliminado al mes	158
5.3.16.	Presupuesto de la etapa de eliminación de material.....	160
6.	CAPITULO VI: ESTANDARIZACIÓN DE DATOS	162
6.1.	Sistema de construcción de sótanos con mejoras	163
6.2.	Particularidades de las edificaciones	163
6.2.1.	Análisis de Factores	165
6.2.2.	Resumen de procedimientos para eliminación de material	167
6.2.3.	Coeficientes de Rendimiento.....	170
6.2.4.	Ponderación de Métodos.....	170
6.3.	Estandarización de datos	171
6.3.1.	Puntos a tomar en cuenta para una mejora continua	178
6.3.2.	Condiciones ideales para la construcción de sótanos.....	178
7.	CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	179
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	187
	ANEXOS.....	194

Índice de tablas

TABLA 1	<i>Características del estudio de caso</i>	7
TABLA 2	<i>Principios y sus características de lean construction</i>	13
TABLA 3	<i>Iconos para el desarrollo del value stream mapping</i>	26
TABLA 4	<i>Identificación de trabajos productivos, contributorios y no contributorios</i>	28
TABLA 5	<i>Características del estudio de caso en estudio</i>	43
TABLA 6	<i>Plan de control de calidad y plan de seguridad</i>	45
TABLA 7	<i>Secuencia de actividades para la realización del NGA</i>	47
TABLA 9	<i>Datos para el diseño de muros anclados para el edificio camino real (9 sótanos)</i>	67
TABLA 10	<i>Verificación de esfuerzos</i>	69
TABLA 11	<i>Diseño por punzonamiento</i>	70
TABLA 12	<i>Resumen de diseño por flexión por tensado del muro</i>	71
TABLA 13	<i>Cuadro de armaduras adicionales</i>	71
TABLA 14	<i>Longitud de los cables</i>	74
TABLA 15	<i>Características de los anclajes provisionales</i>	75
TABLA 16	<i>Identificación de cuellos de botella</i>	79
TABLA 17	<i>Definición resumida de los diferentes escenarios y su respectivo VSM</i>	84
TABLA 18	<i>Resumen de la mejora en el sistema de construcción de sótanos mediante escenarios con el uso de VSM</i>	117
TABLA 19	<i>Calculo del volumen promedio de un muro anclado</i>	118
TABLA 20	<i>Costo del sistema de muros enterrados</i>	119
TABLA 21	<i>Costo del sistema de muros con shotcrete</i>	120
TABLA 22	<i>Ahorro propuesto con el uso de sistema de muros con shotcrete</i>	120
TABLA 23	<i>Miembros del involucrados en el plan de fases</i>	122
TABLA 24	<i>Clasificación del trabajo obra camino real</i>	132
TABLA 25	<i>Toma de datos del nga, obra camino real</i>	133
TABLA 26	<i>Sistemas de excavación utilizado en la obra camino real</i>	145
TABLA 27	<i>Factor y criterios y cuales ayudan a cumplir el protocolo covid-19 (x)</i>	149
TABLA 28	<i>Análisis de CBA</i>	151

TABLA 30 <i>Control de la cantidad del material eliminado por anillos</i>	158
TABLA 31 <i>Resumen del volumen total eliminado</i>	159
TABLA 33 <i>Particularidades de los proyectos de edificación</i>	164
TABLA 34 <i>Análisis de acuerdo al número de sótanos</i>	165
TABLA 35 <i>Análisis de acuerdo al área de terreno</i>	166
TABLA 36 <i>Análisis de acuerdo al número de frontis</i>	166
TABLA 37 <i>Análisis de acuerdo a la distancia del frontis</i>	167
TABLA 38 <i>Resumen de procedimientos para eliminación de material</i>	168
TABLA 39 <i>Coeficientes de rendimiento</i>	170
TABLA 40 <i>Ponderación de los métodos usados en el sistema de construcción de sótanos</i>	171
TABLA 41 <i>Estandarización en relación al nivel de anillo</i>	174
TABLA 42 <i>Estandarización en relación al área de terreno</i>	175
TABLA 43 <i>Estandarización en relación a la longitud de frente del terreno</i>	176

Índice de Figuras

<i>Figura 1.</i> Características del estudio de caso	7
<i>Figura 2.</i> Estructura de la investigación	9
<i>Figura 3.</i> Sistema de muros anclados	33
<i>Figura 4.</i> Eliminación por el método de pasamanos con el uso de banqueta o montículo	37
<i>Figura 5.</i> Eliminación por el método pasamanos con conformación de plataforma ..	38
<i>Figura 6.</i> Eliminación por faja transportadora sin anclar en muros	39
<i>Figura 7.</i> Eliminación con el uso de grúa y baldes basculantes	40
<i>Figura 8.</i> Adaptación de la propuesta de ciclo de optimización para proyectos de construcción de Cabrera y Li (2014)	46
<i>Figura 9.</i> Protocolo adoptado para la aplicación de CBA	48
<i>Figura 10.</i> Ubicación del proyecto camino real	50
<i>Figura 11.</i> Vista de la excavación profunda de hasta 30.55 m, con un área de terreno de 1,487.65 m ²	51
<i>Figura 12.</i> Vista del frontis de camino real	51
<i>Figura 13.</i> Vista en planta de la obra camino real	52
<i>Figura 14.</i> Edificaciones existentes que pertenecían al terreno del proyecto camino real	52
<i>Figura 15.</i> Vista de la propiedad del vecino lado izquierdo, adyacente al eje 1-1 del proyecto	53
<i>Figura 16.</i> Vista de la propiedad del vecino lado posterior, adyacente al eje g-g del proyecto	53
<i>Figura 17.</i> Vista de la propiedad del vecino lado derecho, adyacente al eje 6-6 del proyecto	54
<i>Figura 18.</i> Layout del proyecto camino real, considerando áreas para el cumplimiento del protocolo covid-19.....	56
<i>Figura 19.</i> Charlas de seguridad con el cumplimiento del distanciamiento de 1.5m.56	
<i>Figura 20.</i> Comedor con la distribución de los asientos con el distanciamiento de 1.5m	57
<i>Figura 21.</i> Esquema de muro anclado con partes.....	58
<i>Figura 22.</i> Separación de horizontal y vertical de los anclajes	59
<i>Figura 23.</i> Longitud del bulbo.....	59

<i>Figura 24.</i> (a) Diagrama aparente de presión de tierra en muros anclados en suelos con arcillas duras fisuradas, (b) Diagrama de presión de tierra en muros anclados	60
<i>Figura 25.</i> Transformación de carga de presión total de tierra en diagrama aparente de presión para muros anclados	60
<i>Figura 26.</i> Fuerza en los anclajes para un solo anclaje	61
<i>Figura 27.</i> Fuerza en los anclajes para varios anclajes.....	61
<i>Figura 28.</i> Modelo inicial, un solo muro.....	65
<i>Figura 29.</i> Segundo modelo, muros continuos.....	66
<i>Figura 30.</i> Tercer modelo, modelo de los muros con toda la profundidad existente .	67
<i>Figura 31.</i> Modelo con un paño solo	68
<i>Figura 32.</i> Modelo de dos paños continuos.....	69
<i>Figura 33.</i> Momentos flectores en la dirección horizontal y vertical del muro anclado	70
<i>Figura 34.</i> Detalle de refuerzo adicional en zona alrededor del anclaje	72
<i>Figura 35.</i> Detalle de refuerzo adicional en zona alrededor del anclaje	73
<i>Figura 36.</i> Muestra la variación del cuello de botella siguiendo el sistema constructivo tradicional.....	81
<i>Figura 37.</i> Mapa del estado actual VSM1	86
<i>Figura 38.</i> Formación o ejecución de la banqueta de seguridad para perforación.....	88
<i>Figura 39.</i> Perforación, colocación de cables e inyección de grout	89
<i>Figura 40.</i> Limpieza de rebada de concreto sucio luego de la instalación de la malla de acero	89
<i>Figura 41.</i> Encuentro con empalme de barras de acero	90
<i>Figura 42.</i> Excavado de dos paños consecutivos con maquinaria	91
<i>Figura 43.</i> Perfilado del paño o excavado manual	92
<i>Figura 44.</i> Distribución de la lechada de concreto	92
<i>Figura 45.</i> Habilitación de andamio	93
<i>Figura 46.</i> Instalación de la malla de acero.....	94
<i>Figura 47.</i> Instalación de la malla de acero paño en esquina	94
<i>Figura 48.</i> Banco de acero.....	95
<i>Figura 49.</i> Colocación de tecnopor	96
<i>Figura 50.</i> Colocación de tubo para el anclaje	96

<i>Figura 51.</i> Colocación de superficie para encofrado.....	97
<i>Figura 52.</i> Preparación y traslado de encofrado con paneles fenólicos	98
<i>Figura 53.</i> Encofrado con paneles fenólicos	98
<i>Figura 54.</i> Encofrado con paneles fenólicos de paños de esquina	99
<i>Figura 55.</i> Vaciado con ayuda de la cachimba	101
<i>Figura 56.</i> Instalación de mangueras para vaciado	102
<i>Figura 57.</i> Resanes	103
<i>Figura 58.</i> Escenario futuro 1 – método pachamanca	106
<i>Figura 59.</i> Barreta de concreto con punta metálica	107
<i>Figura 60.</i> Perfilado de muro con barreta de concreto con punta metálica.....	107
<i>Figura 61.</i> Desenterrado de muro	109
<i>Figura 62.</i> Tubos de PVC rellenos de concreto	109
<i>Figura 63.</i> Escenario futuro 2 – método concreto lanzado - shotcrete.....	113
<i>Figura 64.</i> Armado de encofrado lateral – método shotcrete	114
<i>Figura 65.</i> Colocación de tecnopor	115
<i>Figura 66.</i> Izquierda, lanzado de shotcrete; derecha, lanzado de shotcrete desde el andamio.....	116
<i>Figura 67.</i> Sesión pull planning	123
<i>Figura 68.</i> Planificación de las 4 semanas	127
<i>Figura 69.</i> Planificación semanal	129
<i>Figura 70.</i> Planificación diaria	131
<i>Figura 71.</i> Distribución del tiempo, obra camino real	133
<i>Figura 72.</i> distribución de los tiempos no contributivos, obra camino real.....	134
<i>Figura 73.</i> Formato de carta balance de la actividad de perfilado manual y con maquinaria	137
<i>Figura 74.</i> (e) Distribución del tiempo y (f) grafico de pareto – actividad de perfilado manual y con maquinaria	138
<i>Figura 75.</i> Formato de carta balance de la actividad de habilitación e instalación de acero.....	140
<i>Figura 76.</i> (e) Distribución del tiempo y (f) grafico de pareto – actividad de habilitación e instalación de acero	141
<i>Figura 77.</i> Formato de carta balance de la actividad de encofrado	143
<i>Figura 78.</i> (e) Distribución del tiempo y (f) grafico de pareto – actividad de	

encofrado	144
<i>Figura 79.</i> Conjunto de material a eliminar que dificulta la ejecución de muros anclados	148
<i>Figura 80.</i> Alternativas para la eliminación de material para los anillos 7, 8 y 9; a: faja inclinada empotrada en muros; b: faja inclinada; c: izaje vertical o faja vertical	149
<i>Figura 81.</i> Alternativa de costos	152
<i>Figura 82.</i> Funcionamiento del método faja transportadora y grúa balde.....	154
<i>Figura 83.</i> Comparación del cuello de botella sin mejoras y con mejoras en el sistema constructivo de sótanos	156
<i>Figura 84.</i> Comparación del cuello de botella sin mejoras y con mejoras en el sistema constructivo de sótanos	157
<i>Figura 85.</i> Grafico del control de eliminación	160
<i>Figura 86.</i> Opciones de maquinaria a ser utilizada para una mejorar en el sistema de construcción de sótanos	177



1. CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Como consecuencia del incremento poblacional surge la construcción de grandes proyectos destinados para vivienda, siendo estos edificios de gran altura y con mayor número de sótanos cada vez más, los cuales son destinados para estacionamiento o para otros usos. Además, la construcción de sótanos, es una de las partidas con mayor relevancia dentro de la construcción de edificios, ya que conlleva actividades de movimiento de tierras que tienen gran porcentaje de incidencia, principalmente en el plazo de obra y en consecuencia en el costo de la obra. Así como actividades de perforación y tensado de muros y la construcción de muros propiamente dicha.

Sin embargo, estas actividades muchas veces traen consigo grandes desperdicios, principalmente de tiempo, sobre todo cuando la profundidad de excavación es cada vez mayor. Una de las razones es que la eliminación de material excedente, producto de las excavaciones va perdiendo velocidad a mayor profundidad, y este recae en la baja productividad.

En ese sentido en los proyectos que requieran excavaciones profundas es necesario la aplicación de nuevos sistemas de construcción para la eliminación del material, tales como la aplicación de métodos que ya existen en la industria:

- ✓ Faja transportadora,
- ✓ Grúas torre
- ✓ Conformación de rampas,
- ✓ Conformación de banquetas,
- ✓ Método del pasamanos con banquetas,
- ✓ Método de cuchara a cuchara,
- ✓ Baldes basculantes,
- ✓ Método de izaje vertical.

Sin embargo, pese a la existencia de estos métodos no existe una estandarización, o una recomendación sobre qué sistema de construcción seguir de acuerdo al tipo de

proyecto. Por ende, tampoco se ha visto la forma de mejorar estos sistemas de construcción existentes.

1.2.PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

Con base en el problema identificado, surge la siguiente pregunta de investigación: **¿El uso de las herramientas LEAN en los sistemas de construcción en la etapa de construcción de sótanos en proyectos de edificación, permitirá una mejora en la producción?**

Y como sub preguntas tenemos: **¿Cómo mejorar el flujo de trabajo? ¿Cómo reducir las actividades no productivas en el sistema de construcción de sótanos?**

1.3.JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

En los últimos años en Lima-Perú existe la necesidad de crecer de forma vertical, con edificios de alturas promedio de 20 a 30 pisos, y con sótanos de hasta 10 a 12 niveles para estacionamiento de vehículos. Sin embargo, estos edificios son construidos usualmente en áreas de terreno estrechas y con construcciones en los costados. Es así que nace los sistemas de construcción de sótanos y excavaciones profundas.

La construcción de los muros perimetrales o muros de sótanos tiene ciertas características. Pero primero es importante destacar el tipo de suelo predominantes en la ciudad de Lima es de tipo conglomerado de arrastre aluvial, el cual presenta una elevada compacidad y resistencia, además que no existe nivel freático. Características que benefician a la estabilidad del terreno a la hora de excavar.

Beneficiando así la estabilidad del terreno a excavar, tomando como base esas condiciones, el sistema constructivo habitual para estabilizar taludes a la hora de construir sótanos profundos, es el denominado muro anclado o también mal conocido como muro pantalla (debido a que este sistema es totalmente diferente). Este sistema consiste en el diseño de paños de concreto armado de dimensiones aproximadas de 5x3 m, los cuales son retenidos a través de un anclaje provisional hacia el interior de los terrenos vecinos. Este sistema es mucho más económico y manejable en espacios reducidos como es este caso. Cabe resaltar que, en comparación con el sistema constructivo con base a calzaduras, el sistema de muro anclado presenta menos riesgos

asociados a la estabilidad del terreno de los vecinos del proyecto.

Esta investigación se justifica por su importancia, al mejorar los procedimientos de excavación en la construcción de sótanos, para luego pueda ser usado en proyectos de edificación de acuerdo a su tipología. En vista que no existe alguna norma técnica peruana a parte de la Norma N-50 (MVCS, 2018), la cual se basa únicamente en el tipo de sostenimiento de excavaciones a utilizar, pero no brinda información sobre el proceso constructivo de muros anclados o los métodos de eliminación de material a emplear en excavaciones profundas. Es el motivo por el que hasta el momento los constructores, tanto ingenieros, maestros, capataces y obreros se basan únicamente en el empirismo.

Así también esta investigación encuentra una solución a una problemática que incide en la productividad y por ende en el costo del proyecto. Del mismo modo su justificación social incide en la menor exposición al peligro que conlleva la construcción de sótanos y el movimiento de tierras.

1.4.OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Mejorar el sistema de construcción de sótano en proyectos de edificación con el uso de herramientas LEAN

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Analizar y definir los procedimientos de excavación existentes para la construcción de sótanos.
- b) Demostrar cuales métodos de eliminación de material es adecuado dependiendo de la tipología del proyecto.
- c) Aplicar las herramientas de LEAN para optimizar los procedimientos de excavación. VSM para mejorar el sistema constructivo de sótanos en su etapa de ejecución. LPS para una planificación anticipada y CBA para la elección de la mejor alternativa para la eliminación de material.

1.5.ALCANCES

El caso de estudio trata sobre la construcción de nueve sótanos en un edificio de gran altura ubicado en la ciudad de Lima - Perú durante la pandemia de COVID-19. El alcance de este estudio se centra en la excavación y construcción de muros anclados.

1.6.HIPOTESIS

El uso de las herramientas *LEAN* mejora el sistema de construcción en la etapa de construcción de sótanos en proyectos de edificación.

1.7.VARIABLES

El uso de las herramientas *LEAN* en la etapa de construcción de sótanos en proyectos de edificación.

6.1. Variables dependientes

La mejora del sistema de construcción de sótanos

1.8.ANTECEDENTES

En respuesta a los problemas expuestos anteriormente, se han realizados distintos estudios de ingeniería para una mejor gestión y producción en proyectos de edificación con excavaciones profundas. Viéndose que la tendencia a la construcción de sótanos es creciente, se han ido aplicando nuevas herramientas, técnicas y metodologías. A continuación, se menciona algunas de las investigaciones que se han realizado a nivel nacional a lo largo de los últimos años en relación a las excavaciones profundas y a la ejecución de muros anclados para la construcción de sótanos.

En el año 2013 un estudio hecho por la Universidad Peruana de Ciencias (UPC), por Sosa y Cribillero (2013), quienes realizaron una investigación aplicada, denominada: “Propuesta de guía base para el seguimiento y control del proceso constructivo de muros pantalla utilizando la guía PMBOK, aplicado en la construcción de edificaciones varias en el departamento de lima – Perú”. En donde se elaboró una guía base de seguimiento y control del proceso constructivo de muros anclados, con base a los lineamientos establecidos en la Guía de los Fundamentos de la Dirección de Proyectos del PMI.

Otra de las investigaciones fue la de Santos (2017), quien mediante una investigación titulada “Aplicación del método de izaje en la eliminación de material excedente para mejorar la productividad en los procesos de excavación en sótanos para edificaciones en la ciudad de Lima – 2017” tuvo el objetivo de determinar que con la aplicación del método mecánico de izaje en la eliminación de material. El resultado de esta investigación fue la mejora de la productividad en los procesos de excavaciones. Mostrando que el sistema de izaje vertical en la eliminación de material excedente tiene un mejor comportamiento frente al sistema de faja transportadora.

En otro de los estudios hecho por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) por Carbajal y Bermudez (2017), se ha utilizado la herramienta *First Run Study* de *Lean Construction*, en una investigación titulada: “*First Run Study* y Optimización de Procesos en la Construcción de muros anclados”, en donde se analiza los procesos constructivos de muros anclados y el uso de encofrados metálicos. Adicionalmente en este estudio se verifica el desempeño de una cuadrilla típica de encofrado de muros anclados y se optimiza con el uso de las herramientas *First Run Study* y cartas balance.

Mientras que, en el proceso de excavaciones, Guio y Cayllahua (2019) en una investigación hecha por la Universidad Peruana de Ciencias (UPC) denominada: “Análisis de los métodos de eliminación de material para construcción de sótanos en Proyectos que presentan suelo granular en Lima Metropolitana”, se analizó la importancia que tienen las metodologías de excavación. Analizando 4 estudios de caso en su proceso de eliminación de material para la construcción de sótanos.

1.9. TIPO DE INVESTIGACION

El tipo de investigación que se uso es de tipo aplicativa, ya que aplica nuevos conocimientos y tiene objetivos prácticos y determinados. Así mismo el nivel de exploración es de tipo descriptivo, ya que se describe una realidad en el proceso de la actividad seleccionada.

1.10. METODOLOGIA DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo experimental con base a los procedimientos técnicos utilizados (Gil, 2002). La investigación tiene 3 etapas:

ETAPA 1: Análisis de los diferentes procedimientos existentes para eliminación de material

En esta etapa el objetivo es conocer los procedimientos para la eliminación de material en las excavaciones de acuerdo a la tipología del proyecto.

ETAPA 2: Mejora del sistema de construcción con LEAN

El caso de estudio donde se realizará las mejoras con LEAN, se trata de la construcción de una edificación de gran altura, y con nueve sótanos, ubicado en la ciudad de Lima – Perú, ejecutado durante la pandemia de COVID-19. A continuación, se detalla las características del estudio de caso (Tabla 1, Figura 1).

Tabla 1
Características del estudio de caso

#	Estudio de Caso	Ubicación	Área	Sótanos/ Numero de Anillos	Pisos	Frente	Profundidad de excavación	Posición
1	Camino Real	San Isidro	1480 m2	9	14	41m	30m	Entre casas

Fuente: Autoría Propia

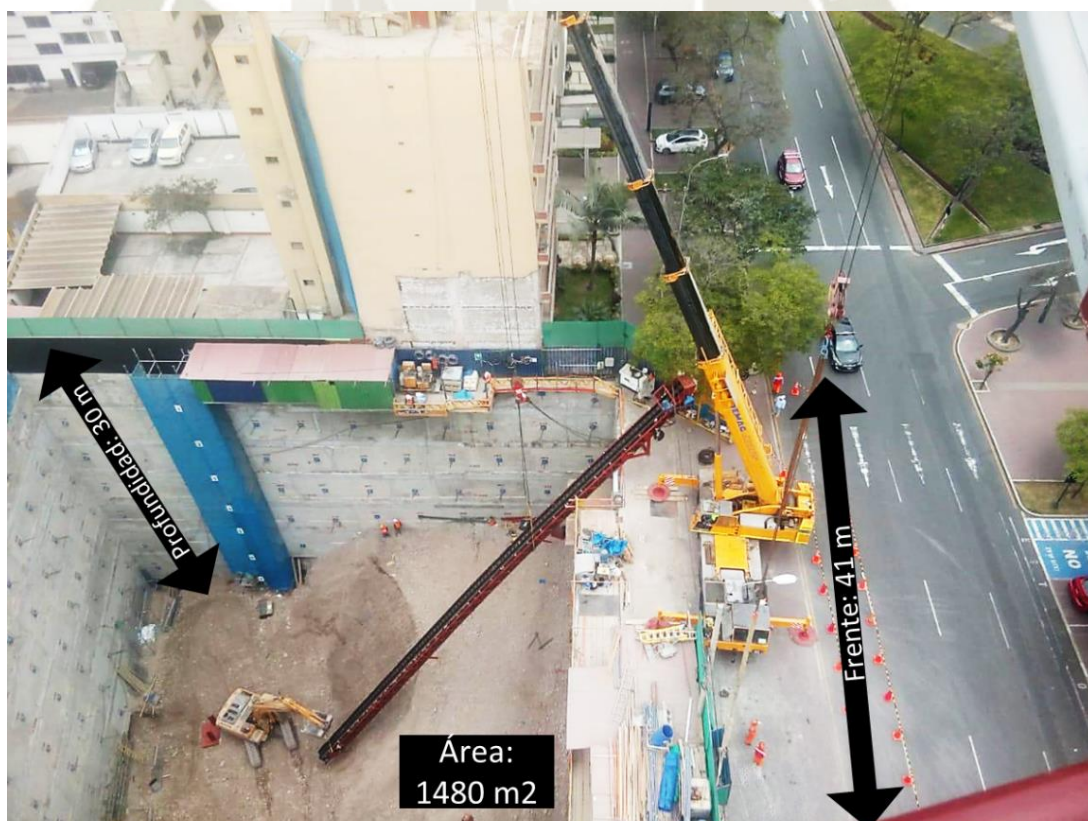


Figura 1. Características del estudio de caso

Así mismo se propone estudiar los procesos constructivos en todos los niveles de

sótanos, con la finalidad de identificar qué sistema de construcción es el más adecuado para la construcción de sótanos, considerando factores y características mencionadas en la tabla anterior.

a. Identificación del valor

A través de herramientas como VSM se pretende analizar y mejorar el sistema de construcción, identificando actividades que generan valor y las que no generan valor desde el inicio del proceso hasta la entrega al cliente.

Las herramientas de Carta balance y el nivel de actividad se utilizarán para reconocer los tiempos de Contributarios, no contributarios, y los tiempos productivos en cuadrillas específicas y a nivel general de la obra, respectivamente.

b. Flujo de Trabajo con *Last Planner System* (LPS)

Considerando la programación general de los estudios de caso, se realizará una programación intermedia (*Lookhead*), programación semanal y la identificación de las restricciones.

c. Decisión de alternativas con el *Choosing by Advantages* (CBA)

Mediante el método CBA, se comparará y discutirá sobre la mejor alternativa de eliminación de material ideal para la etapa en la que el proyecto se encuentra.

ETAPA 3: Estandarización de Datos

En esta etapa se estandarizarán los datos obtenidos a través del estudio de caso, de tal manera que sirvan como soporte para el proceso de excavación en diferentes proyectos.

1.11. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación está compuesta por 6 capítulos, como se muestra en la Figura 2.

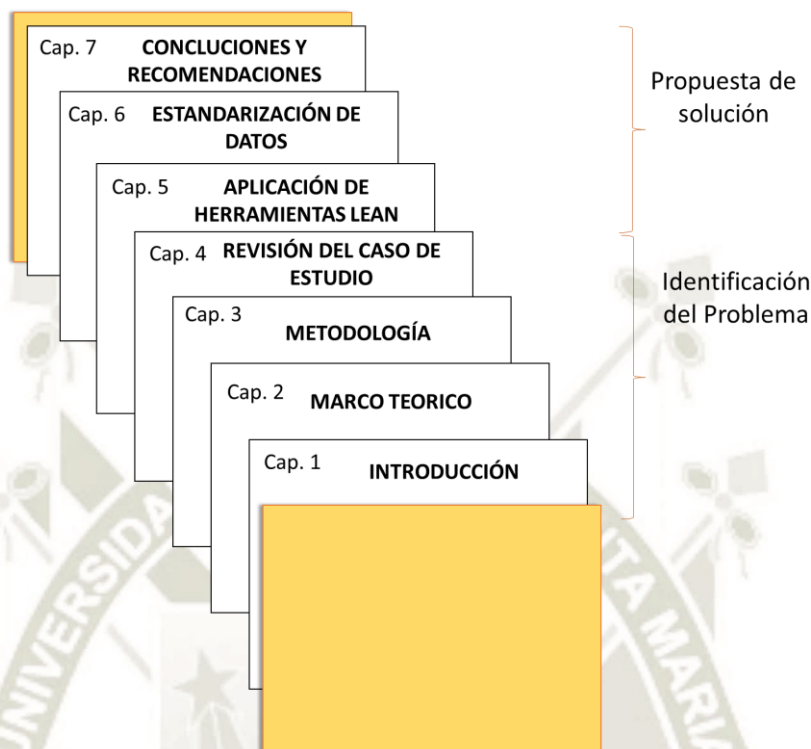


Figura 2. Estructura de la investigación (Fuente: Autoría propia)

El **capítulo 1** presenta la introducción, la pregunta que da inicio a esta investigación, los antecedentes, la justificativa, la hipótesis planteada, las variables, los objetivos de la investigación, un breve resumen de la metodología utilizada, y un esquema de la estructura de este documento. En resumen, en este capítulo se presenta la identificación del problema.

En el **capítulo 2** se presenta un marco teórico, en el cual se expone conceptos de los temas abordados en la presente investigación. Al igual que en el capítulo anterior, aquí también se aborda la identificación del problema mediante los conceptos expuestos.

El **capítulo 3** describe la metodología empleada y los delineamientos adoptados para lograr la aplicación de las herramientas de *Lean Construction*.

En el **capítulo 4** se hace una revisión del estudio de caso, en donde se hace un análisis de los cuellos de botella en el flujo de actividades.

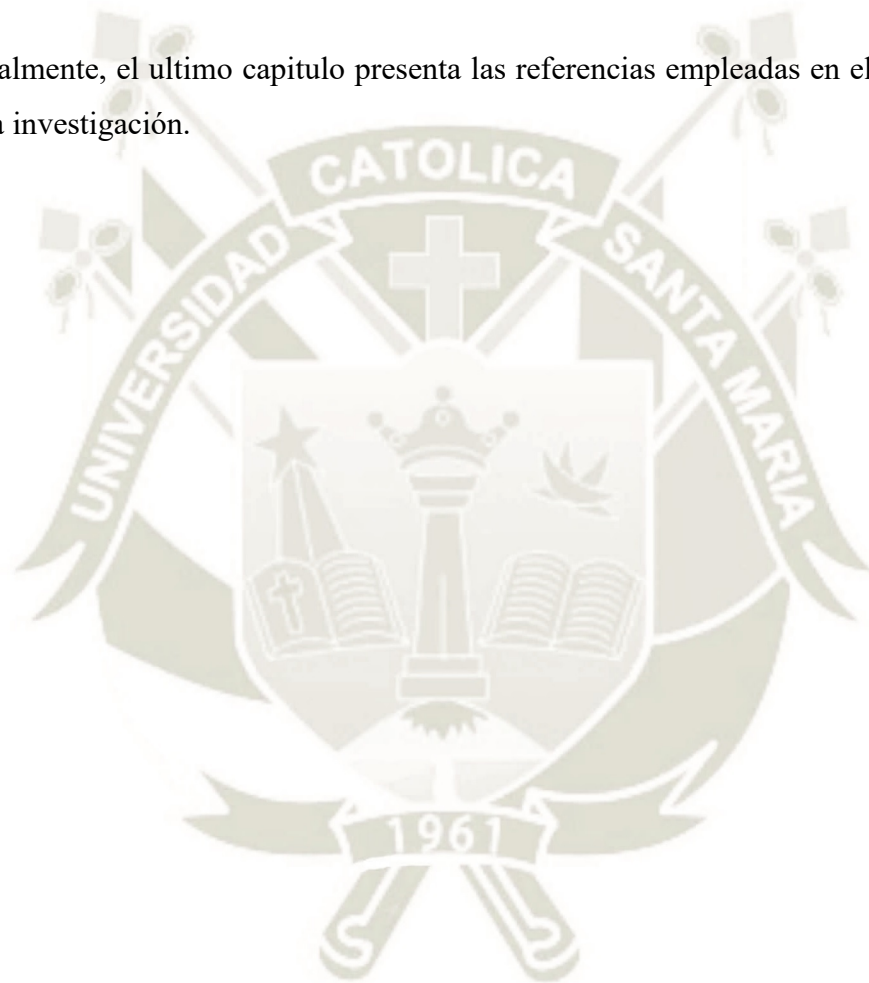
El **capítulo 5** presenta la aplicación de las herramientas LEAN para la mejorar del

sistema constructivo, al final se hace una comparación del análisis de cuello de botella con la metodología tradicional y con la metodología con mejoras incluidas.

En el **capítulo 6** se presenta la estandarización de datos el cual puede ser usados en próximos proyectos.

El **capítulo 7** presenta las conclusiones, recomendaciones y las propuestas para futuras investigaciones pertinentes a los temas estudiados en esta investigación.

Finalmente, el ultimo capitulo presenta las referencias empleadas en el desarrollo de esta investigación.



2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO



En este capítulo se describe detalladamente como *LEAN* y sus herramientas pueden ayudar a mejorar el proceso de excavación. Para tal se inicia con conocimientos básicos de *Lean Construction*, sus antecedentes, sus principios, pérdidas, desperdicios y sus herramientas. Así mismo también se traerán conceptos sobre el proceso constructivo de sótanos y finalmente sobre los tipos de métodos de eliminación de material.

2.1. *LEAN CONSTRUCTION* (LC)

Lean Construction nace de la filosofía Lean, que es considerada una metodología para eliminar los desperdicios y para atender las verdaderas necesidades del cliente.

2.1.1. Antecedentes

Lean Construction tuvo sus inicios después de la publicación del trabajo de investigación realizado por Koskela, el cual tiene como título “*Aplicattion of the new production philosophy in the construction industry*”. Con esta investigación su objetivo fue la de favorecer a la industria de la construcción con un sistema de gestión de calidad y éxito, como lo fue el Sistema Toyota de Producción (STP) para la industria automovilística de Toyota (Koskela, 1992).

Si bien se conoce la industria de la construcción, es una industria con mucha variabilidad, es en ese punto que Koskela (1999) sustentó una teoría para atacar la variabilidad presente en actividades de dicha industria. Entre las características que se mencionan con respecto a la variabilidad en el sector de la construcción son las siguientes:

- a) Actividades dependientes de flujos, cuyo progreso dependen de las mismas actividades.

1 STP: Es un sistema aplicado na industria automovilística, originado en 1974 en Japón, en la Toyota Motors Company, año en el que se sufría la consecuencia de una crisis de petróleo, de esta forma el escenario económico de las empresas en Japón no era buena. Sim embargo, a pesar de ese período de crisis, Toyota presentaba crecimiento económico. Fue en ese periodo que el STP fue creado, y fue totalmente planeado para el ambiente de escasas. Este sistema tiene como pilares dos principios: El *just-in-time* y la automatización. El primero implica tener un estoque cero, mientras que el segundo se trata de la detección inmediata de problemas y solucionarlos desde la raíz (OHNO, T., 1997).

- b) El sector de construcción puede compararse con la producción de un prototipo, el cual como es normal presenta una serie de errores en el proyecto, planeamiento y control.
- c) En la producción de la industria, una pieza del producto puede estar físicamente apenas en una etapa de trabajo en un determinado momento. Sin embargo, en la industria de la construcción, una pieza puede ser trabajada en simultaneo por varios frentes de trabajo, lo que generalmente puede disminuir la productividad de los frentes.
- d) En la industria de la construcción, las actividades son realizadas en ambientes inestables dependientes de factores climáticos, lo que genera una reducción de la productividad.

2.1.2. Principios de *Lean Construction*

Para reducir la variabilidad mencionada en el acápite anterior, Koskela (1999) propone reducir actividades desarrolladas en obra y tener mayor control sobre ellas. Es así que Koskela (1992) presento once principios básicos aplicables al *Lean Construction*, para auxiliar los procesos de un proyecto de construcción, los principios son los siguientes:

Tabla 2
Principios y sus características de Lean Construction

#	Principio	Característica
1	Reducción de las actividades que no agregan valor	Este principio se trata de eliminar todas las actividades innecesarias que no agregan ningún valor a la construcción.
2	Aumento del valor del producto considerando las necesidades del cliente	Este principio busca agregar valor, partiendo del punto de vista del cliente. Por lo que es necesario saber lo que el cliente valora.
3	Reducción de la variabilidad	Variabilidad que puede ser eliminada mediante la estandarización de las actividades de una sistema constructivo.
4	Reducción del tiempo del ciclo (lead time)	Se trata de optimizar el tiempo dedicado al transporte, inspección. Así como eliminar tiempos de espera dentro del sistema constructivo.
5	Simplificar el número de pasos o partes	Se trata de reducir el número de actividades en un sistema constructivo, esto es posible eliminando actividades que no agregan valor o cambiando

		componentes del producto por prefabricados.
6	Aumento de la flexibilidad de salida	En este principio se considera una mejora en los productos entregados al cliente sin aumentar el costo.
7	Aumento de la transparencia del proceso	Se trata de hacer un sistema constructivo transparente y observable desde el inicio hasta el fin, con la finalidad de controlar y proponer mejoras en la producción, calidad y organización del trabajo. Este principio usa herramientas como la visualización de información en carteles y el programa de las 5S.
8	Enfoque en el control de todo el proceso	Conocer el sistema constructivo en su totalidad para hacer posible el reconocimiento de los resultados globales de la empresa y probar soluciones mucho más eficaces.
9	Establecimiento de la mejora continua en el proceso	Este principio se trata de estar abierto a recibir o a buscar informaciones para agregar valor al sistema constructivo. Ejemplo: capacitaciones, uso de equipos innovadores y motivación a los trabajadores para sugerir mejoras.
10	Balanceo de la mejora de los flujos con la mejora de las conversiones	Observar el sistema constructivo y analizar lo que se puede mejorar, tanto en relación con los flujos cuanto a las conversiones.
11	Aprendizaje con las referencias de las empresas de punta (Benchmarking).	Comparar las actividades realizadas entre las empresas, con el fin de identificar las mejores prácticas.

Fuente: Adaptado de Koskela (1992)

Es importante destacar que estos principios tienen una fuerte interacción entre sí, debiendo los mismos ser aplicados de forma integrada en la gestión de procesos. Por ejemplo, el principio de aumentar la transparencia del proceso facilita la identificación y eliminación de actividades que no agregan valor.

Estos once principios fueron modificados por el mismo autor en el año 2000, proponiendo una teoría de la producción denominada *Transformation, Flow and Value* (TFV). Esta teoría de la producción puede ser explicada a partir de 3 aspectos fundamentales referentes a los conceptos de TFV (Koskela, 2000).

Gestión de la Transformación: El proceso de conversión debe siempre tratar la mejora del sistema global, evitando la subdivisión del sistema productivo en diversas etapas tratadas individualmente. La gestión de la transformación envuelve la gestión de contratos donde debe ser establecido los parámetros, procesos de y calidad y

seguridad.

Gestión de los flujos: La gestión de los flujos introduce nuevas actividades de gestión, siendo esto importante en el crecimiento de cooperación a lo largo de la producción. Esta cooperación debe ser comprendida entre el gestor de proyecto, las subcontratistas y los proveedores de materiales de construcción, teniendo claro que las actividades de logística de materiales y de información sea establecida y respetada.

Gestión de valor o creación de valor: Esta deberá ser la primera fase del proyecto, y son presentados cinco aspectos mediante los cuales se busca crear valor desde la perspectiva del cliente mediante: (i) La captura de los requisitos del cliente, (ii) La identificación el flujo de los proveedores, (iii) La comprensión de los requerimientos, (iv) El establecimiento de la capacidad de producción del subsistema, y (v) la medida del valor (Koskela, 2000).

Estos tres aspectos integrados son la base para el desarrollo del TFV y también para contemplar directamente los once principios mencionados. Estos aspectos su vez poseen herramientas auxiliares como es el caso del *Last Planner System*, producción *Just-in-time* y *Total Quality Control* que hacen posible la aplicación de la filosofía *Lean*

2.1.3. Desperdicios en la construcción según *Lean Construction*

Se entiende por desperdicio cualquier ineficiencia que resulte en el uso de equipos, materiales, mano de obra o capital en cantidades superiores a las consideradas necesarias en la producción de un edificio. El desperdicio incluye tanto la incidencia de pérdidas materiales como la ejecución de trabajos innecesarios, que generan costos adicionales, pero no agregan ningún valor al producto desde el punto de vista del cliente (Koskela, 1992; Formoso, Isatto y Hirota, 1999).

La siguiente clasificación resultó de un estudio desarrollada por Formoso, Isatto y Hirota, (1999) basándose en los siete desperdicios de Shingo (Shingo, 1989) y en el análisis de algunas obras de construcción brasileñas:

- ✓ **Sobreproducción:** relacionada con la producción de una cantidad superior a la requerida o necesaria. Esto puede causar desperdicio de materiales, horas de

trabajo o uso de equipo. Suele producir inventarios de productos sin terminar o incluso su pérdida total, en el caso de materiales que pueden deteriorarse. Un ejemplo de este tipo de desperdicio es la sobreproducción de mortero que no se puede utilizar a tiempo.

- ✓ **Sustitución:** es un desperdicio monetario provocado por la sustitución de un material por otro más caro (con un mejor rendimiento innecesario); la ejecución de tareas sencillas por un trabajador sobre calificados; o el uso de equipos altamente sofisticados donde sería suficiente uno mucho más simple.
- ✓ **Tiempo de espera:** relacionado con el tiempo de inactividad causado por la falta de sincronización y nivelación de los flujos de materiales, y el ritmo de trabajo de los diferentes grupos o equipos. Un ejemplo es el tiempo de inactividad causado por la falta de material o por la falta de lugar de trabajo disponible para una pandilla.
- ✓ **Transporte:** se ocupa del movimiento interno de materiales en el sitio. La manipulación excesiva, el uso de equipos inadecuados o el mal estado de las vías pueden provocar este tipo de residuos. Suele estar relacionado con un diseño deficiente y la falta de planificación de los flujos de materiales. Sus principales consecuencias son: desperdicio de horas hombre, desperdicio de energía, desperdicio de espacio en el sitio y la posibilidad de material residuos durante el transporte.
- ✓ **Procesamiento:** relacionado con la naturaleza de la actividad de procesamiento (conversión), que solo podría evitarse cambiando la tecnología de la construcción. Por ejemplo, generalmente se desperdicia un porcentaje de mortero cuando se enyesa un techo.
- ✓ **Inventarios:** relacionados con inventarios excesivos o innecesarios que generan desperdicio de material (por deterioro, pérdidas por condiciones inadecuadas de stock en obra, robo, vandalismo), y pérdidas monetarias por el capital inmovilizado. Eso podría ser el resultado de la falta de planificación de recursos o la incertidumbre en la estimación de cantidades.
- ✓ **Movimiento:** se refiere a los movimientos innecesarios o ineficaces que

realizan los trabajadores durante su trabajo. Esto puede deberse a un equipo inadecuado, métodos de trabajo ineficaces o una mala disposición del lugar de trabajo.

- ✓ Producción de productos defectuosos: se produce cuando el producto final o intermedio no se ajusta a las especificaciones de calidad. Esto puede provocar retrabajos o la incorporación de materiales innecesarios al edificio (residuos indirectos), como el excesivo espesor del revoque. Puede deberse a una amplia variedad de motivos: Diseño y especificación deficientes, falta de planificación y control, mala calificación del trabajo en equipo, falta de integración entre diseño y producción, etc.
- ✓ Otros: residuos de cualquier naturaleza distintos a los anteriores, como robos, vandalismo, inclemencias del tiempo, accidentes, etc.

2.2.HERRAMIENTAS DE LEAN CONSTRUCTION

La filosofía *Lean Construction* establece un modelo de pensamiento respecto a la gestión de proyectos de construcción, sin embargo, también brinda herramientas que ayudan a obtener mejores resultados, las principales herramientas con las que planteamos solucionar las pérdidas en construcción son: *Value Stream Mapping* (VSM), *Last Planner System* (LPS), Carta balance, *Choosing by Advantages* (CBA). A continuación, una definición de los más destacables para esta investigación.

2.2.1. Last Planner System (LPS)

LPS es una herramienta *de Lean Construction* que se basa en el control de la producción, y consiste en el control del flujo de trabajo y el control de la unidad de producción (Ballard, 2000). LPS ayuda a mejorar el flujo de actividades programadas, reduciendo la variabilidad y fomentando el cumplimiento de lo planificado, a través de la planificación anticipada. Su función principal se centra en sustituir la planificación optimista por una planificación realista, evaluando el desempeño de los trabajadores en función de su capacidad para alcanzar compromisos de manera confiable (Brioso et al., 2017). Por lo tanto, uno de los objetivos principales de LPS es reducir todo tipo de desperdicio.

Según Davison (2015) los principios que LPS plantea son:

- ✓ Planear con mayor detalle a medida que se acerca a realizar la actividad;
- ✓ Producir planes colaborativos involucrando tanto ingenieros como personal obrero;
- ✓ Colaborativamente identificar y eliminar restricciones en las actividades planeadas;
- ✓ Proponer promesas que se realicen confiadamente;
- ✓ Medir el cumplimiento de las promesas y mejorar aprendiendo de los errores;
- ✓ Mejorar continuamente como equipo e ir optimizando los flujos de trabajo;

LPS se basa en cinco elementos: (1) Programación maestra: Esta se trata establecimiento de hitos y estrategia; (2) Programación de fases (planificación de extracción de fases): especificar transferencias e identificar conflictos operativos; (3) Planificación anticipada: planificación anticipada para garantizar que el trabajo esté listo; (4) Planificación de compromisos: compromisos para realizar el trabajo de una determinada manera y una determinada secuencia; (5) Aprendizaje: medición del porcentaje del plan completado (PPC), identificación de contramedidas, desarrollo e implementación de lecciones aprendidas (Ballard y Tommelein, 2016).

Por otro lado, el LPS recomienda producir una planificación colaborativa que incluya la participación de áreas de soporte, entre ellas la de seguridad y salud, e identificar y hacer cumplir las restricciones de seguridad y salud (Brioso, 2011). En general, los proyectos que implementan herramientas Lean tienen los mejores indicadores de seguridad y salud (Howell et al. 2017), por lo que es previsible que se tendrá una buena gestión de proyectos durante la pandemia.

LPS se basa en la idea de que toda planificación se pronostica y los pronósticos siempre son incorrectos (Ballard, 2000). “Takt” se refiere a la regularidad con la que se hace algo (Fransson et al. 2013). “Takt-time es la unidad de tiempo en la que se debe producir un producto (tasa de oferta) para que coincida con la tasa a la que se necesita ese producto (tasa de demanda)” (Tommelein, 2017).

Además, la planificación con el LPS, se usa para establecer hitos entregables en el cronograma de planificación; los hitos, actúan como fechas límite y se pueden utilizar como punto de referencia, para realizar una programación de fase inversa, donde cada actividad recibe una tasa de producción ajustada, dentro de los límites para lograr cumplir con el takt-time asignado a la fase (Yassine et al., 2014). Por lo que el takt-time ayuda a crear un entorno estable para el cumplimiento de la planificación con LPS (Frandsen et al., 2014).

2.2.2. Programación maestra

La programación maestra es un proceso de planificación inicial que produce un programa que describe el trabajo que se llevará a cabo durante toda la duración de un proyecto. Implica actividades a nivel de proyecto e identifica las fechas de los hitos principales, principalmente en relación con los documentos del contrato y propuesta de valor del propietario (Tommelein y Ballard 1997).

2.2.3. Pull Planning

El *Pull Planning* es un proceso de planificación colaborativa, donde los ejecutores del proyecto trabajan en conjunto para diseñar el proceso para establecer un hito (Tsao, Drapper y Howell, 2014).

Donde el enfoque se centra en lo que se puede hacer y no en lo que se debe hacer en la situación actual del proyecto (Tvedt, 2020).

El término "*Pull Planning*" se refiere al concepto esbelto de "*pull*" como una solicitud desde abajo en oposición al "*push*" de arriba hacia abajo, como se aplica en la práctica tradicional (Tsao, Drapper y Howell, 2014).

El proceso de la creación del *pull planning* proporciona un lugar que genera compañerismo, confianza y comunicación a alto nivel. Como resultado de este proceso cada miembro del equipo llega a comprender el trabajo de cualquier miembro del equipo en cualquier momento. Esta transparencia ayuda a identificar las limitaciones e interdependencias (Tiwari, 2012) así como alinear los esfuerzos de los miembros del equipo (Tvedt, 2020).

Otra de las ventajas del *Pull planning*, es que los miembros del equipo al desarrollar

ellos mismos el plan, se sienten más interesados en cumplirlo (Tiwari, 2012). El *pull planning* establece la planificación de fase de un proyecto (Ballard y Howell, 2003). A continuación, alguna de sus características:

- ✓ El *Pull planning* ayuda al equipo de proyecto a idear un proceso integral transparente, flexible y colaborativo, eliminando así la sobre producción.
- ✓ Ayuda a descubrir las malas interpretaciones de los alcances de trabajo entre los miembros del equipo.
- ✓ Es una herramienta para definir quien se supone que debe hacer y cuando lo debe hacer, y para realizar un seguimiento de los compromisos y garantizar que se identifiquen todas las restricciones (Tiwari, 2012; Tvedt, 2020).

2.2.4. Recomendaciones para facilitar *Pull Planning*

Tsao, Draper y Howell (2014) se basaron en sus experiencias en la industria de construcción, así como en descripciones y discusiones previas de *Pull Planning* (Ballard 1997; Ballard y Howell 2003) para proporcionar recomendaciones para la implementación de *Pull Planning* de forma exitosa. Las recomendaciones son las siguientes:

- ✓ Distribuya una agenda a los asistentes a la reunión de *Pull Planning*, preferiblemente con una semana de anticipación, en esta agenda deben estar identificados los hitos iniciales y finales, así como las ideas iniciales para dividir el proyecto.
- ✓ Inste encarecidamente a los superintendentes comerciales y/o capataces a que asistan y participen en la reunión de *Pull Planning*.
- ✓ Para ayudar a los asistentes a prepararse mejor, pídale que consideren de antemano: (1) qué trabajo deben hacer para respaldar el hito final, (2) qué transferencias necesitan de otras empresas para comenzar a trabajar, (3) sus trayectorias laborales preferidas, (4) duración del trabajo planificado, (5) tamaño de la cuadrilla para el trabajo planificado, (6) coordinación requerida con otros oficios para permitir la finalización de su alcance, (7) problemas no resueltos o obstáculos que puedan impedir que se realice el trabajo, (8)

supuestos de planificación y (9) enfoques alternativos para ejecutar su alcance.

- ✓ Tenga los planos del proyecto a la mano, ya sea en papel o en formato digital.
- ✓ Evite hacer sesiones *Pull Planning* de no más de 4 horas, y si de requerir este tiempo, divídala en dos sesiones de 2 horas, ya que los participantes irán perdiendo la atención y energía.
- ✓ Considerar que una sesión de *Pull Planning* cubre aproximadamente tres meses de trabajo, por lo que las sesiones se deben hacer uno o dos meses antes de empezar a trabajar. Esta consideración les da a los ejecutores el tiempo suficiente de para preparar todo lo necesario para empezar con el trabajo planeado.
- ✓ Explique a los asistentes que la reunión se desarrollará en tres fases, esto porque trabajar hacia atrás desde un hito final es un desafío, especialmente para los equipos de proyectos que no han realizado *Pull Planning* antes. Fase 1: "pase hacia atrás", en esta fase se definirá cualquier trabajo requerido para respaldar el hito final. Fase 2: "pase hacia adelante", aquí se verificará la lógica del flujo de trabajo y agregará cualquier otra actividad que se requiera para respaldar el hito final. Fase 3: "pase de ajuste", en esta fase el equipo de proyecto se esforzará por administrar el trabajo en lotes más pequeños y equilibrar el flujo de trabajo para permitir una duración general más corta. Al aclarar la agenda de esta reunión, los asistentes se volverán menos resistentes a trabajar hacia atrás porque se les ha asegurado que se les permitirá trabajar hacia adelante durante la siguiente parte de la reunión.
- ✓ Recuerde que el aprendizaje *Lean* y *Pull Planning* es un desafío y requiere concentración.
- ✓ Ofrezca refrigerios a los asistentes, ya que esto puede ayudar a los asistentes a obtener un impulso de energía en medio de la reunión y a ser más productivos.

2.2.5. Programación de fases

La programación de fases genera un programa que cubre cada fase del proyecto, como cimientos, marco estructural o acabado. En una configuración de planificación

colaborativa, el equipo del proyecto: (1) define una fase o hito del proyecto, (2) lo divide en actividades constitutivas, y (3) programa actividades hacia atrás desde el hito. Después de incorporar aportes de diferentes partes del proyecto e identificar traspasos entre especialistas, el equipo realiza programación de la fase inversa desde los hitos importantes de la fase (Hamzeh 2009, Ballard y Howell 2004).

2.2.6. *Lookahead*

La planificación anticipada es el primer paso en el control de la producción (ejecución de programas) y generalmente cubre un período de seis semanas. Los períodos de tiempo de anticipación varían según el tipo de trabajo que se realiza y el contexto. (Por ejemplo, en el diseño conceptual, las tareas no se pueden prever a un nivel detallado con mucha anticipación debido al fenómeno de emergencia. En los cierres de plantas, el período de anticipación se extiende hasta el final del cierre. En esta investigación, la atención se centra en proyectos de construcción normales, y en esos marcos de tiempo de 4 a 6 semanas se usan comúnmente en la planificación anticipada). En esta etapa, las actividades se desglosan en el nivel de procesos / operaciones de producción, se identifican las limitaciones, se diseñan las operaciones y se hacen las asignaciones (Ballard 1997, Hamzeh 2009).

2.2.7. *Planificación semanal*

La planificación anticipada es el primer paso en el control de la producción (ejecución de programas) y generalmente cubre un período de seis semanas. Los períodos de tiempo de anticipación varían según el tipo de trabajo que se realiza y el contexto. (Por ejemplo, en el diseño conceptual, las tareas no se pueden prever a un nivel detallado con mucha anticipación debido al fenómeno de emergencia. En los cierres de plantas, el período de anticipación se extiende hasta el final del cierre. En esta investigación, la atención se centra en proyectos de construcción normales, y en esos marcos de tiempo de 4 a 6 semanas se usan comúnmente en la planificación anticipada). En esta etapa, las actividades se desglosan en el nivel de procesos / operaciones de producción, se identifican las limitaciones, se diseñan las operaciones y se hacen las asignaciones (Ballard 1997, Hamzeh 2009).

2.2.8. *Value Stream Mapping (VSM)*

Value Stream Mapping (VSM) es una herramienta de *Lean Construction* que permite visualizar y comprender el flujo de material e información dentro de una cadena de valor. VSM es un proceso de mejora que tiene como objetivo maximizar el valor para el cliente final, con la identificación y eliminación de residuos en dicha cadena de valor (Rother y Shook, 1998).

Al implementar el VSM en la construcción, este tiene la capacidad de ilustrar de forma sistemática, una etapa o un sistema de construcción, con la idoneidad de identificar posibles problemas y desperdicios. VSM considera las actividades productivas, los tiempos para dichas actividades, los clientes, los proveedores del proceso, siguiendo un flujo de valor, que más que identificar desperdicios, muestra las razones de su existencia (Pasqualini y Zawislak, 2005). Luego de identificar desperdicios VSM permite proponer una cadena de producción ideal acercándose lo más posible a producir solo lo que los clientes necesitan y en qué momento lo necesitan, aumentando el tiempo para actividades que agregan valor al sistema constructivo (Da silva, 2018).

En ese sentido el VSM como herramienta de gestión es útil para identificar y evaluar los residuos dentro del flujo. Sin embargo, pese a ser esta una herramienta potencial no se viene aplicando con frecuencia en la industria de la construcción en comparación a la fabricación. Ya que, a diferencia de la fabricación, un proyecto de construcción es único, sin repetición del proceso de producción, apenas rastrea los procesos y datos de construcción, y es muy variable. VSM tiene potencial, pero no se puede utilizar directamente en la construcción. Son necesarias algunas adaptaciones para utilizar VSM durante el proceso de construcción (Fernandez-Solis y Li 2018).

Fernandez-Solis y Li (2018) identificaron que la aplicación del VSM en la construcción se ve obstaculizada por los siguientes factores: (1) con dificultad surge la repetición del proceso productivo. Cada proyecto de construcción es único. (2) la mayoría de las empresas de construcción no realizan un seguimiento completo de los procesos de construcción y recopilan datos para representar el estado actual del proceso y averiguar el estado futuro. (3) los conceptos / elementos utilizados en VSM se definen en el contexto de fabricación; esto difiere del contexto de construcción

En un estudio de revisión, Fernandez-Solis y Li (2018) identificaron que solo nueve

artículos están relacionados con la implementación de VSM en la industria de la construcción. Entre estos estudios, la aplicación de VSM en una empresa de prefabricación de baldosas mostró mejoras en un 25% de productividad en su proceso de administración y producción (Gallardo et al. 2014). Covarrubias mejoró las operaciones administrativas de una empresa constructora (Covarrubias et al. 2016). Shou estudió el mapeo de la corriente de valor en la industria del granallado y el recubrimiento (Shou et al.2017).

Sin embargo, en los sistemas constructivos, el VSM solo se aplicó para mejorar el proceso de ejecución de mampostería estructural (Melo et al. 2017) y el proceso de hormigonado de columnas (Germano et al. 2017). En Perú, se están aplicando dos estudios con VSM, el primero de ellos en proyectos viales (Cabrera y Li 2014); y el segundo, identificar el flujo productivo, enfocándose en la identificación de residuos en un edificio residencial, mejorando el flujo de trabajo de la etapa de terminación (Murguía et al. 2016). Rosenbaum, S., et al (2014) Aplicaron VSM con un enfoque ecológico en la construcción de un hospital para evaluar simultáneamente los desechos ambientales y de producción durante la etapa de ejecución del proyecto. Gunduz y Fahmi Naser (2017) utilizaron VSM como herramienta de construcción sostenible en la instalación de tuberías subterráneas, y como resultado, mostraron una reducción de costos del 20,8%. Por lo tanto, este documento describe una metodología para diseñar un mapa de flujo de valor integrado y personalizado para los requisitos de la industria de la construcción. El enfoque fue desarrollado y verificado con base a un Proyecto Colaborativo (Matt et al. 2013)

En consecuencia, hasta donde sabemos, no hay investigaciones previas en la literatura sobre proyectos asociados con excavaciones y estructuras de contención de suelos hasta ahora.

2.2.9. Cadena de Valor

Es el conjunto de acciones tanto de valor agregado como las que no agregan valor, pero que se necesitan actualmente para mover un producto a través de los principales flujos esenciales para cada uno de ellos:

1. El flujo de producción, desde la materia prima hasta las manos del consumidor

2. El flujo de diseño, desde el concepto hasta el lanzamiento.

Adoptar una perspectiva de cadena de valor significa trabajar en el gran conjunto, no solo en los procesos individuales y mejorar el todo, no solo optimizar las partes. Eso quiere decir que si realmente se observa el conjunto y se recorre todo el camino.

Cartografía de la cadena de valor: Esto quiere decir seguir el camino de producción de un producto desde el cliente hasta el proveedor, y dibujar cuidadosamente una representación visual de cada uno de los procesos en el flujo de material e información. Entonces formule un conjunto de preguntas clave y dibuje un mapa del estado futuro de cómo debería fluir el valor.



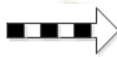






Hacer esto una y otra vez es la manera más sencilla y la mejor que conocemos de enseñarse usted mismo y a sus colegas a observar el valor y especialmente, las fuentes de desperdicio.

Entre las ventajas de realizar una cadena de valor están:

- ✓ Suministra un lenguaje común para hablar acerca de los procesos de fabricación
- ✓ Ayuda a ver algo más que el desperdicio. Los mapas ayudan a ver las fuentes de desperdicio.
- ✓ Pone de relieve las decisiones acerca del flujo, de manera tal que usted puede discutirlos. De no ser así, muchos detalles y decisiones en el taller simplemente ocurren por omisión.
- ✓ Vincula los conceptos y las técnicas Lean, lo que ayuda a evitar la selección aleatoria.
- ✓ Forma la base de un plan de ejecución. Al ayudarlo a diseñar como debería funcionar el flujo completo.
- ✓ Muestra el enlace entre el flujo de información y el de material. Ninguna otra herramienta hace esto.

Los iconos para hacer un mapeamiento del flujo de valor se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3
Iconos para el desarrollo del Value Stream Mapping

Icono	Nombre
	Este símbolo representa clientes y proveedores.
	Operación del proceso
	Flecha de empuje para conectar el flujo de materiales entre operaciones cuándo este se lleva a cabo mediante un sistema push
	Flujo de información de forma electrónica
	Flujo de información
	Transporte mediante camión de carga
	Línea de tiempos, Muestra los tiempos de ciclo de las actividades que agregan valor, y los tiempos de las actividades que no agregan valor.
	Casillero de datos con indicadores del proceso
	Inventario en espera, de materia prima, producto en proceso, producto terminado.

Fuente: Autoría Propia

Los tiempos a ser considerados dentro del VSM son los siguientes:

Tackt Time: Este se trata de la tasa de demanda que determina la frecuencia en la cual el producto debe ser producido. Este ritmo o *tack time*, determina el intervalo entre las entregas sucesivas de un producto para el sistema a fin de responder precisamente la demanda.

Lead Time: Se trata del tiempo en que un producto se mueve por todas las etapas de un proceso desde la materia prima, hasta el producto terminado.

Cicle time: Se trata de frecuencia con que una pieza o producto es completada por un proceso o, el tiempo que lleva entre un componente y el próximo salir del mismo

proceso. De esta forma el Tiempo de Ciclo incluye todas las actividades que se necesita para producir una unidad base (muro anclados), tales como procesamiento, transporte, espera, etc.

2.2.10. Nivel General de actividad (NGA)

La medición del nivel general de obra es parte de las herramientas clásicas en el estudio de tiempos y movimientos utilizado comúnmente y su objetivo es el de analizar los Trabajos No Contributarios (TNC) (Ghio, 2001).

Esta medición se realiza de forma aleatoria en toda la obra. La muestra se toma sobre todos los obreros para obtener información acerca de la utilización del tiempo en los tres tipos de trabajo fundamentales: trabajo productivo (TP), Trabajo Contributivo (TC) y trabajo no contributivo (TNC).

- ✓ TP: Agregan valor. Por ejemplo: Vaciado de Concreto, Asentado de ladrillos, Perforación, colocación de anclajes y entre otros.
- ✓ TC: Ayudan a que el TP se cumpla. Por ejemplo: Transporte, Limpieza, Recibir/dar instrucciones, mediciones y entre otros.
- ✓ TNC: Trabajos con desperdicio puro: Por ejemplo: Viajes, tiempo de ocio, esperas, Trabajo rehecho, descanso; necesidades fisiológicas y entre otros.

a. Toma de datos

La medición se realiza de forma aleatoria y se trata de que la persona que realiza la medición recorra el total de la obra, o la visualice completamente desde un punto estático. De tal manera que cada vez que se tope visualmente con un obrero, apunte de que cuadrilla es y si es que se está realizando algún TP, TC, TNC, y así mismo especificar la clasificación del mismo de acuerdo con lo descrito.

Es fundamental que para este fin se trabaje de forma rigurosa en la aplicación de las definiciones de cada categoría de manera permanente e inamovible, para tal es importante identificar estas actividades y codificarlas, como se observa en el ejemplo (Tabla 4).

Tabla 4

Identificación de trabajos productivos, contributorios y no contributorios

Código	TP	Código	TC	Código	TNC
C	Colocación de Paneles	T	Transporte	V	Viajes
N	Nivelado	SyL	Limpieza y Seguridad	O	Observación
A	Aplomado	I	Recibir/Dar instrucciones	E	Esperas
U	Empalme/Unión	SyM	Mediciones y Señalización	TR	Trabajos Rehechos
Vr	Vibrado	LC	Lechada de concreto	D	Descanso
IA	Instalación de Acero	En	Encofrado	B	Búsqueda de Material

Fuente: adaptado de Guio (2001)

b. Mejoramiento de la productividad

Los resultados de las mediciones del nivel general de actividad son utilizadas como muestreo del nivel que manejamos en nuestras obras y sirven para poder compararnos con otros proyectos y experiencias pasadas

Las mediciones servirán, también, para detectar cuáles son las principales pérdidas, cuantificarlas, y priorizar nuestro ataque para eliminarlas. Permite también analizar el método constructivo que se utiliza y así posibilitar proponer una mejora de productividad ajustando el método constructivo utilizado.

2.2.11. Carta balance (CB)

Una Carta Balance se trata de determinar cómo se divide el tiempo que se le dedica a cada una de las tareas dentro de una operación, actividad o cuadrilla.

las mediciones de una CB nos ayudan a entender la secuencia constructiva real que se está utilizando, buscando optimizar el proceso, estudiar la posibilidad de introducir algún cambio tecnológico.

asi como determinar los porcentajes de ocupación de tiempo. Lo último para hallar el número óptimo de obreros para cada cuadrilla, con el objetivo de mejorar los

rendimientos.

La diferencia entre NGA y CB, está en que NGA es de toda la obra y la carta balance es de una actividad o un proceso particular de la obra. la idea tanto del NGA y de la CB es enfocarnos en que el TC y el TNC disminuyan para hacer que el trabajo sea más productivo.

2.2.12. *Choosing By Advantages (CBA)*

Choosing By Advantages (CBA) fue desarrollado inicialmente por Jim Suhr. El CBA es una forma de análisis de decisiones multicriterio (MCDA), aunque se encontró que este método es superior a otros métodos de MCDA (Suhr, 1999). El CBA fomenta el uso de datos correctos al basar las decisiones en preguntas de anclaje, hechos relevantes y la importancia de las diferencias entre las ventajas de las alternativas (Suhr 1999). Al implementar el método CBA, se siguen los pasos (Figura 3):

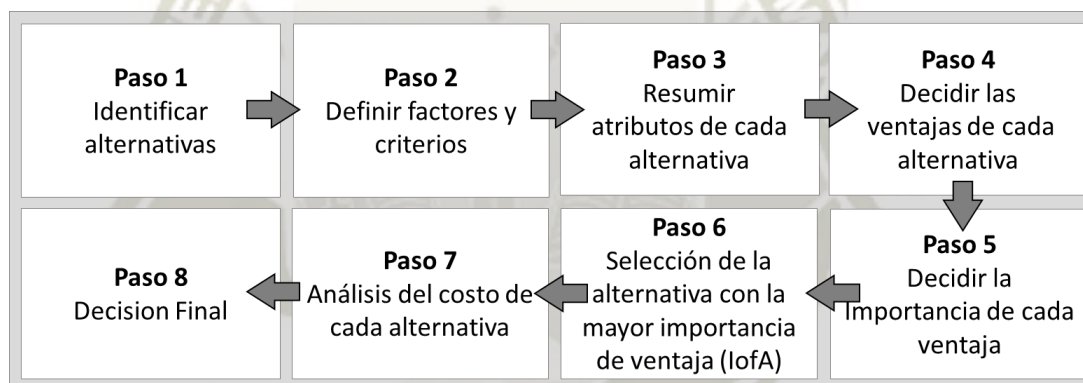


Figura 3. Pasos del método de CBA (Arroyo et al. 2013; Brioso et al. 2019).

CBA emplea el siguiente vocabulario: (1) alternativa: una opción posible; (2) criterio: una regla de decisión obligatoria o una directriz deseada; (3) atributo: una característica o cualidad de una alternativa particular; (4) ventaja: una diferencia que confiere beneficios entre dos y solo dos atributos; (5) factor: un concepto “paraguas”, que incluye los otros conceptos en el proceso; y (6) importancia de una ventaja: se asigna un grado de importancia a cada ventaja con fines de comparación. (Suhr, 1999; Parrish y Tommelein; 2009). CBA hace que el proceso de toma de decisiones sea más transparente y proporciona un punto de partida para el trabajo futuro cuando se enfrente a decisiones similares, haciendo que el conocimiento capturado en la tabla de CBA pueda ser reutilizado (Parrish y Tommelein, 2009). Algunos estudios sobre CBA se describen a continuación:

Entro los estudios, hay quienes comparan CBA con otros métodos. Arroyo, Tommelein y Ballard (2012) exploraron las características que hacen viable un método y las que lo descalifican, los autores compararon y contrastaron los métodos basados en valores versus CBA, y finalmente concluyeron que CBA produce menos preguntas conflictivas que otros métodos de elección. El mismo autor presentó un estudio de caso que compara el uso *Weighting Rating and Calculating* (WRC) frente al uso de CBA al seleccionar un sistema estructural para un edificio residencial en un campus en Palo Alto, California. El estudio de caso encontró que la misma decisión resultó de ambos métodos, pero CBA ayudó a crear transparencia y generar consenso sobre la justificación de la decisión (Arroyo, Tommelein y Ballard, 2014)

Otros estudios exploraron CBA para seleccionar una alternativa. Parrish y Tommelein (2009) exploraron el uso de CBA para seleccionar un diseño para refuerzo de acero en una unión viga-columna, este estudio mostró que los valores de los miembros del equipo pueden entrar en conflicto, sin embargo, incluir todas las perspectivas en la tabla CBA enriquece el proceso de toma de decisiones. Martínez, Tommelein y Alvear (2016) utilizaron el CBA para elegir el mejor sistema de encofrado, ya que tradicionalmente se seleccionan basándose en la experiencia individual de los contratistas. Karakhan, Gambatese y Rajendran (2016) utilizaron CBA para tomar decisiones de diseño de seguridad. Suarez, Zapata y Brioso (2020) utilizó CBA para comparar modelos BIM 5D (cantidades, costos y horarios integrados), líneas de flujo (sistema de programación del sistema de gestión basado en la ubicación y modelos CPM (3D y 4D).

Mientras que otros estudios integraron CBA con otros métodos. Chauhan, Peltokorpi, Lavikka y Seppänen (2019) aplicaron CBA junto con el análisis de costo-beneficio para definir un proceso para medir el impacto de la prefabricación. Pérez y Arroyo (2019) se enfocaron en analizar el proceso de diseño de políticas públicas ambientales utilizando el sistema de decisión CBA integrado con el *Design Structure Matrix* (DSM) para tomar decisiones complejas. Brioso y Calderón-Hernández (2019) en un estudio dirigido a mejorar el sistema de Scoring con los elementos del CBA y describir una estrategia docente aplicada en una escuela de Ingeniería Civil. En conclusión, los autores recomendaron la inclusión de elementos del CBA en el marco general del sistema de Scoring, para crear una mayor transparencia y reducir el tiempo para llegar

a un consenso. Brioso, Calderon-Hernandez, Irizarry y Paes (2019) integraron *Immersive Virtual Reality* (IVR) con CBA en la selección de un sistema de protección contra caídas, con el objetivo de aumentar la transparencia. Por otro lado, Schöttle Schöttle, Christensen y Arroyo (2019) utilizaron CBA para empoderar a las personas en una organización e incluirlas en el proceso de toma de decisiones, el autor encontró evidencia de que CBA promueve la inclusión para superar el pensamiento grupal y promueve la seguridad psicológica.

2.2.13. Beneficios de CBA

Entre los beneficios que brinda el CBA se encuentran los siguientes:

- (1) Genera transparencia en el proceso de toma de decisiones y permite la consideración explícita de múltiples alternativas basadas en diversos factores de impacto (Parrish y Tommelein 2009; Arroyo et al.2012; Chauhan et al. 2019; Arroyo et al.2014).
- (2) Ayuda a generar consenso sobre la base de la decisión y promueve el aprendizaje continuo (Parrish y Tommelein 2009; Arroyo et al 2012; Chauhan et al. 2019; Arroyo et al. 2014).
- (3) Ayuda a documentar la información sobre por qué y sobre qué base se toman las decisiones, para que puedan ser revisadas en un momento posterior o en un proyecto futuro (Parrish y Tommelein 2009).
- (4) Incluye todas las perspectivas de los involucrados, permitiendo la participación multidisciplinaria (Parrish y Tommelein 2009; Abraham et al. 2013; Karakhan et al. 2016).
- (5) El CBA, a diferencia de otros métodos de análisis de decisiones, produce menos preguntas en conflicto y permite que el equipo del proyecto debata en función de lo que realmente valora (Arroyo et al. 2012).
- (6) CBA Permite la participación y colaboración tempranas entre las partes interesadas (Arroyo et al. 2012; Karakhan et al. 2016).
- (7) Los CBA entregan valor a las partes interesadas y al mismo tiempo reducen la

incertidumbre en el proceso de toma de decisiones, lo que reducirá la cantidad de residuos generados por decisiones incorrectas (Arroyo et al. 2012).

(8) CBA Promueve la inclusión de las partes interesadas y promueve la seguridad psicológica (Schöttle et al.2019).

(9) Genera un proceso social en el que el debate, la argumentación y la retórica jugaron un papel en la resolución final (Martínez et al. 2016).

(10) CBA Ayuda a los tomadores de decisiones a representar el contexto de su caso, llevándolos a seleccionar la alternativa que mejor se adapta a las características de su proyecto (Martínez et al. 2016).

(11) CBA genera un análisis y comparación de alternativas efectivo (Suarez et al. 2020).

(12) Con CBA los resultados de las alternativas son fáciles de analizar, identificando las ventajas, los factores en los que está la diferencia y ofrecen claridad a los criterios (Cortes et al.2017).

2.3.EXCAVACIONES

Para poder hacer una excavación vertical hay varios sistemas que se usan en diversos países, Estos son:

- ✓ Muros excavados y vaciados ubicados hacia el perímetro del terreno de la obra, para posteriormente hacer la excavación general del terreno y conforme se va bajando ésta, se van anclando los muros.
- ✓ Pilotes excavados y vaciados ubicados hacia el perímetro del terreno de la obra, para posteriormente hacer la excavación general del terreno y, conforme se va bajando ésta, se van anclando los pilotes.
- ✓ Muros que se van vaciando y anclando paralelamente a efectuar la excavación del terreno (Figura 4).

Los dos últimos sistemas se vienen usando en nuestro país, siendo los muros anclados los más utilizados en la construcción de sótanos. Los tres sistemas hacen que los muros se mantengan en forma vertical, conteniendo el empuje del terreno

lateral, con base a anclajes que deben penetrar en los terrenos vecinos o en las calles adyacentes, tal como se indica en el siguiente dibujo.

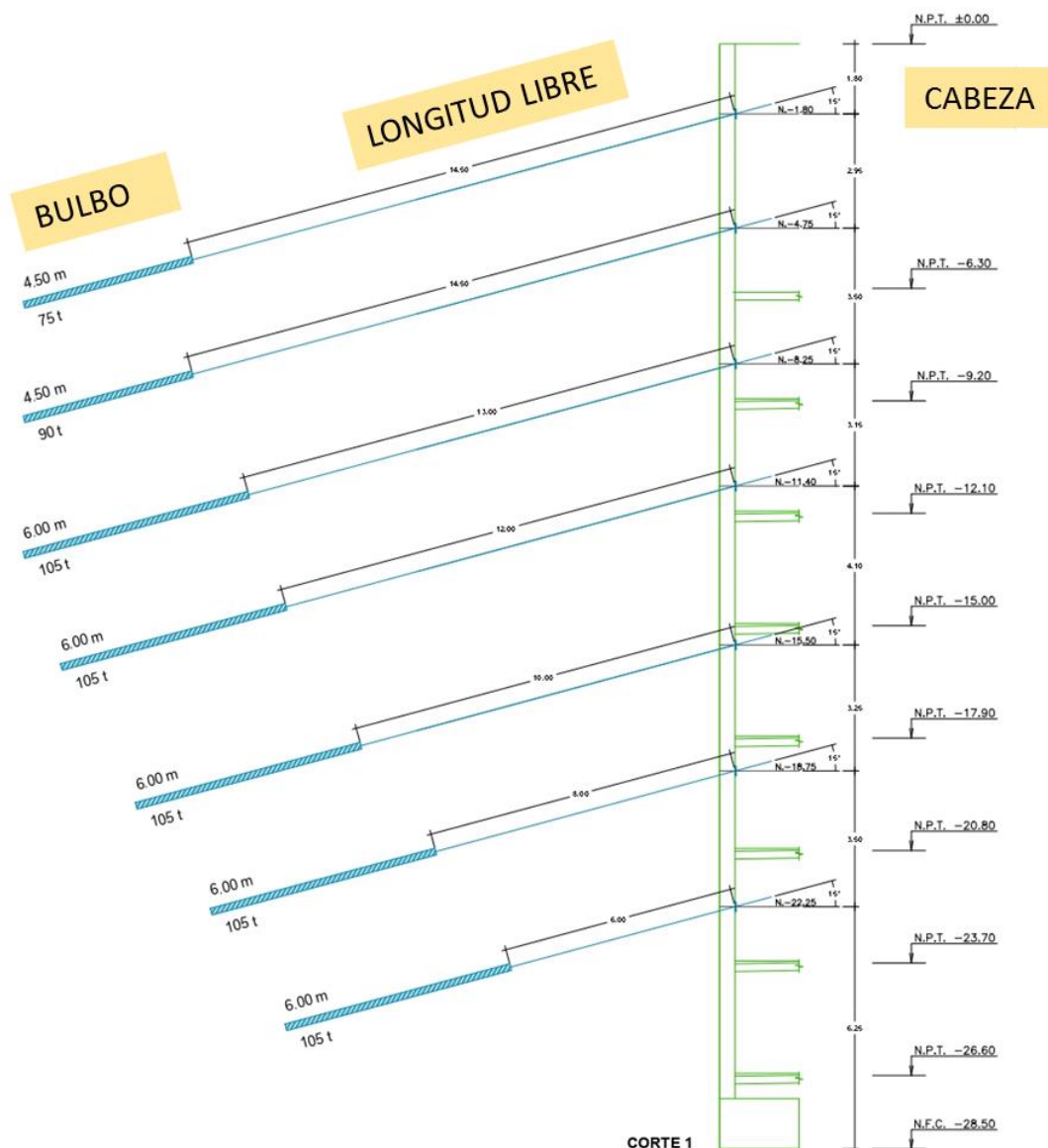


Figura 3. Sistema de muros anclados

La adherencia entre el terreno y el concreto que es inyectado a través del bulbo, permite tensar los anclajes, ejerciendo presión hacia el terreno, reaccionando este sobre el muro. Los muros de contención que tienen anclajes temporales, se diseñan considerando tres hipótesis de carga:

- a. La primera es cuando se hace la excavación y se va construyendo los paños aislados de muros anclados. En esta etapa los muros están solos, sin el soporte lateral de las losas de entrepisos y solo tienen la fuerza del tensado y la reacción lateral del terreno.

- b. La segunda es cuando ya hay varios paños vaciados y anclados. En esta etapa los muros se comportan como losas si vigas armadas en dos direcciones.
- c. La tercera, que es la hipótesis de carga definitiva, se tiene cuando las fuerzas de los anclajes se anulan (se destensan los anclajes al extraer el cono y plancha de anclaje) y se tiene el empuje del terreno actuando sobre los muros y éstos, reaccionando sobre las losas de los entrepisos de los sótanos. Esto sucede cuando ya se han construido las losas y la estructura del edificio en todos sus sótanos.

2.4.CONSTRUCCIÓN DE SÓTANOS

En Lima - Perú, como muchos países en vías de desarrollo, en los últimos años, existe la necesidad de crecer verticalmente, con edificaciones de 20 a 30 pisos y con sótanos de hasta 10 a 12 niveles para estacionamiento de vehículos (García 2020; Guio y Cayllahua, 2019). Sin embargo, estas edificaciones suelen ser terrenos reducidos de edificación y con construcciones en los laterales (García, 2020). Esto ocurre por el déficit habitacional derivado de la población migrante de la provincia a la ciudad de Lima - Perú. Este contexto ha hecho que las empresas constructoras aprovechen al máximo la disponibilidad de suelo y realicen edificaciones teniendo en cuenta la altura y profundidad para satisfacer esta demanda (Guio y Cayllahua 2019). A partir de este contexto nacen los sistemas constructivos de sótanos y las excavaciones profundas. Cabe mencionar que el suelo en la ciudad de Lima es altamente compacto y resistente, además de la ausencia de un nivel freático, beneficiando la estabilidad del terreno a excavar (García 2020; Guio y Cayllahua 2019).

Teniendo en cuenta estas condiciones, el sistema constructivo habitual para estabilizar taludes en sótanos profundos es el denominado muro anclado o conocido como muro anclados. Este sistema consiste en el diseño de muros de contención de hormigón armado de unas dimensiones aproximadas de 5x3m, que se retienen mediante un anclaje (Carbajal y Bermúdez 2017; García 2020). Este sistema es bastante económico y manejable, sobre todo en espacios reducidos (García 2020).

A continuación, se describe sobre el procedimiento constructivo para la construcción de sótanos

2.4.1. Procedimientos para construcción de sótanos

La construcción de muros anclados es un proceso secuencial en el cual se construyen anillos de 3 a 3.5 metros de altura y se dividen en paños de 4.5 a 5 metros de ancho, los cuales se irán construyendo siguiendo la secuencia indicada líneas abajo. Además, se dejan bermas de seguridad en la zona de todos los paños y solo se excava la berma cuando se va a construir en el paño en esa posición. Para poder proceder con la construcción de los muros del siguiente anillo se tiene primero que haber construido y tensado todo el primer anillo, después se excavará dejando las bermas de seguridad y se realizará todo el procedimiento de la misma forma.

- ✓ Banqueta de seguridad
- ✓ Perforación y colocación de Cables
- ✓ Inyección de *Grout*
- ✓ Excavación de la banqueta de seguridad
- ✓ Perfilado
- ✓ Habilitación e instalación de la malla de acero
- ✓ Encofrado
- ✓ Colocación de los paneles fenólicos
- ✓ Colocación de los dados de concreto enterrados
- ✓ Vaciado

2.5. PROCEDIMIENTOS PARA EXCAVACIONES PROFUNDAS

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 (Anzules, 2009).

Las metodologías de excavación profunda más utilizadas y conocidas son: Faja

transportadora, Grúas torre, Conformación de rampas, Conformación de banquetas, Método de cuchara a cuchara, Baldes basculantes y el método de izaje vertical.

2.5.1. Conformación de rampas

Superficie inclinada en un terreno utilizada para el tránsito de personas o equipos. Tiene una inclinación máxima dependiendo del tipo de terreno y de la longitud de la rampa.

- ✓ Es casi siempre la primera alternativa para iniciar la excavación.
- ✓ Es limitado por el espacio en planta, por necesitar un desarrollo con una pendiente adecuada para la salida y entrada de los volquetes.
- ✓ A mayor profundidad más longitud de la rampa, motivo por lo que solo es posibles en áreas de terrenos mayores a 600 m.
- ✓ La rampa no debe obstruir la construcción de los muros anclados.
- ✓ La Rampas deben poseer anchos no inferiores a 3.6 m y debe señalizarse su borde con una baranda o cinta plástica de señalización.
- ✓ La pendiente de rampa será menor al 18%, para no exigir a los volquetes tracciones excesivas.
- ✓ Para este método es necesaria 1 excavadora o 1 retro excavadora para alimentar a los volquetes.

2.5.2. Método de pasamanos con el uso de banqueta o montículo

- ✓ Es una técnica muy utilizada para excavaciones mayores de 12 metros y áreas mayores de 1000 metros cuadrados aproximadamente.
- ✓ Se realiza mediante el uso de 2 o más retro excavadoras (Figura 5).
- ✓ El sistema se emplea después de la conformación de las rampas.
- ✓ Las banquetas son hechas con el material de la rampa o rampas.
- ✓ Se debe tomar en cuenta la altura eficiente para la toma del material entre

excavadoras, en el caso que no se posible la toma de material, utilizar el método siguiente, eliminación de material mediante pasamanos con conformación de plataforma



Figura 4. Eliminación por el método de pasamanos con el uso de banqueta o montículo (Fuente. Registro fotográfico obra Camino Real)

2.5.3. Método pasamanos con conformación de plataforma

- ✓ Es una técnica muy utilizada para excavaciones mayores de 12 metros y áreas mayores de 1000 metros cuadrados aproximadamente.
- ✓ Se realiza mediante el uso de 1 excavadora y 1 o 2 retro excavadoras, dependiendo del área del terreno.
- ✓ El sistema se emplea después del método de pasamanos con el uso de banqueta o montículo.
- ✓ Las plataformas son estructuras en forma de escuadra que van empotradas en los muros anclados (Figura 6).



Figura 5. Eliminación por el método pasamanos con conformación de plataforma
(Fuente. Registro fotográfico obra Camino Real)

2.5.4. Uso de faja transportadora

Este se trata de un sistema de transporte continuo formado básicamente por una banda continua que se mueve entre dos tambores (Figura 7). En la industria de la construcción es utilizada para el transporte de material de excavación desde un punto de alimentación de material dentro del proyecto hacia un punto de descarga de material dentro de volquetes fuera del proyecto.

Sin embargo, cuando se tome la decisión de usar una faja transportadora, existen puntos a tener en cuenta tales como: inicio de montaje de la faja, tiempo de transición entre faja transportadora y rampa, posición de la faja, tamaño de faja dependiendo de las dimensiones y profundidad del proyecto, cantidad de equipos de excavación dependiendo de la cantidad de fajas.

- ✓ Tiene un rendimiento aproximado de 500m³
- ✓ Se compone de una Faja y dos excavadoras, una para alimentar la faja y la otra

para mover el material de excavación.

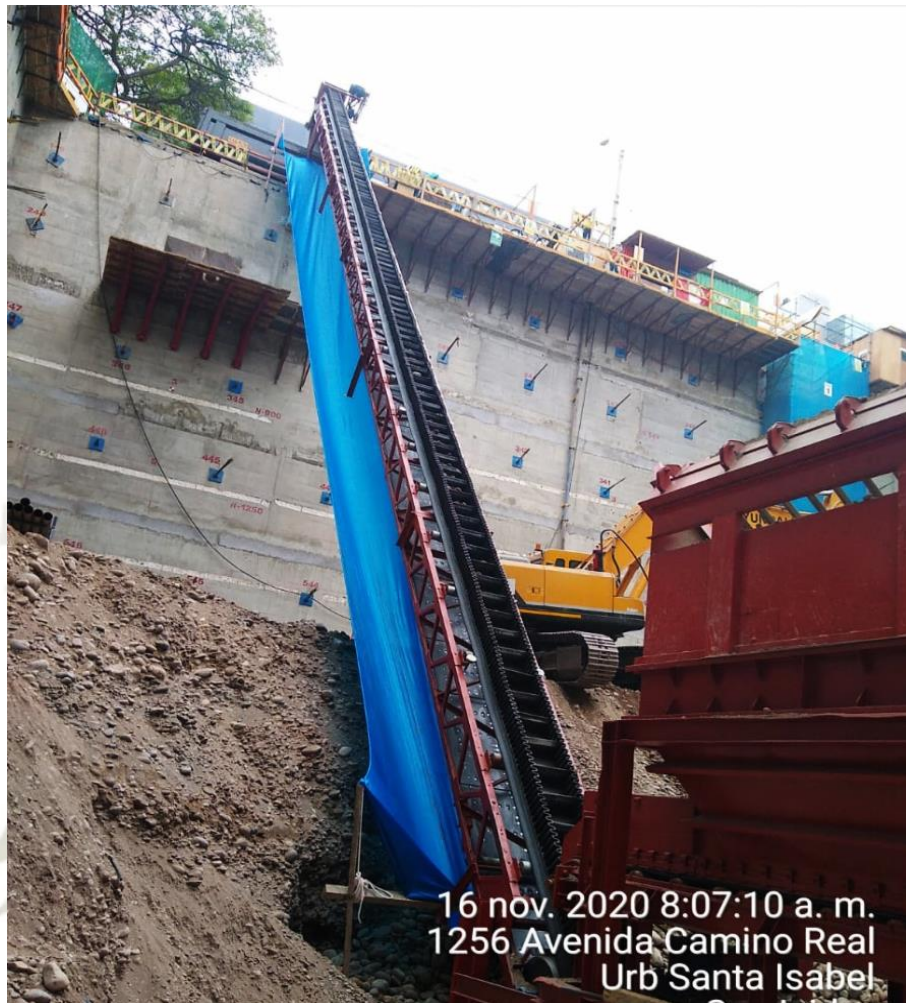


Figura 6. Eliminación por faja transportadora sin anclar en muros (Fuente. Registro fotográfico obra Camino Real)

2.5.5. Uso de Grúa y baldes basculantes

Este sistema es adecuado para el momento de finalización de la eliminación de material, especial para extraer material suelto de mayor volumen que no es posible eliminar con la faja transportadora (Figura 8).

- ✓ Se compone de una grúa, pudiendo ser propia del proyecto o ser una grúa móvil, así como también de baldes basculantes y una retro excavadora para alimentar el balde basculante.



Figura 7. Eliminación con el uso de Grúa y baldes basculantes (Fuente. Registro fotográfico obra Camino Real)

2.5.6. Sistema de izaje vertical o faja vertical

Esta es una alternativa interesante que puede mejorar la productividad en las excavaciones, este método sube el material extraído en las excavaciones, pero en forma vertical, a través de elevadores con rieles fijados a los muros anclados.

En este sistema se tiene que considerar la capacidad del alimentador para aumentar la cantidad de eliminación de material.

2.6. Protocolo COVID-19

En Perú, el 8 de mayo de 2020 se promulgó el protocolo COVID-19 para obras de edificación (MCVS 2020). Asimismo, se adoptó las acciones señaladas en la resolución ministerial del Ministerio de Salud de Perú (MINSA 2020). A través de este documento se están difundiendo las acciones necesarias para iniciar o reiniciar los proyectos de edificación. El protocolo contiene obligaciones estipuladas, tales como:

- 1) Elaborar un plan de vigilancia de la prevención y control de COVID-19.
- 2) Exigir el uso obligatorio de máscaras.
- 3) Realizar una evaluación de descarte de todas las personas a la entrada y salida de la obra (control de temperatura y pulsioximetría).
- 4) Suscríbese al archivo de sintomatología COVID-19 para cualquier persona que regrese al trabajo.
- 5) Instalar paneles de información con recomendaciones básicas; mantener una distancia de seguridad de 1,5m durante la estancia en el trabajo, desinfectar con periodicidad todos los ambientes, y restringir las reuniones que generan aglomeraciones, proporcionando un espacio para comedor con una capacidad reducida que puede ser por turnos.

Asimismo, establecer áreas destinadas a control previo, temática, vestuarios, baños, entre otras acciones descritas en el protocolo. Todas estas acciones para hacer frente al COVID-19 modifican los sistemas de producción de obra en las empresas constructoras.

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA



Esta investigación es de tipo experimental con base a los procedimientos técnicos utilizados (Gil, 2002). Este tipo de investigación se trata de que, a partir de lo existente, se puede predecir lo que funcionara en el futuro (Cabezas, Andrade y Torres, 2018).

En la construcción de edificaciones convencionales, existen cinco fases principales en su etapa de construcción: subestructura (incluye sótanos), superestructura, acabados húmedos, acabados secos, instalaciones, obras exteriores y mobiliarios. Cada una de estas fases tiene un *takt-time planning*. En esta investigación analizaremos la subestructura, fase que incluye la eliminación de material proveniente de las excavaciones durante la construcción de muros anclados. Esta actividad se convierte en el cuello de botella a partir del cuarto sótano (Guio y Cayllahua, 2019). Este cuello de botella demanda un sistema de producción Lean efectivo para ser eliminado. Por lo que una planificación anticipada, como el *Last Planner System*, puede usarse para establecer hitos en el cronograma de planificación (Yassine et al., 2014). Así como también el CBA que puede integrar las perspectivas del grupo de expertos, basándose en escenarios y en la colaboración temprana (Arroyo et al., 2013).

3.1. ETAPA 1: Análisis de los diferentes procedimientos existentes para eliminación de material:

En esta etapa el objetivo es conocer los procedimientos para la eliminación de material en las excavaciones de acuerdo a la tipología del proyecto. Esta investigación tomo como estudio de caso un proyecto ubicado en la ciudad de Lima, y se caracteriza por su excavación profunda de hasta 30 m, con una superficie de terreno de 1.480 m². Este proyecto implica la construcción de 350 paneles de muros anclados. La duración de esta actividad es de aproximadamente nueve meses. Algunas otras características se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5

Características del estudio de caso en estudio

Estudio de Caso	Ubicación	Área techada	Sótanos/Numero de Anillos	Pisos	Frente	Profundidad de excavación	Posición
Camino Real	San Isidro	1480 m ²	9	14	41	30	Entre casas

Fuente: Autoría propia

Este caso de estudio se justifica porque la empresa responsable del proyecto aplica principios y herramientas Lean en algunas de las etapas del proyecto, por lo que esta es una empresa que cuenta con un equipo de trabajo que adopta la mejora continua en sus procesos.

La investigación propone estudiar todos los niveles de sótanos, con la finalidad de identificar qué sistema de construcción para la construcción de sótanos es el más adecuado, considerando factores como el número de sótanos, área y frontis.

3.2. ETAPA 2: Mejora del sistema de construcción con LEAN

3.2.1. Identificación del valor

A través de herramientas como VSM, se pretende analizar y mejorar el sistema de construcción, identificando actividades que generan valor y las que no generan valor desde el inicio del proceso hasta la entrega al cliente.

Se eligió el proceso de ejecución de muros anclados, por ser una de las actividades más relevante en el presupuesto y cronograma en proyectos de edificación, por lo tanto, las mejoras propuestas generarían un impacto significativo, información obtenida mediante una entrevista con especialistas con más de 20 años de experiencia en este tipo de edificaciones.

Este estudio utilizó una adopción de la propuesta de ciclo de optimización para proyectos de construcción de Cabrera y Li (2014) (Figura 8). Dicha propuesta se basa en identificar el *Value Stream Mapping* e incluir componentes de mejora e innovación, este procedimiento se clasifica en las siguientes etapas:

- ✓ Definición: Se trata de agrupar los procesos según su secuencia y formar un sistema constructivo.
- ✓ Medición: Diagnosticar el flujo de producción para descubrir problemas y desperdicios. Aquí es donde se definen entregables y se definen los responsables, aquí se obtiene un mapa del estado actual (VSM).
- ✓ Evaluación: En esta fase se realizó una reunión con el equipo de departamentos de planificación e ingeniería de proyectos, con el objetivo de compartir

diferentes enfoques para un problema en particular y sacar conclusiones y posibles soluciones. Aquí es donde se obtiene un mapa del estado futuro (VSM2 y VSM3), ambos mapas incluyen los puntos de inspección y control de calidad en las actividades que así lo requieran.

En la Tabla 6 se realiza una indicación de cómo se lleva a cabo el plan de control de calidad y el plan de seguridad, y como este es parte de los diagramas de VSM 1, VSM 2 y VSM 3. En los diagramas de VSM, el control de calidad se muestra como parte tiempo para indicaciones (TI), y la inspección de seguridad se simboliza con un triángulo rojo con el símbolo de alerta.

Tabla 6
Plan de Control de calidad y Plan de Seguridad

Plan de control de calidad	
Calidad en la ejecución de vaciado	Deberá tomarse todas las precauciones para que las superficies de los elementos de concreto armado no presenten imperfecciones (como oquedades, chorreos y desaplomes), que sin afectar estructuralmente al elemento den una apariencia descuidada en la ejecución de la obra.
Control de Aplome en el encofrado	Se deberá controlar la verticalidad del encofrado antes de comenzar con la actividad de vaciado.
Calidad del concreto	Se realiza a través de probetas de concreto que posteriormente son llevadas a un laboratorio donde se mide el esfuerzo a compresión. Todos los controles de calidad del concreto se deberán realizar de acuerdo al capítulo 5 de la Norma Peruana de Concreto E-060, 2009.
Plan de puntos de inspección de trabajos seguros	
Maquinarias	Antes del uso de las maquinarias (excavadoras, retroexcavadoras, grúa, perforadora, y entre otras), el ingeniero de seguridad realiza una inspección al área, dando una aprobación para continuar con el trabajo.
Actividades	Antes del inicio de ciertas actividades se debe realizar una inspección de seguridad. Por ejemplo, antes del inicio del vaciado, verificar si la rampa en la que el equipo de vaciadores se movilizara es segura antes caídas.

	O en la actividad de perfilado y excavación Manual, verificar si el terreno no presenta peligro de deslizamiento.
--	---

Fuente: Autoría Propia

- ✓ Intervención: Una vez que se conoce el problema, se pasó a implementar acciones correctivas. Muchos problemas y desperdicios se pueden solucionar de manera inmediata mediante la reducción del tiempo no productivo de acuerdo a la mejora de los flujos de recursos en el sitio.
- ✓ Control: Finalmente, una vez que se reduzco la mayor parte de los residuos encontrados, otras fuentes de ineficiencia debido a las limitaciones propias del método de trabajo actualmente utilizado requerirán la mejora de la innovación de procesos. Para tal caso también se construyó un diagrama VSM 3 optimizado para ser implementado en lo posterior. De tal manera se permitirá obtener un rendimiento aún mayor en niveles que hacen competitiva a la empresa.

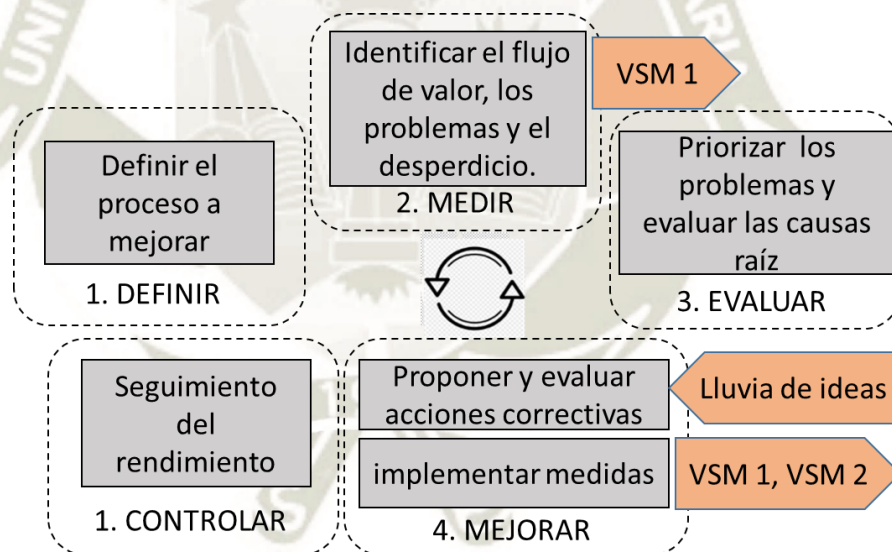


Figura 8. Adaptación de la propuesta de ciclo de optimización para proyectos de construcción de Cabrera y Li (2014)

3.2.2. Nivel de actividad y Cartas Balance

Para dar seguimiento e identificar los trabajos no productivos, se realiza un diagnóstico del nivel general de actividad de toda la obra y cartas balance de las actividades principales que conlleva la ejecución de muros anclados. Teniendo en cuenta que para realizar cartas balance de forma exitosa se debe seguir una secuencia de actividades

de forma rigurosa, mencionadas a continuación (Tabla 7):

Tabla 7
Secuencia de actividades para la realización del NGA

Actividad	Característica
Formulación de formato para toma de datos	Formato con datos importantes, nombre del proyecto, tamaño de muestra
Identificación de actividades	Así mismo se identifica las actividades que conlleva la construcción de muros anclados: Perfilado de muro, Instalación de Acero y Encofrado de paneles
Toma de datos	Para la toma de datos previa visualización del <i>Lookahead</i> , se planifico los días para toma de datos, siendo un total 384 el mínimo correspondiente.
Análisis de datos	Realizar preguntas, sobre como eliminar o reducir Trabajos No Cotributorios (TNC)
Propuesta	Se trata de hacer una lluvia de ideas, con soluciones distintas y poner en prácticas las que mejor se adapten.

Fuente: Autoría propia

3.2.3. Flujo de Trabajo con *Last Planner System* (LPS)

El proyecto quedó paralizado al inicio de las excavaciones (el 15 de marzo de 2020). En vista que se declaró estado de emergencia nacional debido a las graves circunstancias que afectaron y continúan afectando la vida a raíz del brote de COVID-19 (PCM 2020). En estas circunstancias, como parte del reinicio del proyecto de construcción, la empresa constructora utilizó el *Last Planner System* (LPS) donde se llevó a cabo una planificación colaborativa con el equipo para volver a redactar las actividades en esta fase.

Esta planificación se hará considerando la programación general del estudio de caso, realizándose una programación intermedia (*Lookahead*), programación semanal, programación diaria, esta incluye las actividades de control de calidad, tanto del ingeniero de campo como del ingeniero supervisor y la identificación de las restricciones, dichas restricciones pudiendo ser parte del cumplimiento de la seguridad laboral.

3.2.4. Decisión de alternativas con el *Choosing by Advantages* (CBA)

Se realizará la aplicación de la metodología CBA para seleccionar la mejor alternativa de sistema de eliminación de material en la ejecución de sótanos en el caso de estudio propuesto. En vista que el proyecto quedó paralizado por la emergencia sanitaria por el COVID-19, en la selección de alternativas se considera las limitaciones que genera el cumplimiento del protocolo COVID-19.

Para la toma de decisión, se conformó un panel de expertos para analizar y decidir la mejor solución alternativa. Finalmente, se implementó *in situ* la alternativa seleccionada, validando la metodología.

La investigación adoptó un modelo de método tabular CBA, que consta de 8 pasos para su implementación. Y propuso el siguiente protocolo para el estudio de caso (Figura 10).

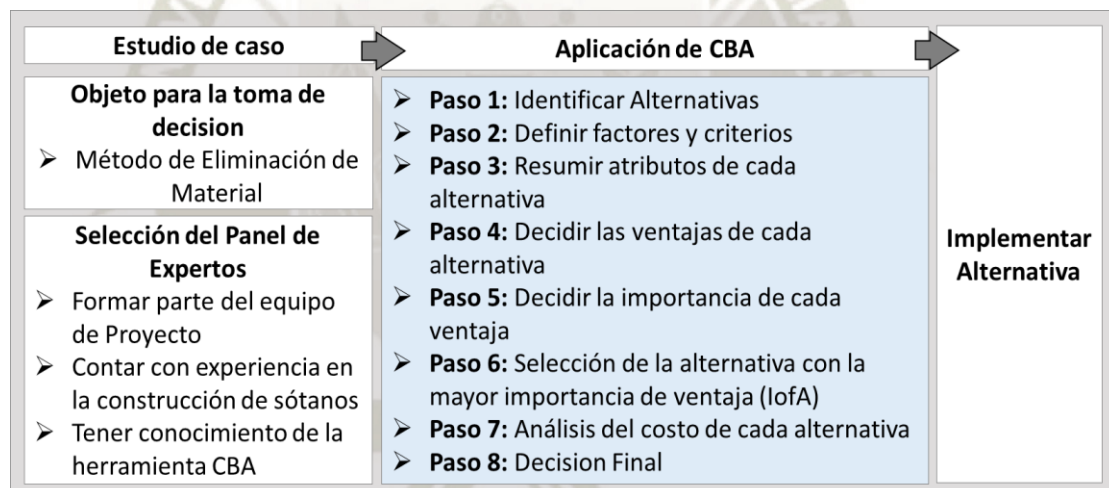


Figura 9. Protocolo adoptado para la aplicación de CBA (Fuente: Autoría propia)

3.3. ETAPA 3: Estandarización de Datos

En esta etapa se estandarizarán los datos obtenidos a través de los estudios de caso, de tal manera que sirvan como soporte para el proceso de excavación en diferentes proyectos.



4. CAPITULO IV: REVISIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

En el presente capítulo, se describe el caso de estudio, se hace un análisis del estado actual y finalmente un análisis de las debilidades del proyecto, tales como los cuellos de botella.

4.1.PROYECTO: CAMINO REAL

El proyecto en el cual se realizará la toma de información es el edificio “Camino Real”, destinado para oficinas, Este proyecto está siendo construido por la empresa V&V Bravo, y trata de la construcción de 9 sótanos, destinados para estacionamientos y depósitos; y la construcción de 14 niveles de entepiso destinado para oficinas, 1 piso técnico destinado para diversos equipos y 1 azotea donde también se tienen equipos.

El terreno sobre el cual se edificó el proyecto está ubicado en la Av. Camino Real N° 1240-1252-1260, del distrito de San Isidro, departamento y Provincia de Lima (Figura 11).



Figura 10. Ubicación del proyecto Camino Real (Fuente: Adaptado de Google Maps, 2021)

El proyecto está dividido en dos fases: La primera fase contempla la construcción de los muros anclados, mientras que en la segunda fase contempla la construcción de losas de sótanos y la construcción de la torre de 14 niveles de entre piso. Esta investigación se enfocará en la construcción de la primera fase, la cual contempla un presupuesto de S/. 1,593,041.61, considerando las 3 etapas del proyecto, perforación de muros, construcción de muros anclados y eliminación de material.

4.1.1. Características de la excavación

Este proyecto se caracteriza por tener una excavación profunda de hasta 30.55 m, con un área de tamaño mediano 1,487.65 m². La propuesta plantea la estabilización de taludes mediante la ejecución de 4542.35m². El proyecto tuvo una duración de 9 meses y se realizó alrededor de 350 muros anclados, donde los 8 primeros anillos serán tensados, y el últimos según estudios de geotécnicos, no llevará anclaje (Figura 12). El proyecto cuenta con un frontis de 41m (Figura 13).



Figura 11. Vista de la excavación profunda de hasta 30.55 m, con un área de terreno de 1,487.65 m² (Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)



Figura 12. Vista del Frontis de Camino Real (Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)

En la zona de fachada principal (Eje A) el edificio colinda con la Av. Camino Real. Los otros lados del edificio colindan con estructuras existentes, como se aprecia en la Figura 14.



Figura 13. Vista en planta de la obra Camino Real (Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)

4.1.2. Estructuras existentes

El edificio Camino Real es un proyecto de un área total de terreno de 1,487.65 m², que antes de iniciar con el proceso de excavación del mismo, se empezó con la demolición de edificaciones existentes que consta de 3 terrenos de proporciones diferentes con respecto al área como se puede verificar en la Figura 14, Figura 15, Figura 16, Figura 17 tomada de Google Maps.



Figura 14. Edificaciones Existentes que pertenecían al terreno del proyecto Camino Real (Fuente: Adaptado de Google Maps, 2021)



Figura 15. Vista de la propiedad del vecino lado izquierdo, adyacente al eje 1-1 del proyecto (*Fuente: Adaptado de Google Maps, 2021*)



Figura 16. Vista de la propiedad del vecino lado posterior, adyacente al eje G-G del proyecto (*Fuente: Adaptado de Google Maps, 2021*)



Figura 17. Vista de la propiedad del vecino lado derecho, adyacente al eje 6-6 del proyecto (*Fuente: Adaptado de Google Maps, 2021*)

4.1.3. Reinicio de Obra

El proyecto de edificación “Camino Real “quedó paralizado el 15 de marzo de 2020 luego que se declaró el estado de emergencia nacional debido a las graves circunstancias que afectaron y continúan afectando la vida como consecuencia del brote de COVID-19 (PCM 2020). En estas circunstancias, como parte del reinicio del proyecto de construcción. Las acciones señaladas en la resolución ministerial del Ministerio de Salud de Perú (MINSA 2020) fueron de adecuación. Esta adaptación implica cumplir con la distancia social de 1,5m entre los trabajadores, exigir el uso obligatorio de máscaras, y tener una capacidad limitada.

Bajo estas circunstancias, como parte de reinicio del proyecto, la empresa implementó el elemento *Phase Scheduling* del LPS para planificar colaborativamente la construcción de la fase. Se realizó un esquema del área en construcción o conocido

como *layout* de obra.

Este contexto también llevo a la necesidad de elegir un método adecuado para la eliminación de material excedente de las excavaciones en los sótanos más profundos, de tal manera que no se vea perjudicado el plazo de ejecución. Ya que esta actividad se convierte en cuello de botella en anillos de mayor profundidad.

4.1.4. *Layout* de Obra y Obras provisionales

El *Layout* es una forma de cómo los recursos son posicionados entre si y como las distintas actividades son localizadas en relación a estos recursos. El *Layout* determina el padrón del flujo de los recursos a lo largo del sistema de producción (Slack, Chambers, Johnston, 2007).

Entre los tipos de *layout*, según Askin y Goldberg (2002) los proyectos de la industria de la construcción se encajan en un sistema de producción con un *Layout* posicional, ya que en este tipo de *Layout*, el producto permanece fijo, teniendo en cuenta su naturaleza, en cuanto a los recursos de producción (materiales, equipos y mano de obra) convergen en su entorno, donde son ejecutadas las actividades.

Es así que el flujo de construcción está relacionado con el correcto diseño de las obras provisionales en el *Layout* de Obra. El orden en la construcción garantiza el flujo de construcción. El diseño de las obras provisionales como las grúas torre, tiene que ser planeado para que sea útil en las distintas etapas de la construcción (dinámico). Es en ese sentido, no basta el correcto uso de las herramientas de programación sino enfocarse y cuestionarse sobre el planeamiento del proyecto es indispensable.

En el estudio de caso presente, el *Layout* de obra se hizo tomando en cuenta las áreas destinadas para el cumplimiento del protocolo COVID-19, áreas para comedor, tópico, para el control previo y un área para lavado de manos y vestidores (Figura 16). Entre otros cumplimientos de dicho protocolo, está el distanciamiento de 1.5m en las charlas de seguridad, esto para evitar las aglomeraciones (Figura 17). Así como también el cumplimiento con el distanciamiento en la distribución de los asientos en el comedor (Figura 18)

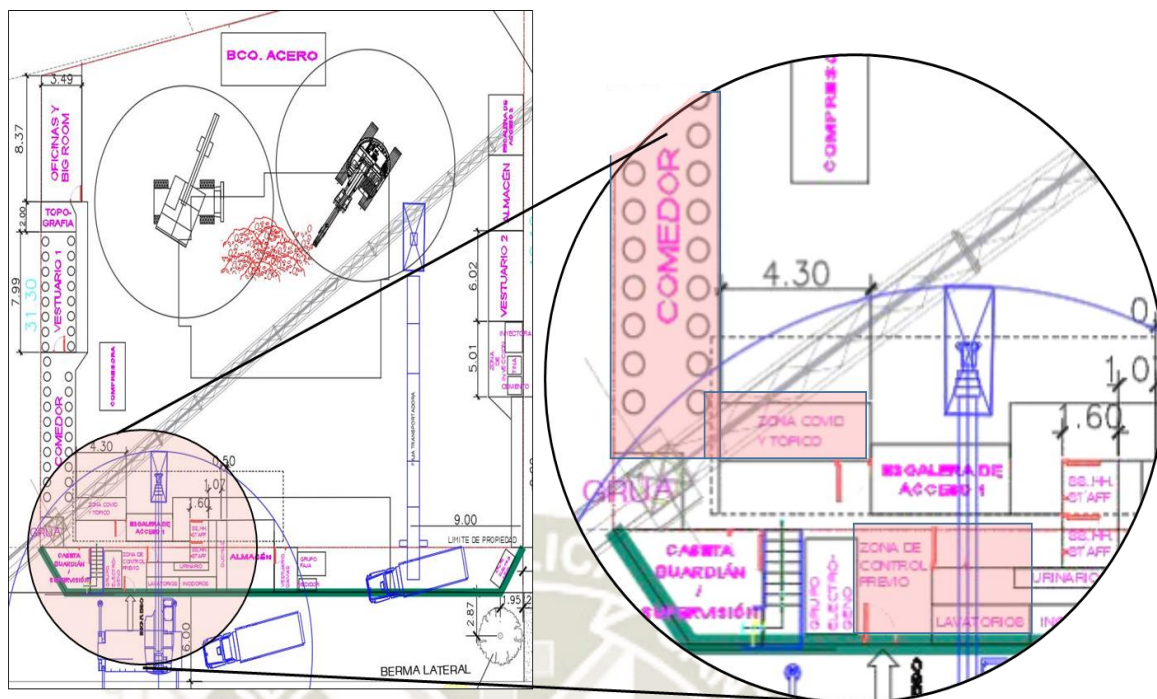


Figura 18. Layout del Proyecto Camino Real, considerando áreas para el cumplimiento del protocolo COVID-19 (Fuente: Archivo de la obra camino Real)



Figura 19. Charlas de seguridad con el cumplimiento del distanciamiento de 1.5m (Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)

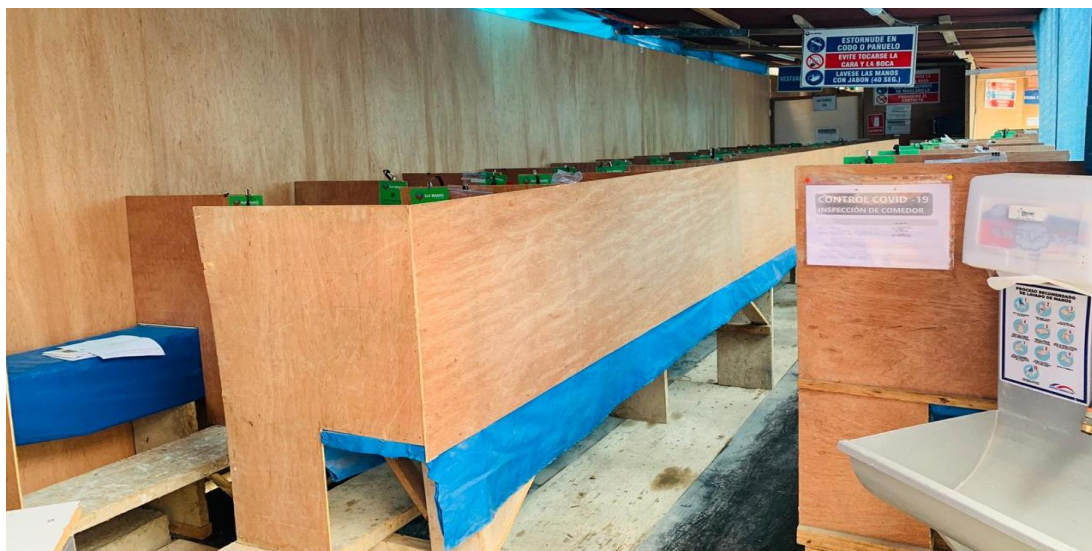


Figura 20. Comedor con la distribución de los asientos con el distanciamiento de 1.5m (Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)

4.1.5. Muros anclados

Se trata de la ejecución de los muros de sótano en el perímetro de la excavación, y contempla la contención por medio de anclajes post- tensados de forma provisional. Esta solución propone utilizar el peso de los bulbos de concreto, de forma que contrarreste el empuje activo del terreno que es necesario sostener, así también esta solución recibe las cargas verticales (trabaja bajo flexo compresión).

Para el diseño estructural se ha usado el Reglamento Nacional de Construcciones (MVCS, 2006). Este reglamento incluye la Norma Técnica E-060 para el concreto armado, la Norma E-030 de Diseño Sismo-Resistente, así como la Norma E-020 para la determinación de cargas y sobrecargas.

En conjunto, estos reglamentos incluyen consideraciones detalladas para la carga muerta, carga viva, carga de sismo, métodos aceptados de diseño, cargas últimas de diseño, factores de carga y coeficientes de seguridad para cada uno de los elementos estructurales y de los materiales.

Las especificaciones de materiales y pruebas se indican de acuerdo con las normas ITINTEC y/o las correspondientes del ASTM.

La calidad de los materiales especificada para los muros anclados es la siguiente: concreto de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ (Al momento del tensado), el acero de refuerzo ASTM

615 con resistencia a la fluencia de 4200kg/cm^2 .

4.1.6. Ingeniería de los muros anclados

En el anexo A se observa los planos del proyecto Camino Real, en los planos M2, M4, M7 y M10, el número de muros anclados, así como su respectiva ubicación y características, y muestra también la secuencia constructiva de los muros anclados.

4.1.7. Partes de los muros anclados

Las Partes de un muro anclado es la de una zona de anclaje, la cual es para transmitir los esfuerzos al terreno. Otra es la zona Libre, esta zona tiene total libertad de deformación al ponerse en tensión. Mientras que la cabeza y placa de apoyo, es la zona de unión entre el anclaje y el muro pantalla (Figura 21).



Figura 21. Esquema de muro anclado con partes

Se recomienda que la separación de anclajes horizontal (S_h) y vertical (S_v) sea de $2 @ 5$ m (Figura 22). Y la dirección del anclaje más óptima y económica es de un ángulo igual a $45^\circ - \phi/2$, ϕ es el ángulo de rozamiento interno en los planos de discontinuidad. La longitud libre recomendada es de 5m

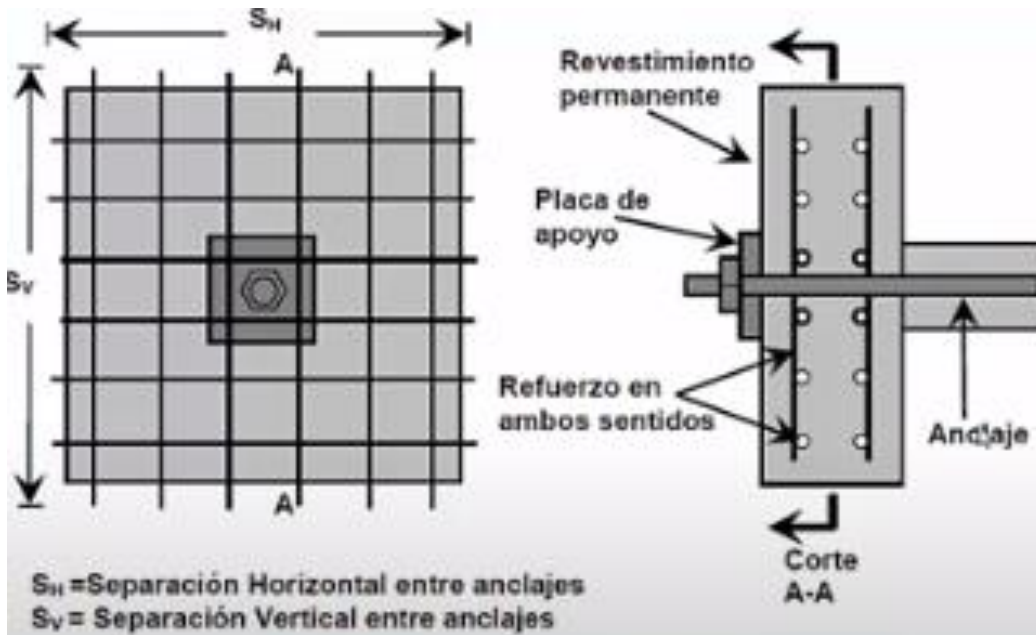


Figura 22. Separación de Horizontal y vertical de los anclajes

4.1.8. Longitud de los anclajes

Lo ideal es colocar la zona de los bulbos (L_b) detrás de la superficie crítica de los muros y no en la zona de falla potencial, tal como se muestra en la Figura 23.

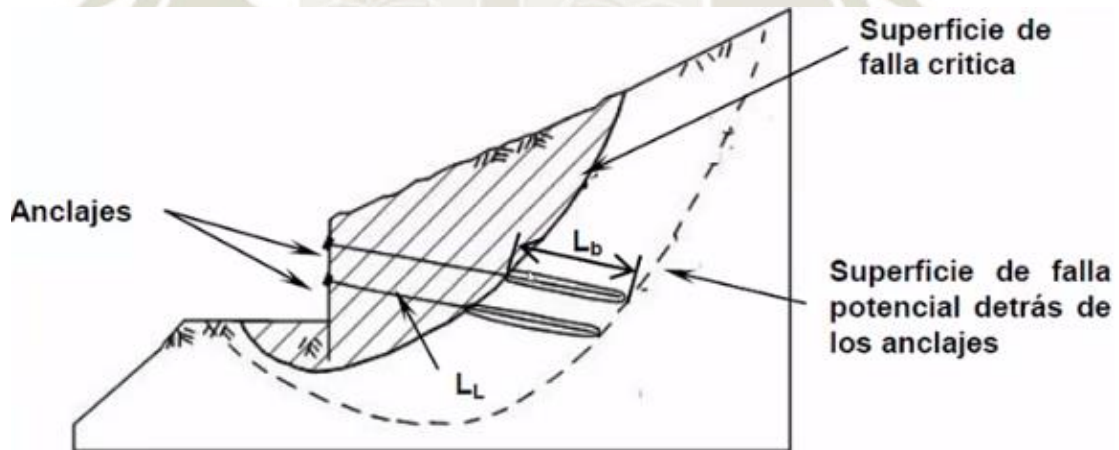


Figura 23. Longitud del Bulbo

4.1.9. Diagrama aparte de presión de tierra en muros anclados

A continuación, se muestra un diagrama aparente de presiones de Tierra en Muros Anclados para suelo con arcillas duras fisuradas, tal como es el caso del suelo del proyecto Camino real (Figura 24)

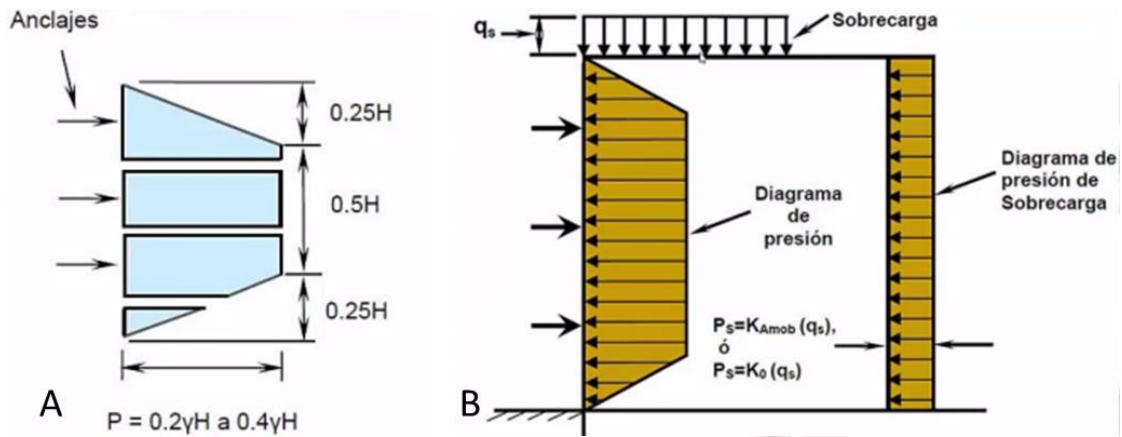


Figura 24. (A) Diagrama aparente de presión de tierra en muros anclados en suelos con arcillas duras fisuradas, (B) Diagrama de presión de tierra en muros anclados

4.1.10. Presión en los anclajes

Transformación de Carga de Presión Total de Tierra en Diagrama Aparente de Presión para Muros Anclados (Figura 25).

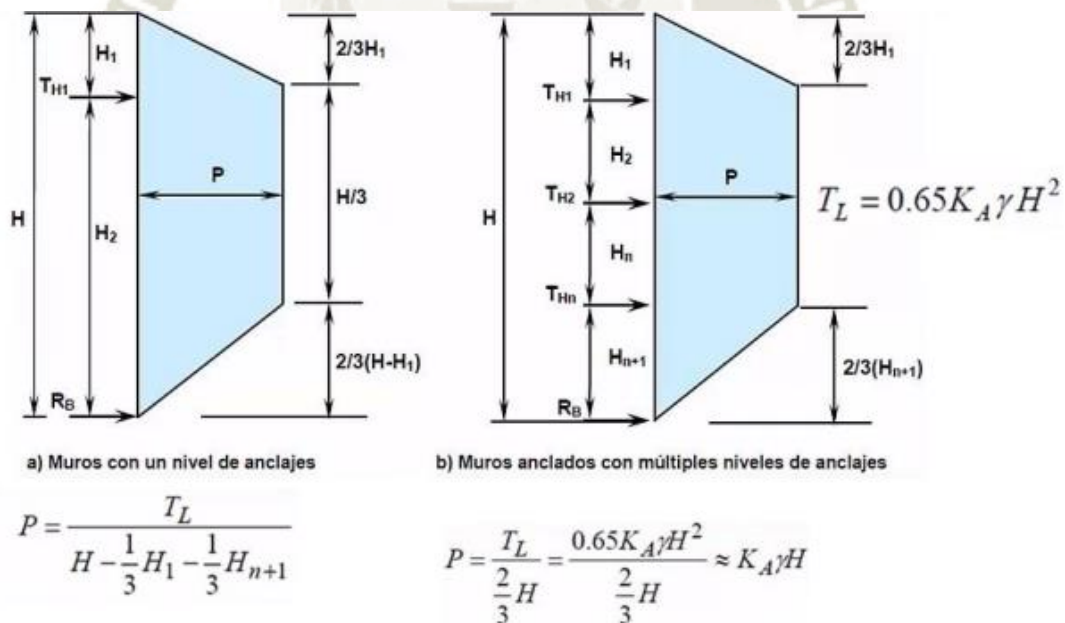


Figura 25. Transformación de Carga de Presión Total de Tierra en Diagrama Aparente de Presión para Muros Anclados

4.1.11. Fuerza en los anclajes

Fuerza en los anclajes en suelos granulares

- Para un solo anclaje (Figura 26)

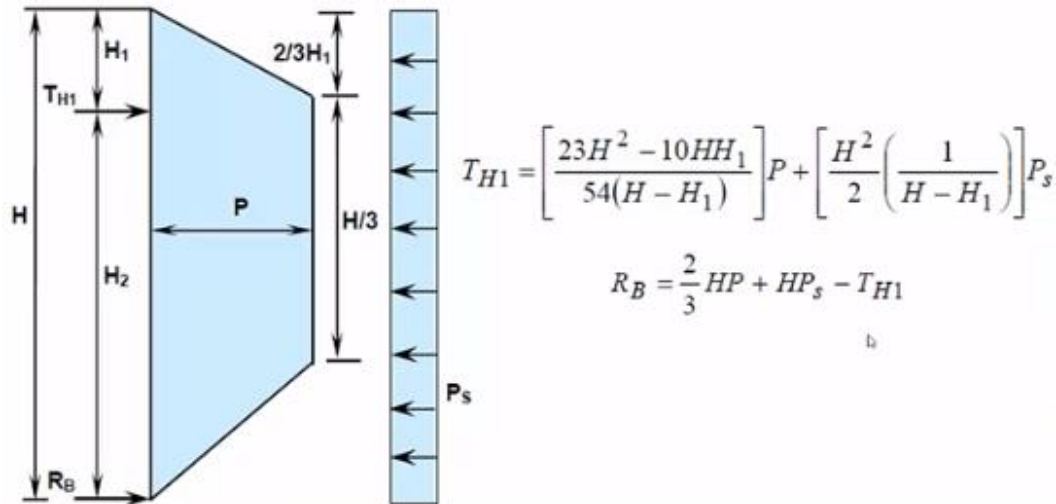


Figura 26. Fuerza en los anclajes para un solo anclaje

- Para varios anclajes (Figura 27)

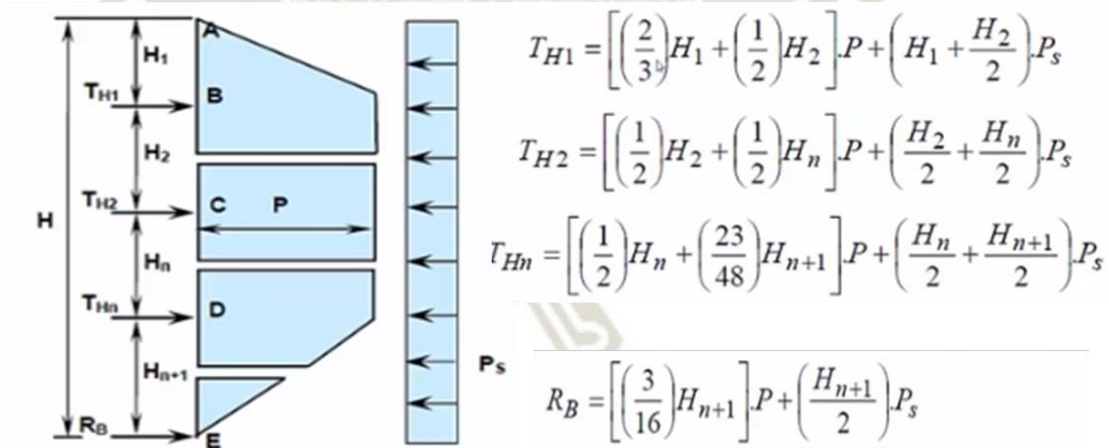


Figura 27. Fuerza en los anclajes para varios anclajes

4.1.12. Suelos

En cuanto al tipo de suelo, es un suelo granulado que permite un sistema de contención con muros anclados, este tipo de suelo tiene características de conglomerado, típico de Lima metropolitana. Este tipo de suelo es resultado de la deyección del río Rímac y Chillón.

El perfil del suelo de la obra Camino real está conformado por:

- Superficialmente en la zona de estudio predominan suelos de grano grueso, compuesto por una capa superior de material de relleno hasta una profundidad aproximada de 1.00m.
- Posteriormente, encontramos un material compuesto por una arcilla limosa con arena, con un espesor variable de 0.40 m a 1.30 m, que se encuentra ligeramente húmeda y con presencia de raíces y gravillas aisladas con TM: 1”.
- Seguidamente, hasta la profundidad de exploración (12.00 m) se tiene la presencia predominante del material gravoso con presencia de arenas y limos y presencia predominante del material gravoso con presencia de arenas y limos y presencia de cantos redondeados a sub redondeados con TM 10”, se encuentra con poca humedad y compactación de densa a muy densa.

Para realizar los cálculos de estabilidad se ha considerado los parámetros geomecánicos típicos de suelo descrito en el ítem anterior, los cuales se muestran en la siguiente Tabla 8.

Tabla 8
Coeficiente de Basalto de los tipos de suelo

Depósito	γ (ton/m ³)	c (ton/m ²)	ϕ (°)
Relleno	1.90	0.50	28
Grava superior	2.00	3.00	38
Grava Intermedia	2.10	4.00	40
Grava Inferior	2.20	5.00	42

No se ha considerado la presencia de la napa freática.

4.1.13. Cálculo de estabilidad

Para el cálculo de estabilidad se ha considerado el estudio de suelos, los planos arquitectónicos y estructurales proporcionadas por el cliente, de donde se desprenden varios modelos geomecánicos representativos para los muros perimetrales de sostenimiento que se describen a continuación:

- Corte 1, tiene una altura a estabilizar de 28.50 m, considerando sobrecargas adyacentes a la Av. Camino Real. Este corte contempla siete (07) líneas de anclajes, con cargas de trabajo de 75 tf la primera línea, 90 tf la segunda línea

y las líneas restantes con 105 tf (toneladas - fuerza). Se considera un espaciamiento horizontal máximo entre anclajes de 3.50 m para todas las líneas.

- Corte 2, tiene una altura a estabilizar de 27.95 m, considerando sobrecargas equivalentes a edificación de cuatro (04) niveles. Este corte contempla siete (07) líneas de anclajes, con cargas de trabajo de 75 tf la primera línea, 90 tf la segunda línea y las líneas restantes con 105 tf (toneladas - fuerza). Se considera un espaciamiento horizontal máximo entre anclajes de 3.50 m para todas las líneas.
- Corte 3, tiene una altura a estabilizar de 30.55 m, considerando sobrecargas equivalentes a edificación de cuatro (04) niveles. Este corte contempla ocho (08) líneas de anclajes, con cargas de trabajo de 75 tf la primera línea, 90 tf la segunda línea y las líneas restantes con 105 tf (toneladas fuerza). Se considera un espaciamiento horizontal, máximo entre anclajes de 3.50 m para todas las líneas.
- Corte 4, tiene una altura a estabilizar de - 30.55 m, considerando sobrecargas equivalentes a edificación de ocho (08), tres (03), y nueve (09) niveles. Este corte contempla ocho (08) líneas de anclajes, con cargas de trabajo de 75 tf la primera línea, 90 tf la segunda línea y las líneas restantes con 105 tf (toneladas - fuerza). Se considera un espaciamiento horizontal máximo entre anclajes de 3.00 m para todas las líneas.
- Corte 5, tiene una altura a estabilizar de 29.30 m, considerando sobrecargas equivalentes a edificación de siete (07) niveles. Este corte contempla ocho (08) línea de anclajes, con cargas de trabajo de 75 tf la primera línea, 90 tf la segunda línea y las líneas restantes con 105 tf (toneladas - fuerza). Se considera un espaciamiento horizontal máximo entre anclajes de 3.40 m para todas las líneas

MUROS ANCLADOS

- MURO EJE A - A: El muro proyectado presenta una longitud de 41.60 m y

una altura de excavación comprendida entre el nivel de superficie de terreno en la cota +0.00 m, hasta el nivel de fondo de cimentación en las cotas - 28.50 m, 27.55m. El muro tiene un área a estabilizar de 1,173.33 m².

Diseño Corte 1 de estabilidad.

- MURO EJE 1 - 1: El muro proyectado presenta una longitud de 31.30 m y una altura de excavación comprendida entre el nivel de superficie de terreno en la cota +0.00 m, hasta el nivel de fondo de cimentación en las cotas - 27.55 m, - 27.95m y - 30.55 m. El muro tiene un área a estabilizar de 912.36 m².

Diseño Cortes 2 y 3 de estabilidad.

- MURO EJE G - G: El muro proyectado presenta una longitud de 42.54 m y una altura de excavación comprendida entre el nivel de superficie de terreno en la cota +0.00 m, hasta el nivel de fondo de cimentación en la cota - 30.55m y - 29.30 m. El muro tiene un área a estabilizar de 1,285.67 m².

Diseño Corte 4 de estabilidad

- MURO EJE 6 - 6: El muro proyectado presenta una longitud de 40.12 m y una altura de excavación comprendida entre el nivel de superficie de terreno en la cota +0.00 m, hasta el nivel de fondo de cimentación en las cotas - 29.30 y - 28.50 m. El muro tiene un área a estabilizar de 1,170.99 m².

Diseño Corte 5 de estabilidad.

La distribución de anclajes se muestra en los Planos M1 hasta el M9 del Anexo.

4.1.14. Análisis y diseño estructural de muros anclados

Modelo inicial : Se trata de una unidad de muro anclado, donde el modelo es como si fuera una zapata flexible con elemento tipo Shell, aplicando un módulo de balasto horizontal y verificando el punzonamiento y calculando el refuerzo de la cara interior simulando que es un voladizo (Figura 28).

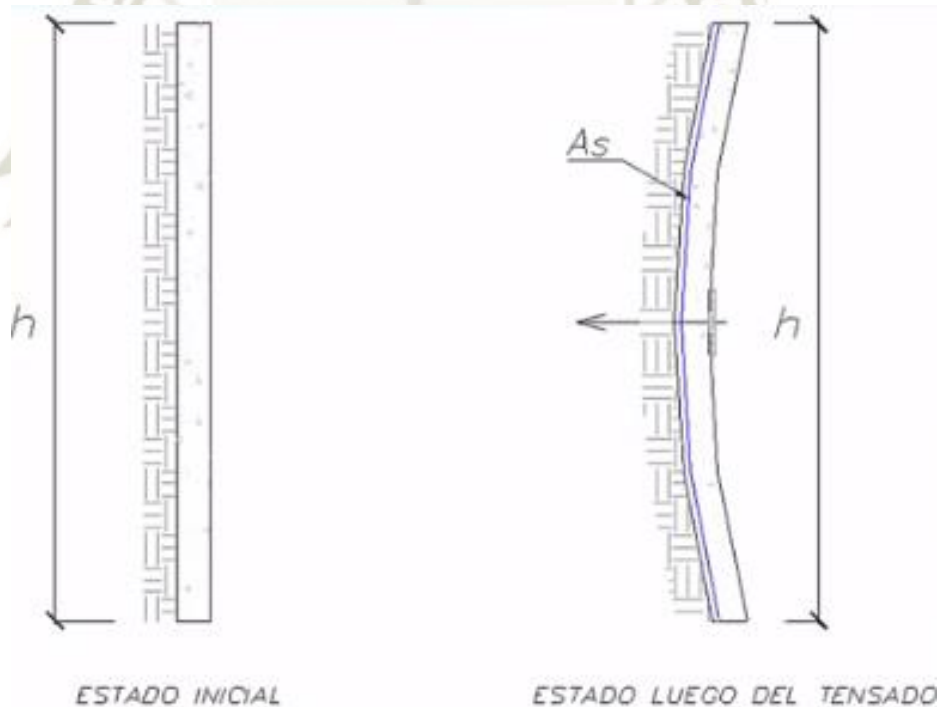


Figura 28. Modelo inicial, un solo muro

Segundo Modelo: Se trata de dos muros continuos, estos se modelan como dos paños juntos, al igual que una losa sin viga en una sola dirección. Cuando existan más filas de paños juntos, se modela como una losa sin viga armada en dos direcciones. De esta forma es posible calcular el acero positivo de los anclajes como se observa en la Figura

29. Permitiendo calcular el acero en el tramo con momento positivo.

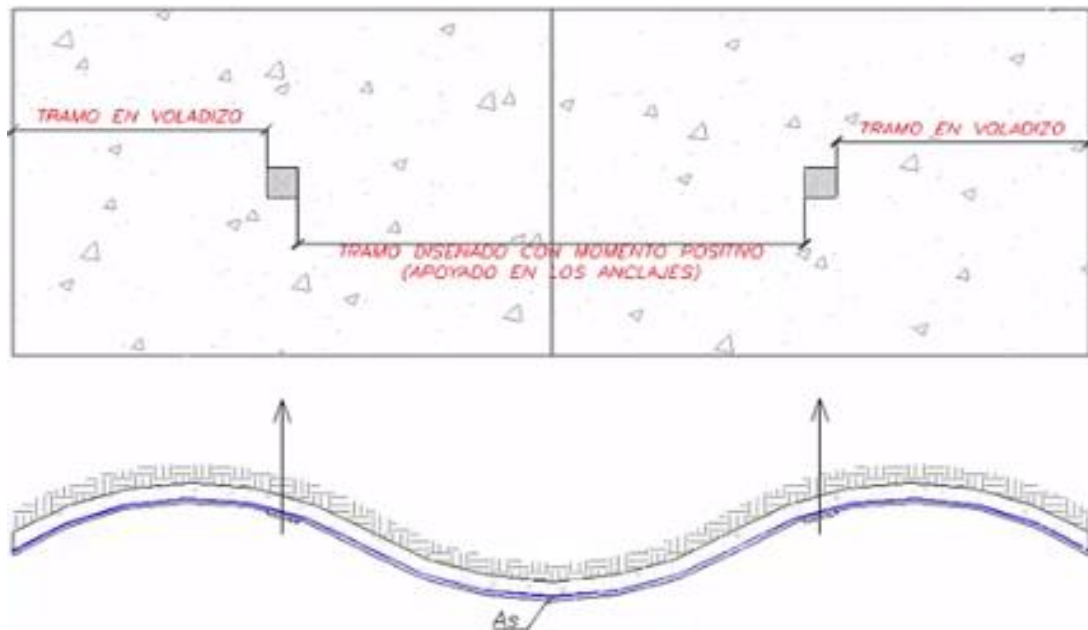


Figura 29. Segundo modelo, muros continuos

Tercer modelo: Se trata de muros con toda la profundidad existente (profundidad de excavación). Este modelo se da al finalizar el destensado de todos los cables en los muros. Luego del destensado es cuando se procede a modelar los muros por unidad de longitud en toda su altura (profundidad), en esta modelo se debe considerar el empuje de tierra y la sobre carga. En este estado es posible que se requiera bastones positivos y negativos (Figura 30).

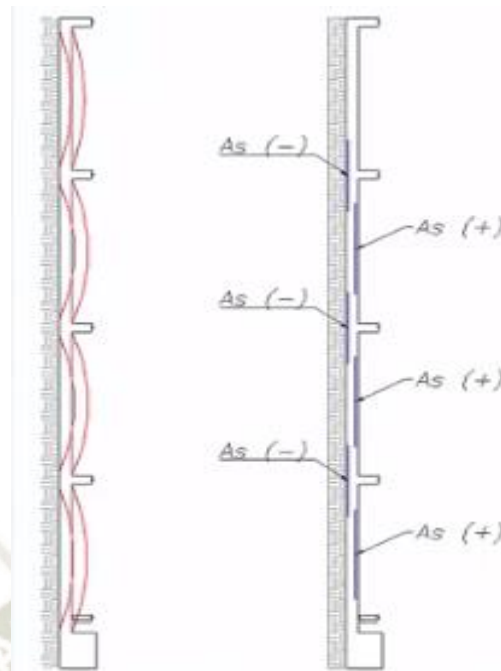


Figura 30. Tercer modelo, modelo de los muros con toda la profundidad existente

4.1.15. Análisis del diseño de los muros anclados del proyecto Camino Real

Para los cálculos, se consideran los datos de tipo de suelo y los materiales a utilizar.

En el presente ejemplo se toma de un paño típico. Los datos para este ejemplo son los siguientes (Tabla 9)

Tabla 9

Datos para el diseño de muros anclados para el edificio Camino Real (9 sótanos)

Datos	
Sótanos	9
γ_c	2.4 ton/m ³
f'_c	280 kg/cm ²
f_y	4200 kg/cm ²
S/C	1 ton/m ³ x piso
N° pisos del vecino	2 pisos
Terreno lateral	GP
ϕ	32°
γ	1.9 ton/m ³
K_a	0.307
q_u	4.50 kg/cm ²
K_o	11 kg/cm ³
Paño típico	
B(m)	3
H(m)	3.5
e(m)	0.4

d(m)	0.28
b(m)	0.4
bo punzonamiento (m)	2.6
F tensado (tonf)	105
(factor de seguridad) F.S. 1	1.2
(factor de seguridad) F.S. 2	1.2
Vu (tonf)	83.46
Vc(tonf)	98

Las principales solicitaciones de un paño de muro anclado son el punzonamiento y la flexión, estos son causados por la acción del tensado del muro contra el terreno. La carga de tensado viene dada por el especialista de geotecnia y depende de la cota de tensado, sobrecarga, empuje lateral, etc.

4.1.15.1. Verificación de Esfuerzos

- Modelo 1: El primer modelo es un paño solo, su comportamiento es igual al de una zapata aislada con carga axial (Figura 31).

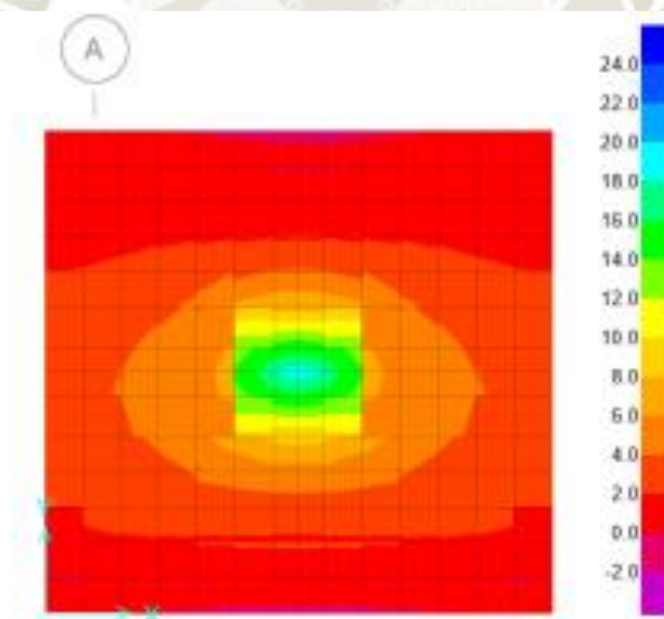


Figura 31. Modelo con un paño solo (Fuente: Sap 2000)

- Modelo 2: El segundo modelo es dos paños continuos y su comportamiento es igual al de una zapata combinada (Figura 32).

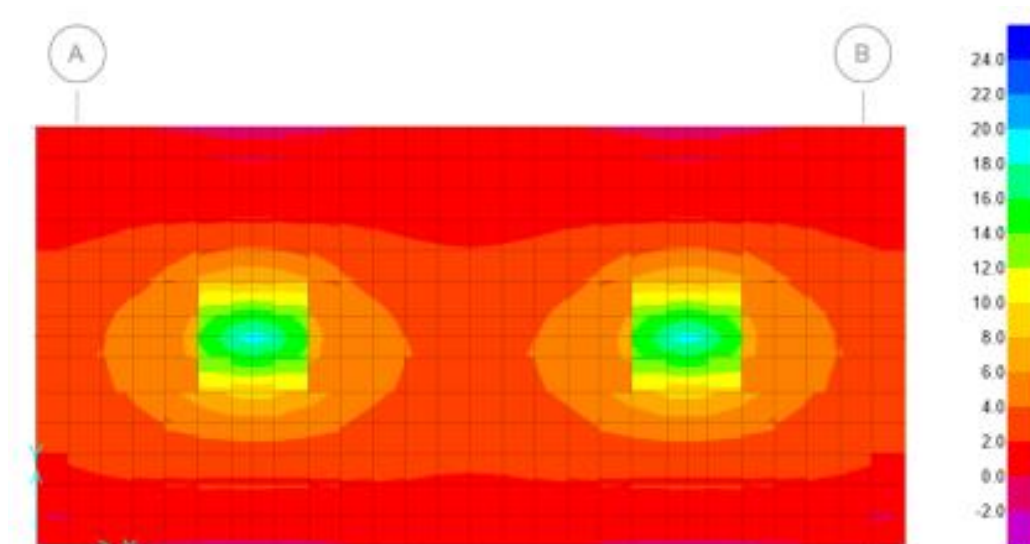


Figura 32. Modelo de dos paños continuos (Fuente: Sap 2000)

- Modelo 3: El tercer modelo es la pantalla completa y su comportamiento es igual al de una losa de cimentación.
- Modelo 4: El cuarto modelo es una viga apoyada en las losas de piso del sótano y su comportamiento es igual al de una viga simplemente apoyada

Se hace una verificación de esfuerzos (Tabla 10):

Tabla 10

Verificación de esfuerzos

X-X		
σ_1	8.23	OK
σ_2	8.23	OK
Y-Y		
σ_1	8.65	OK
σ_2	7.86	OK
	σ_u	15.3

4.1.15.2. Diseño de punzonamiento

El valor de la carga última de punzonamiento se calcula según ecuación: $V_u = F_{tensado} \cdot \text{Cosa}^\circ \cdot FS1 \cdot FS2$. El primer factor de seguridad obedece al posible exceso de aplicación de carga de tensado mientras que el segundo obedece a lo recomendado por los especialistas en geotecnia para anclajes temporales.

El valor de ϕV_c se calcula a $d/2$ de las caras de las platinas como es usual en la verificación por punzonamiento. Se verifica que $\phi V_c > V_u$, por lo que se acepta como válido el espesor $e = 0.40 m$. por punzonamiento. La verificación del punzonamiento se observa en la Tabla 11.

Tabla 11

Diseño por punzonamiento

Diseño por punzonamiento		
V_u	172	
ϕV_c	186	ok

4.1.15.3. Diseño por flexión

Para el diseño por flexión se considera que el comportamiento del muro es flexible debido a que su espesor es mucho menor a sus otras dos dimensiones. Esto implica que los esfuerzos no se distribuyan uniformemente en todo el muro, sino que se concentre en la vecindad de la aplicación de la carga. La Figura 33, presenta los momentos flectores en la dirección horizontal y vertical del paño de muro anclado.

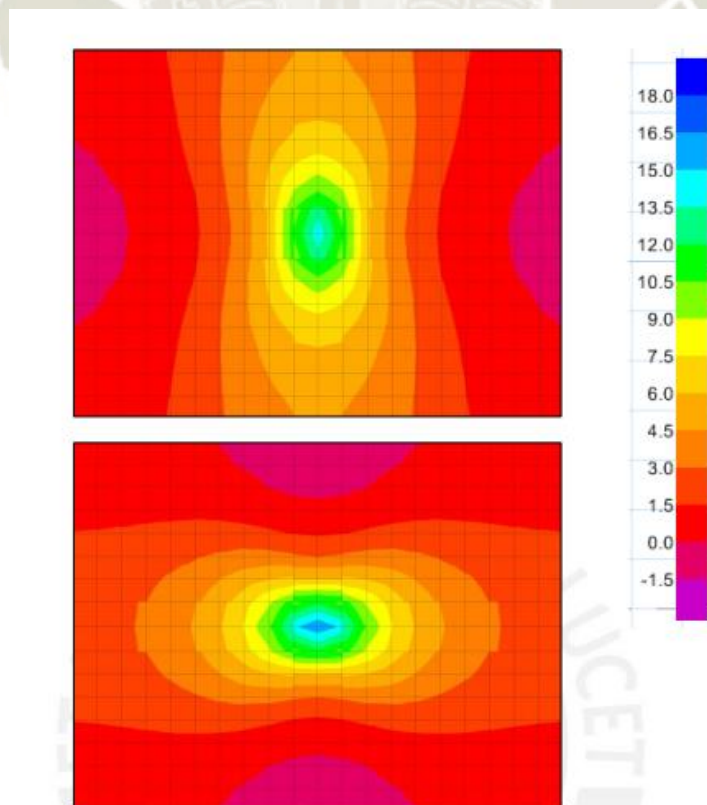


Figura 33. Momentos flectores en la dirección horizontal y vertical del muro anclado

Momentos flectores(tonf-m) en la dirección horizontal y vertical del muro anclado. El refuerzo de flexión colocado por la carga de tensado es adicional a la malla que posee el muro por su comportamiento como muro de sótano (Figura 34). Así, el resumen por del diseño por flexión se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12

Resumen de diseño por flexión por tensado del muro

As Muro	Mu (ton-m)	A (cm)	As necesario (cm ²)	Ac colocado (cm ²)
Vertical	12.7	2.2	11.3	13
Horizontal	18.5	3.7	15.5	16

Se requieren refuerzos adicionales L1, L2, ver longitud en cuadro de armadura adicional (Tabla 13). Este refuerzo adicional va en la cara en contacto con el suelo y alineado con el refuerzo del muro de sótano. Los detalles del refuerzo se pueden observar en los Anexos y en las Figuras 34 y 35.

Tabla 13

Cuadro de armaduras adicionales

CUADRO DE ARMADURAS ADICIONALES		
∅A	8∅5/8"x260	ADICIONAL (AFUERA)
∅B	6∅5/8"x250	ADICIONAL (AFUERA)
∅C	7∅1/2"x210	ADICIONAL (AFUERA)
∅D	9∅1/2"x210	ADICIONAL (AFUERA)
∅E	5∅1/2"x200	ADICIONAL (AFUERA)
∅a	∅3/8"@20x200	ADICIONAL (AFUERA)
∅b	∅8mm@20x150	ADICIONAL (AFUERA)
∅c	∅1/2"@25x220	ADICIONAL (AFUERA)
∅d	∅3/8"@25x180	ADICIONAL (AFUERA)

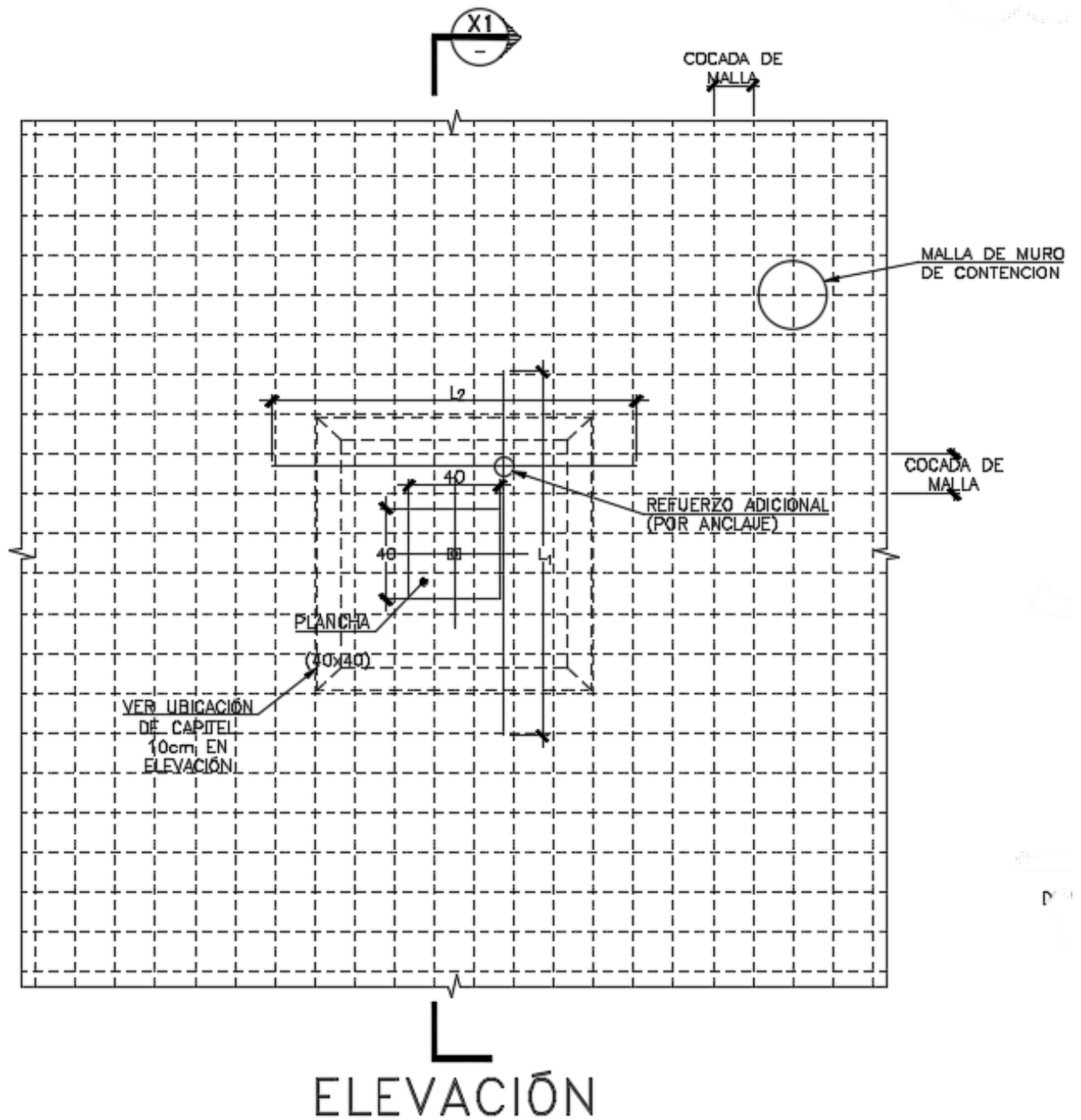


Figura 34. Detalle de refuerzo adicional en zona alrededor del anclaje

MURO
NCION

CON CAPITEL DE 10cm

SIN CAPITEL

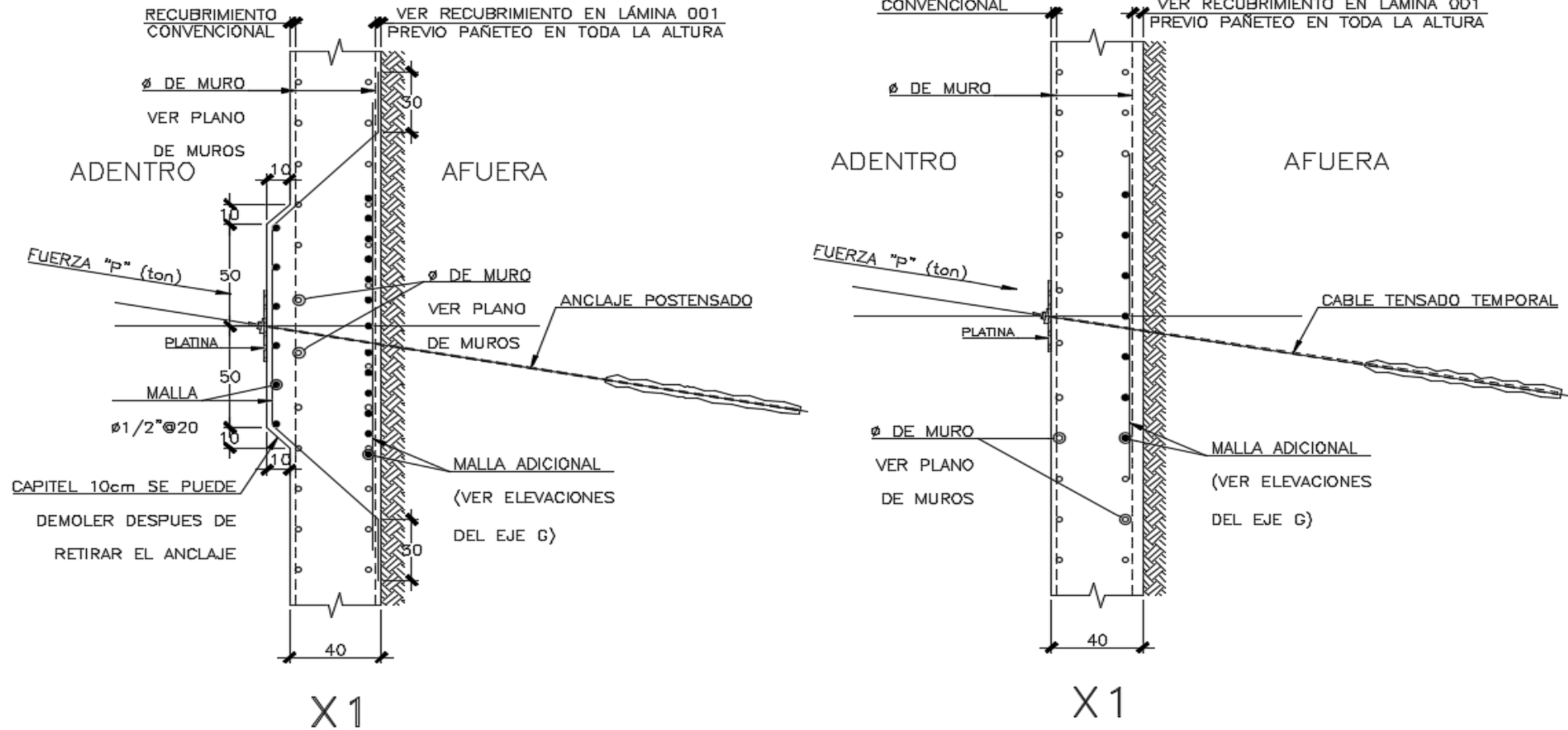


Figura 35. Detalle de refuerzo adicional en zona alrededor del anclaje

4.1.15.4. Anclajes

Estas especificaciones técnicas se refieren a la ejecución de cables tensados para estabilización de taludes en la excavación para la construcción de ocho (08) sótanos con anclaje y un (1) sótano sin anclaje.

El anclaje que se utiliza consiste en un conjunto de cables tensados, los cuales son cementados en el fondo de una perforación, a través de la inyección a presión a lo largo de un tramo anclado al terreno. Estos anclajes son de tipo provisional, esto quiere decir que, luego terminado la construcción de los muros, los anclajes junto a sus cabezales serán retirados. A continuación, la Tabla 14 con la longitud efectiva de los cables. Los anclajes fueron diseñados para una carga de trabajo de toneladas fuerza 75 tf, 90 tf y 105 tf. Las perforaciones tienen un diámetro de 4 1/2" a 5". La Tabla 15 muestra las características de los anclajes provisionales.

Tabla 14
Longitud de los cables

MURO	CORTE	ANCLAJE (Unid.)	LONG. EFECTIVA (m)
EDIFICIO MULTIFAMILIAR CAMINO REAL			
MURO EJE A-A	1	84.00	1,404.00
MURO EJE 1-1	2	35.00	585.00
	3	32.00	544.00
MURO EJE G-G	4	112.00	1,918.00
MURO EJE 6-6	5	96.00	1,536.00
TOTAL (m)		359.00	5,987.00

Tabla 15

Características de los anclajes provisionales

Corte	Fila	Long. libre (m)	Long. anclada (m)	Long. tensado (m)	Long. anclaje (m)	Número anclajes	Long. total anclajes (m)	Long. efectiva (m)	Long. total efectiva (m)	Carga (t)	Tipo de Inyección
5-5	1	14.50	4.50	1.00	20.00	12.00	240.00	19.00	228.00	75.00	IRS
	2	14.50	4.50	1.00	20.00	12.00	240.00	19.00	228.00	90.00	IRS
	3	12.50	6.00	1.00	19.50	12.00	234.00	18.50	222.00	105.00	IRS
	4	12.00	6.00	1.00	19.00	12.00	228.00	18.00	216.00	105.00	IRS
	5	10.50	6.00	1.00	17.50	12.00	210.00	16.50	198.00	105.00	IRS
	6	8.50	6.00	1.00	15.50	12.00	186.00	14.50	174.00	105.00	IRS
	7	6.50	6.00	1.00	13.50	12.00	162.00	12.50	150.00	105.00	IRS
	8	4.00	6.00	1.00	11.00	12.00	132.00	10.00	120.00	105.00	IRS
	Totales	-	-	-	-	96.00	1,632.00	-	1,536.00	-	-

4.1.15.5. Perforaciones

El terreno a perforar es un compuesto de relleno, conglomerados, materiales sueltos compuestos por grava. En donde se instalará tubos con revestimiento, el cual será profundizado progresivamente.

Al completarse la perforación hasta la profundidad determinada, el taladro debe estar completamente limpio y así poder recibir el anclaje. La instalación del anclaje deberá ser hecha antes de la retirada de la tubería de revestimiento. La instalación del anclaje deberá ser hecha en el más corto plazo posible después de concluida la perforación, para evitar inestabilidad de las paredes del taladro. Si el anclaje no entra hasta la profundidad prevista se aceptará una reducción en su longitud de hasta un 10% de la longitud total del anclaje. En el anexo la ubicación de las perforaciones y anclajes.

4.1.15.6. Cables de acero

Los cables de acero grado 270 de calibres 15.24 mm (5/8"), según norma ASTM A416 - 10. Cada cable conformado por el trenzado de siete (07) torones lisos, se instalarán sin ninguna protección por tratarse de anclajes provisionales. Se usarán separadores de poliuretano para que los cables no se junten dentro del barreno.

Materiales:

Propiedades del cable de siete alambres y baja relajación:

$$F_{pu} = 19000 \frac{kg}{cm^2}$$

$$Area = 0.987 cm^2$$

$$F_{ult} = 18800 kg$$

$$E = 1970 a 2040 Ton/cm^2$$

Donde:

F_{pu} : Tension ultima en el cable

F_{ult} : Fuerza ultima en el cable

E : Modulo de elasticidad del cable

Esfuerzo del cable:

Fuerza de tensionado : $0.8 \times F_{ult} = 15040 \text{ kg (147.2 KN)}$

Maxima fuerza de anclado : $0.7 \times F_{ult} = 13160 \text{ kg (128.8 KN)}$

Cable Ensamblado:

Diametro del cable : 1.270 cm (12.70 mm)

Espesor del plastico : 0.069 cm (0.69 mm)

Diametro final aprox. : 1.600 cm (16.00 mm)

El cable de 7 alambres deberá cumplir los requisitos de la norma ASTM A416.

4.1.15.7. Lechada de cemento

El cemento a ser utilizado en la lechada para inyección de los anclajes debe ser el cemento Portland Tipo I, en su envase original. El cemento deberá ser mezclado con agua, en mezcladores apropiados durante 1 minuto, y después transferido a agitadores para mantener las partículas en suspensión en la lechada.

4.1.15.8. Tensado

El tensado deberá ser realizado por gatas hidráulicas anulares, con los cables de anclaje pasando por el espacio central de la gata (que serán tensados simultáneamente). La gata será instalada externamente a la placa del cabezal de anclaje de forma que permita la colocación de las cuñas de fijación de los cables tensados, en el cabezal.

El tensado podrá ser hecho después de 5 días de las inyecciones del anclaje y/o del vaciado del muro de concreto.

4.1.16. Procesos constructivos

En la primera hilada está permitido excavar 2.5m como máximo cuando se tiene estructuras colindantes al terreno.

Secuencias de construcción de muros

Para el procedimiento constructivo de muros anclados se deberá trabajar con las especificaciones indicadas en los planos de muros anclados, teniendo en cuenta el siguiente procedimiento constructivo:

- a. Los muros anclados deberán construirse por etapas de arriba hacia abajo, conforme la excavación progresa.
- b. La construcción del muro se realiza en franjas horizontales, cada franja se ejecuta por paños intercalados hasta completar la franja.

4.1.17. Indicadores de productividad

En la excavación lo que genera valor e indica el avance puede ser el volumen de material eliminado, la construcción de muros anclados y los metros lineales de anclaje que fueron anclados. Por lo que uno de estos tres elementos son los cuellos de botella en un determinado momento, siendo que aquello que genera valor permite también valorizar ante el cliente.

4.1.18. Análisis de Cuello de botella

En el proyecto Camino Real a la fecha de 29 de octubre del 2020 el cuello de botella fue la eliminación de material. El equipo del proyecto de Camino Real tiene una cultura de anticiparse a los problemas. A continuación de forma resumida la identificación de los cuellos de botella en relación al nivel de anillo (Tabla 16).

Tabla 16
Identificación de Cuellos de Botella

ANILLO	CUELLO DE BOTELLAS
Anillo 1	Perforación y Construcción de muros
Anillo 2-3	Perforación
Anillo 4-8	Eliminación
Anillo 9	Eliminación

Fuente: Autoría Propia

Como se indica en la Tabla 8, en el primer anillo el cuello de botella fue la perforación y la construcción de muros, ya que, si no hay eliminación, no hay muro, por lo que tampoco hay rampa que se apoye en muros, impactando en la eliminación de material. Considerando también que la construcción de la rampa dura aproximadamente 2 días.

En segundo y tercer anillo, el cuello de botella identificado fue la perforación, en vista que, al ser parte de los primeros anillos, el cable para perforar es de mayor longitud como se indica en las especificaciones técnicas del proyecto, generando así mayor tiempo para cada perforación, tomando aproximadamente hasta 2h por muro.

A partir del cuarto anillo, el cuello de botella fue la eliminación de material, lo cual obstaculizaba realizar otros trabajos como perforación o construcción de muros.

4.1.19. Análisis de Cuello de botella/Sin mejoras incluidas

En un análisis de cuello de botella se realizó de los anillos 4, 5, 6, 7, 8 y 9. En donde cada actividad es considerada como una estación de trabajo, y cada actividad es un cuello de botella en un respectivo momento. A continuación, la Figura 19 muestra la variación del cuello de botella siguiendo el sistema constructivo tradicional, sin mejoras incluidas. Es así que, si queremos llegar a la meta propuesta de construir 4 muros al día, es necesario incluir alguna mejora, esto será explicado en el CAPITULO IV denominado aplicación de herramientas Lean.

En la Figura 36, se muestra que en el anillo 4, la actividad de perforación no llega a los 4 muros esperados por día. Esto se debe al espacio limitado ocupado por material para eliminar, el cual no permite adecuar frente para la perforación.

Para los anillo 5, 6, 7, 8 y 9; si bien se hace la instalación de la rampa para la fluidez de la eliminación de material, aun se tiene dificultad para excavar y eliminar la cantidad esperada por la profundidad de los anillos, dificultando así, la perforación, el encofrado y por ende el vaciado de muros.



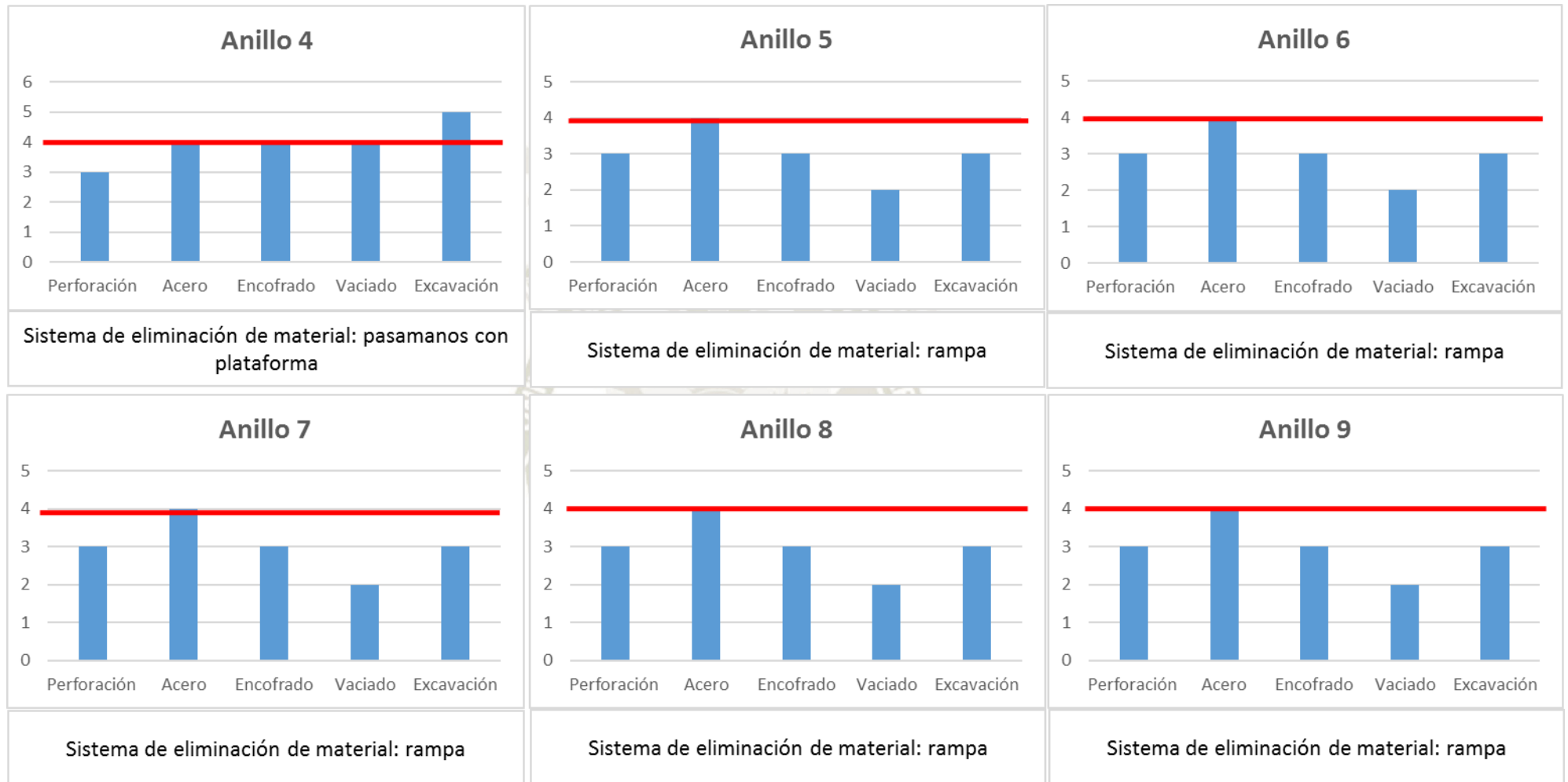


Figura 36. Muestra la variación del cuello de botella siguiendo el sistema constructivo tradicional



5. CAPITULO V: APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN

En este capítulo se hace una explicación de la aplicación de las herramientas LEAN, tales como Value Stream Mapping (VSM), Last Planner System (LPS), Nivel General de Actividad (NGA), Carta balance (CB) y Choosing By Advantages (CBA).

5.1. Value Stream Mapping (VSM)

EL VSM nos ayuda a entender porque sucedieron las cosas, razón por lo que es importante tener claro la cadena de actividades. Ya que, al no tener esta cadena, el análisis y la detección de dónde está el problema se convierte en una tarea muy difícil.

Para entender el problema, es necesario hacer preguntas como: ¿Cuál es el valor de mi proyecto? ¿Qué es lo que genera avance? ¿Qué es lo que genera resultados?

En esta investigación nos enfocamos en proyectos de edificaciones, que por lo general tiene 4 paquetes grandes de trabajo: (1) excavación y sostenimiento, (2) estructura, (3) acabados e instalaciones y (4) fachada del proyecto. Esta investigación se enfoca en el primer paquete de trabajo, Excavaciones y sostenimiento.

La aplicación de VSM en estado actual y futuro responde las preguntas propuestas en el Capítulo 1 de la presente investigación (ítem 1.2): ¿Cómo mejorar el flujo de trabajo? ¿Cómo reducir las actividades no productivas en el sistema de construcción de sótanos?

A. Adaptación del VSM a los muros anclados

EL VSM es una representación en 2D de los que ocurre en 3D. Y su objetivo es entender que está pasando en todo proceso del sistema constructivo, descomponiendo el proceso en partes, de tal manera que sea posible entender cuál o cuáles son los problemas. Es decir, VSM trata de amárrese al producto y ver a donde llega, en este caso el producto son los muros anclados.

B. Apertura de paños consecutivos

Cuando se hace la apertura de paños, es conocida la apertura en forma de dameros, es decir un paño si y el otro no. Este es el proceso más conocido y el más adecuado. Sin embargo, en las áreas de Lima Metropolitana es posible realizar la excavación y vaciado de paños continuos previa consulta al responsable del proyecto de estabilidad de taludes, en vista que gran parte de la ciudad de Lima, el terreno predominante

consiste en un conglomerado de arrastre aluvial, el cual presenta una elevada compacidad y resistencia, como también presenta bolos y gravas de diámetro considerables. Otra consideración importante es que en los terrenos de Lima no existe presencia nivel freático, lo cual resulta beneficioso a la hora excavar.

Es así que, en este estudio de caso, se realizó la construcción de 2 paños consecutivos. Esto sucedió con fines de productividad y aprovechamiento de recursos, y tomando en cuenta las ventajas del tipo de suelo. Esta decisión fue aprobada por el ingeniero proyectista especialista en muros anclados.

5.1.1. Escenarios de para la Aplicación de VSM

La aplicación de la herramienta de VSM se realizó en 3 escenarios distintos, con el objetivo de lograr una mejorar continua. Primero se presenta al escenario actual, que es como se viene realizando la construcción de muros anclados. Segundo y tercero son escenarios incluyendo la mejora continua. A continuación, se presenta de forma resumida el flujo de valor de los distintos escenarios (Tabla 17).

Tabla 17
Definición resumida de los diferentes escenarios y su respectivo VSM

Escenarios	Escenarios	Descripción	Flujo de valor
Escenario actual VSM1	Actual	Método bloques de concreto para el sostenimiento del encofrado	Escenario definido a partir de la recolección de datos a través de la observación (Figura 15 del VSM 1)
Escenario futuro 1 VSM 2	Mejora continua	Método Muros enterrados o Método pachamanca	Escenario futuro aplicando mejoras en el sistema de producción, procedimientos como él (1) enterrado para encofrado, (2) mejora en la herramienta para perfilado (Figura 35 del VSM 2)
Escenario futuro 2 VSM3	Nuevos procedimientos con innovación	Método de <i>Shotcrete</i>	Escenario futuro posiblemente aplicado en los futuros proyectos (Figura 40 del VSM 3)

Fuente: Autoría Propia

5.1.2. Escenario Actual – Método bloques de concreto para el sostenimiento del encofrado – VSM 1

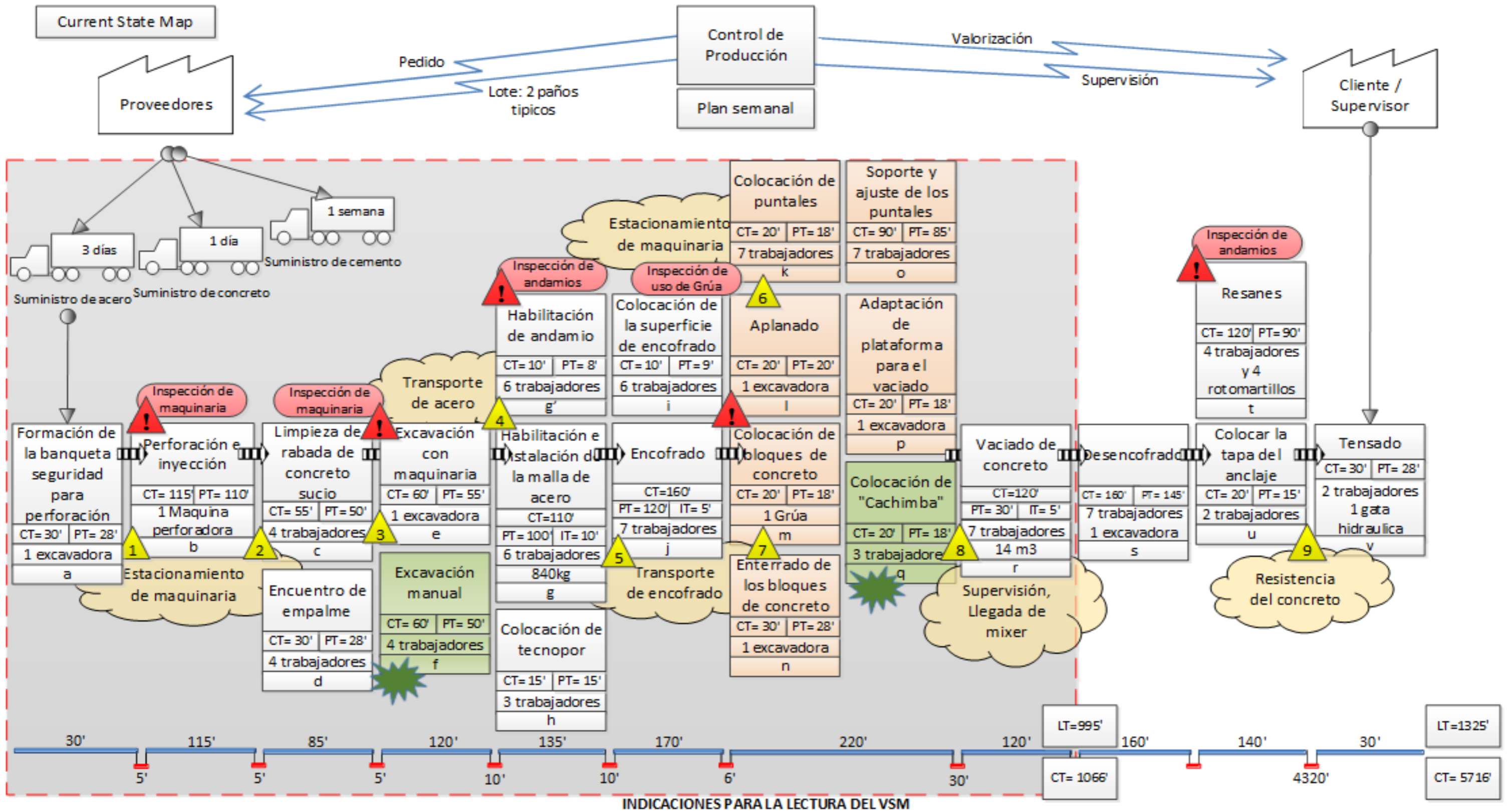
Como se observa en la Figura 20, se trata de un Sistema de construcción tradicional, que emplea bloques de concreto de 1m de lado para el sostén de los puntales que sostienen el encofrado.

Este sistema se viene ejecutando durante años en la construcción de muros anclados, y gracias al diagrama del VSM se observó un Cicle time (CT) de 5716' y Lead Time (LT) de 1325'. Y hasta la actividad de vaciado, tiene CT de 1066' y LT de 995', que es el tiempo que importa al equipo de proyecto por motivos de practicidad, mejor entendimiento y control.

Así como algunos hallazgos como los tiempos de espera, identificados en la Figura 37 con triángulos amarillos. El motivo de las esperas fueron las siguientes:

- Δ (1), y (3) Tiempos de espera para el estacionamiento de la maquinaria para comenzar a trabajar, tanto en la perforación, y excavación de
- Δ (2) Espera para la llegada e instalación de la cuadrilla de limpieza de rebada de concreto sucio.
- Δ (4) Espera mientras es transportado el acero, para su posterior instalación y habilitación de acero.
- Δ (5) Espera mientras es transportado el encofrado acero, para su posterior instalación.
- Δ (6) y (7) tiempos de espera para el estacionamiento de la maquinaria para comenzar a trabajar, tanto en el aplanado de la superficie, como en el enterrado de los dados de concreto.

La eliminación total o parcial de estos tiempos espera fue posible primero con la identificación de dichas esperas, y segundo junto al equipo de proyecto realizar una lluvia de ideas sobre todas las posibles soluciones. Donde todas las ideas fueron valoradas, y muchas de ellas llegaron a ser aprobadas e implementadas, las ideas fueron las siguientes.



- Las letras significan la secuencia constructiva uniendo procesos y subprocesos. Las letras con (') y (") significan que esos sub procesos se pueden hacer paralelamente con otros subprocesos. LT: Lead Time, CT: Tiempo de Ciclo, PT: Tiempo productivo, IT: Tiempo para Indicaciones. : Alerta de trabajo seguro, : Mejora en la actividad

Figura 37. Mapa del estado actual VSM1 (Fuente: Autoría propia, 2021)

En el VSM 1 también se identificó alertas de seguridad, tales como: Inspección previa de maquinarias, revisando que estos se encuentren con todas condiciones de seguridad para un funcionamiento correcto. Otra de las alertas, es la inspección de uso de grúa, en vista que se debe cuidar que ningún trabajador este por debajo de la grúa mientras está siendo utilizada. La inspección de andamios es también una alerta de seguridad, y esta se trata de la revisar la correcta instalación y funcionamiento de los andamios por el supervisor de seguridad.

Otro de los hallazgos fue la identificación de actividades que no agreguen valor y que conlleva a un trabajo arduo, laborioso, con actividades contributivas, pero no productivas, estas son parte de la actividad del encofrado y se muestran en la Figura 16 en cuadrados de color naranja. Estas actividades serían modificadas por otras que permitan acortar el tiempo en el sistema constructivo, dichas actividades se muestran en la Figura 37 en la VSM 2.

A continuación, se explica el proceso constructivo del VSM 1.

a. Formación o Ejecución de la banqueta de seguridad para perforación:

Esta actividad tiene tiempo que duración, mencionado como Tiempo de Ciclo (CT) de 30 y Tiempo Productivo (PT) de 28 minutos, la diferencia de estos tiempos es usado para la ubicación de la excavadora. Para realizar esta actividad únicamente es necesita el uso de una excavadora o retroexcavadora. Esta actividad se trata de realizar una primera excavación, dejando cuidadosamente una banqueta de seguridad, donde se ubicará la máquina perforadora, la ubicación se encuentra a una altura de 1m desde la base del muro anclados que se pretende construir. La Figura 38, muestra la ubicación de la máquina perforadora sobre la banqueta.



*Figura 38. Formación o Ejecución de la banqueta de seguridad para perforación
(Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)*

b. Perforación e inyección:

Esta actividad tiene un tiempo que duración mencionado como CT de 115' y PT de 110', tiempo que incluye la perforación, colocación de cables e inyección de la sustancia cementicia o *Grout*, dicha inyección se realiza por medio de la vaina de los cables. El Tiempo para la perforación depende del nivel de sótano y tipo de material del terreno, sin embargo, un rendimiento promedio sería 60-80ml/día.

Para realizar esta actividad es necesita el uso de una máquina perforadora, y esta necesita un espacio con 10 m de longitud para poder ingresar y hacer la debida perforación. En el caso de estudio se usó el tipo de inyección a presión, lo cual nos asegura que realmente se tapen todas las burbujas. En el siguiente enlace se observa dicho procedimiento <https://youtu.be/LiqbBvGY1Ac>.

Este procedimiento también puede ser ejecutado luego de construir el muro anclado de concreto, y luego que este haya llegado a la resistencia requerida según las especificaciones técnicas (Figura 39). El procedimiento se observa en siguiente enlace <https://youtu.be/6WL2hk94oTs>.



Figura 39. Perforación, colocación de cables e inyección de Grout (Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)

c. Limpieza de rebada de concreto sucio:

Esta actividad tiene un tiempo que duración mencionado como CT de 55' y PT de 50'. Esta actividad solo se realiza a partir del segundo anillo y para su ejecución es necesario una cuadrilla de 4 trabajadores.

Esta actividad se trata de limpiar la base del muro anclado superior, en vista que en esta base se encuentra concreto sucio, con rastros de tierra, lo cual impide la unión de muro anclado superior con el muro anclado inferior. Este procedimiento también puede hacerse luego de la excavación y perfilado del paño o luego de instalar la malla de acero. En la Figura 40, se observa dicho procedimiento.



Figura 40. Limpieza de rebada de concreto sucio luego de la instalación de la malla de acero (Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)

d. Encuentro con empalme:

Esta actividad tiene un tiempo que duración mencionado como CT de 30' y PT de 28', diferenciándose en 2', tiempo en el cual los trabajadores inspecciona y se posicionan en el lugar de trabajo. Esta actividad se trata de encontrar las barras de acero del muro superior para empalmarlo con las barras de acero del muro inferior que se pretende construir. Para esta actividad se necesita una cuadrilla de 4 trabajadores. En la Figura 41, se observa dicho procedimiento.

Esta actividad también se puede hacer con una excavadora o retroexcavadora, sin embargo, existe posibilidad de doblar bruscamente las barras de aceros del muro superior.



Figura 41. Encuentro con empalme de barras de acero (Fuente: Registro fotográfico de la obra Camino Real)

e. Excavado con maquinaria:

Esta actividad tiene un tiempo que duración mencionado como CT de 60' y PT de 55', con 5' de diferencia para posicionar la excavadora. El TP es el tiempo para la excavación de la banqueta de seguridad con el uso de una excavadora o retroexcavadora, este procedimiento se realiza para apertura el paño y se debe hacer con cuidado, dejando que luego se perfeccione con la actividad de perfilado manual, ya que cualquier corte en exceso generara variaciones en el costo y la resistencia (Figura 42). El procedimiento se puede visualizar en el siguiente enlace: <https://youtu.be/wSzDzOD8xZc>.

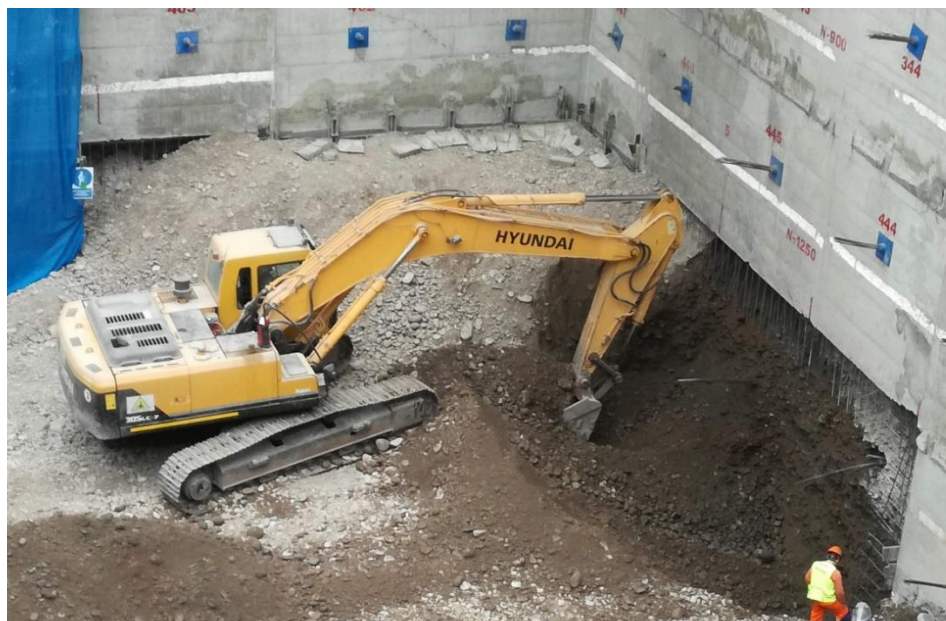


Figura 42. Excavado de dos paños consecutivos con maquinaria (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

Por lo general en las obras de este tipo, con las características del suelo de lima metropolitana, por ser un suelo granular tipo gravas de material cohesivo rígido. Este tipo de suelo presenta las condiciones óptimas en el desarrollo de excavaciones profundas, permitiendo generalmente la apertura de 2 paños consecutivos.

f. Excavación manual o perfilado de paño:

Este proceso tiene un tiempo que duración mencionado como CT igual a 60' y PT de 55' minutos, de los cuales 5 minutos se usaron para trabajos contributarios como es el traslado de herramientas. Este proceso necesita de una cuadrilla de 4 trabajadores y de herramientas manuales como barreta metálica, pico y pala.

Dicho proceso se trata de dar un perfilado más fino y preciso al muro excavado en comparación a la excavación con maquinaria (Figura 43).

El perfilado de paño dependiendo del terreno se ejecuta con barreta o roto martillo. Aquí se hizo una mejora LEAN, Se construyó una lanza con punta de acero, la misma fue una creación del maestro de obra, y se observa en el VSM2 (Figura 38).



Figura 43. Perfilado del paño o excavado manual (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

Este proceso también contempla la actividad de distribución de lechada de concreto (Figura 44), la cual se trata de distribuir una mezcla cimenticia hecha de cemento y agua a la pared del muro de suelo. Este procedimiento es fundamental por seguridad, evitando desmoronamientos de material e inestabilidad del talud.



Figura 44. Distribución de la lechada de concreto (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

g'. Habilitación del andamio

Para la instalación de la malla de acero es fundamental primero habilitar un andamio que cumpla con los estándares de seguridad requeridos. Los andamios podrán ser de

madera o metálicos y deben cumplir con las Normas ITINTEC 400.033 Y 400.034 vigentes.

La habilitación de andamios puede realizarse en paralelo a la actividad de habilitación de las barras de acero que formaran la malla de acero. Este procedimiento de habilitación de andamio tiene un tiempo de duración mencionado como CT de 10' y PT de 8', con dos minutos de diferencia para el traslado de los andamios. En esta actividad es necesaria una cuadrilla de 6 trabajadores (Figura 45).



Figura 45. Habilitación de andamio (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

g. Habilitación e instalación de la malla de Acero:

Este proceso se trata de habilitar las barras de acero para luego ser instaladas, la duración de este proceso se menciona en un CT de 110', un PT de 100' y un IT de 10'. Este proceso necesita una cuadrilla de 6 trabajadores para lograr instalar un aproximado de 840 kg de acero (Figura 46). Este tiempo varía cuando se instala la malla de acero en paños que se encuentran en esquina tal como se muestra en la Figura 47.

Antes de la habilitación de las barras de acero, el acero es colocado en un banco de acero localizado in situ, ósea en el mismo lugar donde se ejecuta la obra, ocupando espacio del área del terreno (Figura 48).

Por lo general la **localización del banco de acero es in situ o en escuadra**, es decir en el primer nivel en un espacio suspendido en el aire, sostenido por estructuras metálicas. Este último es recomendable en terrenos con áreas pequeñas.

En el estudio de caso se hizo la habilitación e instalación de acero *insitu*, sin embargo, la malla de acero también puede ser pre armada, pero depende de la densidad y cuantía del diseño del muro, este proceso facilita y reduce el tiempo de instalación.



Figura 46. Instalación de la malla de acero (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)



Figura 47. Instalación de la malla de acero paño en esquina (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)



Figura 48. Banco de acero (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

h. Colocación de tecnopor y de tubo de anclaje

Este procedimiento tiene una duración mencionada en CT y PT de 15' y necesita una cuadrilla de 3 trabajadores. Este procedimiento incluye la actividad de colocación de tecnopor para evitar que ingrese el concreto en un espacio necesario para el descanso de la losa y rampas de estacionamiento, en la intersección entre el muro y vigas, el tecnopor luego es retirado después del vaciado y cuando se proceda con la construcción de las vigas y losas (Figura 49).

Este procedimiento también incluye la colocación del tubo de anclaje (Figura 50).

Estos procedimientos se pueden hacer en paralelo con la colocación de cama de tierra para el encofrado, en el siguiente enlace: <https://youtu.be/17pBWcGDHTU> se observa la ejecución de este proceso en la obra camino real



Figura 49. Colocación de tecnopor (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)



Figura 50. Colocación de tubo para el anclaje (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

i. Colocación de superficie para encofrado

Este procedimiento tiene una duración mencionada en CT de 10' y PT de 9', la diferencia de estos tiempos es para que los trabajadores se posicionen en el lugar de trabajo. Para ser ejecutada esta actividad se necesita de una cuadrilla de 4 a 6 trabajadores, los cuales con ayuda de palas transportan parte del material de la excavación a la base del muro, conformando una superficie para sostener el encofrado (Figura 51).



Figura 51. Colocación de superficie para encofrado (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

j. Encofrado

Este procedimiento se trata del encofrado metálico y tiene una duración mencionada en CT de 160', PT de 120' e IT de 5'. Sin embargo, estos tiempos pueden ser mayores cuando se tiene paños con compuertas, ya que hay la necesidad de encofrar los laterales del paño.

Para su ejecución es necesario una cuadrilla de 7 trabajadores. Este procedimiento puede hacerse de dos formas. La primera es el pre-armado y preparación de los paneles metálicos fuera del lugar de instalación, transportándola con la grúa o excavadora (Figura 52). La segunda es el armado de los paneles metálicos en el mismo lugar de su instalación (Figura 53, Figura 54). Con cualquier de estas dos formas, la colocación de los paneles metálicos se deba hacer respetando la distancia de recubrimiento hacia la malla de acero, siguiendo las especificaciones técnicas.

Debiendo ser suficientemente rígido, resistente, capaces de soportar las cargas derivadas del peso propio, sobrecargas y presión del concreto fresco, sin deformaciones ni desplazamientos superiores a las tolerancias indicadas más adelante.

Deberán respetarse una tolerancia en la confección de los encofrados, con variaciones en la verticalidad:

- ✓ En 3 m de altura = 0.6 cm,

- ✓ En 6 m de altura = 1.0 cm
- ✓ Sobre 12 m de altura = 2.0 cm.



Figura 52. Preparación y traslado de encofrado con paneles fenólicos (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)



Figura 53. Encofrado con paneles fenólicos (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)



Figura 54. Encofrado con paneles fenólicos de paños de esquina (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

k. Colocación de puntales

Esta es una actividad dentro del proceso de encofrado y se trata de la colocación de puntales que se ajustan a los paneles y sirven como sostén del encofrado. Esta actividad tiene una duración de tiempo mencionado en CT de 20' y PT de 18' y para realizar esta actividad es necesario una cuadrilla de 7 trabajadores.

l. Aplanado

Esta es otra de las actividades que constituye el proceso de encofrado, se trata de conformar una superficie plana para facilitar el tránsito y el colocado de los dados de concreto, esta actividad tiene una duración de tiempo mencionado en CT y PT de 20' y para realizar esta actividad es necesaria una excavadora o retroexcavadora.

m. Colocación de dados de concreto

Esta es otra de las actividades que constituye el proceso de encofrado, y se trata de la colocación de bloques de concreto rígidos de 1m de lado que servirán de apoyo a los puntales que están ajustados a los paneles metálicos del encofrado. Esta actividad tiene una duración de tiempo mencionado en CT de 20' y PT de 18' y para realizar esta actividad es necesaria una grúa para el transporte de los bloques.

n. Enterrado de los dados de concreto

Esta actividad se trata que luego de ser colocados los bloques de concreto, enterrarlos con material propio de la eliminación, para evitar así, el deslizamiento de los bloques. Esta actividad tiene una duración de tiempo mencionado en CT de 30' y PT de 28' y para realizar esta actividad es necesario una excavadora o retroexcavadora.

o. Soporte y ajuste y de los puntales

Esta actividad se trata de apoyar los puntales sobre los bloques de concreto enterrados y ajustarlos a los paneles. Esta actividad tiene una duración de tiempo mencionado en CT de 90' y PT de 85' y para realizar esta actividad es necesario una cuadrilla de 7 personas

p. Adaptación de plataforma para vaciado

Una vez que los paneles están correctamente posicionados y listos para recibir concreto, se pasa a adaptar una plataforma que facilite el vaciado de concreto, ya sea por bomba o por pluma, esta plataforma es de gran ayuda para la cuadrilla de vibrado. Esta actividad tiene una duración de tiempo mencionado en CT de 20' y PT de 18' minutos y para realizar esta actividad es necesario una cuadrilla de 7 personas.

q. Colocación de cachimba

Este proceso **consiste en construir con paneles fenólicos un sistema que cree una junta fría y que ayude al ingreso del concreto con facilidad y sin desperdiciar**, a este sistema se le conoce como Cachimba (Figura 55). Este sistema tiene una forma de embudo y esta adecuado para que luego que el concreto fragüe pueda ser retirado con facilidad con ayuda de rotomartillo.

En el retiro de cachimba se hizo una mejora LEAN, ya que ahora el procedimiento es generar un plano de falla para retirar la cachimba con comba, generando la ejecución en menor tiempo.

Este proceso tiene una duración mencionado en CT de 20' y PT de 18', y para su ejecución es necesaria una cuadrilla de 3 personas.



Figura 55. Vaciado con ayuda de la Cachimba

r. Vaciado de concreto

Este proceso tiene una duración mencionado en CT de 120 minutos, tiempo que incluye la instalación de las mangueras (Figura 56), el vaciado propiamente dicho y la limpieza de las mangueras luego de vaciado. El vaciado como tal tiene un tiempo de duración PT de 30 minutos, y un Tiempo para Indicaciones (IT) de 5 minutos. Para la ejecución de este procedimiento se necesaria una cuadrilla de 3 personas, y se logra vaciar alrededor de 14 m³ para dos paños consecutivos.

Al momento del vaciado debe tomarse todas las precauciones para que las superficies del muro anclado no presenten imperfecciones como oquedades, chorreos y desaplomos, que sin afectar estructuralmente al elemento dan una apariencia descuidada en la ejecución de la obra.

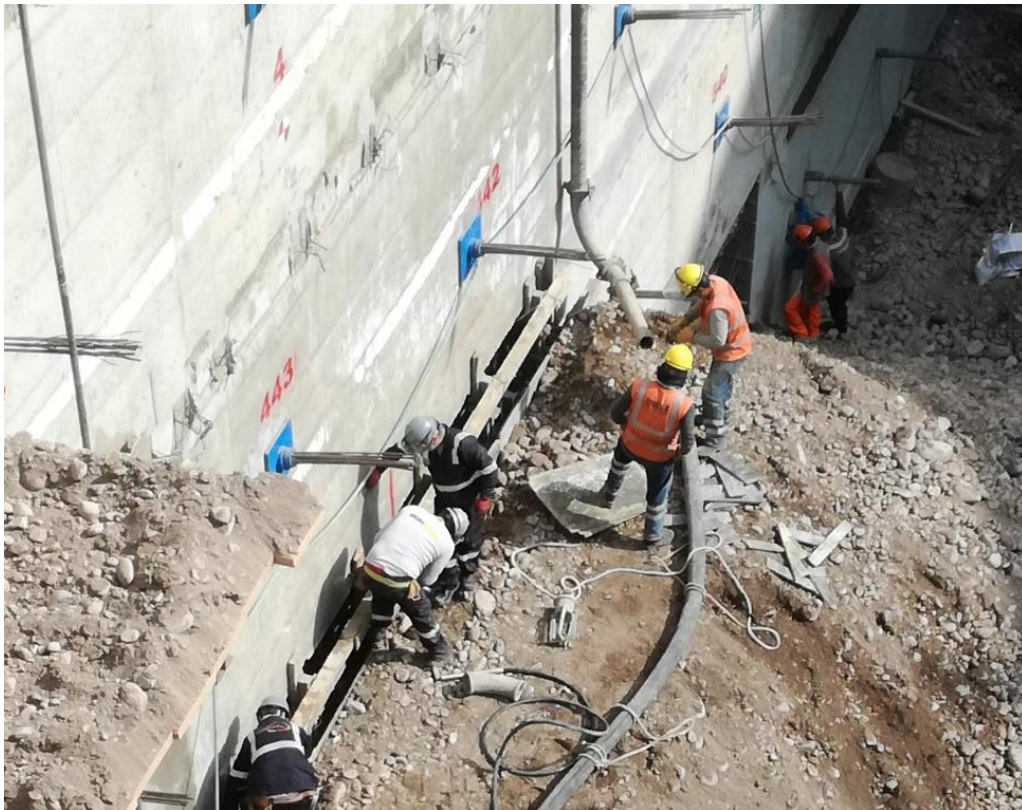


Figura 56. Instalación de mangueras para vaciado (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

a. Desencofrado

Este proceso se trata de retirar todas las estructuras que fueron montadas para el encofrado, desde el retiro de la cachimba, retiro la plataforma de vaciado, desajuste y retiro de los puntales, desenterrado y retiro de los dados de concreto.

El retiro de los encofrados deberá efectuarse una vez que el concreto esté suficientemente endurecido, de modo de que sea capaz de mantener su integridad y no se dañe durante el retiro. En ningún caso se iniciará el retiro de encofrados antes que la resistencia del concreto haya alcanzado, como mínimo, un valor doble del necesario para soportar las tensiones que aparecen en la estructura en el momento del desencofrado (peso propio del elemento, peso de los elementos que recibe, cargas de construcción). Para el desencofrado del muro anclado el plazo mínimo antes de desencofrar (descimbrar) es de 1 día.

Este procedimiento toma un tiempo mencionado en CT de 160' y un tiempo PT de 145'. Para su ejecución es necesario una cuadrilla de 7 trabajadores y una máquina excavadora o retroexcavadora.

b. Resanes

Este procedimiento toma un tiempo mencionado en CT de 120' y un PT de 90', la diferencia de estos tiempos son para trabajos contributarios como el traslado de los materiales, y también para trabajos no contributarios. Esta actividad dependes de los alcances del proyecto, en caso el cliente lo pida se hace.

Para la ejecución de este proceso es necesario una cuadrilla de 4 trabajadores y 4 máquinas rotomartillo con la finalidad de dejar un aspecto más fino con el tarrajeo en la zona que estaba ubicada la cachimba (Figura 57).



Figura 57. Resanes (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

c. Colocación de tapa de anclaje

Este proceso toma un tiempo mencionado como CT de 20' y PT de 15', y se necesita una cuadrilla de 2 trabajadores, y como el nombre lo indica se trata de encajar la tapa según el número de cables que el muro contenga según las especificaciones técnicas.

d. Tensado

Este proceso toma un tiempo mencionado como CT de 30' y PT de 28', la diferencia de tiempo se usa para el traslado de trabajadores y herramientas, y se necesita una cuadrilla de 3 trabajadores y una gata hidráulica para dicho tensado.

5.1.3. Mapa del estado Futuro 1 – Método Muros enterrados – VSM 2

Se trata del sistema constructivo actual con la implementación de la propuesta de mejora mencionadas en el VSM 1 (Figura 20). Un sistema constructivo que ya se viene utilizando en diferentes proyectos. Este sistema aplica el método de enterrado de encofrado y se observó un CT de 5473' y LT de 1085', como se muestra en un VSM 2 (Figura 41). Y CT de 795' y LT de 863' hasta la actividad de vaciado.

Este método se trata de enterrar el encofrado con el propio material de excavación, por lo que para este sistema de encofrado se recomienda un encofrado metálico pre montado para poder transportarlo rápidamente con la excavadora. Algunos de los beneficios de este método son:

- ✓ Menor tiempo en el proceso de encofrado respecto al sistema anterior (VSM 1)
- ✓ Menor cantidad de equipo de encofrado
- ✓ Mayor espacio en obra al utilizar el propio material de excavación como soporte para el encofrado.
- ✓ Y por último la posibilidad de encofrar más de dos muros continuos, siempre y cuando se tenga la aprobación de un ingeniero especialista.

Sin embargo, en este estado futuro 1 (VSM 2), ya establecido en la actualidad; existen también algunos puntos en contra principalmente como la congestión de actividades que continua tanto en el VSM 1 como en el VSM 2, así como también el rendimiento de diversas actividades. Otras de las desventajas de este método de muros enterrados se nombran a continuación:

- ✓ La utilización de encofrado y apuntalamiento del muro anclado requiere un área significativa en una etapa de la obra de alto uso de maquinaria para excavación.
- ✓ El uso de las famosas “pachamancas” provoca mayor congestión de la circulación de personal y maquinaria, dependiendo del área del terreno.
- ✓ La falta de espacio, hace que se restrinja la actividad de eliminación del

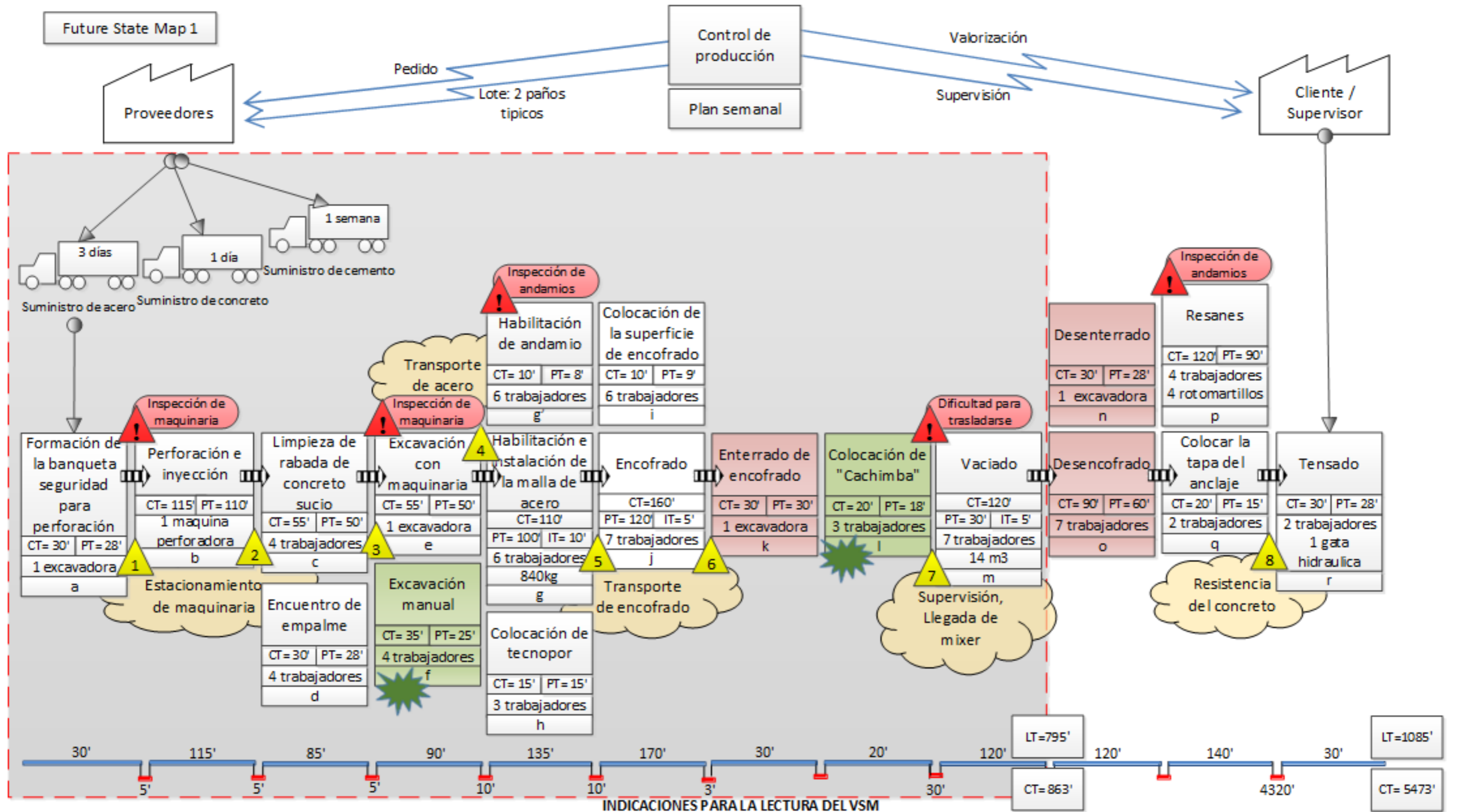
material excavado, disminuyendo el rendimiento de las excavadoras e incluso acceso a volquetes, creando un cuello de botella en la eliminación.

- ✓ Las actividades previas al vaciado, después de la apertura del paño con excavado con maquinaria y el excavado manual o perfilado hasta la colocación de la cachimba, toma un tiempo de 6.2 horas aproximadamente, haciendo que la actividad de vaciado solo sea posible en el periodo de la tarde ocasionado que la finalización de vaciado sea cerca de restricción del horario municipal (8:30 am – 5:00 pm).

Con base en estas desventajas, se propone mejoras en escenario futuro 2- VSM 3 (Figura 46), usando un método innovador que será explicado más adelante.

Alertas de seguridad

El VSM 2 también reveló alertas de trabajo seguro (Figura 58, triángulos rojos). Tales como: Luego del enterrado del encofrado, en el proceso de vertido del concreto, **los trabajadores tuvieron dificultad para trasladarse por la rampa provisional, ante lo cual los trabajadores manifestaron que percibían inseguridad, a pesar de la aprobación de la supervisión.** Otras alertas revelaron la necesidad de inspeccionar el correcto uso de maquinaria y la correcta instalación de andamios de seguridad.



- Las letras significan la secuencia constructiva uniendo procesos y subprocesos. Las letras con (') y (") significan que esos sub procesos se pueden hacer paralelamente con otros subprocesos. LT: Lead Time, CT: Tiempo de Ciclo, PT: Tiempo productivo, IT: Tiempo para Indicaciones. : Alerta de trabajo seguro, : Mejora en la actividad

Figura 58. Escenario futuro 1 – Método Pachamanca (Fuente. Autoría propia)

A continuación, se muestra algunas de las actividades que fueron modificadas basándose en el VSM 1.

f. Excavación manual

En esta actividad anteriormente se usaba una **barreta completamente metálica y muy pesada, herramienta que paso por una mejora por parte del maestro de obra, y en la actualidad este procedimiento se hace con una barreta de concreto con punta metálica** (Figura 59), con un peso menor en comparación a la barreta metálica. Esta mejora reduce la fatiga en los trabajadores, resultando en un mejor rendimiento (Figura 60). Después de realizar la mejora mencionada, la duración CT redujo de 60' a 35', y el PT redujo de 50' a 25'.



Figura 59. Barreta de concreto con punta metálica (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)



Figura 60. Perfilado de muro con barreta de concreto con punta metálica (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

i. Enterrado de Encofrado

El procedimiento de enterrado del encofrado (Figura 41.i) es un procedimiento con una duración mencionada en CT y PT es de 30', el cual remplaza a un conjunto de procedimientos del VSM 2 con una duración total de CT y PT igual a 200', con 6' de tiempo de espera entre procesos (Figura 20), los procedimientos remplazados fueron los siguientes:

- ✓ (k) Colocación de puntales
- ✓ (l) Aplanado
- ✓ (m) Colocación de bloques de concreto
- ✓ (n) Enterrado de los bloques de concreto
- ✓ (o) Soporte y ajuste de los puntales
- ✓ (p) Adaptación de plataforma para el vaciado

Este cambio se hizo con el objetivo de optimizar el proceso del sistema constructivo, en tiempo y costo. A este procedimiento se le conoce como la técnica pachamanca, o también como muros enterrados. El enterrado de encofrado como su nombre lo indica y se trata de que una vez se hayan encofrado los muros con paneles metálicos, trasladar el material proveniente de la eliminación hacia los muros encofrados, enterrándolos con ayuda de la excavadora o retroexcavadora. Este procedimiento le da sostenimiento al encofrado para que soporte el peso del concreto que próximamente será vaciado. En este sistema de encofrado es recomendable que el encofrado sea metálico, y sea pre armado, con ello es posible transportarlo rápidamente con la máquina excavadora.

Este procedimiento se observa en la Figura 61, y en el siguiente enlace:

<https://youtu.be/LCCS7Ld9uro>



Figura 61. Desenterrado de muro (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

No obstante, como este método ejerce una gran fuerza en el encofrado metálico, **para lograr un acabado uniforme, controlando el alineamiento y la verticalidad es imprescindible colocar bloques de concreto previamente al encofrado.** En la Figura 62, se muestra tubos de PVC rellenos de concreto que luego serán cortados a una dimensión similar al espesor del muro anclado, los mismos serán usados como bloques de concreto. Para este sistema de encofrado se recomienda un encofrado metálico pre-montado para poder transportarlo rápidamente con la excavadora.



Figura 62. Tubos de PVC rellenos de concreto (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

n. Desenterrado

Este proceso tiene una duración mencionada en CT de 30' y PT de 28'. Para su ejecución es necesario únicamente una excavadora o retroexcavadora. En el siguiente enlace se puede observar dicho procedimiento: <https://youtu.be/JRh7o0rVU58>.

o. Desencofrado

Este es otro de los procesos que tuvo una variación o en relación al método de bloques de concreto, en vista que varios procesos fueron eliminados, resultado este proceso con un tiempo de duración mencionada en CT de 90' y PT de 60', en comparación al desencofrado con el método bloques de concreto CT de 160 minutos y PT de 145 minutos, reduciendo el CT en 70' y el PT en 85', llevando a la reducción del tiempo a casi la mitad, siendo esta parte de las mejoras LEAN en el sistema constructivo.

Para la ejecución de esta actividad es necesaria una cuadrilla de 7 trabajadores.

5.1.4. Escenario futuro 2 – Método de *Shotcrete* VSM3

Se trata de una propuesta innovadora usando concreto *shotcrete* o concreto lanzado para la construcción de muros anclados. Este método propone generar ahorro y menor plazo de ejecución.

En la actualidad las obras de edificación con sótanos por lo general utilizan el método de muros enterrados, y este nuevo método es aún desconocido.

En el Perú a la fecha solo una empresa constructora viene usando este método, aunque ya haya empresas concretaras que brinden este servicio. Los objetivos a la hora de implementar este nuevo método son:

- ✓ Generar el cambio de un proceso constructivo, actualmente poco productivo hacia una metodología que busca acelerar procesos en beneficio de todos los participantes.
- ✓ Eliminar partidas poco colaborativas.
- ✓ Reducción de personal en las obras en todos los niveles de sótanos donde puede aplicarse.

- ✓ Reducir el personal para evitar contagios debido al COVID-19.

Esta nueva propuesta tiene un CT de 5030' y LT de 710' y un CT de 700' y LT de 640' hasta la finalización del vaciado, ya que eliminaría procedimientos mostrados en cuadrados de color rosado en la Figura 41. Procedimientos como:

- ✓ (j) Encofrado
- ✓ (k) Enterrado de encofrado
- ✓ (l) Colocación de cachimba
- ✓ (m) Vaciado
- ✓ (n) Desenterrado
- ✓ (o) Desencofrado
- ✓ (p) Resane.

Este método permite un acabado de muro tipo tarrajeo, las ventajas de este sistema son:

- ✓ No requiere encofrado,
- ✓ No requiere mano de obra para encofrado,
- ✓ No requiere enterrar el muro,
- ✓ No requiere demoler cachimbas,
- ✓ Permite tener mayor área de terreno disponible para otras actividades.

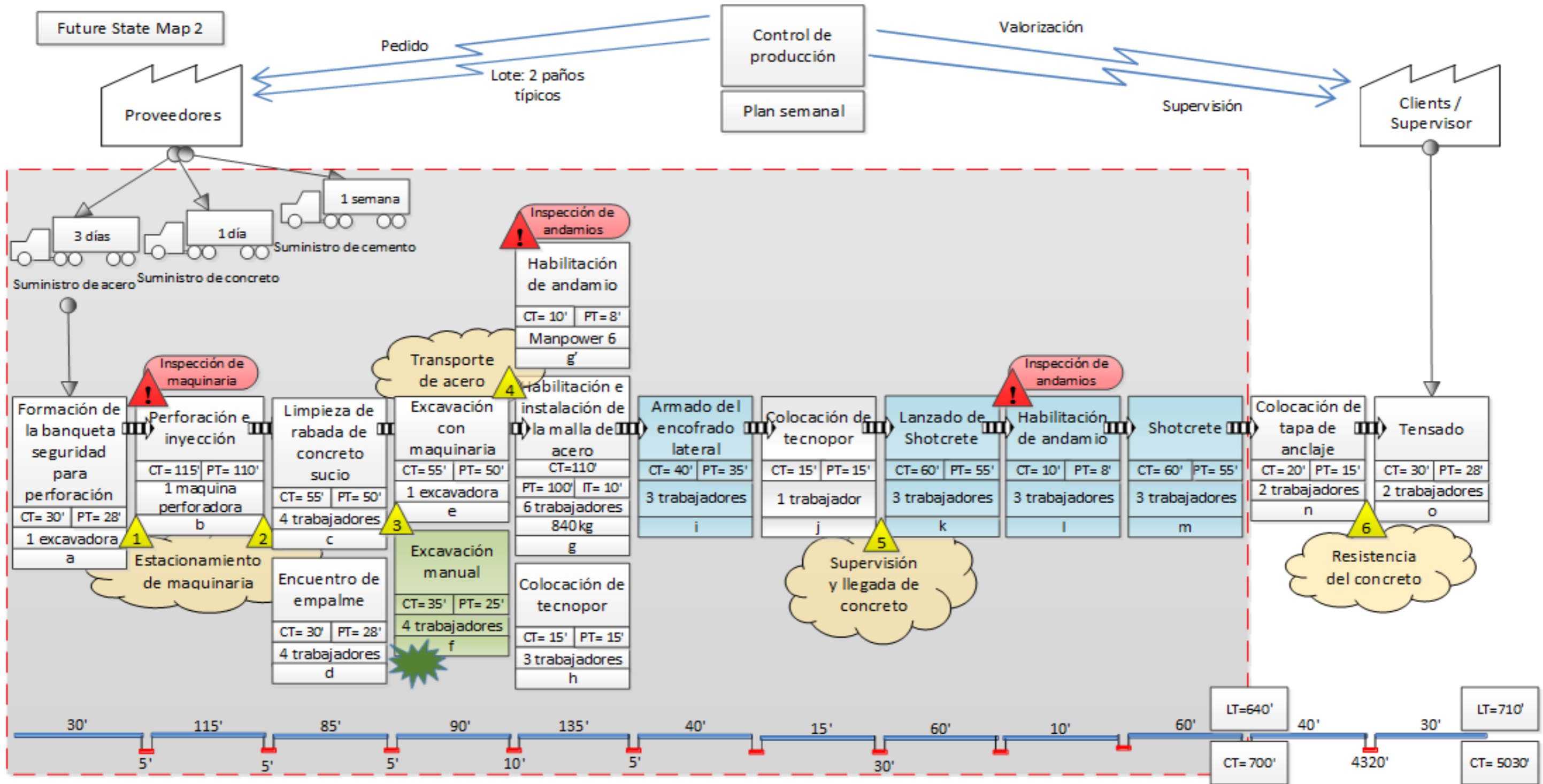
Este sistema aún no ha sido implementado, sin embargo, se hizo algunas pruebas sobre su aplicabilidad, y se vio que las actividades adicionales serían: Armado del encofrado lateral, colocación de tecnopor, lanzado de *Shotcrete* y habilitación de andamio, tal como se muestra en la Figura 46, en cuadrados de color azul.

En cuanto al sistema de enterramiento de encofrado (VSM 2, Figura 58), este sistema no es eficiente, ya que se excava para volver a enterrar, realizando un re trabajo. Es así

que el nuevo sistema con *Shotcrete* mostrado en el VSM3 podría reemplazarlo, ya que este elimina actividades no productivas.

Sin embargo, si se implementa este nuevo sistema, es necesario controlar el desperdicio de concreto para evitar sobrecostos. Una limitación del estudio es que no fue posible observar más evidencia de la innovación propuesta en el mapa futuro (VSM 3, Figura 63). Por lo tanto, tampoco fue posible observar todas las fortalezas y amenazas de esta propuesta.





- Las letras significan la secuencia constructiva uniendo procesos y subprocesos. Las letras con (') y (") significan que esos sub procesos se pueden hacer paralelamente con otros subprocesos. LT: Lead Time, CT: Tiempo de Ciclo, PT: Tiempo productivo, IT: Tiempo para Indicaciones. : Alerta de trabajo seguro, : Mejora en la actividad

Figura 63. Escenario futuro 2 – Método Concreto lanzado - Shotcrete (Fuente. Autoría propia)

i. Armado del encofrado lateral – Shotcrete

Este proceso tiene una duración mencionada en CT de 40' y PT de 35', y para su ejecución es necesaria una cuadrilla de 3 trabajadores y como sub actividad la colocación del andamio. En la Figura 64, se muestra el armado del encofrado lateral del muro.



Figura 64. Armado de encofrado lateral – Método Shotcrete (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

j. Colocación de tecnopor

Este proceso tiene una duración mencionada en CT y PT de 15' y para su ejecución es necesario únicamente 1 trabajador. Este procedimiento se trata tal como se mencionó en subtítulo (h) del ítem 4.1.8, de colocar el tecnopor para evitar que ingrese el concreto en un espacio necesario para el descanso de la losa y rampas de estacionamiento, en la intersección entre el muro y vigas (Figura 65).



Figura 65. Colocación de tecnopor (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

k. m. Lanzado de Shotcrete

Este proceso tiene una duración mencionada en CT de 60' y PT de 55' y para su ejecución es necesaria una cuadrilla de 3 trabajadores y 1 maquina lanzadora de concreto, tal como se muestra en la Figura 49: Izquierda.

l. Colocación de andamio

Este proceso tiene una duración mencionada en CT de 10' y PT de 8' y para su ejecución es necesaria una cuadrilla de 3 trabajadores. En la Figura 66: Derecha, se puede ver dicho procedimiento.



Figura 66. Izquierda, Lanzado de Shotcrete; Derecha, Lanzado de Shotcrete desde el andamio (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

5.1.5. Análisis de los escenarios del VSM 1, VSM 2 y VSM 3

Después de analizar los 3 escenarios, considerando los tiempos hasta la finalización del vaciado por motivos de practicidad y mejora del entendimiento. En el VSM 1 (LT = 995, CT = 1066), VSM 2 (LT = 863, CT = 795) y VSM 3 (LT = 640, CT = 700), se observó que el LT de VSM2 con respecto a VSM1 se redujo en un 13%. Al comparar los escenarios VSM 1 y VSM 2, ambos tienen una cantidad similar de trabajadores. El escenario VSM 2, aunque es el que se utiliza hoy en día, no es preferible por motivos de las alertas de seguridad que se identificaron.

El LT del VSM3 en relación al VSM2 se redujo en un 26%, así como el número de trabajadores, haciendo este escenario el preferible, no solo para reducir el tiempo de ejecución sino también para cumplir con las Medidas previstas para COVID-19, como el distanciamiento social y la capacidad recomendada (MINSA 2020). VSM, si bien en principio se trata de identificar actividades que agreguen valor en la cadena de valor, también permite el análisis de seguridad y salud en todo el sistema constructivo estudiado.

5.1.6. Reducción de *Lead Time* (LT) en sistema de construcción de sótanos mediante escenarios con el uso de VSM

A continuación, se presenta la reducción de LT hasta la actividad de vaciado de los 3 escenarios presentados; el objetivo fue encortar el tiempo entre el pedido del cliente y la finalización del vaciado, a través de la eliminación de tiempos de espera y de mejoras en el sistema constructivo (Tabla 18).

Tabla 18

Resumen de la mejora en el sistema de Construcción de Sótanos mediante escenarios con el uso de VSM

Escenarios	Descripción	CT (min)	LT (min)	Reducción del tiempo (%)	Flujo de valor
Escenario actual VSM 1 Figura 20	Método bloques de concreto para el sostenimiento del encofrado	1066	995	-	Escenario definido a partir de la recolección de datos a través de la observación (VSM 1)
Escenario futuro 1 VSM 2 Figura 41	Método Muros enterrados	863	795	13%	Escenario futuro aplicando mejoras en el sistema de producción, procedimientos como el (1) enterrado para encofrado, (2) mejora en la herramienta para perfilado (VSM 2)
Escenario futuro 2 VSM 3 Figura46	Método de <i>Shotcrete</i>	700	640	26%	Escenario futuro posiblemente aplicado en los futuros proyectos (VSM 3)

Fuente: Autoría Propia

Partiendo del escenario actual (VSM 1), la reducción del tiempo con el escenario futuro 1 (VSM 2) fue de 13%. Y reducción de tiempo de 26% con el escenario futuro 2 (VSM3) en relación al escenario futuro 1 (VSM2). Es decir, el escenario futuro 2 (VSM3) con el método de *Shotcrete*, es el que se realiza en menor tiempo en relación a los otros dos métodos.

5.1.7. Análisis Comparativo de los costos entre los escenarios VSM 2 y VSM 3

Con los datos del proyecto, tanto de las dimensiones del terreno, como las dimensiones del muro anclado fue posible el cálculo de los costos para ambos escenarios VSM 2 y VSM 3. Con los datos de la dimensión del muro anclado, se calculó el volumen promedio que ocupa un muro anclado, el valor fue de 4.62 m³ (Tabla 19).

Tabla 19
Calculo del volumen promedio de un muro anclado

Calculo comparativo entre el método muros enterrados y el método shotcrete				
DATOS				
Dimensión del terreno		unidad	cantidad	
Largo		m	27	
Ancho		m	30	
Profundidad		sótanos	9	
Cantidad de muros anclados		muros	350	
Dimensiones del muro anclado		unidad	cantidad	
Área (3.3 m x 3.50 m)	3.3	3.5	m ²	11.55
Volumen promedio (e=0.4m)		0.4	m ³	4.62

Fuente: Autoría Propia

Para sacare el costo del sistema de muros enterrados VSM 2 (Tabla 20). Primero se calculó el costo total del concreto, multiplicando el precio unitario del vaciado S/. 526/m³ por el volumen del muro anclado 4.32 m³, siendo este un valor de S/. 2430.12 por muro anclado. También se calculó el costo de otras actividades, multiplicando la sumatoria de precios unitarios de otras actividades (encofrado, enterrado de encofrado, encofrado de cachimba, desenterrado y desencofrado) por el área del muro anclado 11.52m², resultado un valor de S/. 1472.625 por muro anclado. La sumatoria de ambos valores dio S/. 3902.745, el cual es el costo total por muro anclado.

También fue posible el cálculo del costo por m³, el cual resultado de la división del costo del muro anclado S/. 3902.745 entre el volumen del muro anclado 4.62 m³, resultando un costo de S/. 844.750 por m³ de muro anclado.

Tabla 20
Costo del Sistema de muros enterrados

Muros enterrados (VSM2)		
COSTO POR PARTIDA	Unidad	P.U.
Encofrado	m2	48
Enterrado de encofrado	m2	10
Encofrado de cachimba	m2	24
Vaciado	m3	526
Desenterrado	m2	10
Desencofrado	m2	14
Resane	m2	21.5
Costo total del concreto	soles	2430.12
Costo total de otras actividades	soles	1472.625
Costo por Muro Dimensiones	soles	3902.745
Costo m3	soles	844.750

Fuente: Autoría Propia

De la misma manera que en la tabla anterior. Para el cálculo del costo del sistema de *Shotcrete* VSM 3 (Tabla 21), primero se calculó el costo total del concreto, multiplicando el precio unitario del concreto S/. 450/m³, el lanzado de concreto con *shotcrete* S/. 150/m³, lanzado con *shotcrete* y tarrajeo S/. 18/m³ por el volumen del muro anclado 4.62 m³, resultando en un valor total de concreto de S/. 2993.73 por muro anclado. También se calculó el costo de otras actividades, multiplicando la sumatoria de precios unitarios de otras actividades (Armado del encofrado lateral y habilitación de andamio) por el área del muro anclado 11.52 m², resultado un valor de S/. 57.75 por muro anclado. La sumatoria de ambos valores dio S/. 3051.51, el cual es el costo total por muro anclado.

También fue posible el cálculo del costo por m³, el cual resultado de la división del costo del muro anclado S/. 3051.51 entre el volumen del muro anclado 4.62 m³, resultando un costo de S/. 660.500 por m³ de muro anclado.

Tabla 21

Costo del Sistema de muros con Shotcrete

Muros con Shotcrete (VSM3)		
COSTO POR PARTIDA	Unidad	P.U.
Armado del encofrado lateral	m2	10
Concreto f'c= 350 kg/cm2 para lanzar	m3	450
Lanzado del Shotcrete	m3	180
habilitacion de andamio	m2	5
Lanzado del Shotcrete y tarrajeo	m3	18
Costo total del concreto	soles	2993.76
Costo total de otras actividades	soles	57.75
Costo por muro	soles	3051.51
Costo total por m3 de Shotcrete	soles	660.500

Fuente: Autoría Propia

Haciendo una comparación con los resultados del costo total por m3 de ambos sistemas VSM2 y VSM 3, es posible calcular el ahorro utilizando el sistema de muros con *Shotcrete* VSM 3 (Tabla 22). Es así que se tiene un ahorro de S/. 184.25 por m3 de muro anclado, y de S/. 851.235 por muro anclado. Como en el proyecto de caso de estudio son en total 350 muros anclados, el ahorro total es de S/. 297 932.300.

Tabla 22

Ahorro propuesto con el uso de Sistema de muros con Shotcrete

AHORRO PROPUESTO		
Costo muros enterrados por m3	Soles	844.750
Costo muros con Shotcrete por m3	Soles	660.500
Total de ahorro por m3	Soles	184.25
Costo de muros enterrados	Soles	3902.745
Costo de muros con Shotcrete	Soles	3051.510
Total de ahorro por muro anclado	Soles	851.235
Total de ahorro 350 muros anclados	Soles	297932.3

Fuente: Autoría Propia

5.2.Cronograma optimizado con *Last Planner System* (LPS)

Para crear un sistema eficiente es necesario, asegurar que los flujos no paren, lograr flujos eficientes y lograr procesos eficientes. Por los que el sistema de ultimo planificador encaja en estas necesidades. LPS lo que hace es decantar la programación macro en una programación más detallada, para lograr esta programación detallada, se

realizan las siguientes planificaciones:

- ✓ Plan maestro
- ✓ Plan de fases
- ✓ *Pull planning*
- ✓ *Lookahead*
- ✓ Plan semanal
- ✓ Plan diario

5.2.1. Plan Maestro

El plan maestro es el primer compromiso de la obra, es la planificación macro de todas las fases del proyecto, y se realiza con el objetivo de definir estrategias para obtener un escudo de tiempo con respecto al plan contractual. Para un plan maestro eficaz, necesitamos los planos del proyecto, alcances del proyecto, y la asistencia de los involucrados. En el plan maestro se evidencia las restricciones macro.

El LPS propone una programación mediante hitos, sin necesidad de entrar a detalles como es el caso de una planificación tradicional. En el plan maestro se usan hitos para poner fechas de inicio y de fin, fechas límites para que las cosas sucedan.

En este tipo de planificación se trata de:

- ✓ Planificar colaborativa e forma integrada, un entorno colaborativo.
- ✓ Todos los involucrados son los últimos planificadores.
- ✓ El Residente de obra es quien explica el proyecto.
- ✓ Explicar el plan o el cronograma del proyecto establecido y existente.
- ✓ Definir la sectorización en general de todo el proyecto, de las estructuras y los acabados.
- ✓ Definir los hitos.

5.2.2. Plan de fases

En esta planificación a diferencia del plan maestro se debe hacer por todos los involucrados de la fase, tiene que estar las cuadrillas involucradas mencionadas en la Tabla 23. Así como también el equipo de *staff* de obra, ingeniero residente, ingeniero de campo, ingeniero de oficina técnica, ingeniero de seguridad y el ingeniero de control y planificación.

Tabla 23
Miembros del involucrados en el plan de fases

Cuadrilla	Tipo	Encargado
Excavación	Contratista	RGB
Acabados	Casa	Cuadrilla Propia
Acero	Contratista	Chiguala
Encofrado	Contratista	Prisma
Vaciado	Contratista y casa	UNICON y cuadrilla propia

Fuente: Autoría propia

El objetivo de esta fase, es que cada involucrado salga con un compromiso, y en esta planificación se realiza las siguientes actividades:

- ✓ Ver revisar lo que se tiene en el plan maestro.
- ✓ Catalogar los procesos con colores, ya que luego se van a poner post-it.
- ✓ Se trabaja en reversa, es decir Pull.
- ✓ Identificar las restricciones a la fase e identificar los cuellos de botella con la idea de balancear los trenes de trabajo.
- ✓ Digitalizar para poder usar en el día a día el proyecto.

5.2.3. Pull Planning

El *Pull Planning* se realizó en el plan de fase para ayudar al equipo elaborar un plan de trabajo que elimine la sobre producción y que haga posible que el equipo logre los hitos establecidos. Esta planificación se realizó por ser considerada como una planificación integral, transparente y flexible. Para su desarrollo se realizó los

siguientes pasos:

Primero, el equipo identificó hitos principales e intermedios. Luego, el equipo planificó hacia atrás a partir de esos hitos, mapeando todo el trabajo requerido de cada miembro del equipo, maestro de obra, capataz de acero, capataz de encofrado, contratista de eliminación de material, ingeniero de producción, ingeniero residente, jefe de calidad e ingeniero de seguridad. Segundo, se usaron post-it de colores, los cuales se utilizaron para hacer promesas y para establecer una relación cliente-proveedor entre los miembros del equipo.

Este ejercicio de *Pull Planning* aseguró que cada requisito previo o restricción identificada por un cliente tuviera un proveedor que se comprometiera a entregarlo. El proceso de *Pull Planning* también fomentó la interacción, la colaboración y la transparencia, y resultó ser un gran ejercicio de formación de equipos tal como lo dice Tiwari S. y Sarat P. (2012).

A continuación, se muestra una imagen con de la sesión *Pull Planning* que se llevó a cabo en el estudio de caso, obra camino Real (Figura 67).

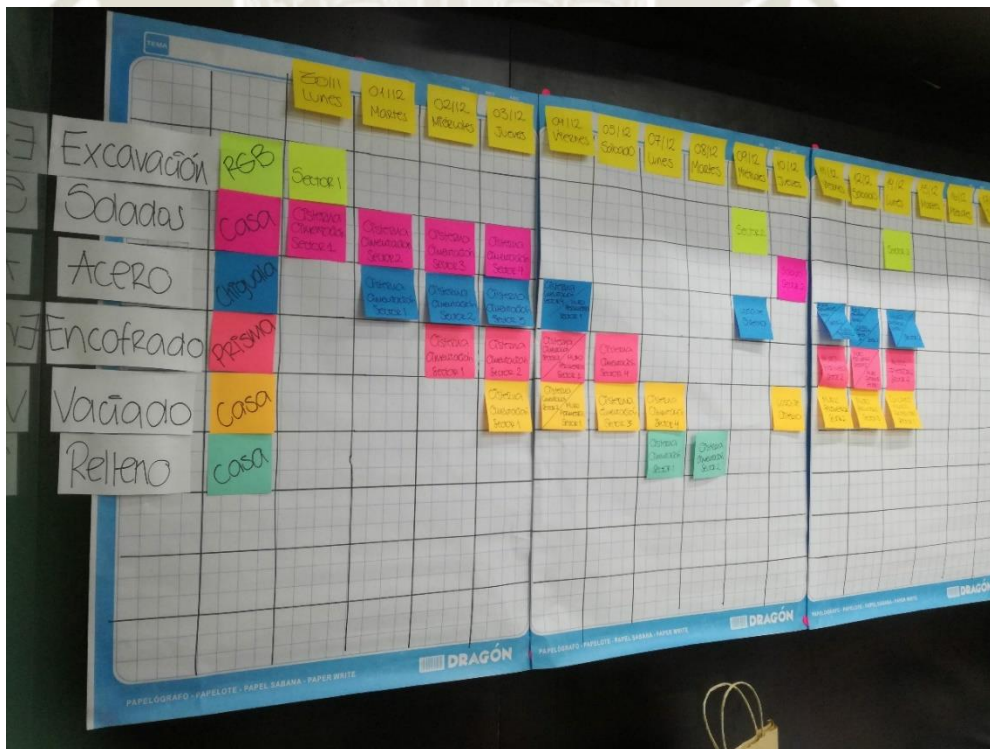


Figura 67. Sesión Pull Planning (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

5.2.4. *Lookahead Planning*

El *Lookahead Planning* es una programación que se trata de aterrizar lo planeado en la sesión *Pull Planning* en lo que se debe hacer, en este caso al plan de fases. El *Lookahead Planning* es un planeamiento de mediano plazo, usualmente es de 4 semanas, tal como se hizo en la obra Camino Real (Figura 68).

Para planear semana a semana lo que se debe hacer, se debe tomar las siguientes consideraciones:

- ✓ Se parte del plan maestro hecho con los involucrados, planeado lo que se hará en las próximas 4 semanas, decantando el plan de fases. Si no hacemos esto podemos tener un PPC Alto y aun así podemos salirnos del plazo meta.
- ✓ El objetivo es ver las restricciones de las siguientes semanas, no obstante ver si identificamos más restricciones.
- ✓ Una vez identificadas las restricciones, identificar responsables.
- ✓ Y siempre dar un análisis, levantamiento y control de las restricciones de las semanas siguientes.

Para una óptima programación del *Lookahead Planning* es importante cuantificar rendimientos reales, siendo el *Lookahead Planning* un cronograma sincerado de lo que realmente se puede hacer de acuerdo a los rendimientos. Por lo tanto, el *Lookahead Planning* sale de un escenario realista.

Sin embargo, el cronograma meta o el plan maestro se realiza con la experiencia del ingeniero que lo realiza.

En la Figura 68, se muestra *Lookahead Planning* de la obra Camino Real, en este se presenta una parte de esta planificación desde la semana 27 a la semana 31, contemplando trabajos de la etapa de perforación, etapa de instalación de acero, encofrado y vaciado, y la etapa de eliminación de material.

5.2.5. **Perforación:**

- ✓ En teoría el procedimiento diario debe ser desde la excavación hasta el vaciado

- ✓ En ocasiones se puede hacer 3 paños desde el perfilado manual hasta el vaciado, pero existe el riesgo de no terminar en la hora determinada por la municipalidad, y tener que pagar multas.

5.2.6. Etapa de Perforación

Usualmente las empresas de perforación reciben la programación para tensar y ellos viene a obra los días programados. Sin embargo, en el estudio de caso se vio mejor tener una gata hidráulica con disponibilidad del 100% en obra, permitiendo tensar por lo menos 1 paño al día.

Para programar la perforación, se tiene un rendimiento estimado de 65ml/día, por lo que, considerando las especificaciones de los anclajes, para los primeros anillos se tiene un avance de 3 paños/día con una longitud promedio de 19ml. A partir de los anillos 6,7 y 8 se tiene un rendimiento promedio de 5 paños/día, siendo esta perjudicada por el cuello de botella de la eliminación. Teniendo días y hasta horas sin frente para perforar.

En teoría, se realiza la perforación y vaciado de un paño al día, sin embargo, se realizaron 2 paños consecutivos y con apertura de 1 día de anticipación. Estos procedimientos prácticos son posibles gracias al tipo de terreno que tiene Lima colonial. Suelos donde existe la necesidad para perforar con roto martillo es porque es un buen suelo.

5.2.7. Etapa de instalación de Acero, encofrado y vaciado

La habilitación de acero y el banco de acero se tienen en campo, sin embargo, una buena práctica es colocarlo en una escuadra para reducir tener más espacio en campo.

Se acostumbra vaciar dos paños consecutivos por día, y en ocasiones se llega a vaciar 5 paños, siempre y cuando ya se haya hecho la apertura de paño con la retro excavadora.

El encofrado y vaciado en muros con compuerta demoran más tiempo por la necesidad de encofrar los laterales del muro.

5.2.8. Eliminación de Material

Para la programación de la cantidad a eliminar por día fue necesario conocer el

rendimiento de los posibles métodos a ser utilizados en el proyecto Camino Real. Para tal se tiene que con el uso de rampa se tiene un rendimiento de 1000m³/día, para pasamanos se tiene 750 m³/día, y para la faja 500 m³/día. Siendo estos métodos los planteados para todo el proceso de eliminación del edificio a medida que se va bajando de anillo, al orden respectivo.

Si bien se tiene una estimación de los rendimientos, para el *lookahead* se debe usar los máximos rendimientos, dado que para la rampa se tiene 800m³/día, para los pasamanos 600m³/día, y para la faja 400m³/día, siendo los más realistas posibles.

Con estos rendimientos sincerados ahora si se puede sacar la cantidad de viajes que se necesita realizar por día para llegar a la meta deseada.

5.2.9. Análisis de Restricciones

- ✓ Hay restricciones que el *lookahead* permite identificar, por ejemplo, los documentales. Por ejemplo, son 30 días avilés necesarios para obtener la respuesta de pedir el uso de vías siendo esta una restricción administrativa.
- ✓ Existen también las restricciones de material y de equipo, por ejemplo, en la inyección, se debe pedir 1 o 2 días antes el cemento, no antes ya que ocasionaría un problema de espacio.
- ✓ Revisar plano también es una restricción, ya que en este se verifican y aprueban cosas.

Descripción de la Actividad	SEMANA 27						SEMANA 28						SEMANA 29						SEMANA 30						SEMANA 31					
	L	M	X	J	V	S	L	M	X	J	V	S	L	M	X	J	V	S	L	M	X	J	V	S	L	M	X	J	V	S
	09/11	10/11	11/11	12/11	13/11	14/11	16/11	17/11	18/11	19/11	20/11	21/11	23/11	24/11	25/11	26/11	27/11	28/11	30/11	01/12	02/12	03/12	04/12	05/12	07/12	08/12	09/12	10/12	11/12	12/12
ESTRUCTURA																														
ANILLO 6																														
EXCAVACION Y ELIMINACIÓN MASIVA (5600)																														
PERFORACION E INYECCION DE ANCLAJES (47)			2	2		3	4	1																						
PERFILADO MURO					2	2	2	2	2	2																				
ACERO EN MURO					2	2	2	2	2	2																				
ENCOFRADO DE MURO					2	2	2	2	2	2																				
CONCRETO EN MURO					2	2	2	2	2	2																				
ANILLO 7																														
INSTALACIÓN DE FAJA	x	x	x	x																										
EXCAVACION Y ELIMINACIÓN CON FAJA (5000)					7	10	18	18	18	18	18	10	18	18	18	18	11													
PERFORACION E INYECCION DE ANCLAJES (47)									4			3	4	4	3															
PERFILADO MURO										2		1	2	4	3	1	4													
ACERO EN MURO										2		1	2	4	3	1	4													
ENCOFRADO DE MURO										2		1	2	4	3	1	4													
CONCRETO EN MURO										2		1	2	4	3	1	4													
ANILLO 8																														
EXCAVACION Y ELIMINACIÓN CON FAJA (5000)																7	10	18	18	18	18	18	10	18	18	18	18	11		
RETIRO DE FAJA																														
PERFORACION E INYECCION DE ANCLAJES(26)										4	3				4	4	3	2												
RETIRO DE PERFORADORA Y COMPRESORA																														
HIDROLAVADORA																														
PERFILADO MURO				2							3	2	2			3	2	4	2	2	2									
ACERO EN MURO				2							3	2	2			3	2	4	2	2	2									
ENCOFRADO DE MURO				2							3	2	2			3	2	4	2	2	2									
ENCOFRADO CISTERNA																														
CONCRETO EN MURO				2							3	2	2			3	2	4	2	2	2									
ANILLO 9																														
EXCAVACION Y ELIMINACIÓN MASIVA (1000)																													5	
RETIRO DE PRIMERA EXCAVADORA																														
PERFILADO MURO																		4	4	5	4	4	4	4						
ACERO EN MURO																		4	4	5	4	4	4	4						
ENCOFRADO DE MURO																		4	4	5	4	4	4	4						
CONCRETO EN MURO																		4	4	5	4	4	4	4						

Figura 68. Planificación de las 4 semanas (Fuente: Autoría Propia)

5.2.10. Plan semanal

En una reunión una vez por semana que por lo general se realiza los días sábados, en donde participan los involucrados al proyecto, ingenieros de oficina técnica, ingeniero residente, ingeniero de campo, ingeniero de seguridad y los capataces contratistas de las contratistas.

En esta reunión se analiza y propone trabajos pueden ser ejecutados durante la semana, el objetivo es tener metas realistas y realizar coordinaciones para que las cosas sucedan con fluidez durante la programación diaria.

Esta reunión se trata de hacer lo más colaborativa y visible posible, esto puede ser con la ayuda de modelos 4D o con gráficos que mejoren el entendimiento, así es como sucedió en el estudio de caso (Figura 69).

En la planificación semanal es del lunes 16/10 al sábado 21/10, se observa la fecha en la que será realizada la perforación, vaciado y el tensado. Esta figura muestra también de forma gráfica la ubicación de espacios importantes en el área de terreno. Los colores simbolizan el día en el que serán ejecutadas esas actividades.

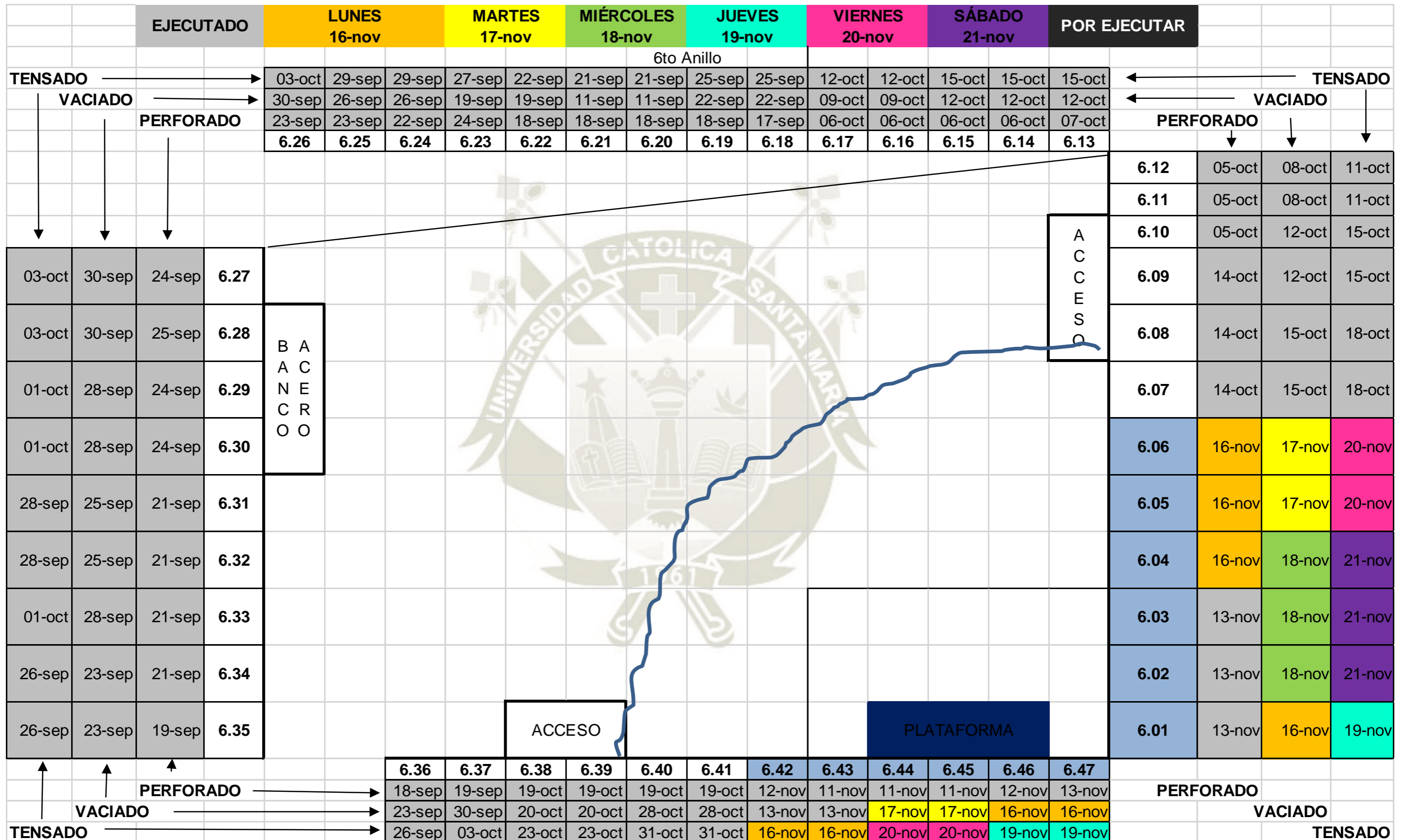
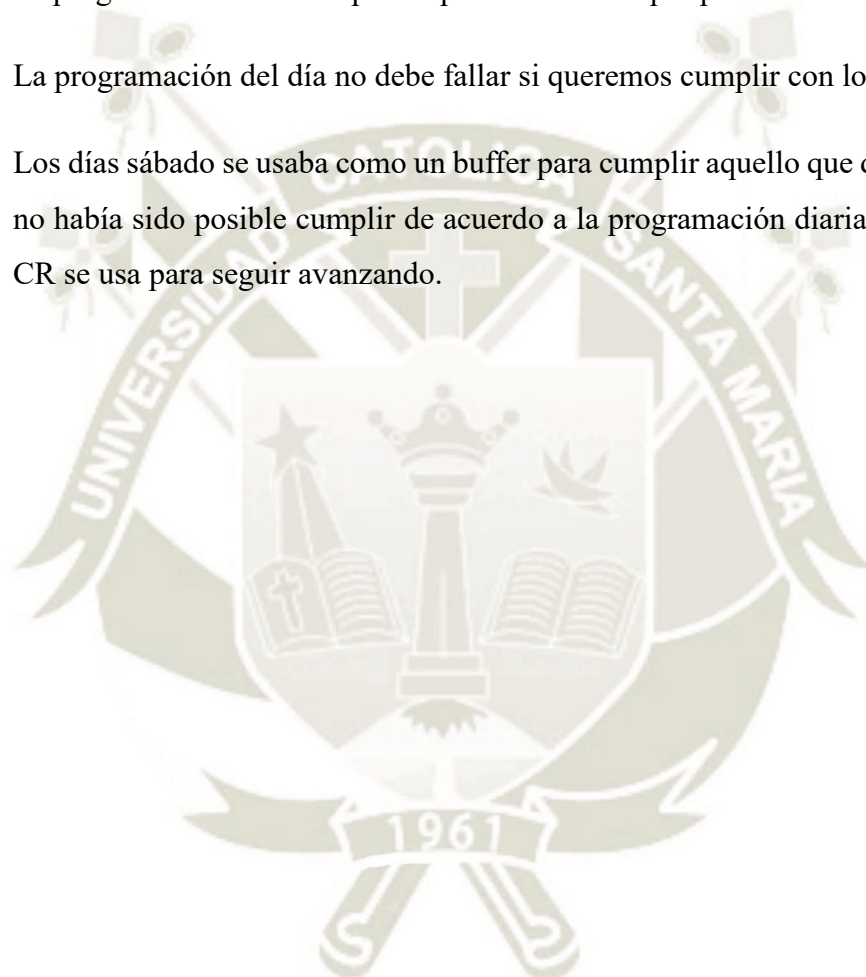


Figura 69. Planificación Semanal (Fuente: Autoría Propia)

5.2.11. Plan Diario

Al igual que la programación semanal, en el plan diario se busca la colaboración y visibilidad para mejorar el entendimiento del equipo de proyecto y la supervisión (Figura 70).

- ✓ El cronograma semanal, se coordina con la seguridad y la administración.
- ✓ Se programa 1 a 1.5. Siempre un poco más de lo q se puede hacer
- ✓ La programación del día no debe fallar si queremos cumplir con lo plazo
- ✓ Los días sábado se usaba como un buffer para cumplir aquello que durante la semana no había sido posible cumplir de acuerdo a la programación diaria, sin embargo, en CR se usa para seguir avanzando.





ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "G-G"



ESTADO DE PAÑO

- PERFORADO
- VACIADO Y PERFORADO
- ✕ TENSADO

MUROS ANCLADOS								
Fecha	Actividad	Encargado	N°Anillo	Eje	Paño	Hora de inicio estimada	Hora fin estimada	Comentario
06/11/2020	Tensado	Karina	8	G-G	818, 819	08:00:00 a.m.	09:00:00 a.m.	-
	Apertura de paño	Joel	7	G-G	713, 714, 715	08:00:00 a.m.	09:00:00 a.m.	-
	Perfilado	Dante	7	G-G	713, 714, 715	09:00:00 a.m.	09:30:00 a.m.	Depende del estado del montaje de faja.
	Acero	Adriano	7	G-G	713, 714, 715	09:30:00 a.m.	11:00:00 a.m.	Depende del estado del montaje de faja.

Actividades adicionales
Instalación de estructura metálica
Instalación de faja

Figura 70. Planificación diaria (Fuente: Autoría Propia)

5.2.12. Nivel General de Actividad (NGA)

Como parte del objetivo de analizar los Trabajos No Contributarios (TNC), se aplica la técnica de Nivel General de Actividad, el cual como se mencionó antes permite una mirada general de la productividad en toda la obra.

En ese sentido para la toma de datos se consideró los anillos 5, 6 y 7 respectivamente, y la toma de datos fue durante 6 días: 21, 22, 23, 26 y 28 del mes de octubre y el 02 del mes de diciembre.

Antes de la toma de datos, se hizo una identificación, codificación y categorización de los trabajos como Trabajos Productivos, Trabajos Contributarios y Trabajos No Contributarios. En la Tabla 24, se muestra dichas actividades, así como también el total de veces que se tomó los datos.

Tabla 24
Clasificación del trabajo obra Camino Real

CLASIFICACIÓN DEL TRABAJO			
Observaciones: Para el NGA se consideraron las actividades de vaciado de concreto, instalación de hacer, encofrado, desencofrado, nivelación y perfilado, excavaciones y entre otros.	Total	COD.	TRABAJOS NO CONTRIBUTARIOS
	8	E	Espera
	12	D	Descanso
	18	V	Viajes
	2	B	Búsqueda de material
	46	I	Instrucciones
	51	O	Observación
	64	T	Transporte
	2	Nf	Necesidades fisiológicas
	Total	COD.	TRABAJOS PRODUCTIVOS
4	AA	Amarre	
2	P	Perforación	
7	Om	Operación de Maquinaria	
0	Te	Tensado	
7	Lp	Lampeado	
4	Pr	Perfilado	
2	Pex	Perfilado con excavadora	
16	RR	Resane	
2	Etrr	Enterrado	
Total	COD.	TRABAJOS CONTRIBUTARIOS	
38	Pm	Preparación de Material	
13	SyM	Señalización	
16	En	Encofrado	
9	Df	Desencofrado	
11	SyL	Seguridad y Limpieza	
0	LC	Lechada de Concreto	
1	Tec	Retiro/Colocación de Tecnopor	
5	Gm	Guardar maquinaria	
7	Ba	Montaje y desmontaje de barandas	
1	Gr	Colocación de Grout	
9	AAe	Amarre o ajuste de encofrados	
9	C	Colocación de material	

Fuente: Autoría Propia

Seguidamente se tomó un total de 386 datos, tal como se sugiere en el libro Productividad en las obras de construcción, y cada dato fue clasificado como TP, TC y TNC, siguiendo el formato mostrado en la Tabla 25, por practicidad solo se muestra

una parte de esta tabla sin embargo en el Anexo se muestra la tabla completa con los 386 datos.

Tabla 25
Toma de datos del NGA, obra camino Real

Fecha	N°	Cuadrilla	TP	TC	TNC
21-oct	1	Actividades Varias	Omq		
	2	Perforación	P		
	3	Perforación			I
	4	Perforación			I
	5	Perforación			I
	6	Actividades Varias		SyL	
...
02-dic	384	Acero		C	
	385	Acero		C	
	386	Acero			O

Fuente: Autoría propia

Gracias a estos datos se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la Figura 71. Los resultados muestran que del 100% del tiempo, se observó que el 53% se usa en Trabajos no Contributarios (TNC), el 31% en Trabajos Contributarios (TC) y solo el 16% en Trabajos Productivos (TP)

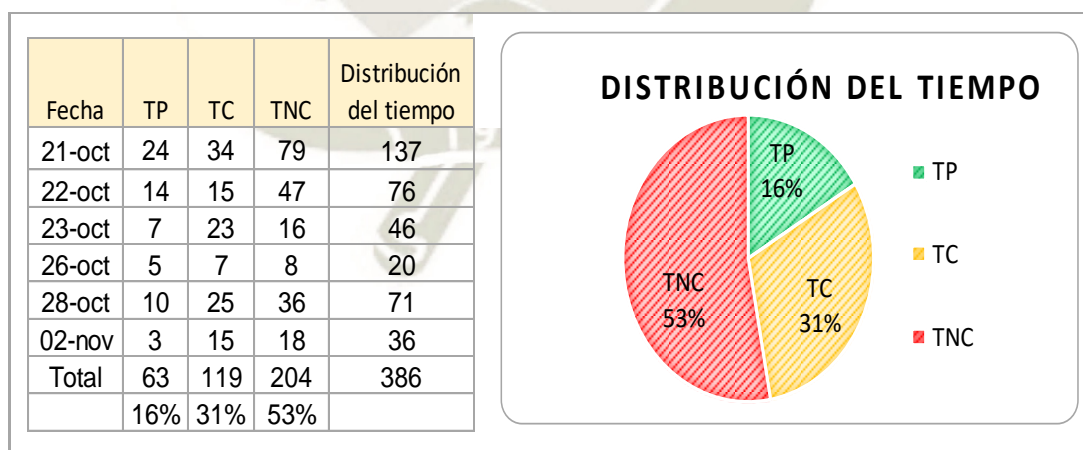


Figura 71. Distribución del tiempo, obra Camino Real (Fuente: Autoría propia)

Otro de los resultados expuestos, es la distribución del tiempo entre los Trabajos no Contributarios (TNC) mostrado en la Figura 72.

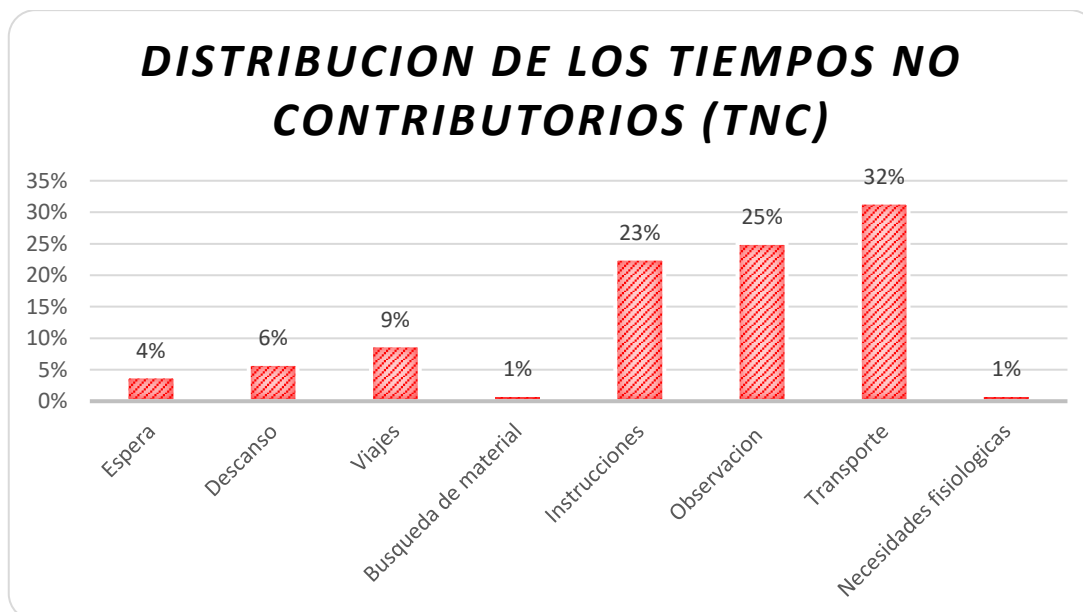


Figura 72. Distribución de los tiempos no Contributorios, obra Camino Real

En este gráfico se observa que la actividad **transporte de materiales y herramientas** está en primer lugar con un porcentaje de 32%. Este resultado conduce a desarrollar un proceso para identificar las causas y como eliminar o reducir este porcentaje. Para Ohno (1997) las pérdidas por transporte son todas las actividades de movimientos de materiales y herramientas que generan costo y que no adicionan ningún valor. Las pérdidas por transporte están asociadas a los flujos y a la logística de producción, y son derivadas de movimientos desnecesarios de trabajadores.

Para identificar las causas se puede usar el diagrama de espina de pescado, o diagrama de Ishikawa, o diagrama de Causa raíz, para presentar la relación existente entre el resultado de un proceso (efecto) y los factores (causas) del proceso que por razones técnicas puedan afectar el resultado considerado. Para Formoso (1996), las pérdidas por transporte están asociadas al manoseo excesivo o inadecuado de los materiales y componentes en función de una programación de actividades, o también por un *layout* inapropiado, espacios reducidos para el transporte, malas condiciones de los recorridos, uso de equipos inapropiados para el transporte, y la falta de preparación y organización para la recepción de materiales.

- ✓ **Plan de acción:** Torres grúa y las actividades asignadas, en vista que el impacto de la ubicación de la Torre Grúa en la programación será considerado como clave de éxito para el proyecto. Se pueden realizar distintas métricas, Pero es importante diseñar el flujo de producción de acuerdo al ciclo por actividad de

cada actividad y en función de la sectorización.

A pesar de que las actividades de transporte sean actividades que no agregan valor y que haya esfuerzo en la búsqueda de su eliminación y reducción, difícilmente serán erradicados por completo de la construcción.

La actividad de **observación** está en segundo lugar con un 25%, identificándose que en ocasiones los trabajadores quedaban observando sin realizar ningún tipo de actividad, esto sucedía por motivo de seguridad ya que usualmente ocurría cuando la máquina excavadora se ponía en funcionamiento con actividades como: Enterrado de encofrado, Apertura de paño, Eliminación de material. O también cuando se ponía en funcionamiento la grúa, por lo que los trabajadores que se encontraban por debajo tenían que mantenerse quietas hasta finalizar el funcionamiento de la grúa.

- ✓ **Plan de acción:** Para esto se propone que cada vez que la máquina excavadora se ponga en funcionamiento, se debe tener otras actividades alternativas designadas a los trabajadores, actividades como: retiro de tecnopor en el empalme con losa, siempre y cuando estén realizando actividades de perfilado y excavado), también se podría apoyar a otros frentes y ordenar la zona de trabajo.

Las actividades de **recibir y dar instrucciones** con un 23%, y otras actividades como **espera por material, descanso, viajes de un lugar de trabajo a otro, búsqueda de material y necesidades fisiológicas** hacen un total de 21%.

5.2.13. Carta balance (CB)

Como su nombre lo indica el Nivel General de actividad (NGA) es para medir de forma general el estado actual del proyecto. Sin embargo, también existe una forma, más precisa de medir el estado actual, y es desde la observación y medición de cada actividad o las actividades críticas del sistema productivo. Es así que, en el caso de estudio presentado de Camino Real, se realizó la medición mediante cartas balance de las actividades de perfilado, habilitación e instalación de acero y encofrado.

✓ Perfilado manual y con maquinaria

Se realizó en el formato F06, el día 22 de octubre del 2020, en el horario de 9:40 am con una periodicidad de 30 segundos, los datos obtenidos fueron del anillo 5 y fue realizada por la investigadora autora del presente estudio (Figura 73.a).

En la Figura 73.b se muestra las casillas donde fueron rellenos las actividades que cada uno de los trabajadores realizaban en el momento de la toma de datos, en total fueron 386 datos.

En esta actividad estuvieron presentes 5 trabajadores. 4 de ellos responsables del perfilado manual y 1 trabajador responsable del perfilado con maquinaria, en este caso la manipulación de la retroexcavadora (Figura 73.c).

Los trabajos que fueron realizadas como parte del perfilado manual y con maquinaria son: entre los TP está el lampeado, perfilado y perfilado con retroexcavadora. Y entre los TC está la señalización, retiro de piedras, lechada de concreto. Finalmente, entre los TNC, se encuentra la espera, descanso, viajes, búsqueda de material, instrucciones, observación, transporte y necesidades fisiológica (Figura 73.d).

(a)

PROYECTO:	Camino Real	ACTIVIDAD:	Perfilado manual y con maquina
MUESTREADOR:	Rocio	DESCRIPCIÓN:	5to Anillo
N° DE FORMATO:	F06	FECHA:	22/10/2020
TAMAÑO DE LA MUESTRA:		Hora Inicio:	09:40 a.m.
		Periodicidad:	30"

(b)

N°	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3	Trabajador 4	Trabajador 5
1	Pr	Pr	Pr	T	
2	Pr	Pr	Pr	O	
3	Pr	Pr	Pr	V	
4	Pr	Pr	Pr	V	
5	Pr	Pr	Pr	V	
6	Pr	Pr	Pr	V	
7	Pr	Pr	Pr	V	
8	Pr	Pr	Pr	V	
9	Pr	Pr	Pr	V	
10					Pex
11					Pex
12					Pex
13					Pex
14					Pex
15					Pex
16					Pex
17					Pex
18					Pex
19					Pex
20					Pex
21					Pex
22					Pex
23					Pex
24					Pex
25					Pex

(c)

Trabajador	Nombre Completo	Actividad	Categoría
1	T1	Perfilado	Capataz
2	T2	Perfilado	Oficial
3	T3	Perfilado	Oficial
4	T4	Perfilado	Oficial
5	Retroexcavadora	Perfilado	Oficial

(d)

TIPO	CÓDIGO	TAREA	%
TP	Lp	Lampeado	8%
	Pr	Perfilado	38%
	Pex	Perfilado con excavadora	38%
TC	SyM	Señalización	0%
	R	Retiro de Piedras	1%
	LC	Lechada de Cemento	10%
TNC	E	Espera	0%
	D	Descanso	1%
	V	Viajes	2%
	B	Busqueda de material	0%
	I	Instrucciones	1%
	O	Observacion	2%
	T	Transporte	0%
	Nf	Necesidades fisiologicas	0%
			100%

Figura 73. Formato de Carta balance de la actividad de perfilado manual y con maquinaria (Fuente: Autoría Propia)

Con los 386 datos obtenidos, se realizó gráficos para mejorar el entendimiento (Figura 74.e). En esta figura se muestra la distribución del tiempo de los Trabajos Productivos (TP) con 84%, Trabajos Contributarios (TC) con 10%, y Trabajos No Contributarios (TNC) con 6%.

También se muestra un gráfico de Pareto para la distribución del tiempo (Figura 74.f), en la cual destacan como trabajos realizados la mayor parte del tiempo, el perfilado manual y perfilado con maquinaria

Se observa a que la mayor parte del tiempo se ocupó en realizar TP y muy poco en TC y TNC. Esto se debe a que en la actividad de perfilado manual y con maquinaria, la mayor parte del tiempo se hicieron trabajos puntuales como: perfilar con la excavadora y perfilar manualmente. Enfatizando en que los trabajadores antes de empezar con la actividad de perfilado manual llegaron preparados con las herramientas y equipos necesarios necesarias, así cuando el perfilado con excavadora termino, los trabajadores de perfilado entraron inmediatamente.

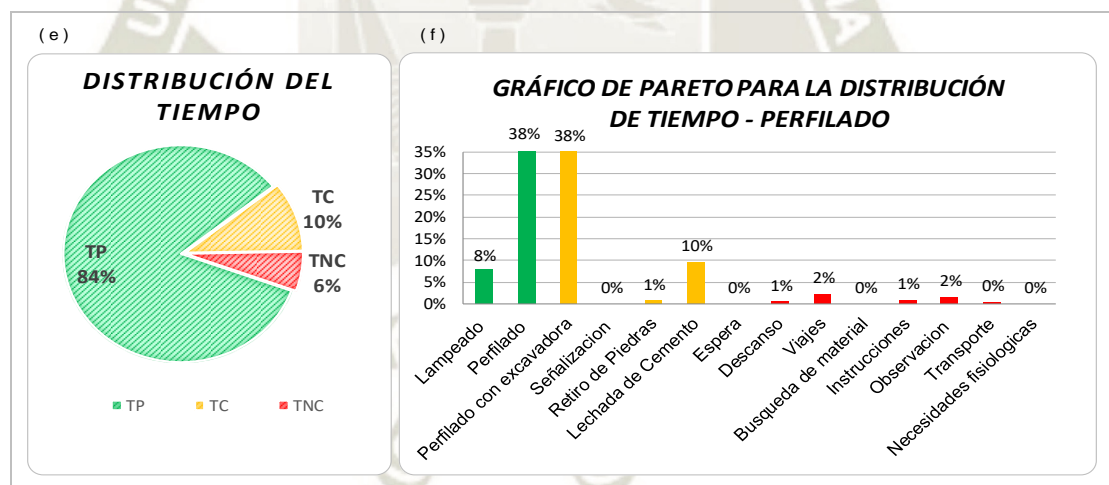


Figura 74. (e) Distribución del tiempo y (f) Gráfico de Pareto – Actividad de perfilado manual y con maquinaria (Fuente: Autoría Propia)

✓ **Habilitación e Instalación de Acero**

Esta actividad puede ser *In situ* o pre-armado, en este proyecto se usó la modalidad de *In situ*, Para un correcto flujo se tiene que analizar las siguientes consideraciones: Equipo de Acarreo, Cuadrilla, Andamios, Espacio...

La toma de datos se realizó en el formato F06, el día 22 de octubre del 2020, en el horario de 8:30 am con una periodicidad de 1 minuto, los datos obtenidos fueron del anillo 5 y fue realizada por la investigadora autora del presente estudio. (Figura 75.a).

En la Figura 75.b se muestra las casillas donde fueron rellenados las actividades que cada uno de los trabajadores realizaban en el momento de la toma de datos, en total fueron 386 datos.

En esta actividad estuvieron presentes 5 trabajadores. 1 capataz, y 4 oficiales, esta actividad estuvo hecha por una subcontrata (Figura 75.c).

Los trabajos que fueron realizadas como parte de la actividad de habilitación e instalación de acero son: entre los TP está amarre o unión de varillas y colocación de varillas; como TC está la toma de medidas, sostenimiento de varillas, preparación de material (habilitación de varillas de acero) y desmontaje de barandas de andamio; como TNC está espera, descanso, viajes, búsqueda de material, instrucciones, observación, transporte y necesidades fisiológicas. (Figura 75.d).

(a)

PROYECTO:	Camino Real	ACTIVIDAD:	Habilitación e instalación de Acero
MUESTREADOR:	Rocio	DESCRIPCIÓN:	5to Anillo Hora Inicio: 08:30:00 a.m.
N° DE FORMATO:	F06	FECHA:	22/10/2020 Periodicidad: 1min
TAMAÑO DE LA MUESTRA:	386		

(a)

N°	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3	Trabajador 4	Trabajador 5
1	I	AA	AA	C	C
2	T	AA	AA	I	I
3	T	AA	AA	O	O
4	I	C	AA	AA	C
5	I	SyM	AA	AA	C
6	I	E	AA	AA	AA
7	I	D	AA	I	AA
8	I	I	AA	I	O
9	I	I	D	I	AA
10	E	I	I	AA	C
11	I	I	I	AA	AA
12	E	I	C	AA	C
13	E	C	C	AA	AA
14	T	O	I	AA	C
15	T	I	C	AA	AA
16	I	I	I	I	AA
17	E	D	I	AA	C
18	I	I	I	AA	AA
19	E	I	C	AA	C
20	E	C	C	AA	AA
21	T	O	I	AA	C
22	T	I	C	AA	AA
23	I	I	I	I	AA
24	E	I	I	AA	C
25	I	I	I	AA	AA

(c)

Trabajador	Nombre Completo	Actividad	Categoría
1	T1	Acero	Capataz
2	T2	Acero	Oficial
3	T3	Acero	Oficial
4	T4	Acero	Oficial
5	T5	Acero	Oficial

(d)

TIPO	CÓDIGO	TAREA	%
TP	AA	Amarre	34%
	C	Colocacion de varillas	31%
TC	SyM	Medidas	1%
	Z	Sostenimiento	0%
	Pm	Preparacion de material	1%
	Ba	Desmontaje de barandas de	8%
TNC	E	Espera	1%
	D	Descanso	1%
	V	Viajes	3%
	B	Busqueda de material	0%
	I	Instrucciones	8%
	O	Observacion	6%
	T	Transporte	7%
	Nf	Necesidades fisiologicas	0%
			100%

Figura 75. Formato de Carta balance de la actividad de Habilitación e instalación de Acero (Fuente: Autoría Propia)

Con los 386 datos obtenidos, se realizó gráficos para mejorar el entendimiento (Figura 76 .e). En esta figura se muestra la distribución del tiempo de los Trabajos Productivos (TP) con 66%, Trabajos Contributarios (TC) con 10%, y Trabajos No Contributarios (TNC) con 24%.

También se muestra un gráfico de Pareto para la distribución del tiempo (Figura 76.f), en la cual destacan como trabajos realizados la mayor parte del tiempo, el amarre o unión de varillas con alambre y la colocación de varillas, este resultado es porque la cuadrilla de acero tenía habilitadas las varillas de acero, así cuando llegó el momento de entrar en acción, solo tuvieron que transportarlo con la grúa torre.

En la Figura 76.f se observa también que entra las actividades de TNC que destacan están las instrucciones por parte del capataz, la observación por parte del algún trabajador, y el transporte, cuando hace falta alguna herramienta o material, hecha casi siempre por el capataz.

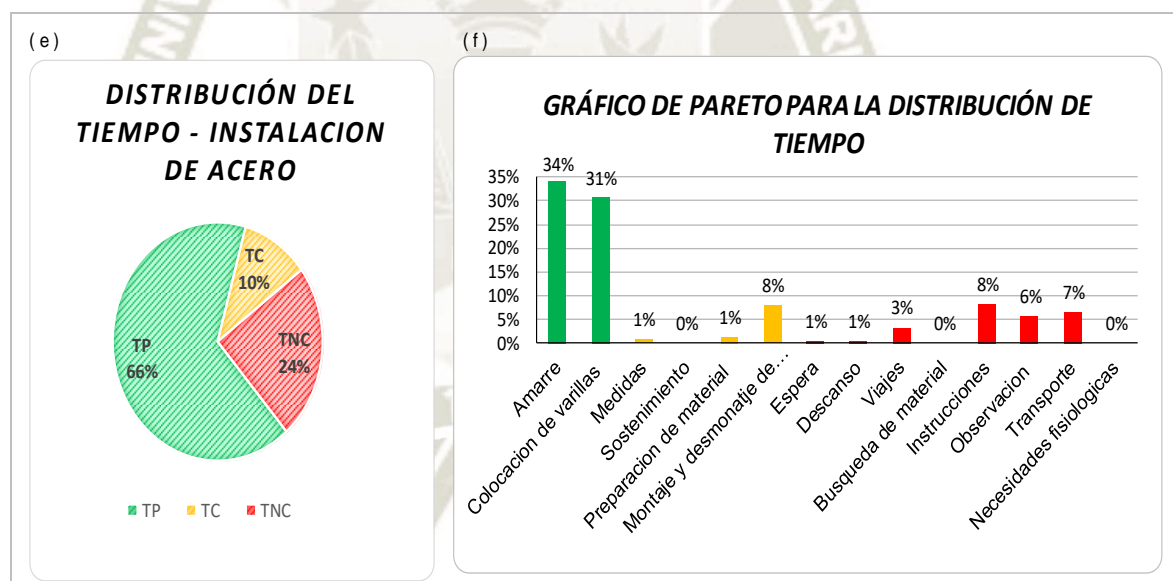


Figura 76. (e) Distribución del tiempo y (f) Grafico de Pareto – Actividad de habilitación e instalación de acero (Fuente: Autoría Propia)

✓ **Actividad de Encofrado**

Esta actividad se realizó con paneles metálicos, considerando el espesor de muro de 0.4 m, y con la capacidad de sostener una presión máxima del concreto vaciado de 6ton/m2.

El encofrado al igual que la malla de acero, se puede realizar *Insitu* o en puede ser

realizado en otra parte y ser transportado por una retroexcavadora, o una *telehandler* si el proyecto tiene un área considerable. En este estudio de caso el encofrado se realizó *In situ*.

La toma de datos se realizó en el formato F06, el día 22 de octubre del 2020, en el horario de 11:30 am con una periodicidad de 1 minuto, los datos obtenidos fueron del anillo 5 y fue realizada por la investigadora autora del presente estudio. (Figura 77.a).

En la Figura 60.b se muestra las casillas donde fueron rellenados las actividades que cada uno de los trabajadores realizaban en el momento de la toma de datos, en total fueron 386 datos.

En esta actividad estuvo presente una cuadrilla de 4 trabajadores. 1 capataz, y 3 oficiales, esta actividad al igual que el acero estuvo hecha por una subcontrata (Figura 77.c).

Se optó por considerar a la actividad de encofrado como una actividad contributaria, y no una actividad productiva, ya que la misma ayuda en la construcción de muros anclados, sin embargo, es necesario que luego se realice el desencofrado. Es decir, el encofrado no forma parte del producto final.

Con base a lo mencionado en el párrafo anterior, en la actividad de encofrado no hay TP, y si TC que son el encofrado propiamente dicho, preparación de material, amarre o ajuste de encofrado, toma de medidas y señalización; y entre los TNC está la espera, descanso, viajes, búsqueda de material, instrucciones, observación, transporte y necesidades fisiológicas (Figura 77.d).

(a)

PROYECTO:	Camino Real	ACTIVIDAD:	Encofrado de muros pantalla
MUESTREADOR:	Rocio	DESCRIPCIÓN:	5to Anillo
N° DE FORMATO:	F06	FECHA:	22/10/2020
TAMAÑO DE LA MUESTRA:	386	Hora Inicio:	11:30 a.m.
		Periodicidad:	1min

(b)

N°	Trabajador 1	Trabajador 2	Trabajador 3	Trabajador 4	Trabajador 5	Trabajador 4	Trabajador 5
1	Pm	O	AA	AA	T	AA	O
2	T	Pm	T	AA	AA	AA	AA
3	T	T	Pm	Pm	AA	AA	AA
4	T	Pm	Pm	AA	AA	AA	SyM
5	T	Pm	O	AA	AA	AA	AA
6	T	Pm	O	T	AA	AA	AA
7	T	Pm	D	T	I	AA	AA
8	T	Pm	Pm	Pm	AA	En	En
9	T	O	Pm	AA	AA	AA	AA
10	V	SyM	O	AA	En	AA	AA
11	Pm	Pm	O	O	O	O	AA
12	SyM	SyM	Pm	En	En	AA	O
13	O	Pm	O	O	AA	O	AA
14	O	Pm	O	En	AA	AA	AA
15	Pm	Pm	O	AA	En	AA	En
16	Pm	O	Pm	O	AA	En	T
17	Pm	O	AA	AA	O	AA	T
18	Pm	O	En	AA	En	T	T
19	Pm	O	T	AA	AA	D	T
20	Pm	Pm	O	AA	AA	T	T
21	AA	AA	AA	I	T	T	T
22	AA	AA	SyM	T	T	I	I

(c)

Trabajador	Nombre Completo	Actividad	Categoría
1	T1	Encofrado	Capataz
2	T2	Encofrado	Oficial
3	T3	Encofrado	Oficial
4	T4	Encofrado	Oficial

(d)

TIPO	CÓDIGO	TAREA	%
TC	En	Encofrado	8%
	Pm	Preparacion de material	18%
	AA	Amarre	30%
TNC	SyM	Medidas y señalización	3%
	E	Espera	0%
	D	Descanso	1%
	V	Viajes	4%
	B	Busqueda de material	0%
	I	Instrucciones	3%
	O	Observacion	13%
	T	Transporte	18%
	Nf	Necesidades fisiologicas	0%
			100%

Figura 77. Formato de Carta balance de la actividad de Encofrado (Fuente: Autoría Propia)

Con los 386 datos obtenidos, se realizó un gráfico donde se muestra la distribución del tiempo en Trabajos Contributarios (TC) con 59%, y Trabajos No Contributarios (TNC) con 41% (Figura 78.e).

También se muestra un gráfico de Pareto para la distribución del tiempo (Figura 78.f), en la cual destacan como trabajos realizados la mayor parte del tiempo, el amarre/unión o ajuste de paneles, la preparación del material y el encofrado propiamente dicho como TC.

En la Figura 78.f se observa también que entra las actividades de TNC que destacan están: el transporte de equipos y herramientas, la observación por parte de los trabajadores hacia como va quedando el trabajo y los viajes por parte de los trabajadores, sin llevar o traer algún material.

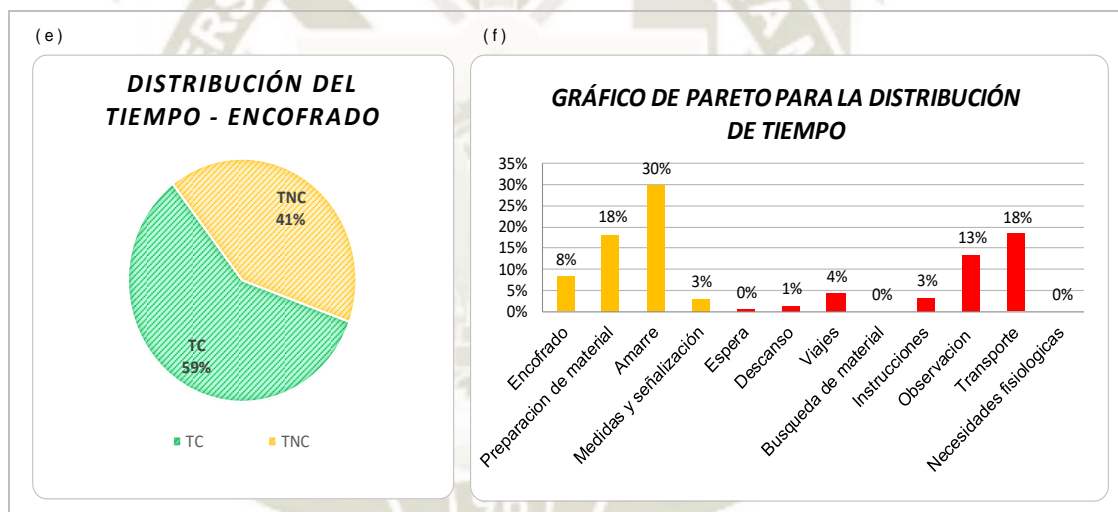


Figura 78. (e) Distribución del tiempo y (f) Gráfico de Pareto – Actividad de Encofrado (Fuente: Autoría Propia)

5.3.Procedimientos para excavaciones profundas

El cálculo del material a ser eliminado se realiza en dos momentos, al inicio de la eliminación y casi al final de la construcción de los muros anclados. Este último es para identificar cuanto material será necesario para el relleno luego de construido otras estructuras como la cisterna, ascensor y las cimentaciones de la estructura.

Como esta descrito líneas arriba en la descripción del proyecto, el edificio Camino Real costa de 9 sótanos. Y para su ejecución los sistemas de excavación profunda

utilizados fueron rampa, pasamanos con banqueta, faja transportadora, y baldes basculantes como se detalla en la tabla 26.

Tabla 26
Sistemas de excavación utilizado en la obra Camino Real

Sistema de excavación profunda			
Anillo	Profundidad		Método de eliminación de material
1	0	3.2	Rampa
2	3.2	6.4	Rampa
3	6.4	9.6	Pasamanos con Banqueta o montículo
4	9.6	12.8	Pasamanos con Banqueta o montículo
5	12.8	16	Pasamanos con Plataforma
6	16	19.2	Pasamanos con Plataforma
7	19.2	22.4	Decidir la mejor alternativa
8	22.4	25.6	Decidir la mejor alternativa
9	25.6	28.2	Decidir la mejor alternativa

Fuente: Autoría Propia

5.3.1. Método de Rampa

En cuanto a la eliminación de los primeros 2 anillos, se utilizó la conformación de rampa, ya que no se debe permitir que la rampa crezca más allá del 3er anillo, ya que las desventajas de este sistema empieza a tener efectos a medida que la excavación se profundiza.

5.3.2. Método pasamanos con banqueta o montículo

Luego se pasó al método de pasamanos con la adecuación de un montículo que facilitara la alimentación a la retroexcavadora que se encontraba en la superficie, alimentado el volquete. Por tanto, este método uso dos maquinarias, una retroexcavadora y una excavadora sobre oruga, la cual se moviliza con mayor facilidad en terrenos desnivelados.

5.3.3. Método pasamanos con plataforma

Cuando la adecuación del montículo ya no es eficiente, es decir la retroexcavadora de la superficie no puede alimentarse y por lo tanto no puede alimentar a los volquetes, es preferible adecuar una plataforma. Esta plataforma va sujeta a los muros anclados

mediante una escuadra. El método funciona con una excavadora sobre oruga que alimenta la plataforma, y una retroexcavadora que se alimenta de la plataforma.

5.3.4. Decidir la mejor alternativa

Para los anillos séptimo, octavo y noveno se tenía que decidir la mejor alternativa, siendo este el objeto de este estudio, es así que se optó por aplicar la metodología CBA para dicha toma de decisión.

5.3.5. *Choosing By Advantages (CBA)*

En marzo de 2020, la pandemia de coronavirus llegó a todas las naciones del mundo y fue declarada como pandemia mundial por la Organización Mundial de la Salud (2020). Este hecho interrumpió y puso en riesgo las industrias de todo el mundo, incluida la industria de la construcción (Ogunnusi et al. 2021; Alsharif et al. 2021). Ante este hecho, el proyecto del caso de estudio tuvo que ser paralizado en medio del proceso de ejecución, afectando el tiempo, los costos y los recursos. Este problema llevó a que la empresa constructora tome decisiones importantes para recuperar el plazo inicialmente previsto.

Por otro lado, en la industria de la construcción, la toma de decisiones en cualquier etapa del proyecto es de suma importancia para incrementar el valor (Juan et al. 2017). Sin embargo, tradicionalmente, la toma de decisiones de una alternativa se realiza de manera empírica, basada primero en la experiencia del juicio de expertos, segundo en el análisis del presupuesto disponible para dicha actividad, y finalmente en la búsqueda de una alternativa que cumpla con lo anterior y preferencia del cliente.

Siendo así, CBA es una herramienta que ayuda a tomar decisiones basadas en hechos relevantes (Arroyo et al. 2013). El CBA se utiliza para tomar múltiples decisiones en el ciclo de vida del proyecto de construcción (Brioso et al. 2019); sin embargo, aún no existen publicaciones que expliquen su uso durante la pandemia COVID-19 en la fase de excavación. El uso de CBA durante la pandemia es relevante, ya que forma parte de una solución a la variabilidad en el período de ejecución, siendo que durante la pandemia este problema se agrava. Esta aplicación proporciona orientación sobre cómo anticipar situaciones complejas e improbables en el futuro, como la pandemia de COVID-19.

El propósito de esta sección de la investigación, es introducir el método CBA para la toma de decisiones de la mejor alternativa en sistemas de remoción de material sobrante en la construcción de sótanos y aplicarlo en el caso de estudio durante la pandemia. Con esta aplicación es posible documentar y formalizar datos relevantes del sistema de remoción de material, tomando una decisión con base a criterios importantes para el contexto en el que se ubica el proyecto.

En este estudio de caso, los efectos de la pandemia podrían ser tanto positivos como negativos. Positivo, porque era necesario utilizar alternativas de métodos novedosos para evitar la propagación del virus (Afkhamiaghhd y Elwakil 2020). Estos métodos alternativos consideran factores como productividad, interferencias con otras áreas, tiempo de instalación, facilidad de instalación, área de ocupación.

Para decidir la mejor alternativa, para ello, se integraron las perspectivas del grupo de expertos, con base en escenarios y colaboración temprana (Parrish y Tommelein 2009; Arroyo et al. 2013).

5.3.6. Objeto de la decisión

En la construcción de edificaciones convencionales, existen 4 fases principales en su etapa constructiva: (1) subestructura (incluye sótanos), (2) superestructura, (3) acabados húmedos y secos, junto a las instalaciones eléctricas y sanitarias, y finalmente (4) obras exteriores e instalación de muebles. Cada una de estas fases tiene una planificación *takt-time*, por lo que aprovechar algunas de estas fases es crucial para el proyecto en términos de tiempo. Una de las fases con posibilidad de obtener una ventaja es la fase de subestructura, especialmente en la actividad de eliminación de material al elegir un sistema de eliminación efectivo. Es así que la ventaja que se haya aprovechado en esta fase es directamente proporcional al cumplimiento del plazo final del proyecto.

En esta sección, se analizará la eliminación de material del séptimo, octavo y noveno sótano, dado que esta actividad es un cuello de botella que bloquea el *takt-time* de la fase de subestructura, perjudicando el cumplimiento de la perforación y el vaciado de muros anclados. El origen de este cuello de botella tiene dos razones. En primer lugar, el poco espacio en el terreno, ya que las zonas designadas para áreas temporales crecieron para dar espacio a áreas como tópicos, comedor, lavatorios y vestidores con

la distancia de 1,5m, espacios previstos como parte del Plan de prevención. y control de COVID-19. En segundo lugar, el conjunto de materiales a retirar se apoya en un área que necesita continuar con la planificación (Figura 79).



Figura 79. Conjunto de material a eliminar que dificulta la ejecución de muros anclados (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

5.3.7. Selección del panel de expertos

El criterio para la selección del panel de expertos, en primer lugar, fue que formen parte del equipo del proyecto. El equipo de expertos estuvo constituido por el director del proyecto, el ingeniero de campo, el ingeniero de seguridad y el ingeniero de costos. En segundo lugar, que el grupo de expertos tenga experiencia en estos tipos de construcciones (edificaciones con varios sótanos y pisos). Y, finalmente, que tengan algún conocimiento de la herramienta CBA. Este último criterio se cumple ya que el equipo del proyecto recibió previamente una formación sobre la filosofía y herramientas de Lean por parte de la empresa constructora.

5.3.8. Aplicación CBA

✓ Paso 1: identificar alternativas

El panel de expertos identificó 3 alternativas: Eliminación por faja transportadora anclada en muros (Figura 80.A), Faja transportadora sin anclaje en muros (Figura 80.B) y el sistema de Izaje vertical o Faja vertical (Figura 80.C). Para este proyecto, el panel de expertos determinó que la productividad mínima de eliminación debía ser de 500 m³ por día, para asegurar que se avance el *takt-time* programado de los muros anclados.

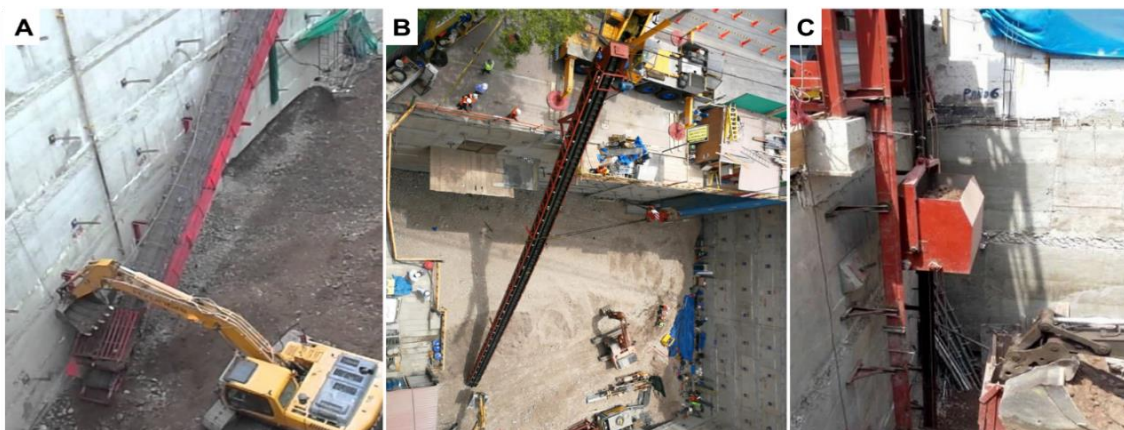


Figura 80. Alternativas para la eliminación de material para los anillos 7, 8 y 9; A: Faja inclinada empotrada en muros; B: Faja inclinada; C: Izaje vertical o faja vertical

✓ **Paso 2: definir factores y criterios**

Los factores y criterios fueron definidos por el panel de expertos. Gracias al know-how de la empresa constructora, se recomendaron diez factores (1) Productividad, (2) Interferencias con otras áreas, (3) Tiempo de instalación, (4) Facilidad de instalación, (5) Área de ocupación, (6) número de trabajadores, (7) equipo necesario para el movimiento de tierra, y (8) transporte de material sobrante, (9) factor de seguridad y (10) factor de impacto ambiental por ruido y polvo. Los últimos cuatro factores son muy importantes para cumplir con el protocolo COVID-19, ya que permite mantener la distancia de 1,5 m. Los últimos cinco factores no se consideraron en la matriz CBA porque los factores y criterios fueron similares para las tres alternativas (Tabla 27).

Tabla 27

Factor y Criterios y cuales ayudan a cumplir el Protocolo COVID-19 (x)

Factor y Criterios	Protocolo COVID-19
(1) Productividad: Capaz de remover material en una cantidad igual o mayor a 500 m ³ / día, para alcanzar el plazo establecido.	
(2) Interferencias con otras áreas: Que al momento de eliminar material, no interfiera con la ejecución de otras actividades planeadas, como perforación o construcción de muros anclados.	x
(3) Tiempo de instalación: Corto tiempo de instalación, para no tener que paralizar el proyecto, o al menos no interferir en la ejecución de otras actividades.	x

(4) Facilidad de instalación: Sin necesidad de exceso de maquinaria y trabajadores	x
(5) Área de ocupación: Se busca un sistema que ocupe un área pequeña, para evitar interferencias en la ejecución de otras actividades.	x

Fuente: Autoría Propia

✓ **Paso 3: resumir los atributos de cada alternativa**

En este paso, el panel de expertos resumió los atributos de cada alternativa con base a las especificaciones de los contratistas que brindan el servicio de eliminación de material sobrante, y con el conocimiento y experiencia de proyectos previos del panel de expertos (ver Tabla 28).

✓ **Paso 4: decidir las ventajas de cada alternativa**

En este paso, con base a los criterios establecidos, el panel de expertos identifica las alternativas más ventajosas. La Tabla 12 muestra un resumen de las ventajas de las tres alternativas.

✓ **Paso 5: decida la importancia de cada una de las ventajas**

En este paso, el panel de expertos asignó en colaboración un nivel de importancia para cada ventaja. Se utilizó una escala de 1 a 100, dando el valor de 100 a la ventaja más importante y dando valores más bajos a las demás. Donde la ventaja suprema es el Área de ocupación con un IofA de 100, en segundo lugar, la Interferencia con otras áreas y el Tiempo de instalación con un IofA de 75, y como tercera ventaja es la Productividad y Facilidad de instalación con un IofA de 50.

Una vez asignadas las importancias a cada ventaja, se calcula la importancia total de cada alternativa, de tal manera que es fácil comparar las alternativas (Tabla 28).

✓ **Paso 6: Selección de la alternativa con más Importancia de la Ventaja (IofA)**

En este paso, indicadores como el nivel de importancia se consideran en la toma de decisiones. La Tabla 28, muestra el análisis CBA con tres alternativas de soluciones

para eliminar el material sobrante del sótano siete al sótano nueve. En este paso, se suma la puntuación de importancia de cada alternativa. Es probable que haya alternativas que empaten debido a las puntuaciones asignadas, así sucedió como la alternativa 2 y 3 con puntuaciones de 295 y 305, respectivamente.

Tabla 28

Análisis de CBA

Alternativas de Solución para la eliminación de material a partir del anillo siete hasta el anillo nueve				
Factor	Criterio	Alternativa 1: Faja transportadora empotrada en muros	Alternativa 2: Faja transportadora no empotrada en muros + grúa balde	Alternativa 3: Izaje vertical
Productividad	Mayor productividad es mejor	Atributo: 500 m ³ /día	Atributo: 500 m ³ /día	Atributo: 600m ³ /día
		Ventaja: 0	Ventaja: 0	Ventaja: 100 m ³
		Importancia: 0	Importancia: 0	Importancia: 50
Interferencias con otras áreas	Menor interferencia es mejor	Atributo: Obstaculiza muchas tareas	Atributo: Obstaculiza un poco algunas tareas	Atributo: Casi no obstaculiza tareas
		Ventaja: 0	Ventaja Interfiere un poco más que la alternativa 3	Ventaja: Es la que interfiere menos
		Importancia: 0	Importancia: 70	Importancia: 75
Tiempo de instalación	Menor tiempo es mejor	Atributo: 14 días	Atributo: 5 días	Atributo: 5 días
		Ventaja: 0	Ventaja: 9 días	Ventaja: 9 días
		Importancia: 0	Importancia: 75	Importancia: 75
Facilidad de instalación	Mayor facilidad es mejor	Atributo: esta alternativa utiliza superposiciones que dificultan la instalación	Atributo: dificultad media	Atributo: dificultad media
		Ventaja: 0	Ventaja: el menos difícil	Ventaja: el menos difícil
		Importancia: 0	Importancia: 50	Importancia: 50

Área de ocupación	Menor área es mejor	Atributo: Ocupa un área considerable	Atributo: ocupa poca área	Atributo: ocupa poca área
		Ventaja: 0	Ventaja: permite más área disponible para trabajar	Ventaja: permite más área disponible para trabajar
		Importancia: 0	Importancia: 100	Importancia: 100
Score IofA		0	295	305

Fuente: Autoría Propia

El panel de expertos descartó a la alternativa 1, así tenga un costo bajo, pues presentó un IofA de cero, por lo que concluyeron que iba a presentar una alta probabilidad de incumplimiento del plazo y del protocolo COVID-19. Por otro lado, observamos que la alternativa 2 obtuvo un IofA de 295 y la alternativa 3 obtuvo 305, es decir, un 3.38% más que la alternativa 2. Sin embargo, el panel lo consideró como un empate pues la diferencia la consideraron muy pequeña para el método empleado. Es así que el factor costo determinará la alternativa ganadora.

✓ **Paso 9: Análisis del costo de las alternativas**

En la Figura 81 se muestra un gráfico comparativo del IofA y los costos de las tres alternativas. El costo de cada alternativa incluye el servicio de alquiler y mantenimiento de equipos, pago a los trabajadores, movimiento de tierras y transporte de material sobrante a retirar y seguro contra accidente.

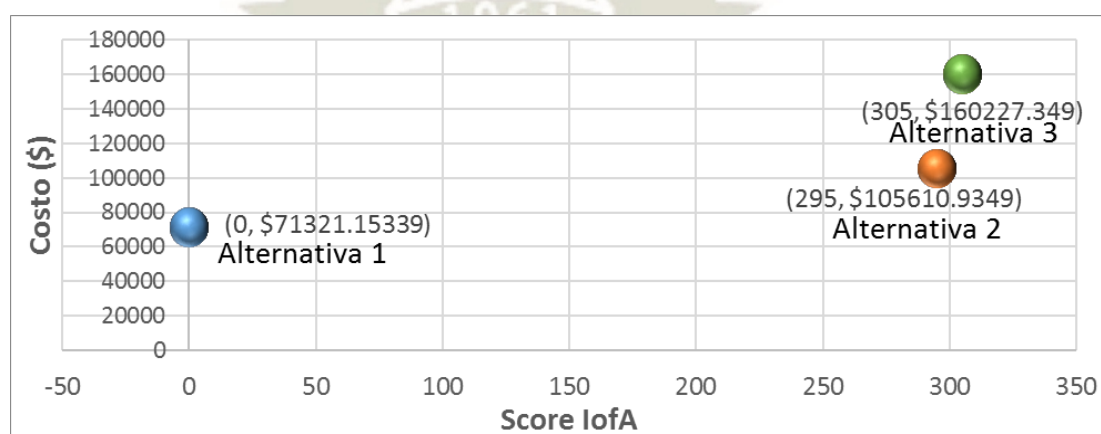


Figura 81. Alternativa de Costos (Fuente: Autoría Propia)

✓ Paso 8: Decisión final

El panel de expertos determinó que la alternativa 2 fue la ganadora ya que la alternativa 3 fue un 51,7% más alta en costo y solo un 3,38% más baja en la puntuación obtenida en IofA. La primera alternativa tiene un 30% menos de costo, pero se excluyó debido a la probabilidad de no cumplir con el protocolo COVID-19 y el plazo. El CBA permitió que el equipo de expertos seleccionara la alternativa no necesariamente la más barata, pero cumplió con el desempeño esperado. El CBA ayudó a excluir una de las alternativas de bajo costo, pero con alta probabilidad de no cumplir con el plazo y el protocolo COVID-19.

5.3.9. Implementación de la alternativa

Luego de escoger a la alternativa ganadora, se hizo una prueba para observar su desempeño. Así fue que se observó que el funcionamiento de la faja tuvo un tiempo de ciclo de 1'15"64, que es el tiempo que tarda en dar la vuelta completa. También se verificó que la grúa balde eliminaba eficientemente las piedras grandes que no podían ser trasladadas por la faja. En general, la tarea de eliminación superaba los 400 m³ diarios por lo que siempre estaba adelantada respecto de las demás tareas, por lo que nunca fue el cuello de botella de esta fase. En la Figura 82.A, y Figura 82.B, se muestra el funcionamiento de la faja transportadora, la cual no va anclada en muros. En la Figura 82.C, se ve la grúa balde eliminando en simultaneo con el uso de la faja.

El panel de expertos concluyó que en caso de que no hubiera una pandemia, también utilizarían la alternativa ganadora (alternativa 2). Dado que esta alternativa ocupa menos espacio que la alternativa 1, y permite realizar actividades en paralelo sin interrupciones. Además, como uno de los beneficios que aluden Parrish y Tommelein (2009), en este estudio, con la aplicación del CBA fue posible documentar y formalizar datos relevantes del sistema de remoción de material, tomando una decisión basada en criterios importantes para el contexto. en el que se ubica el proyecto. Así como, agilizar el proceso de toma de decisiones.



Figura 82. Funcionamiento del método faja transportadora y grúa balde (Fuente. Registro fotográfico de la obra Camino Real)

5.3.10. Eliminación por el método de faja transportadora empotrada

Se debe tener en cuenta que, si bien la faja transportadora elimina menos de material de excavación que a través de la rampa directa e indirecta de tierra, ésta contribuye a un flujo constante de las actividades de acero, encofrado y vaciado de concreto con resultados óptimos a nivel de productividad.

El uso de una faja transportadora trae muchos beneficios ya explicados, sin embargo, el simple montaje y uso de esta no traerá los beneficios esperados. La envergadura del proyecto es lo que va a definir el tamaño de la faja, si la longitud de la faja es muy grande, esta no podrá ser abarcada por una sola faja principal, sino se tendrá que utilizar transiciones que funcionen como extensiones de la faja principal.

Es recomendable tener dos operarios, uno encargado de supervisar el alimentador de la faja y otro encargado de la manipulación del tablero de funcionamiento, así como también tener un encargado del mantenimiento de la faja, así cuando ocurra cualquier imprevisto con el funcionamiento de la faja, sea solucionado lo más pronto posible.

5.3.11. Eliminación por el método de Grúa balde

Eliminación con grúa balde a cargo de la contrata de eliminación siempre y cuando la eliminación de piedras grandes sede al finalizar la eliminación por faja. Como se tiene el cuello de botella en la eliminación, otra de las soluciones fue hacer viajes de $\frac{3}{4}$ de cubo con ayuda de la grúa hasta un volquete contratado por la empresa y no por la subcontrata de eliminación.

5.3.12. Resumen del control de la eliminación de acuerdo al tipo de metodología

En la Tabla 29 se hace un resumen de la cantidad de material en m³ eliminada, el rendimiento de m³ por día, el número de volquetes y el tiempo aproximado en llenar el volquete de acuerdo a cada tipo de metodología para eliminación de material utilizado.

Tabla 29
Resumen de acuerdo al tipo de método de eliminación

Método de eliminación de material	Cantidad Eliminada (m ³)	Rendimiento (m ³ /día)	Número de Volquetes (Vol./día)	Tiempo aproximado de llenado (min)
Rampa Directa	20757	926	33	12
Rampa Indirecta				
Pasamanos con Montículo	15949	900	21	13
Pasamanos con banqueta	6281	725	28	12
Faja no empotrada en muros laterales	7078.7	500	19	23
Grúa balde	1316	225	9	35
Faja y Grúa en simultaneo		661	27	
Total eliminado	51381.7			

5.3.13. Análisis del cuello de botella incluyendo mejoras

A continuación, en la Figura 83 y 84 se muestra un análisis comparativo del cuello de botella usando una metodología tradicional y usando mejoras en el proceso constructivo.

En la parte superior se observa el análisis de cuello de botella con la metodología tradicional y en la parte inferior se observa el análisis de cuello de botella con mejoras incluidas. Mejoras tales como el uso de mayor número de equipos, o el uso de una metodología o herramienta diferente a la tradicional, como aumentar el número de paneles de encofrado; vaciado con bomba, pluma o grúa balde; uso de rampa para la eliminación de material y/o el uso de dos sistemas de eliminación en simultaneo.

Como resultado del uso de mejoras se logró regular el flujo de trabajo, eliminando los cuellos de botella.

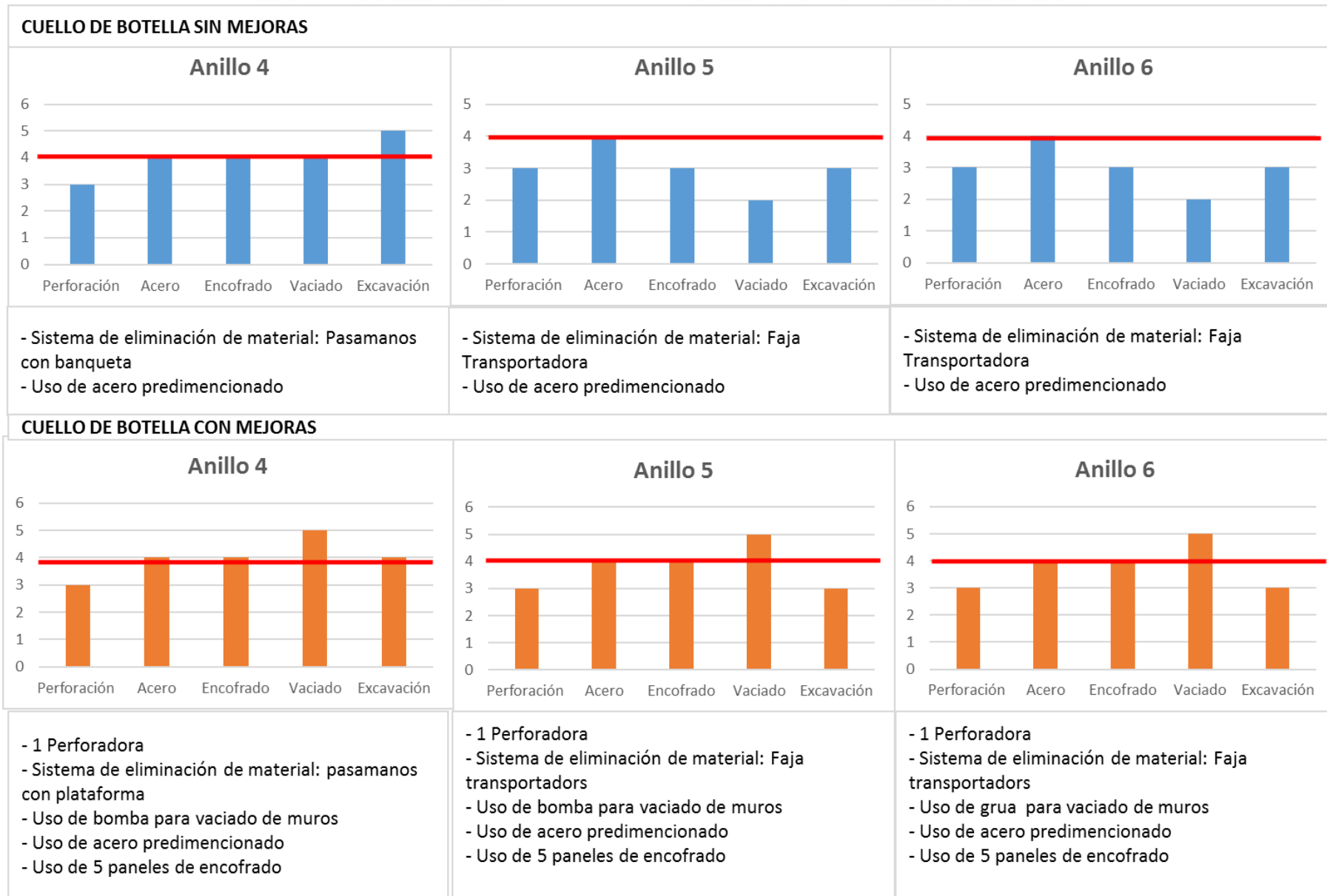


Figura 83. Comparación del cuello de botella sin mejoras y con mejoras en el Sistema constructivo de sótanos (Fuente: Autoría Propia)

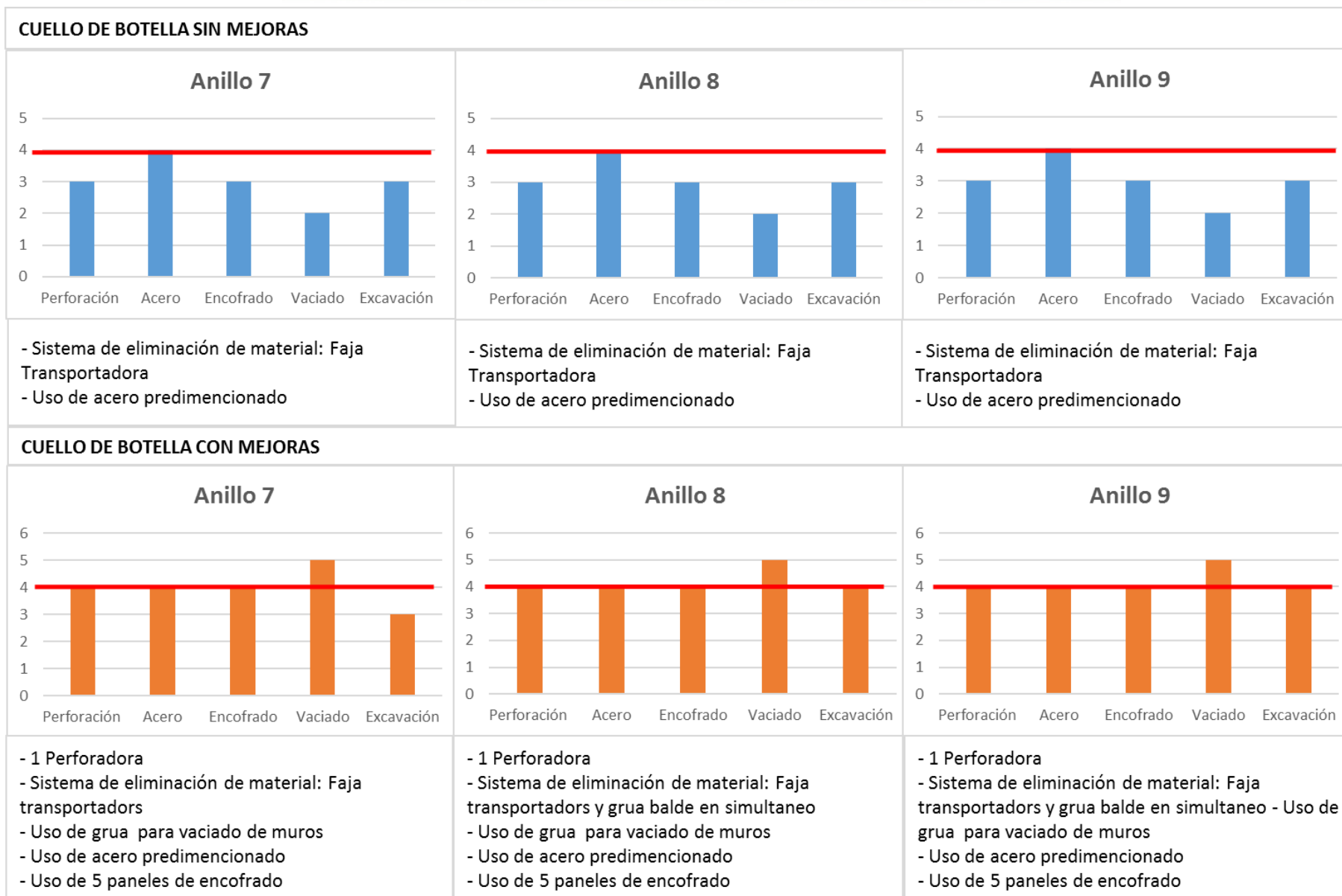


Figura 84. Comparación del cuello de botella sin mejoras y con mejoras en el Sistema constructivo de sótanos (Fuente: Autoría Propia)

5.3.14. Resumen del volumen eliminado por anillo

En la Tabla 30 se realiza una descripción resumida del volumen de material eliminado por anillo, considerándose un coeficiente de esponjamiento de 1.3.

Tabla 30
Control de la cantidad del material eliminado por anillos

Descripción	Altura de Anillo (m)	Volumen en Banco (m3)	Volumen Esponjado (m3)	Vol. Esponjado Acumulado (m3)
Anillo 1	3	4,455.00	5,791.50	5,791.50
Anillo 2	3.5	5,197.50	6,756.75	12,548.25
Anillo 3	3.5	5,197.50	6,756.75	19,305.00
Anillo 4	3.5	5,197.50	6,756.75	26,061.75
Anillo 5	3.5	5,197.50	6,756.75	32,818.50
Anillo 6	3.5	5,197.50	6,756.75	39,575.25
Anillo 7	3.5	5,197.50	6,756.75	46,332.00
Anillo 8	3.5	4,649.92	6,044.89	52,376.89
Anillo 9 - Cimentación	3.5	381.64	496.14	52,873.03

Fuente: Autoría Propia

5.3.15. Resumen del volumen eliminado al mes

El proyecto empezó en febrero sin embargo tuvo que ser paralizado en los meses de abril y mayo a raíz de la emergencia sanitaria por el COVID-19, motivo por el que no existió eliminación de material en los meses de abril y mayo, retomándose la eliminación solo en el mes de junio, tal como se indica en la Tabla 31.

El volumen máximo de eliminación fue 9554 m3 al mes, este volumen se alcanzó con el sistema de pasamanos, y lo mínimo fue de 1089 m3 al mes, siendo que se alcanzó el valor máximo cuando la eliminación se encontraba en los primeros anillos, utilizando el método de rampa.

Tabla 31
Resumen del volumen total eliminado

Resumen	Vol. Eliminado (m3)	Vol. Eliminado Acumulado (m3)
feb-20	2,798.00	2,798.00
mar-20	1,089.00	3,887.00
abr-20	-	3,887.00
may-20	-	3,887.00
jun-20	1,509.00	5,396.00
jul-20	8,523.00	13,919.00
ago-20	9,536.00	23,455.00
sep-20	9,554.00	33,009.00
oct-20	8,306.00	41,315.00
nov-20	6,537.70	47,852.70
dic-20	3,529.00	51,381.70
ene-21	-	
feb-21	-	
TOTAL	51,381.70	m3

Fuente: Autoría Propia

A continuación, en la Figura 85, se muestra el avance por meses del volumen acumulado de eliminación de material por cada anillo. Se observa que los primeros meses el volumen acumulado no era significativo, porque la prioridad de los primeros anillos, o el cuello de botella era la perforación de anillos. A medida que el proyecto fue avanzado, hubo una acumulación de material, convirtiéndose este en un cuello de botella que restringía otras actividades como la construcción de muros, es por ello que se fue eliminando como mayor periodicidad y dándole prioridad a la eliminación de material.

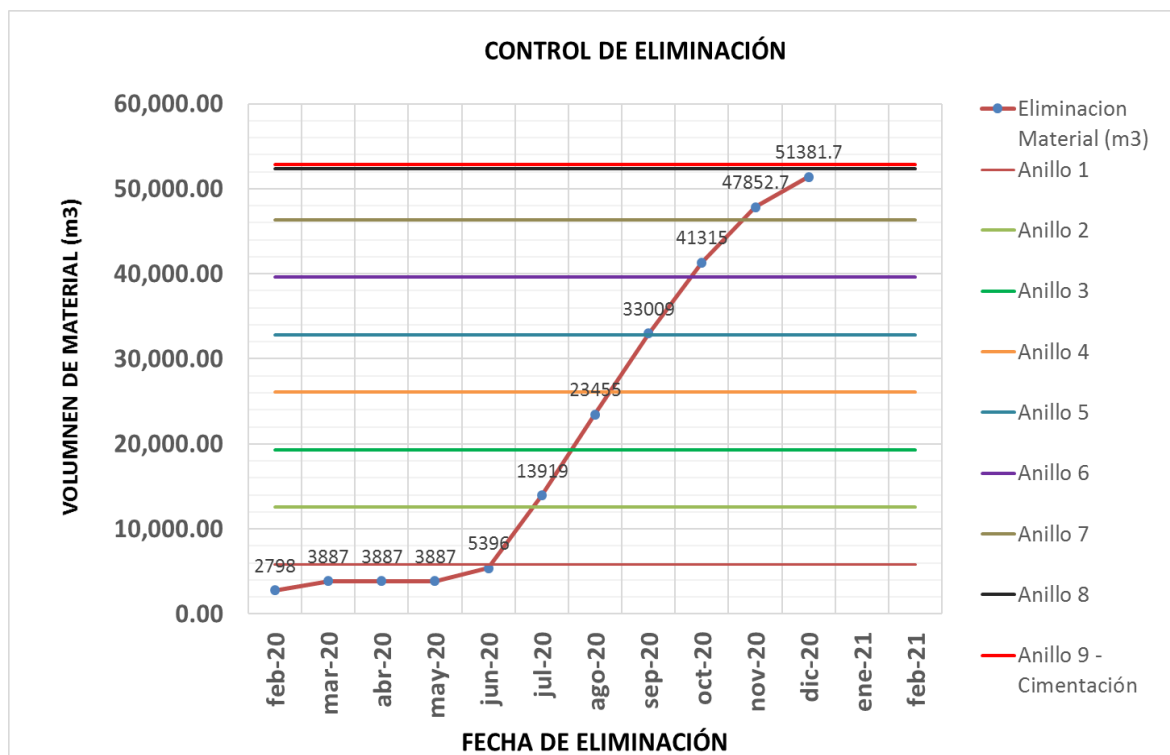


Figura 85. Grafico del control de eliminación (Fuente: Autoría propia)

5.3.16. Presupuesto de la etapa de eliminación de material

El presupuesto total, pactado con la contratista fue de S/. 1593041.61, el cual incluye el alquiler de las maquinarias excavadoras, retroexcavadoras y grúa pluma, así como el alquiler de los volquetes y la mano de obra en todos los métodos de eliminación que fueron utilizados, a continuación, se detalla dicho presupuesto (Tabla 32).

Tabla 32
Presupuesto Eliminación de material

ITEM	DESCRIPCION	Unidad	Metrado	PU Venta	Importe
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1.01	Movilización y desmovilización de equipos	global	1.00	14,000.00	14,000.00
1.02	Extracción de equipo con grúa (02 excavadoras)	global	1.00	16,800.00	16,800.00
1.03	Riego con cisterna para control de polvo (2° sótano)	viajes	35.00	270.00	9,450.00
1.04	Movilización y desmovilización de estructuras de Faja Transportadora	global	1.00	30,000.00	30,000.00
1.05	Montaje y desmontaje de faja transportadora	global	1.00	30,000.00	30,000.00
1.06	Instalación y Desinstalación de escuadras metálicas para plataforma de acopio	global	1.00	7,500.00	7,500.00
2	EXCAVACION MASIVA POR NIVEL				
2.01	1° Corte nivel 0.00 al -3.20m	m3-banco	4,276.99	19.00	81,262.88
2.02	2° Corte nivel -3.20 al -6.40m	m3-banco	4,760.48	19.00	90,449.12
2.03	3° Corte nivel -6.40 al -9.60m (con plataforma)	m3-banco	4,760.48	22.50	107,110.80
2.04	4° Corte nivel -9.60 al -12.80m (con plataforma)	m3-banco	4,046.41	22.50	91,044.18
2.05	5° Corte nivel -12.80 al -16.00m (con plataforma)	m3-banco	4,046.41	22.50	91,044.18
2.06	6° Corte nivel -16.00 al -19.20m (con plataforma)	m3-banco	4,046.41	22.50	91,044.18
2.07	7° Corte nivel -19.20 al -22.40m (con faja Transportadora)	m3-banco	4,046.41	38.00	153,763.50
2.08	8° Corte nivel -22.40 al -25.60m (con faja Transportadora)	m3-banco	4,046.41	38.00	153,763.50
2.09	9° Corte nivel -25.60 al -28.20m (con faja Transportadora)	m3-banco	2,079.18	38.00	79,009.01
3	EXCAVACION LOCALIZADA				
3.01	Zapatas, cimientos de muros, cisterna y cuarto de bombas (con faja Transportadora)	m3-banco	1,828.78	38.00	69,493.81
3.02	Eliminación de Over (con grúa y balde)	m3-banco	4,260.00	55.00	234,300.09
			42197.9645		
SUB TOTAL			S/.	1350035.263	
TOTAL			S/.	1350035.263	
SUB TOTAL				1350035.263	
IGV			0.18	S/.	243006.3474
TOTAL IGV INCLUIDO			S/.	1593041.61	

Fuente: Autoría Propia



6. CAPITULO VI: ESTANDARIZACIÓN DE DATOS

Como se sabe no existe una fórmula, sino una combinación de criterios específicos para cada proyecto. Criterios como:

- ✓ La organización del proyecto incide directamente en el plazo del proyecto
- ✓ El diseño del flujo de producción va a estar en función del análisis de cada actividad a ejecutar.
- ✓ Se debe analizar los procesos e identificar el cuello de botella.
- ✓ El orden de la sectorización de los sótanos debe estar referenciado en la ejecución de la excavación localizada.
- ✓ Se debe tener decidido la actividad de los equipos con anticipación (*Lookahead*).

6.1. Sistema de construcción de sótanos con mejoras

En vista que cada actividad es considerada una estación de trabajo. Todas las actividades son cuellos de botella o ruta crítica, por ese motivo se recomienda el uso de mejoras, tales como:

- ✓ Uso de encofrados pre-armados.
- ✓ Uso de acero pre-armado.
- ✓ Uso de *telehandler* para traslados de materiales si el área del proyecto lo permite.
- ✓ Uso de 2 perforadoras si el área del proyecto lo permite.

6.2. Particularidades de las edificaciones

Se clasifico a los proyectos de edificación como pequeños, medianos y grandes de acuerdo a sus principales características o factores, tales como niveles de piso, número de sótanos, área del terreno, número de frentis, y longitud de frentis como se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33
Particularidades de los proyectos de edificación

Proyectos de edificación	Nivel de piso (n)	N° de sótanos (a)	Área de terreno m ² (A)	N° de frontis (c)	Frontis m (f)
Pequeños	1-7	1-3	0-1500	1	0-20
Medianos	8-20	4-8	1500-2500	1-2	20-30
Grandes	21-30	9-12	2500-5000	1-2	30-100

Fuente: Autoría Propia

Los valores de esta tabla, tales como: nivel de piso (n), número de sótanos (s) y Área (A), nos permiten identificar el tipo de envergadura del proyecto mediante la siguiente fórmula.

$$Y = \frac{n}{30} + \frac{a}{12} + \frac{A}{5000}$$

$$Z = Y + ()$$

$$Y \leq 1 \rightarrow Y = P$$

$$Y \leq 2 \rightarrow Y = M$$

$$Y \leq 3 \rightarrow Y = G$$

Donde Y es el tipo de envergadura del proyecto, P quiere decir que el proyecto es de envergadura pequeña, M de envergadura mediana y G proyecto de envergadura grande.

El método de eliminación (Z) es elegido basándose a factores como el número de sótanos (s) y el Área (A), el número de frontis o accesos (c) y la distancia del frontis (f).

Ya que estos factores tienen gran importancia en la identificación del tipo de envergadura y los métodos a ser utilizados en las etapas del proyecto, a continuación, se hace un análisis de dichos factores:

6.2.1. Análisis de Factores

Para obtener una estandarización, previamente presentamos un análisis de los factores más predominantes a la hora de elegir un método para cada etapa del proyecto, sea la etapa de perforación, construcción de muros o la etapa de eliminación de material. El análisis se hace en base a los factores: Numero de sótanos (Tabla 34), Área (Tabla 35), Numero de frontis (Tabla 36) y Longitud de frontis (Tabla 37).

Tabla 34
Análisis de acuerdo al número de sótanos

N° de sótanos	Análisis de acuerdo al número de sótanos
1-2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuello de botella la eliminación de material y la perforación de muros anclados ✓ Recomendable vaciar con pluma ✓ Eliminar con el método de Rampa Directa e Indirecta ✓ Para la eliminación es suficiente 1 excavadora y flota de volquetes ✓ Se recomienda uso de excavadoras sobre ruedas a nivel cero y excavadora sobre oruga a niveles con pendiente. ✓ El sótano uno o primer anillo debe realizarse con el método de bloques de concreto (VSM1), ya que este método permite regular bien el aplome desde el inicio, para luego ser guía para los siguientes anillos.
2-4	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuello de botella es el vaciado de concreto de muros anclados ✓ Recomendable vaciar con pluma ✓ Eliminar con el método de pasamanos ✓ Posibilidad de requerimiento de una tercera excavadora
4-6	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuello de botella en la eliminación de material ✓ Recomendable vaciar con bomba ✓ Eliminar con el método de pasamanos con banqueta ✓ Necesario requerir una tercera excavadora
6-más	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuello de botella en la eliminación de material ✓ Recomendable vaciar con bomba

	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Eliminar con Izaje vertical, faja transportadora anclada en muros o faja transportadora y grúa balde para piedras grandes ✓ Dar prioridad a la actividad de eliminación de material, escoger adecuadamente los métodos de eliminación. ✓ En caso usar grúa balde, las maquinas deben ser exclusivamente para eliminación, y no alternar con otras actividades
--	---

Fuente: Autoría Propia

Tabla 35
Análisis de acuerdo al área de terreno

Área (m)	Análisis de acuerdo al área de terreno
0- 1200	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuello de botella en la perforación de muros anclados ✓ 1 a 2 excavadoras ✓ Evitar realizar la eliminación de material, cuando este programada la llegada de materiales
1200- 2500	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se puede realizar simultáneamente Perforación y Eliminación de material ✓ 2 a más excavadoras ✓ Es posible eliminar material y simultáneamente recepcionar materiales o vaciar concreto
2500- 5000	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se puede realizar simultáneamente Perforación y Eliminación de material

Fuente: Autoría Propia

Tabla 36
Análisis de acuerdo al número de frontis

N° Frontis	Análisis de acuerdo al número de frontis
1	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuello de botella en la eliminación de material. ✓ No es recomendable realizar en simultaneo Perforación y de Eliminación.
2	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se puede realizar simultáneamente Perforación y Eliminación de material
3	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Este es un caso atípico y no será considerado

Fuente: Autoría Propia

Tabla 37

Análisis de acuerdo a la distancia del frontis

Longitud de Frontis	Análisis de acuerdo a la distancia del frontis
0-18m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuello de botella en la eliminación de material. ✓ Eliminación mediante alternación de rampas ✓ Secuencia de vaciado de concreto está restringida a la eliminación de material ✓ Restricciones de espacio por la disposición de áreas previstas para el cumplimiento del Plan COVID-19
18-30m	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuello de botella es el vaciado de concreto de muros anclados ✓ Se puede dejar una rampa por más tiempo ✓ Secuencia de vaciado no está tan restringida a la eliminación de material ✓ Se puede realizar otras actividades en simultaneo. ✓ Se puede colocar más de un camión para la alimentación de material a ser eliminado. ✓ Restricciones de espacio por la disposición de áreas previstas para el cumplimiento del Plan COVID-19
30m- más	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se puede dejar una rampa por más tiempo ✓ Secuencia de perforado y vaciado de muros no está restringida a la eliminación de material. ✓ Se puede realizar otras actividades en simultaneo. ✓ Se puede colocar más de un camión para la alimentación de material a ser eliminado

Fuente: Autoría Propia

6.2.2. Resumen de procedimientos para eliminación de material

Cada metodología se caracteriza por su propio rendimiento, el cual se relaciona con la profundidad (Tabla 38), Así como cada método tiene ciertas restricciones que se deben considerar en la hora de planificar el uso de estos métodos.

Tabla 38

Resumen de procedimientos para eliminación de material

Anillo	Método de Eliminación de material	Características	Rendimiento técnico	Restricciones de la metodología
1	Rampa directa	Este método es el de mayor rendimiento, con buena facilidad de movimiento y acarreo siendo esta de manera directa.	926 m ³ /día	Mientras haya rampa queda poco espacio para la construcción de muros anclados
2	Rampa indirecta	Este método se basa en el acarreo y movimiento de material fuera de la obra. Depende no solo de la cantidad o el tipo de maquinaria a usar, sino también del área de terreno para buen desempeño.	926 m ³ /día	Mientras haya rampa queda poco espacio para la construcción de muros anclados
3	Pasamanos con banquetta o montículo	Para este método es necesario 2 maquinarias, 1 se dedica acopiar el material, mientras que la segunda maquina se dedica a eliminar.	900 m ³ /día	A mayor profundidad la excavadora tiene mayor problema para desplazarse
4	Pasamanos con plataforma	Es necesaria la instalación de una banquetta, pudiendo ser el propio material o con estructuras metálicas cuando hay mayor profundidad	725 m ³ /día	La instalación de la banquetta puede tardar hasta 1 día de trabajo
5 – a mas	Faja transportadora anclada en muros	Este método se usa en proyectos con mayor cantidad de sótanos pero depende del área del terreno.	500 m ³ /día	Mientras más profundo, mayor recorrido de la faja y por lo tanto mayor tiempo de descarga. Por momentos la excavadora queda parada esperando que el material de la tolva de la faja

Anillo	Método de Eliminación de material	Características	Rendimiento técnico	Restricciones de la metodología
				disminuya, para luego continuar llenando. La faja solo es posible instalarla después del 3 anillo
5 – a mas	Faja transportadora	Este método se usa en proyectos con mayor cantidad de sótanos pero depende del área del terreno.	500 m ³ /día	La instalación de la faja puede tardar hasta 5 días de trabajo, y puede perjudicar el avance de otras actividades como la construcción de muros y el perforado de muros
5 – a mas	Faja transportadora + Grúa balde	Este método se usa en proyectos con mayor cantidad de sótanos	661 m ³ /día	Mientras la grúa balde trabaja, por seguridad ningún trabajador debe estar por debajo, esto puede hacer que algunas actividades en ciertos espacios no puedan ser ejecutadas.
5 – a mas	Izaje vertical o faja verical	Este método se usa en proyectos de área reducida y con mayor cantidad de sótanos	600 m ³ /día	Difícilmente se encuentra contratistas que ofrezcan este servicio.
Ultimo anillo	Grúa balde	Es usado para eliminar material de tamaño mayor, como piedras grandes y conglomerados	225 m ³ /día	Mientras la grúa balde trabaja, por seguridad ningún trabajador debe estar por debajo, esto puede hacer que algunas actividades en ciertos espacios no puedan ser ejecutadas.

Fuente: Autoría Propia

6.2.3. Coeficientes de Rendimiento

A continuación en la Tabla 39, se resumen los coeficientes de rendimientos, los cuales pueden ser usados en las fórmulas de estandarización de datos.

Tabla 39
Coeficientes de rendimiento

Coeficientes de rendimiento	Nomenclatura	Rendimiento
N° máximo de muros perforados	Cpm	5 paños/día
N° promedio de muros perforados	Cp	3 paños/día 60-80ml/día,
N° máximo de muros vaciados	Cvmax	5 muros/día
N° promedio de muros vaciados	Cvp	3 muros/día
N° promedio de muros construidos	Cm	3 muros/día
Vaciado con pluma	Cpluma	30 m ³ /h
Vaciado con bomba	Cbomba	45 m ³ /h
N° promedio de muros encofrados al día	Ce	3.5 m/h, 3 muros/día
N° promedio de muros con instalación de acero	Ca°	570.93 kg/h , 3 muros/día
Volumen de eliminación promedio	Cep	500 m ³ /día
Volumen de eliminación máximo	Cem	900 m ³ /día

Fuente: Autoría Propia

6.2.4. Ponderación de Métodos

A cada método usado en cada etapa del sistema de construcción de muros se le hizo una ponderación que va del 1 al 5, donde 1 es el menos eficaz y 5 el más eficaz y más recomendado, esta ponderación se hizo junto con un grupo de expertos en la construcción de sótanos (Tabla 40).

Tabla 40

Ponderación de los métodos usados en el Sistema de construcción de sótanos

Ponderación de los métodos		
Etapa	Ponderación	Método
Etapa 1: Perforación	0.5	(S) Método de perforación simple
	1	(Pr) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación
Etapa 2: Construcción de Muros	1	(C) Encofrado con bloques de concreto
	2	(E) Encofrado con muros enterrados
	4	(S) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>
	3	(P) Vaciado con pluma
	3	(B) Vaciado con bomba
	1	(G) Vaciado grúa balde
	5	(B) Vaciado con bomba y grúa balde
Etapa 3: Eliminación de material	3	(Rd) Eliminación con Rampa Directa
	3	(Ri) Eliminación con Rampa Indirecta
	3	(m) Eliminación con pasamanos con montículo
	3	(b) Eliminación con banquetta
	4	(x) Eliminación con Faja transportadora empotrada en muros
	5	(y) Eliminación con Faja transportadora y Grúa balde
	4	(z) Eliminación con faja vertical
	1	(u) Eliminación con Grúa balde

Fuente: Autoría Propia

6.3. Estandarización de datos

Un sistema de construcción está constituido por los métodos constructivos, las tecnologías y/o herramientas con el que se construye el proyecto. Es por eso que, a la hora de elegir un sistema constructivo para un edificio, es muy recomendable realizar un estudio para comprender qué método constructivo y tecnologías son las más adecuadas para cada situación y para cada etapa del proyecto. En esta sección en base al análisis de factores, a los coeficientes de rendimiento y a la ponderación de métodos, se realizó una estandarización de datos, representados en formula, con valores que puedan ser remplazados por valores reales de acuerdo a la tipología del proyecto.

A continuación, una representación de la conformación de un sistema constructivo:

$$\text{Sistema Constructivo} = P(a, A, f) + M(a, A, f) + E(a, A, f) + Mq(a, A, f, T) \quad (1)$$

$$\text{Sistema Constructivo} = \frac{a \cdot A \cdot f \cdot P}{C_p} + \frac{a \cdot A \cdot f \cdot M}{C_m} + \frac{a \cdot A \cdot f \cdot E}{C_e} + \frac{a \cdot A \cdot f \cdot Mq \cdot T}{C_{mq}}$$

$$\text{Sistema Constructivo} = a \cdot A \cdot f \cdot \left(\frac{P}{C_p} + \frac{M}{C_m} + \frac{E}{C_e} + \frac{Mq \cdot T}{C_{mq}} \right) \dots (2)$$

$$\text{Sistema Constructivo} = \text{valor } x$$

Donde el método de perforación **P (a, A, f)**, el método de construcción de muros **M (a, A, f)**, el método de eliminación **E (a, A, f)** y las maquinarias a ser utilizadas, están en función de factores como el **número de anillos (a)**, **Área (A)**, y **longitud del frontis (f)**.

Donde los factores de ponderación del método también hacen parte de la fórmula de sistema constructivo (Formula 2), donde **P** es **ponderación de perforación**, **M** es la **ponderación de muros anclados**, **E** es la **ponderación de Eliminación de material** y **Mq** es la **ponderación de maquinaria**, valores que se encuentran detallados en la Tabla 30.

En cuanto al **coeficiente de rendimiento**, se proponen cuatro coeficientes, **Cp** es el coeficiente de **perforación**, **Cm** es el coeficiente de **construcción de muros**, **Ce** es el coeficiente de **eliminación de material** y **Cmq** es el coeficiente de **maquinaria**. Todos estos valores están detallados en el Tabla 29, dichos valores son los esperados, o rendimientos promedio.

Donde **T** es la tecnología que se aplica al sistema constructivo, el porcentaje de amplificación dependiendo de cuanto aumenta rendimiento. Si el rendimiento aumenta en un 50%, T será igual a 1.5. Este porcentaje es ponderado por el grupo de expertos,

$$P(a, A, f) = \frac{a \cdot A \cdot f \cdot P}{C_p} \dots \dots \dots (2)$$

$$M(a, A, f) = \frac{a \cdot A \cdot f \cdot M}{C_m} \dots \dots \dots (3)$$

$$E(a, A, f) = \frac{a.A.f.E}{Ce} \dots \dots \dots (4)$$

$$Mq(a, A, f) = \frac{a.A.f.Mq}{Cmq} \dots (5)$$

Las formulas propuestas, se describen de forma cualitativa en las siguientes tablas: Estandarización en relación al nivel de anillo (Tabla 41), Estandarización en relación al área de terreno (Tabla 42) y estandarización en relación a la longitud de frente del terreno (Tabla 43). En la Figura 86 se muestra las opciones de Maquinaria a ser utilizada para una mejorar en el sistema de construcción de sótanos

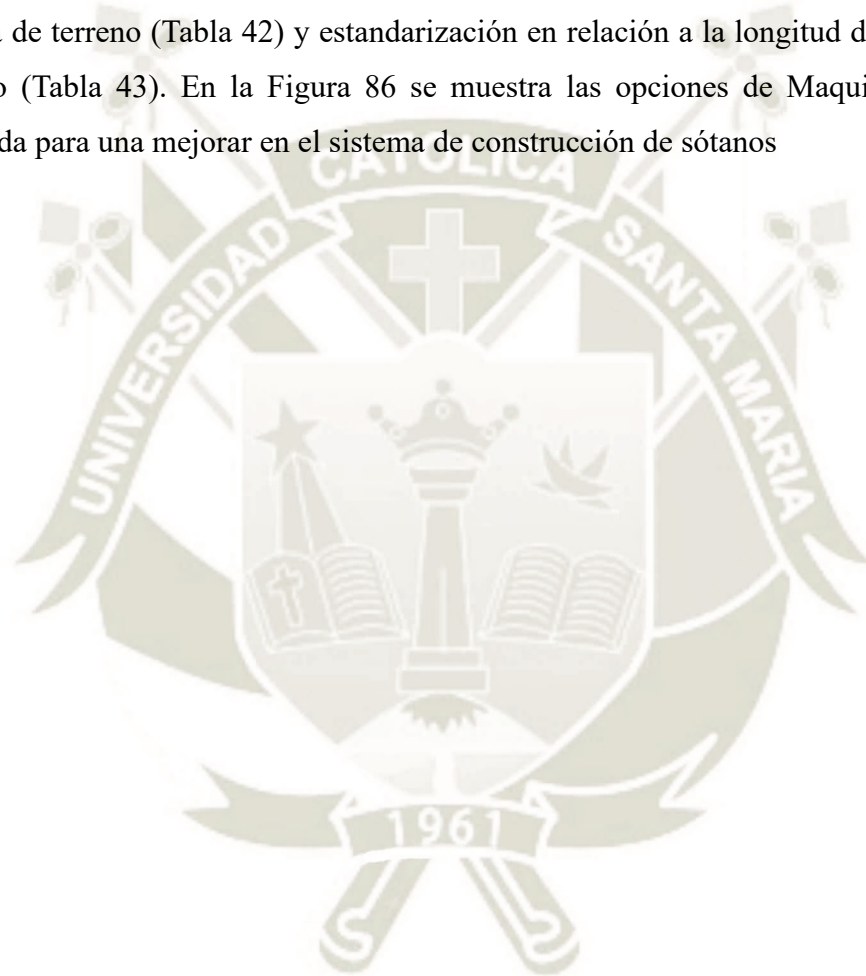


Tabla 41

Estandarización en relación al nivel de anillo

Anillo	ETAPA 1: Perforación		ETAPA 2: Construcción de Muros		ETAPA 3: Eliminación	
	Método	Maquinaria	Método	Maquinaria	Método	Maquinaria
1	(S) Método de perforación simple	1 Perforadora	(C) Encofrado con bloques de concreto + (P)Vaciado con pluma	1 Excavadora sobre oruga 1 Bomba pluma	(Rd) Eliminación con Rampa Directa	1 Excavadora sobre oruga 33 Volquetes/viaje cap. 25m3
2	(S) Método de perforación simple (Pr) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	1 Perforadora	(E) Encofrado con muros enterrados + (P)Vaciado con pluma (S) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>	1 Excavadora sobre oruga 1 Bomba pluma	(Ri) Eliminación con Rampa Indirecta	1 Excavadora sobre oruga Volquetes 33 Volquetes/viaje cap. 25m3
3	(S) Método de perforación simple (Pr) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	1 Perforadora	(E) Encofrado con muros enterrados + (P)Vaciado con pluma (S) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>	1 Excavadora sobre oruga 1 Bomba pluma	(m) Eliminación con pasamanos con montículo	1 excavadora sobre oruga 1 retroexcavadora 28 Volquetes/viaje cap. 25m3
4	(S) Método de perforación simple (Pr) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	1 Perforadora	(E) Encofrado con muros enterrados + (B)Vaciado con bomba (S) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>	1 Excavadora sobre oruga 1 Bomba y mangueras	(b) Eliminación con banquetta	2 excavadoras sobren oruga 1 retroexcavadora 28 Volquetes/viaje cap. 25m3
5 – a mas	(S) Método de perforación simple (Pr) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	1 Perforadora	(E) Encofrado con muros enterrados + (B) Vaciado con bomba + (G) Vaciado grúa balde (S) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>	1 Excavadora sobre oruga 1 Bomba y mangueras 1 Grúa balde	(x) Eliminación con Faja transportadora empotrada en muros	2 excavadoras sobren oruga 19 Volquetes/viaje cap. 25m3
					(y) Eliminación con Faja transportadora y Grúa balde	2 excavadora sobre oruga 1 balde para grúa 19 Volquetes/viaje cap. 25m3
					(z) Eliminación con faja vertical	2 excavadora sobre oruga 19 Volquetes/viaje cap. 25m3
Ultimo anillo	-	-	(E) Muros enterrados + (B) Vaciado con bomba / (G) Vaciado grúa balde (S) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>	1 Excavadora sobre oruga 1 Bomba y mangueras	(u) Eliminación con Grúa balde	1 excavadora sobre oruga 1 balde para grúa 9 Volquetes/viaje cap. 25m3

Fuente: Autoría Propia

Tabla 42

Estandarización en relación al área de terreno

Área	ETAPA 1: Perforación		ETAPA 2: Construcción de Muros		ETAPA 1: Eliminación	
	Método	Maquinaria	Método	Maquinaria	Método	Maquinaria
0- 1200	(A) Método de perforación simple (B) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	1 perforadora	(A) Muros enterrados + Vaciado con pluma (B) Concreto lanzado Shotcrete	1 excavadora sobre oruga	(A) Eliminación con Rampa Directa (A) Eliminación con Rampa Indirecta (A) Eliminación con pasamanos (A) Eliminación con banquetta (A) Eliminación con izaje vertical (A) Eliminación con Grúa balde	1 Excavadora sobre oruga 30 Volquetes 1 retroexcavadora 1 Grúa torre
1200- 2500	(A) Método de perforación simple (B) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	2 perforadoras	(A) Muros enterrados + Vaciado con pluma (B) Concreto lanzado Shotcrete	1 excavadora sobre oruga 1 Bomba y mangueras	(A) Eliminación con Rampa Directa (A) Eliminación con Rampa Indirecta (A) Eliminación con pasamanos (A) Eliminación con banquetta (B) Eliminación con Faja transportadora empotrada en muros (B) Eliminación con Faja transportadora y Grúa balde (B) Eliminación con izaje vertical (A) Eliminación con Grúa balde	2 Excavadora sobre oruga 30 Volquetes 1 retroexcavadora 1 Grúa torre 1 Grúa estacionaria
2500- 5000	(A) Método de perforación simple (B) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	2 perforadora	(A) Muros enterrados + Vaciado con pluma (B) Concreto lanzado Shotcrete	1 excavadora sobre oruga 1 Bomba y mangueras 1 Telehandler	(A) Eliminación con Rampa Directa (A) Eliminación con Rampa Indirecta (A) Eliminación con pasamanos (A) Eliminación con banquetta (A) Eliminación con Faja transportadora empotrada en muros (B) Eliminación con Faja transportadora y Grúa balde (C) Eliminación con izaje vertical (A) Eliminación con Grúa balde	2 Excavadora sobre oruga 30 Volquetes (2 Volquetes en simultaneo) 1 retroexcavadora 1 Grúa torre 1 Grúa estacionaria

Fuente: Autoría Propia

Tabla 43

Estandarización en relación a la longitud de frente del terreno

frente	ETAPA 1: Perforación		ETAPA 2: Construcción de Muros		ETAPA 1: Eliminación	
	Método	Maquinaria	Método	Maquinaria	Método	Maquinaria
0-18m	(A) Método de perforación simple (B) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	1 perforadora	(A) Muros enterrados + Vaciado con pluma (B) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>	1 excavadora sobre oruga	(A1) Eliminación con Rampa Directa (A2) Eliminación con Rampa Indirecta (A3) Eliminación con pasamanos (A4) Eliminación con banquetta (A5) Eliminación con izaje vertical (A6) Eliminación con Grúa balde	1 Excavadora sobre oruga Volquetes 1 retroexcavadora 1 Grúa torre
18-30m	(A) Método de perforación simple (B) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	2 perforadoras	(A) Muros enterrados + Vaciado con pluma (B) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>	1 excavadora sobre oruga	(A1) Eliminación con Rampa Directa (A2) Eliminación con Rampa Indirecta (A3) Eliminación con pasamanos (A4) Eliminación con banquetta (A5) Eliminación con Faja transportadora empotrada en muros (B) Eliminación con Faja transportadora y Grúa balde en simultaneo (C) Eliminación con izaje vertical (A6) Eliminación con Grúa balde	2 Excavadora sobre oruga Uso de 2 Volquetes en simultaneo 1 retroexcavadora 1 Grúa torre 1 Grúa estacionaria
30m-más	(A) Método de perforación simple (B) Método de perforación Proyectada: girando el ángulo de perforación	2 perforadora	(A) Muros enterrados + Vaciado con pluma (B) Concreto lanzado <i>Shotcrete</i>	1 excavadora sobre oruga	(A1) Eliminación con Rampa Directa (A2) Eliminación con Rampa Indirecta (A3) Eliminación con pasamanos (A4) Eliminación con banquetta (A5) Eliminación con Faja transportadora empotrada en muros (B) Eliminación con Faja transportadora y Grúa balde (C) Eliminación con izaje vertical (A6) Eliminación con Grúa balde	2 Excavadora sobre oruga Uso de 2 Volquetes en simultaneo 1 retroexcavadora 1 Grúa torre 1 Grúa estacionaria

Fuente: Autoría Propia



Excavadora sobre oruga



Excavadora sobre oruga



Telehandler



**Pluma para el vaciado de
concreto**



**Bomba para el vaciado de
concreto**



Balde

Figura 86. Opciones de Maquinaria a ser utilizada para una mejorar en el sistema de construcción de sótanos (Fuente: Autoría Propia)

6.3.1. Puntos a tomar en cuenta para una mejora continua

A continuación, algunos puntos a tomar en cuenta cuando se procure la mejorar continua en el proyecto:

- ✓ Ritmo de llenado del volquete,
- ✓ A mayor profundidad las exigencias de seguridad son mayores, con prioridad de salvaguardar la integridad de los trabajadores, la integridad de las construcciones aledañas y preservar el medio ambiente. (Ley de la seguridad y salud en el trabajo, Ley N° 28793, Norma G-50 Seguridad durante la construcción). Sin embargo, no existe una norma específica para trabajos con excavaciones profundas.
- ✓ Excavadora con poca capacidad de cuchara y volquetes con poca capacidad
- ✓ Botaderos lejanos a la obra
- ✓ Interferencia con el uso de excavadoras
- ✓ Espacio disponible en áreas publicas
- ✓ Destreza de los operadores, dificultad para estacionar camiones
- ✓ Horarios disponibles (de acuerdo a la municipalidad correspondiente)
- ✓ El uso de máquinas grandes aumenta la eficiencia notablemente.

6.3.2. Condiciones ideales para la construcción de sótanos

A continuación, se describe cuáles serían las mejores condiciones para la construcción de sótanos:

- ✓ Áreas mayores a 1000 m², que permitan realizar maniobras internas
- ✓ Terreno en esquina con 2 frentes
- ✓ Alejado de avenidas principales
- ✓ Sin construcciones aledañas de casonas antiguas
- ✓ Construcciones aledañas con edificios con sótanos, para evitar el anclado de muros.



7. CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. Respondiendo la pregunta que dio inicio a esta investigación “**¿El uso de las herramientas LEAN en los sistemas de construcción en la etapa de ejecución de sótanos en proyectos de edificación, permitirá una mejora en la producción?**” Si, en vista que las herramientas e indicadores adoptados tales como el Nivel General de actividad (NGA) y Cartas balance (CB), son una forma de indicar en que se está fallando dentro del sistema constructivo, y ambos son usados como un punto de partida para realizar mejoras, ya que gracias a estas herramientas se puede detectar el cuello de botella teniendo una visión general de cómo está avanzando la obra. NGA y CB también es una forma tangible de sustentar a la gerencia sobre aquello que necesita ser mejorado. Con *Last Planner System* (LPS), se realizó una programación anticipada, eliminando restricciones, controlando que se cumpla lo que se había planeado, permitiendo mejorar la producción al reducir la variabilidad. Herramientas como el *Value Stream Mapping* (VSM) ayudó a detectar los tiempos de espera, así como mejorar el sistema constructivo, retirando procedimientos incensarios o empleando procedimientos innovadores. Mientras que el uso de *Choosing By Advantages* (CBA) auxilió en la toma de decisión en base a factores y criterios importantes para el equipo de proyecto, permitiendo decidir por una alternativa que cumpla con el desempeño esperado, mejorando la productividad al eliminar material de forma eficiente.
2. Esta investigación responde a las sub preguntas de la investigación: **¿cómo mejorar el flujo de trabajo?** Un flujo de trabajo se puede mejorar identificando todas las actividades que agregan y no agregan valor al sistema de construcción a través del VSM a un nivel macro es decir en el sistema constructivo. Y a nivel micro con las CB. las cuales nos ayuda a mejorar el flujo, analizando, evaluando y proponiendo un plan de acción para reducir los trabajos no contributarios. **¿Cómo reducir las actividades no productivas en el sistema de construcción de sótanos?** Primero identificando dichas actividades a través de herramientas como CB, las actividades que no agregan valor se eliminan o reducen adoptando estrategias de mejora continua, estrategias que vienen por parte del equipo de proyecto a través de una lluvia

de ideas.

3. Las herramientas como NGA y CB son de fácil uso para los investigadores y el equipo de proyecto de la empresa, ambas herramientas se caracterizan por ser de fácil comprensión, aunque algunas veces requiere de tiempo para recolectar la información. La adopción de estas herramientas e indicadores por parte de las obras depende de su implementación por parte de los propios gestores.
4. Con la aplicación de la herramienta VSM en proyectos asociados a excavaciones, se identificó 3 escenarios de mejora continua. VSM permitió al equipo del proyecto obtener una visión más amplia del flujo del sistema de producción, porque permitió identificar problemas y desperdicios relacionados con la producción, así como deficiencias de gestión como una mala planificación e inconvenientes como alertas de seguridad. Es así que el VSM también fue útil para involucrar a otras áreas del proyecto, como el área de seguridad con el área de producción a fin de lograr los objetivos de productividad, costos y progreso.

No hubo dificultad para adaptar los conceptos/elementos utilizados en el VSM; sin embargo, sería útil agregar otros conceptos/elementos típicos de la construcción.

5. El mapa futuro VSM 3 permite exponer una mejora con innovación que se podría aplicar en futuros proyectos con la ejecución de muros anclados, haciendo que se acorten el número de actividades dentro del sistema de construcción, reduciendo las interrupciones, lo cual reduce la variabilidad, los tiempos de ciclo y por ende la entrega del producto. La implementación de propuesta de innovación VSM3, como es el método de *shotcrete* para la construcción de muros anclados, luego de superar el período de aprendizaje y adaptación, posiblemente traerá nuevos problemas y desperdicio debido a la incertidumbre de trabajar con un nuevo método o tecnología. Se sugiere que dichos desperdicios sean evaluados de acuerdo a los principios del VSM, entrando en un nuevo ciclo de optimización.
6. Los beneficios que se evidenciaron en la aplicación de CBA son: Permite documentar y formalizar datos relevantes, tomar decisiones basadas en criterios importantes, agilizar el proceso de toma de decisiones, permitir decidir por una alternativa que cumpla con el desempeño esperado. Además, se evidencio que la

aplicación de CBA ayuda a la toma de decisión sin basarse únicamente en el costo.

7. Sé que concluye también que aun cuando cada proyecto es único, se evidencia que existen procesos repetitivos como es el caso de la construcción de sótanos, dado que, este tipo de construcción con varios niveles de sótanos se viene realizando con creciente popularidad en la ciudad de Lima, por lo que se considera un proceso sistemático. Estos procesos repetitivos y sistemáticos hacen posible identificar un mejor método de construcción según los factores propio de cada proyecto, por lo que uno de los aportes prácticos de esta investigación es la información de los métodos utilizados.
8. Se evidencio también, que el cumplimiento del protocolo COVID-19 no afectó la productividad del proyecto. Esto como una consecuencia de la planificación LEAN, usando el *Last Planner System* (LPS), que permitió planificar colaborativamente, anticipándonos a los eventos futuros con la planificación de las 4 semanas o *lokahead*, esta planificación permitió también identificar restricciones y trabajar en ellas.
9. La aplicación del CBA no presentó barreras, ya que el panel de expertos conocía el método y fue una decisión colaborativa. Lo que la diferencia de otros estudios, donde existen barreras como la resistencia al cambio (Bayhan et al.2019).
10. El pensamiento LEAN es una combinación compleja de filosofía, sistemas y herramientas, y el malentendido de esta combinación, centrándose exclusivamente en herramientas aisladas es una de las razones más frecuentes de implementaciones parciales con resultados limitados. La experiencia de otros sectores industriales muestra que el énfasis en el principio de flujo de valor, utilizando la herramienta VSM, es una herramienta importante para brindar esta visión sistemática necesaria.
11. Tener a todos los colaboradores y *stakeholders* con el pensamiento LEAN ya establecido, ayuda a explotar las herramientas Lean de forma efectiva. Esto quiere decir que a mayor madures LEAN por parte de los colaboradores, los beneficios de las herramientas LEAN son mayores.
12. Los cuellos de botella pueden ser a nivel macro y nivel micro. Si se quiere mejorar

el sistema constructivo de un proyecto se debe identificar los cuellos de botella a nivel macro, en este caso la herramienta de VSM permite hacer mapeo de toda la cadena de valor del sistema constructivo, permitiendo identificar el cuello de botella macro. En cambio, si se quiere hacer una mejora de una partida, actividad o proceso en específico, es recomendable encontrar el cuello de botella a nivel micro, esto es posible con uso de herramientas como las Cartas Balance (CB), que permite observar y analizar con mayor detalle los tiempos empleados en Trabajos Productivos (TP), Trabajos Contributarios (TC) y Trabajos No Contributarios (TNC). Por lo tanto, el objetivo debe ser encontrar el cuello de botella del proyecto a nivel macro y dar una solución, para lograr mejorar el sistema constructivo.

Recomendaciones

1. La eliminación de material debe ser durante todo el día, ósea que cuando se planifique la actividad de eliminación de material, planificarlo para empezar a las 8:00 am y finalice a las 4:40 pm, antes de la restricción horaria impuesto por la municipalidad. Y evitar planificar dicha actividad en medio periodo, es decir, de 8:00 am hasta 12:00 pm. Ya que este último no es tan eficiente y es más ventajoso hacerlo durante todo el día, el rendimiento es mayor.
2. Evitar interrumpir la eliminación de material con actividades de recepción de materiales y/o herramientas, ya que esto solo estropearía el rendimiento diario esperado. Por tal motivo es recomendable planificar la llegada de materiales y/o herramientas para los días que no se haya planificado eliminar material.
3. Tomar cuidado con las instalaciones subterráneas antes de comenzar con la excavación y eliminación de material. Para esto se recomienda previamente realizar un estudio de la zona y sus respectivas instalaciones subterráneas, ya que, si ocurre que durante la perforación y/o eliminación de material se produce un daño alguna de estas instalaciones, solo acabara en paralización de la actividad perdiendo el rendimiento programado.
4. Realizar una programación con previas coordinaciones con los contratistas, así evitar retrasos en la obra y horas maquinas perdidas, sobre todo en la actividad de perforación y eliminación de material. Ya que, en algunos periodos, probablemente no se tenga frente para perforar, y en ese periodo la máquina

perforadora perderá horas máquina, lo mismo con la eliminación de material, las excavadoras pueden quedar paradas.

5. Eliminar todo tipo de restricción que impida la programación establecida para la eliminación de material. Como se mencionó durante la investigación, la actividad de eliminación de material es crucial para ganar tiempo o simplemente para no llegar al plazo programado. Por ese motivo, se debe eliminar en su totalidad todo tipo de restricción en dicha actividad y permitir que exista un flujo sin restricciones.
6. Tratar de llegar a un aproximado de 33 viajes de 25m³ por día de eliminación, que fue lo máximo de viajes que se logró en el estudio de caso, con el método de rampa directa e indirecta. Por lo tanto, para llegar a un rendimiento aproximado como el mencionado, se recomienda comenzar con la eliminación de material a las 8:00 am y finalizar a las 4:40pm
7. Evaluar cuál es el mejor momento para ser instalada la faja, ya que su instalación puede tomar un tiempo considerable, por lo general empezar en el 4to o 5to anillo. En el estudio de caso, la instalación de la faja tomo un tiempo de 5 días, paralizando otras actividades relevantes como la construcción de muros anclados y la perforación de muros.
8. Debe verificarse los movimientos de tránsito vehiculares y peatonales fuera de la obra, para analizar las posibles restricciones, sobre todo para la actividad de eliminación de material, y adecuar condiciones de seguridad adecuadas.
9. Elaborar un diagrama de recorrido de los equipos de eliminación (excavadoras y volquetes). En cuanto a los volquetes, con el objetivo de conocer cuánto tiempo toma para que un camión haga el trayecto de obra hasta el botadero autorizado, así poder planificar con mayor precisión y hacer el pedido del número de camiones necesarios. Este diagrama contribuirá a de tener mayor fluidez en la eliminación de material.
10. Usar *Last Planner System* (LPS) y *lookahead* para identificar las restricciones. Ya que es crucial tener identificadas todas las restricciones posibles, e ir eliminándolas a medida que el tiempo se acerca a realizar dichas actividades

planificadas.

11. En los dos primeros anillos maximizar el uso de la rampa, con una pendiente adecuada y máxima permisible. Y en los anillo tercero y cuarto, maximizar el uso de pasamanos por el mayor tiempo posible.
12. Se recomienda utilizar el método de perforación proyectada, ya que esta permite tener una misma ubicación para la máquina perforadora y solo girar el ángulo de inclinación para perforar otros muros anclados. Este sistema puede reducir el tiempo sin embargo utiliza mayor cantidad de cable.
13. Se recomienda utilizar los métodos propuestos de acuerdo a la tipología del proyecto y a los factores como el número de anillos, el área, el número de frontis y la longitud de frontis. Dichas recomendaciones están explícitas en las Tablas 31, 32 y 33.

Limitaciones y trabajos futuros

1. Una limitación del estudio es que este sistema constructivo solo es aplicable para la construcción de sótanos con muros anclados; por tanto, se podría producir información sesgada, ya que no existe información en la literatura para compararla.
2. Un estudio futuro podría consistir en aplicar este mapa futuro VSM3 y analizar las actividades que se originaron con esta propuesta, registrar el desperdicio y la duración del Tiempo de ciclo (CT) y Lead Time (LT). En comparación con los obstáculos identificados por Fernandez-Solis y Li (2018) y en otros estudios.
3. Algunas limitaciones de la investigación fueron: Primero, la aplicación se llevó a cabo en un solo estudio de caso, en una empresa en particular, bajo características únicas, por lo que se debe evitar la generalización. En segundo lugar, los factores considerados como parte de la aplicación CBA están asociados con la productividad, la seguridad y el cumplimiento del plan de prevención contra COVID-19, sin considerar factores asociados a la sustentabilidad ambiental.
4. Uno de las limitaciones para lograr el plazo es la logística de la compra de materiales, alquiler de herramientas y contratación de las subcontratas, esta área tuvo muchas restricciones en el *lokahead*. Por lo tanto, de nada sirve hacer una

buena planificación, si las restricciones en la logística no son eliminadas. Sin la logística todo lo planificado fracasará.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abraham, K., Lepech, M., & Haymaker, J. (2013, July). *Selection and application of choosing by advantages on a corporate campus project*. In Proceedings of 21st annual conference of International Group for Lean Construction (IGLC), Fortaleza, Brazil (pp. 349-358).
- Afkhamiagh, A. M., and Elwakil, E. (2020). *Preliminary modeling of Coronavirus (COVID-19) spread in construction industry*. Journal of emergency management (Weston, Mass.), 18(7), 9-17.
- Alsharif, A., Banerjee, S., Uddin, S. M., Albert, A., and Jaselskis, E. (2021). *Early Impacts of the COVID-19 Pandemic on the United States Construction Industry*. International journal of environmental research and public health, 18(4), 1559.
- Anzules, Guevara Manuel Arturo. (2009). *Excavaciones Profundas*. Guayaquil: s.n., 2009.
- Arroyo, P., Tommelein, I. D. and Ballard, G. (2013). *Using Choosing by Advantages to Select Tile From a Global Sustainable Perspective*. 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Fortaleza, Brazil. 309-318.
- Arroyo, P., Tommelein, I. D., & Ballard, G. (2014). *Comparing weighting rating and calculating vs. choosing by advantages to make design choices*. 22nd Annu. Conf. Int. Gr. Lean Constr. Vol. 1, No. 510, 1-12.
- Arroyo, P., Tommelein, I., & Ballard, G. (2012). *Deciding a Sustainable Alternative by Choosing by Advantages. In the AEC industry*. 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, San Diego, CA. 41-50.
- Askin, R. G., Goldberg, J. B. (2002). *Design and Analysis of Lean Production System*. New York: John Wiley & Sons.
- Ballard, G. (1994). *The last planner*. Northern California Construction Institute, Monterey, California, pp 1-8.
- Ballard, G. (1997, July). *Lookahead Planning: The Missing Link in Production Control*. In Proc. 5th Annual Conf. International Group for Lean Construction, Gold Coast, Australia. pp. 13-26
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. [Tesis Doctoral]. Faculty of Engineering, School of Civil Engineering, The University of Birmingham, UK.
- Ballard, G., & Howell, G. (2003, July). *An update on last planner*. In Proc., 11th Annual Conf., International Group for Lean Construction, Blacksburg, VA.

- Ballard, G., & Tommelein, I. (2016). *Current process benchmark for the last planner system*. *Lean Construction Journal*, 89, 57-89. Estados Unidos.
- Brioso X., Calderon-Hernandez C., Irizarry J., and Paes D. (2019). *Using Immersive Virtual Reality to Improve Choosing by Advantages System for the Selection of Fall Protection Measures*. *Comput. Civ. Eng. 2019 Vis. Inf. Model. Simul. - Sel. Pap. from ASCE Int. Conf. Comput. Civ. Eng. 2019*, no. June. 146–153, 2019.
- Brioso, X. (2011, July). *Applying lean construction to loss control*. In 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Lima, Perú (pp. 13-15).
- Brioso, X., and Calderón-Hernández, C. (2019). *Improving the Scoring System with the Choosing by Advantages (CBA) elements to evaluate Construction-Flows using BIM and Lean Construction*. *Advances in Building Education*, 3(2), 9-34.
- Brioso, X., Murguía, D., & Urbina, A. (2017). *Comparing three scheduling methods using BIM models in the Last Planner System*. *Organization, Technology and Management in Construction: an International Journal*, 9(1), 1604-1614.
- Cabezas, E., Andrade, D., & Torres, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Ecuador.
- Cabrera, B. R., & Li, G. J. (2014, June). *A lean-TRIZ approach for improving the performance of construction projects*. In 22nd annual conference of the international group for lean construction: understanding and improving project based production, IGLC (pp. 883-894).
- Carbajal Galarza, G., & Bermudez Palomino, D. L. (2017). *First Run Study y optimización de procesos en la construcción de muros anclados*. [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Chauhan, K., Peltokorpi, A., Lavikka, R., and Seppänen, O. (2019). *Deciding between prefabrication and on-site construction: a choosing-by-advantage approach*. 27th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. 749-758.
- Cortes, J. P. R., Ponz-Tienda, J. L., Delgado, J. M., & Gutierrez-Bucheli, L. (2018, July). *Choosing by advantages; benefits analysis and implementation in a case study, Colombia*. In Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), Chennai, India (pp. 16-22).
- Covarrubias, A., Mourgues, C. and Arroyo, P. (2016). *VSM for Improving the Certificate of Occupancy Process in Real Estate Projects – a Chilean Case Study*. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Boston, Massachusetts,

USA, Jul 2016, 20-22.

Da Silva Etges, B. M. B. (2018). *Value-Adding Activities Level in Brazilian Infrastructure Construction Companies-9 Cases Study*. In IGLC 2018-Proceedings of the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction: Evolving Lean Construction towards Mature Production Management across Cultures and Frontiers (Vol. 2, pp. 1323-1333).

Davidson, R. (2015). *Last Planner ® System: Business Process Standard and Guidelines*. Estados Unidos.

Díaz Sosa, P. A., & Pacussich Cribillero, E. Y. (2013). *Propuesta de guía base para el seguimiento y control del proceso constructivo de muros pantalla utilizando la guía PMBOK, aplicado en la construcción de edificaciones varias en el departamento de Lima-Perú*. [Tesis de pregrado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Fernandez-Solis, J. L., & Li, Y. (2018). *A Structured Literature Review: Value Stream Mapping (VSM) In Construction Industry*.

Formoso, C. T., Isatto, E. L. & Hirota, E. H. (1999). *Method for Waste Control in the Building Industry*. In Proc. 7th Annual Conf. International Group for Lean Construction. Berkeley, California, USA, 26-28 Jul 1999. pp 325-330

Frandsen, A., Berghede, K., & Tommelein, I. D. (2014, June). *Takt-time planning and the last planner*. In Proc. 22nd Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction. Group for Lean Const (pp. 23-27).

Gallardo, C. A. S., Granja, A. D., & Picchi, F. A. (2014). *Productivity gains in a line flow precast concrete process after a basic stability effort*. Journal of Construction Engineering and Management, 140(4), B4013004.

García Martín S. (2020). *Experiencias y peculiaridades de las obras de edificación en Lima, Perú*. CIMBRA Journal of the College of Public Works Technical Engineers, 418, 48-49. España.

Germano, A. V., Fonsêca, N. J. M., Melo, R. S. S. and Moura, A. (2017). *Value Stream Mapping: Case Study in Columns Concreting*. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Heraklion, Greece, 9-12 Jul 2017, 821-828

Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción. Diagnóstico, crítica y propuesta*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú - FONDO EDITORIAL 2001.

Gil, C. (2002). *How to develop research projects*. São Paulo: Atlas, 2002, Vol. 4.

Guio Sivipaucar, J. D., & Cayllahua Huaman, D. A. (2019). *Análisis de los métodos de*

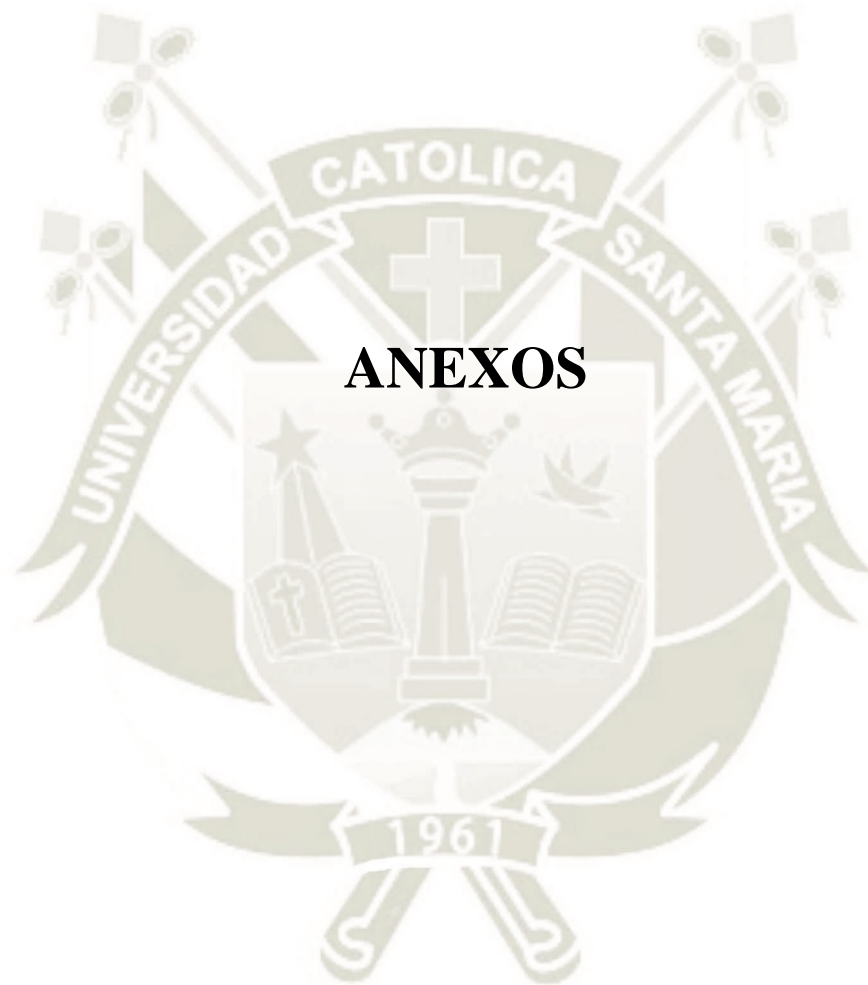
eliminación de material para construcción de sótanos en Proyectos que presentan suelo granular en Lima Metropolitana. [Tesis de pregrado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

- Gunduz, M., and Fahmi Naser, A. (2017). *Cost based value stream mapping as a sustainable construction tool for underground pipeline construction projects*. Sustainability, 9(12), 2184.
- Hamzeh, F. (2009). *Improving construction workflow-The role of production planning and control*. [Tesis Doctoral]. UC Berkeley.
- Hamzeh, F. R., Tommelein, I. D., Ballard, G., & Kaminsky, P. (2007, July). *Logistics centers to support project-based production in the construction industry*. In Proc. 15th Annual Conf. International Group for Lean Construction. pp. 181-191.
- Howell, G., Ballard, G., & Demirkesen, S. (2017, July). *Why lean projects are safer*. In Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Heraklion, Greece (pp. 4-12).
- Juan, R., Jose P., Jose D. and Laura G. (2017). *Choosing by advantages; benefits analysis and implementation in a case study, Colombia*. Proc. 26th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction, Chennai, India. 636–646.
- Karakhan, A., Gambatese, J., and Rajendran, S. (2016). *Application of Choosing By Advantages Decision-Making System to Select Fall-Protection Measures*. 24th Ann. Conf. of the Int'l. Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.11. 33–42.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction* (Vol. 72). Stanford: Stanford university. OHNO, T. O sistema Toyota de produção além da produção. Bookman, 1997.
- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. VTT Technical Research Centre of Finland.
- Koskela, L. J. (1999, July). *Management of production in construction: a theoretical view*. In Proceedings of the 7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Berkeley, California, USA.
- Martinez, E., Tommelein, I., & Alvear, A. (2016). *Formwork system selection using choosing by advantages*. In Construction Research Congress 2016 (pp. 1700-1709).
- Matt, D. T., Krause, D., & Rauch, R. (2013). *Adaptation of the Value Stream Optimization approach to collaborative company networks in the construction industry*. Procedia CIRP, 12, 402-407.

- Melo, L. A., de Lima, V. F., & Melo, R. S. *Value stream mapping: A case study in structural masonry*. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 9-12 July 2017, Heraklion, Greece.
- Ministerio de Salud (MINSA). (2020). Resolución Ministerial N° 448-2020-MINSA. *Lineamientos para la vigilancia, prevención y control de la salud por exposición al SARS-CoV-2*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2006). Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA. *Aprobación del reglamento nacional de edificaciones*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2018). Resolución Ministerial N° 406-2020-VIVIENDA. *Resolución ministerial que modifica la norma técnica e.050 suelos y cimentaciones del reglamento nacional de edificaciones*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2020). Resolución Ministerial N° 087-2020-VIVIENDA. *Protocolo sanitario del sector vivienda, construcción y saneamiento para el inicio gradual e incremental de las actividades en la reanudación de actividades*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú.
- Murguia, D., Brioso, X., and Pimentel, A. (2016). *Applying Lean Techniques to Improve Performance in the Finishing Phase of a Residential Building*. 24th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Boston, MA, USA, sect.2, 43–52.
- Ogunnusi, M., Hamma-Adama, M., Salman, H., and Kouider, T. (2020). *COVID-19 pandemic: the effects and prospects in the construction industry*. International journal of real estate studies. 14 (Special Issue 2).
- Parrish, K. and Tommelein, I. D. (2009). *Making Design Decisions Using Choosing by Advantages*. 17th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Taipei, Taiwan, 15-17 Jul 2009.
- Pasqualini, F., & Zawislak, P. A. (2005, July). *Value stream mapping in construction: A case study in a Brazilian construction company*. In Proceedings of the 13th Annual Conference of the IGLC. Sydney, Australia.
- PCM. *Decreto Supremo que declara Estado de Emergencia Nacional por las graves circunstancias que afectan la vida de la Nación a consecuencia del brote del COVID-19*. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú.

- Perez, C. and Arroyo, P. (2019). *Designing Municipal Waste Management Programs Using Choosing by Advantages and Design Structure Matrix*. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction, Pasquire C. and Hamzeh F.R. Dublin, Ireland. 1345-1368.
- Rother, M., & Shook, J. (2003). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Estados Unidos. Lean Enterprise Institute.
- Santos Aquino, J. V. (2017). *Aplicación del método de izaje en la eliminación de material excedente para mejorar la productividad en los procesos de excavación en sótanos para edificaciones en el distrito de San Isidro-Lima-2017*. Lima-Perú [Tesis de pregrado]. Universidad Cesar Vallejo.
- Schöttle, A., Christensen, R., & Arroyo, P. (2019). *Does Choosing by Advantages Promote Inclusiveness in Group Decision-Making?*. In: Proc. 27th Annual Conference of the International. Group for Lean Construction (IGLC), Pasquire C. and Hamzeh F.R. (ed.), Dublin, Ireland, pp. 797-808. DOI: <https://doi.org/10.24928/2019/0209>. Available at: <www.iglc.net>.
- Shingo, S. (1989). *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint: From an Industrial Engineering Viewpoint*. Routledge.
- Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Song, Y. (2017). *Application of lean production with value stream mapping to the blasting and coating industry*. In IGLC 2017-Proceedings of the 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (pp. 217-224).
- Slack, N., Chambers, S., Johnston, R. (2007). *Operations Management*. 5ed, Harlow, England: Prentice Hall.
- Suarez, J. C., Zapata, J., and Brioso, X. (2020). *Using 5D Models and CBA for Planning the Foundations and Concrete Structure Stages of a Complex Office Building*. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Berkeley, California, USA,
- Suhr. J. (1999). *The choosing by advantages decision making system*, Quorum. Estados Unidos. Greenwood Publishing Group.
- Taiichi, O. H. N. O. (1997). *O sistema Toyota de produção. Além da produção em larga escala*.
- Tiwari, S. & Sarathy, P. (2012). *Pull Planning as a Mechanism to Deliver Constructible Design*. In Proc. 20th Annual Conf. of the International Group for Lean Construction. San Diego, California, USA, 18-20 Jul 2012.

- Tommelein, I. (2017, July). *Collaborative takt time planning of non-repetitive work*. 25th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC), 9-12 July 2017, Heraklion, Greece.
- Tommelein, I. D., & Ballard, G. (1997). *Look-ahead planning: screening and pulling* (pp. 20-21). eScholarship, University of California.
- Tsao, C. C., Draper, J., & Howell, G. A. (2014, June). *An overview, analysis, and facilitation tips for simulations that support and simulate pull planning*. In 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Oslo, Norway (pp. 25-27).
- Tvedt, I. M. (2020). *Divergent Beliefs About Productivity Despite Concurrent Engineering and Pull Planning, a Case Study*. In Proc. 28th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (IGLC). Berkeley, California, USA, 6-10 Jul 2020. pp 301-312
- World Health Organization. (2020). *WHO characterizes COVID-19 as a pandemic*. World Health Organization.
- Yassine, T., Bacha, M. B. S., Fayek, F., & Hamzeh, F. (2014, June). *Implementing takt-time planning in construction to improve work flow*. In Proc. 22nd Ann. Conf. of the Int'l Group for Lean Construction (pp. 23-27).



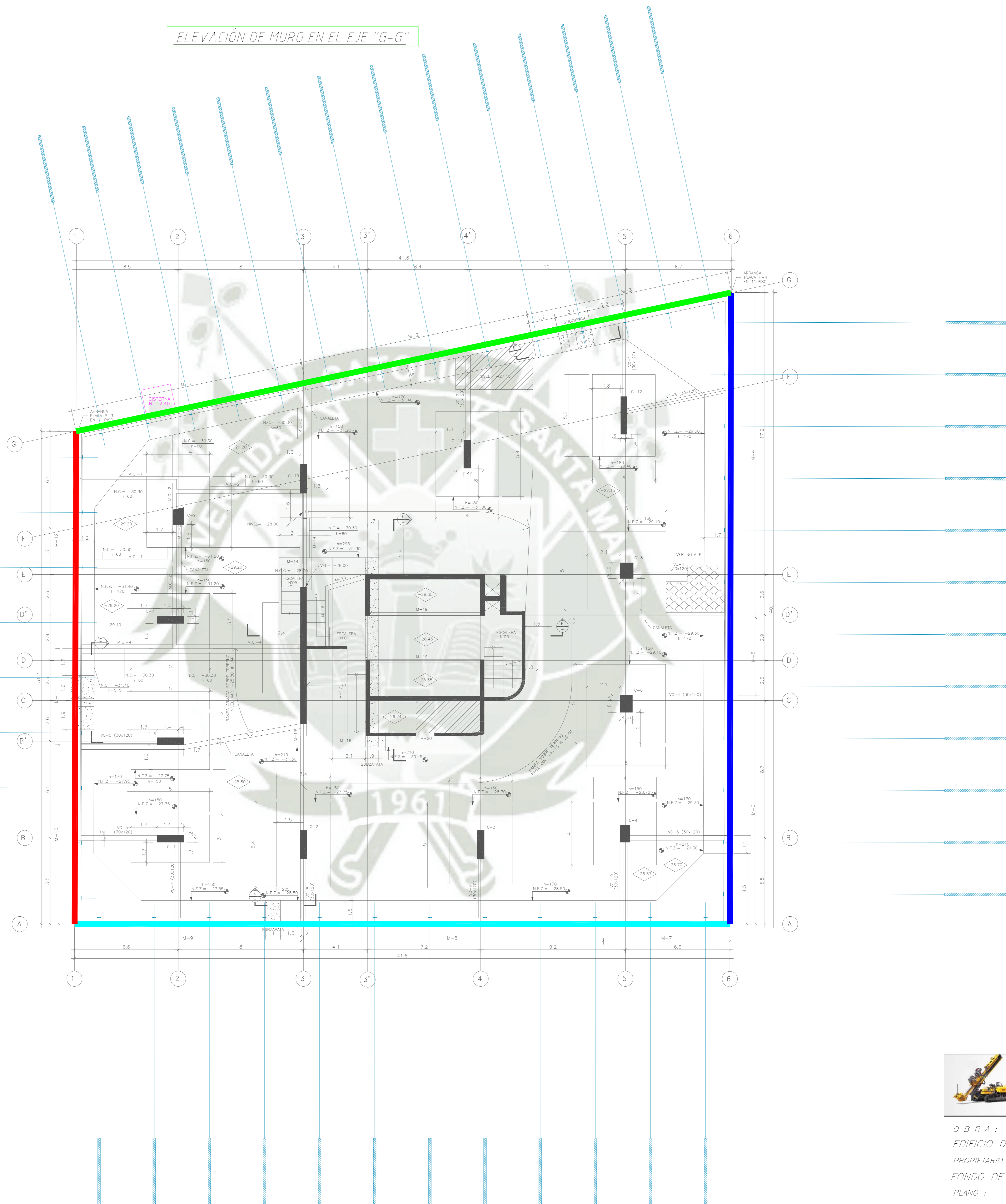
ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "G-G"

ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "6-6"

ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "1-1"

ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "A-A"

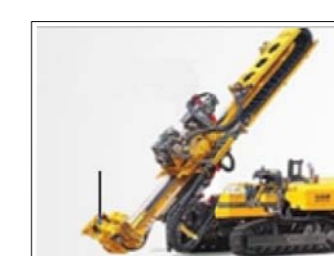
(Av. CAMINO REAL)



Leyenda:

Anclajes

Plano Referencial

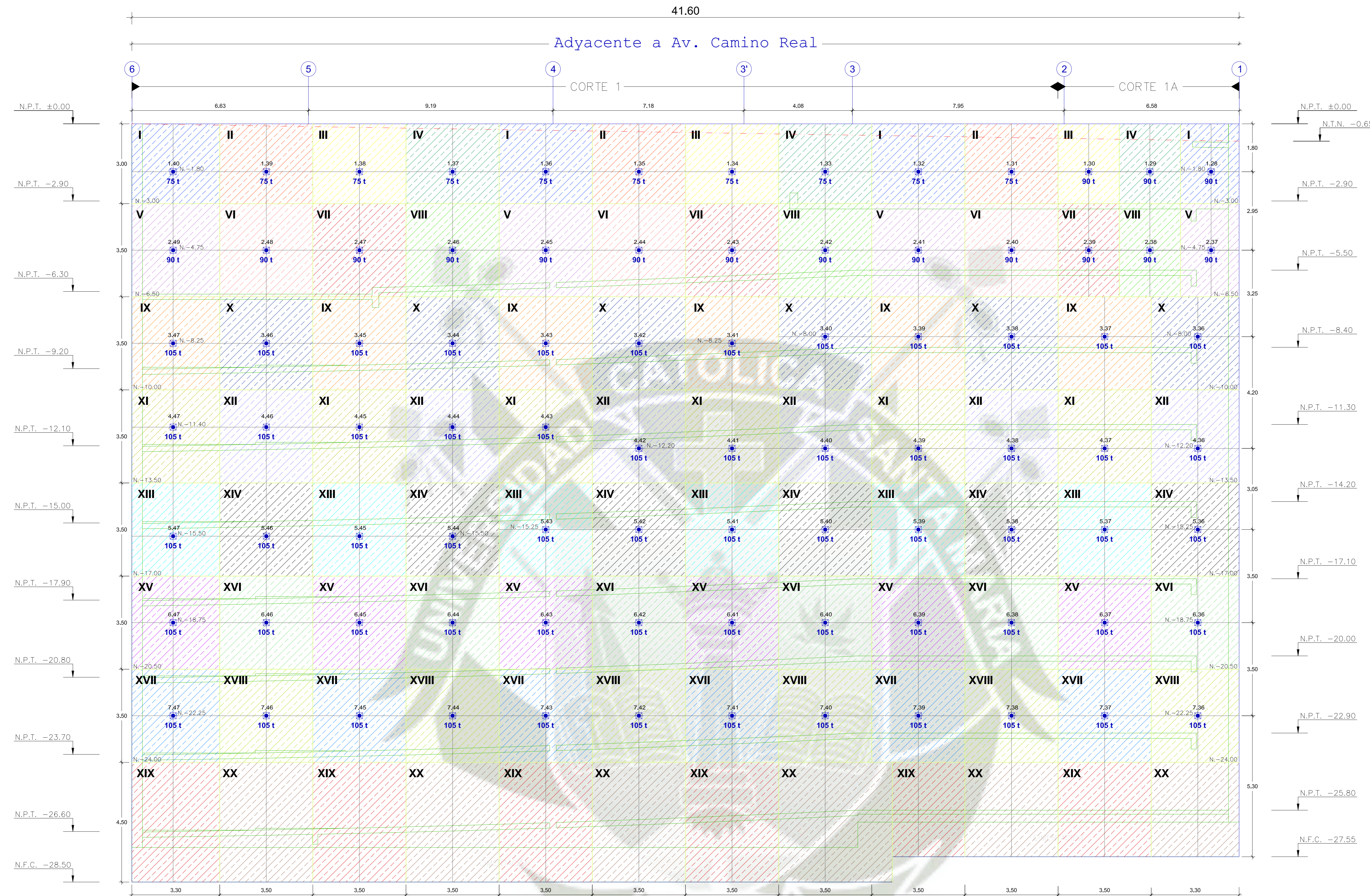


DHFESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS



O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL		Nº 006-2020
PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAÍCES LVC II		M1 DE 11
PLANO : PLANTA DE MURO ANCLADO		FECHA : MARZO 2020
ESCALA : 1:100	DIBUJO : A. GUEVARA	DISEÑO : ARGP/FAES
APROBADO : F. ESTRADA		REV: 02

NOTAS:
• EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSUELO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
• LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.

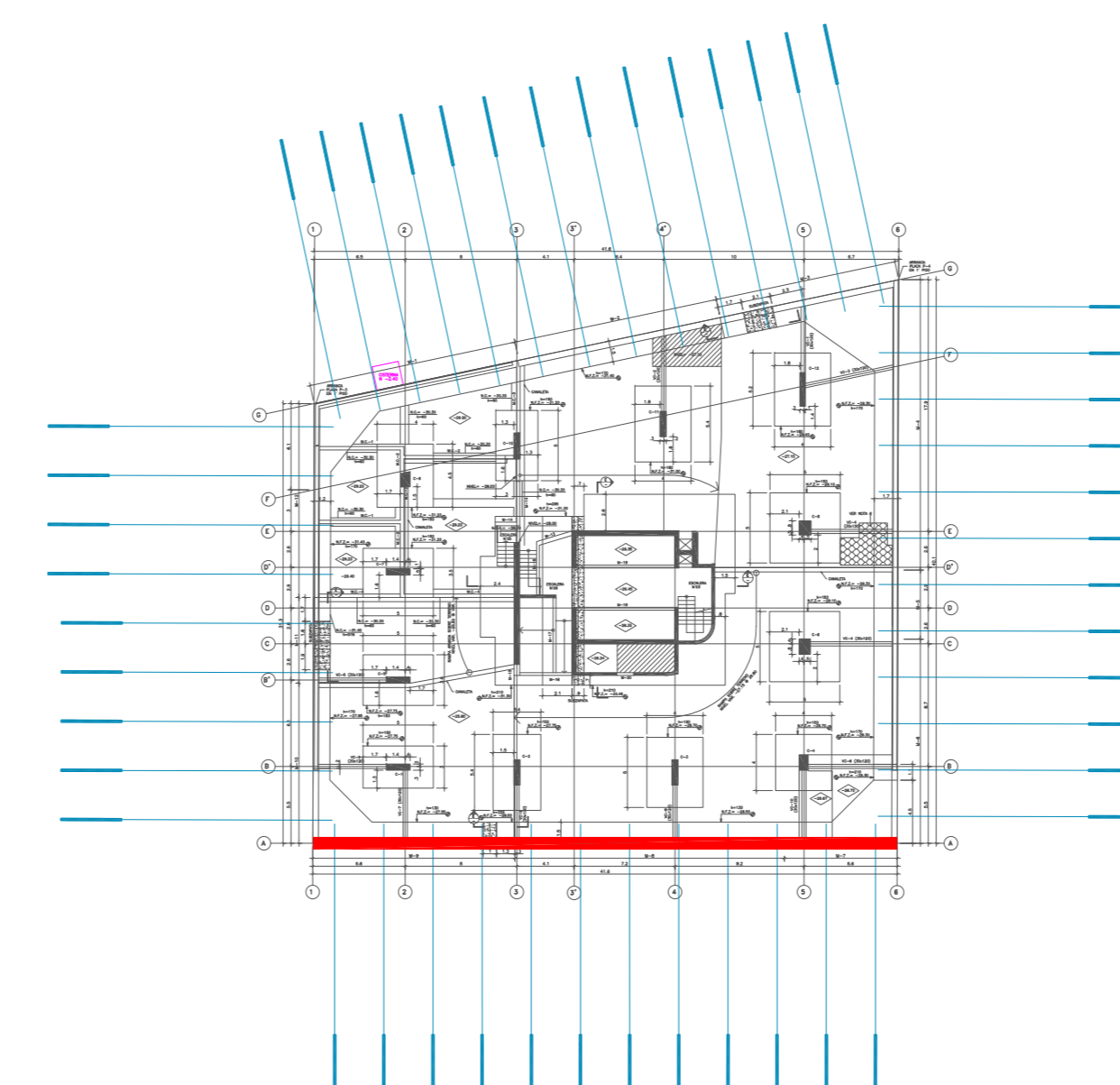


ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "A-A" (AV. CAMINO REAL)
1,173.33 m²

Leyenda:

- Columnas o placas
- Cementación existente
- Sótano vecino
- Sótano vecino (alzado)
- Eje de quiebre
- Anclaje

I	PAÑO INICIAL	XII	DESPUÉS DE TENSADO XI
II	DESPUÉS DE TENSADO I	XIII	DESPUÉS DE TENSADO XII
III	DESPUÉS DE TENSADO II	XIV	DESPUÉS DE TENSADO XIII
IV	DESPUÉS DE TENSADO III	XV	DESPUÉS DE TENSADO XIV
V	DESPUÉS DE TENSADO IV	XVI	DESPUÉS DE TENSADO XV
VI	DESPUÉS DE TENSADO V	XVII	DESPUÉS DE TENSADO XVI
VII	DESPUÉS DE TENSADO VI	XVIII	DESPUÉS DE TENSADO XVII
VIII	DESPUÉS DE TENSADO VII	XIX	DESPUÉS DE TENSADO XVIII
IX	DESPUÉS DE TENSADO VIII	XX	DESPUÉS DE TENSADO XIX
X	DESPUÉS DE TENSADO IX	XXI	DESPUÉS DE TENSADO XX
XI	DESPUÉS DE TENSADO X	XXII	DESPUÉS DE TENSADO XXI

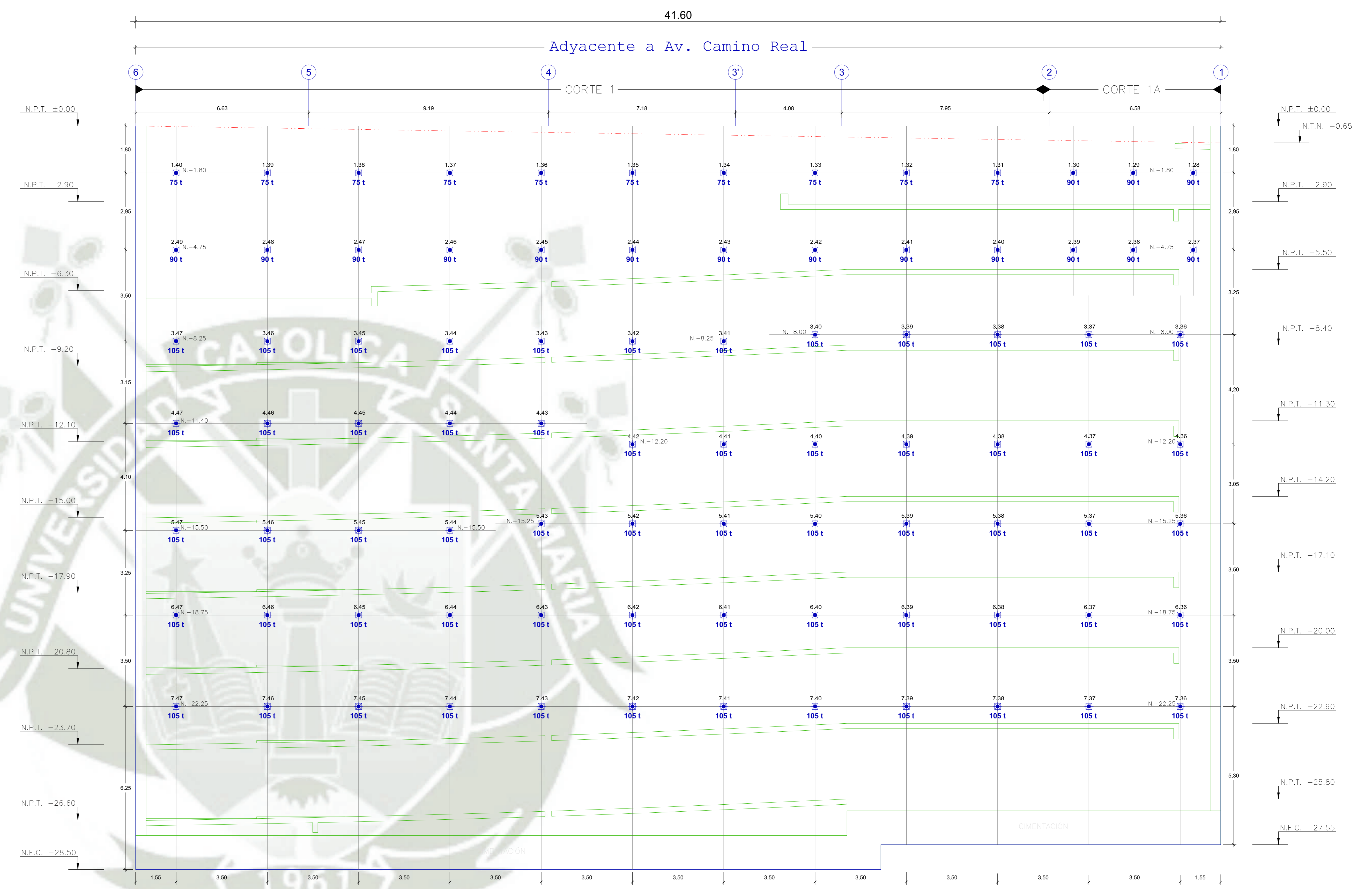
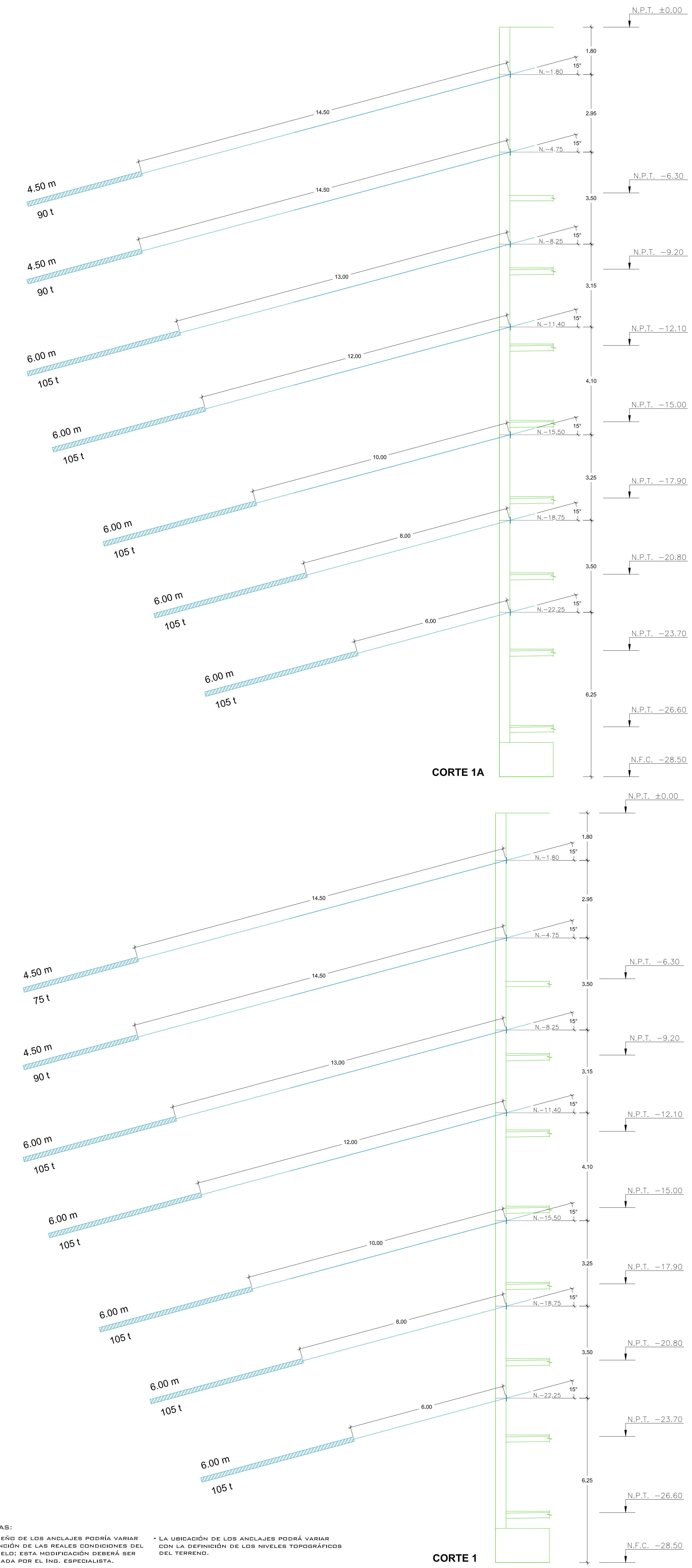


UBICACIÓN DEL MURO ANCLADO
VISTA EN PLANTA

DHESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS

<p>O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL</p> <p>PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAICES LVC II</p> <p>PLANO : MURO ANCLADO EJE "A-A"</p>	<p>Nº 006-2020</p> <p>M2 DE 11</p> <p>FECHA : MARZO 2020</p>			
<p>ESCALA : 1:75</p>	<p>DIBUJO : A. GUEVARA</p>	<p>DISEÑO : ARGP/FAES</p>	<p>APROBADO : F. ESTRADA</p>	<p>REV: 02</p>

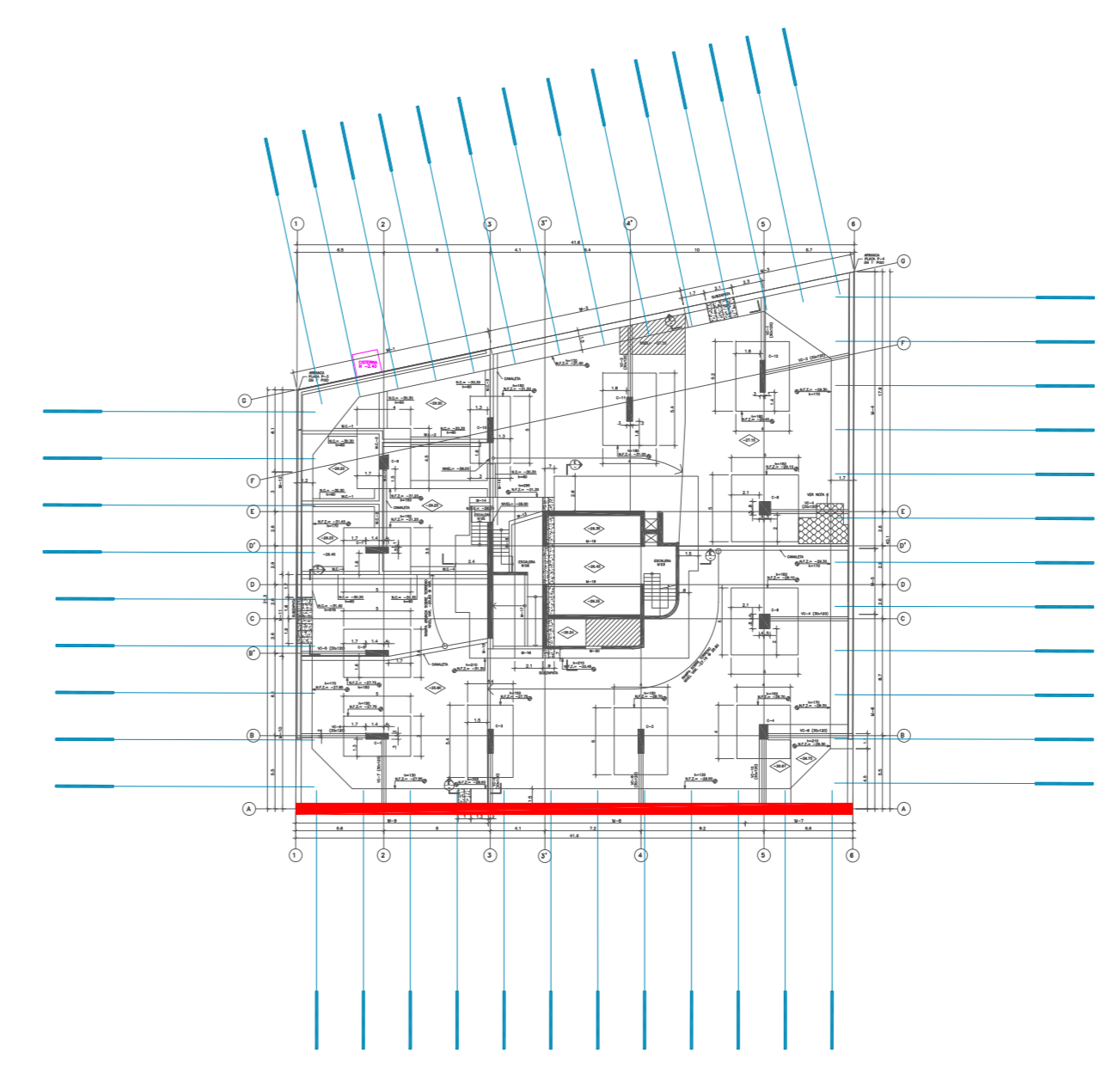
NOTAS:
* EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSTRATO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
* LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.



ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "A-A" (Av. CAMINO REAL)
1,173.33 m²

- Legenda:
- Columnas o placas
 - Cimentación existente
 - Sótano vecino
 - Sótano vecino (alejado)
 - Eje de quiebre
 - Anclaje

ANCLAJES PROVISIONALES											
Corte	Fila	Long. libre (m)	Long. anclada (m)	Long. tensado (m)	Long. anclaje (m)	Número anclajes	Long. total anclajes (m)	Long. efectiva (m)	Long. efectiva (m)	Carga (t)	Tipo de Inyección
1-1	1	14.50	4.50	1.00	20.00	10.00	200.00	19.00	190.00	75.00	IRS
	2	14.50	4.50	1.00	20.00	10.00	200.00	19.00	190.00	90.00	IRS
	3	13.00	6.00	1.00	20.00	10.00	200.00	19.00	190.00	105.00	IRS
	4	12.00	6.00	1.00	19.00	10.00	190.00	18.00	180.00	105.00	IRS
	5	10.00	6.00	1.00	17.00	10.00	170.00	16.00	160.00	105.00	IRS
	6	8.00	6.00	1.00	15.00	10.00	150.00	14.00	140.00	105.00	IRS
	7	6.00	6.00	1.00	13.00	10.00	130.00	12.00	120.00	105.00	IRS
1A-1A	1	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	90.00	IRS
	2	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	90.00	IRS
	3	13.00	6.00	1.00	20.00	2.00	40.00	19.00	38.00	105.00	IRS
	4	12.00	6.00	1.00	19.00	2.00	38.00	18.00	36.00	105.00	IRS
	5	10.00	6.00	1.00	17.00	2.00	34.00	16.00	32.00	105.00	IRS
	6	8.00	6.00	1.00	15.00	2.00	30.00	14.00	28.00	105.00	IRS
	7	6.00	6.00	1.00	13.00	2.00	26.00	12.00	24.00	105.00	IRS
Totales		-	-	-	-	86.00	1,528.00	-	1,442.00	-	-



UBICACIÓN DEL MURO ANCLADO VISTA EN PLANTA

NOTAS:
* EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSUELO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
* LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.



DHESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS



O B R A :
EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL

PROPIETARIO :
FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAICES LVC II

PLANO :
MURO ANCLADO EJE "A-A" - CORTE TÍPICO

ESCALA :
1:75

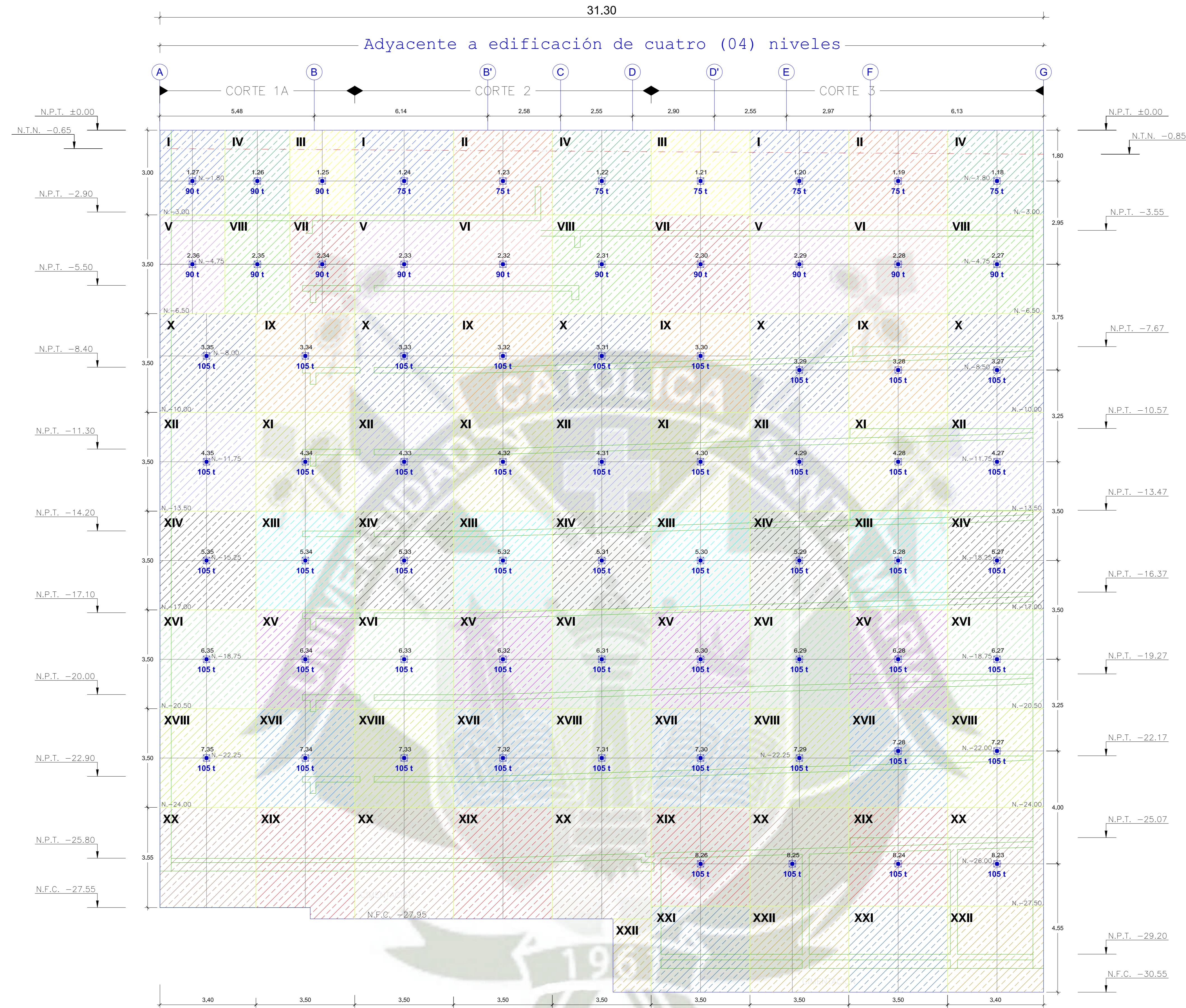
Nº
006-2020

M3 DE 11

FECHA :
MARZO 2020

APROBADO :
F. ESTRADA

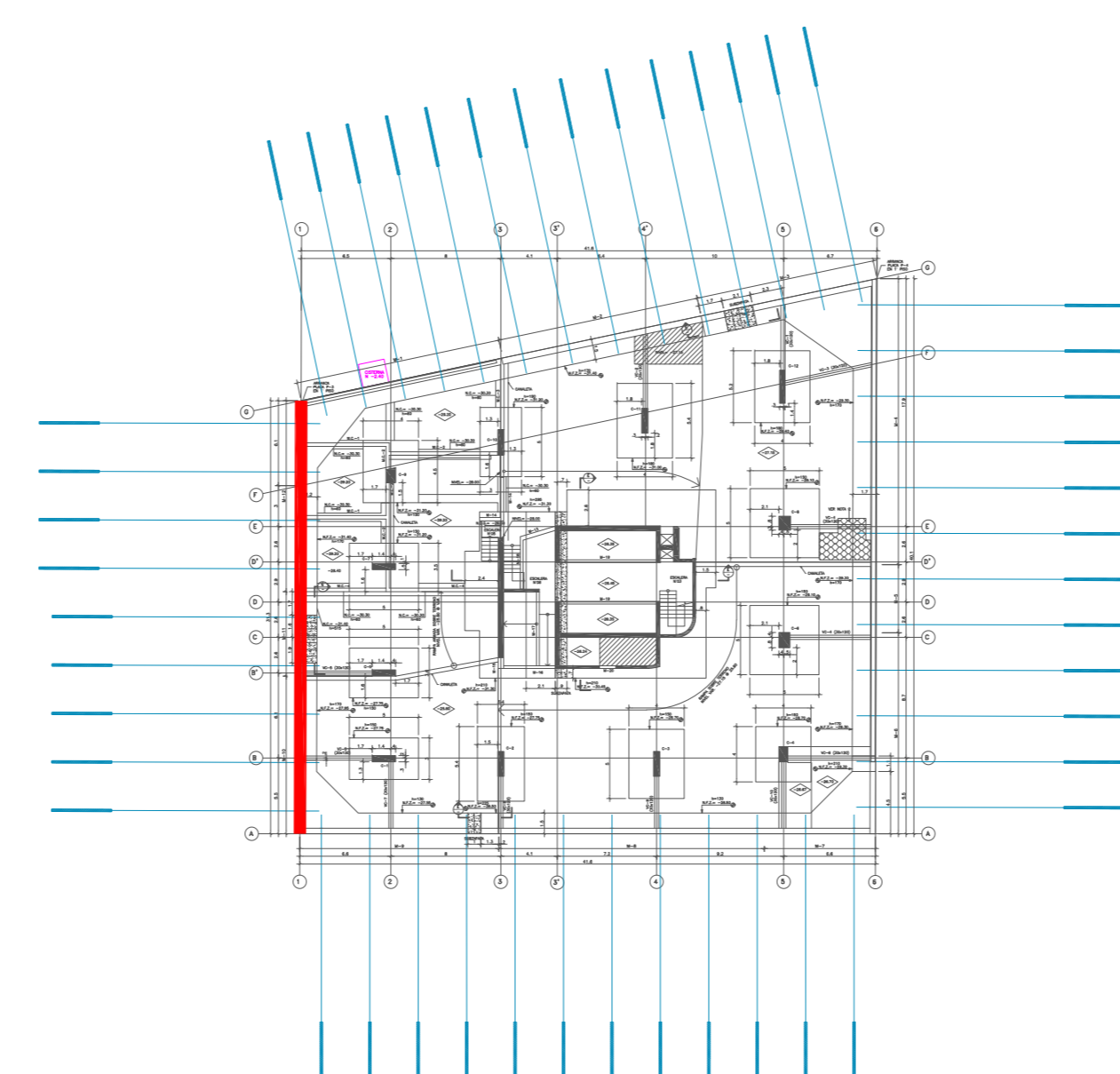
REV:
02



Legenda:

- Columnas o placas
- Cementación existente
- Sótano vecino
- Sótano vecino (sombreado)
- Eje de quiebre
- Anclaje

I	PAÑO INICIAL	XII	DESPUÉS DE TENSADO XII
II	DESPUÉS DE TENSADO I	XIII	DESPUÉS DE TENSADO XIII
III	DESPUÉS DE TENSADO II	XIV	DESPUÉS DE TENSADO XIV
IV	DESPUÉS DE TENSADO III	XV	DESPUÉS DE TENSADO XV
V	DESPUÉS DE TENSADO IV	XVI	DESPUÉS DE TENSADO XVI
VI	DESPUÉS DE TENSADO V	XVII	DESPUÉS DE TENSADO XVII
VII	DESPUÉS DE TENSADO VI	XVIII	DESPUÉS DE TENSADO XVIII
VIII	DESPUÉS DE TENSADO VII	XIX	DESPUÉS DE TENSADO XIX
IX	DESPUÉS DE TENSADO VIII	XX	DESPUÉS DE TENSADO XX
X	DESPUÉS DE TENSADO IX	XXI	DESPUÉS DE TENSADO XXI
XI	DESPUÉS DE TENSADO X	XXII	DESPUÉS DE TENSADO XXII

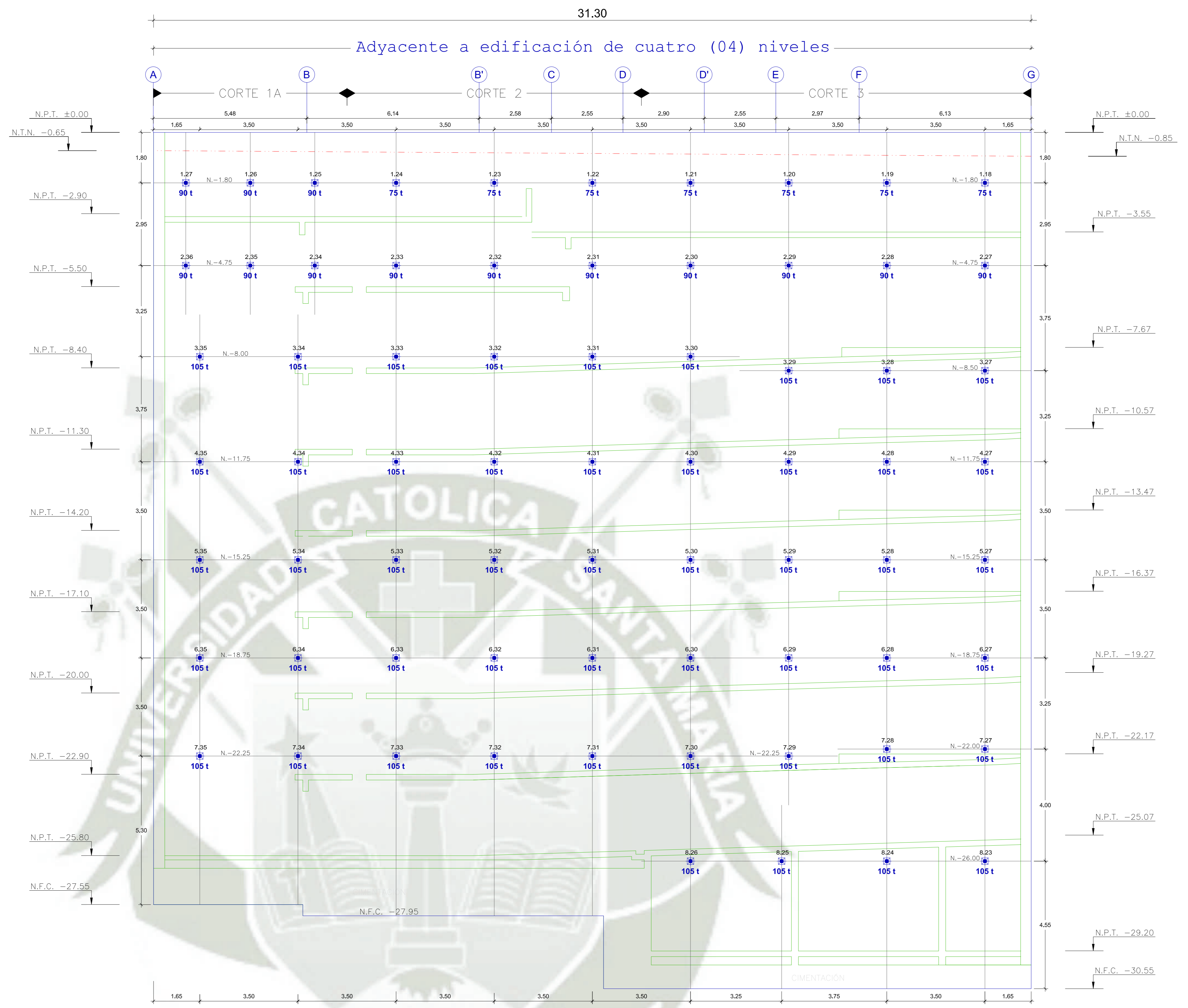
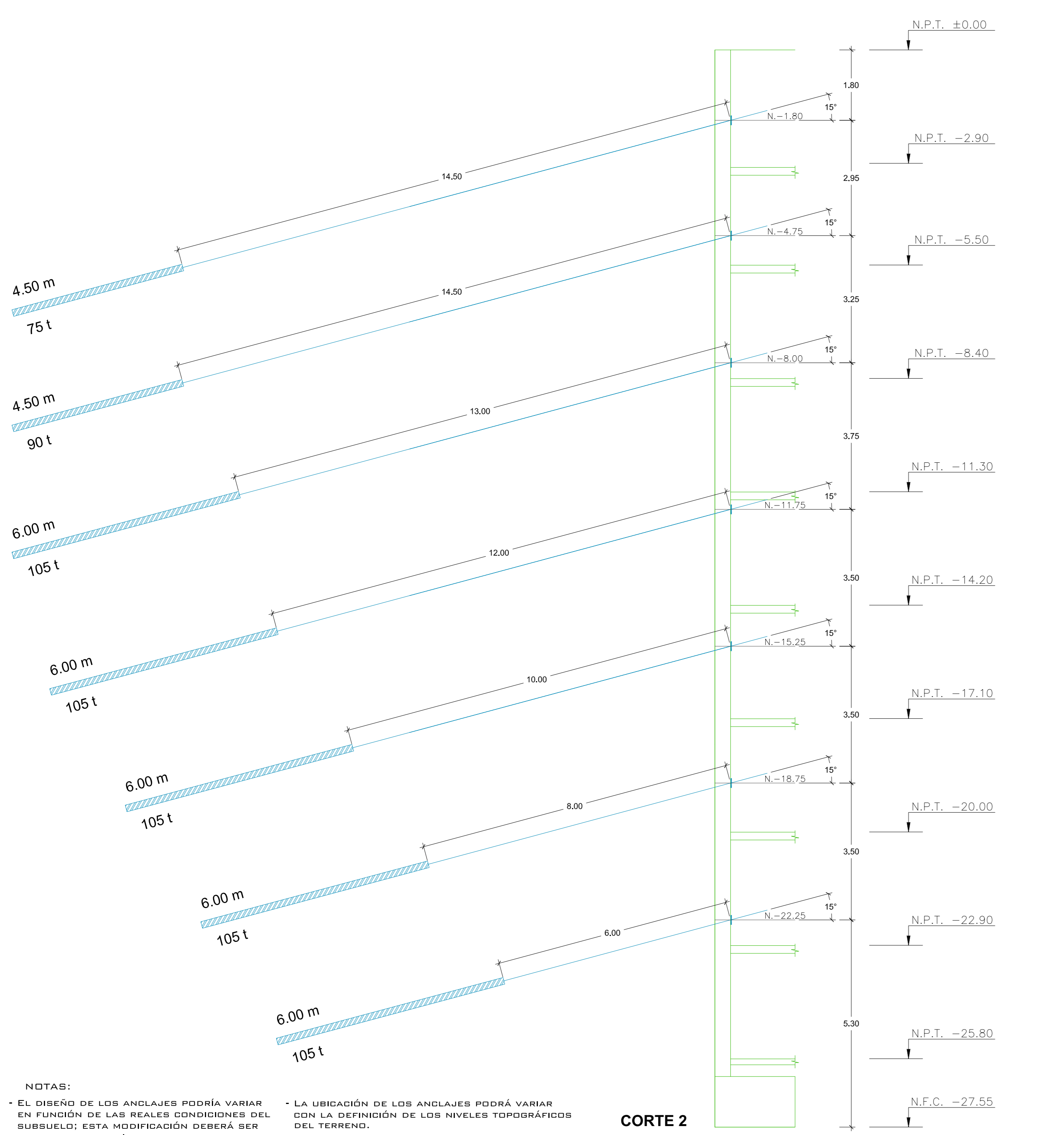
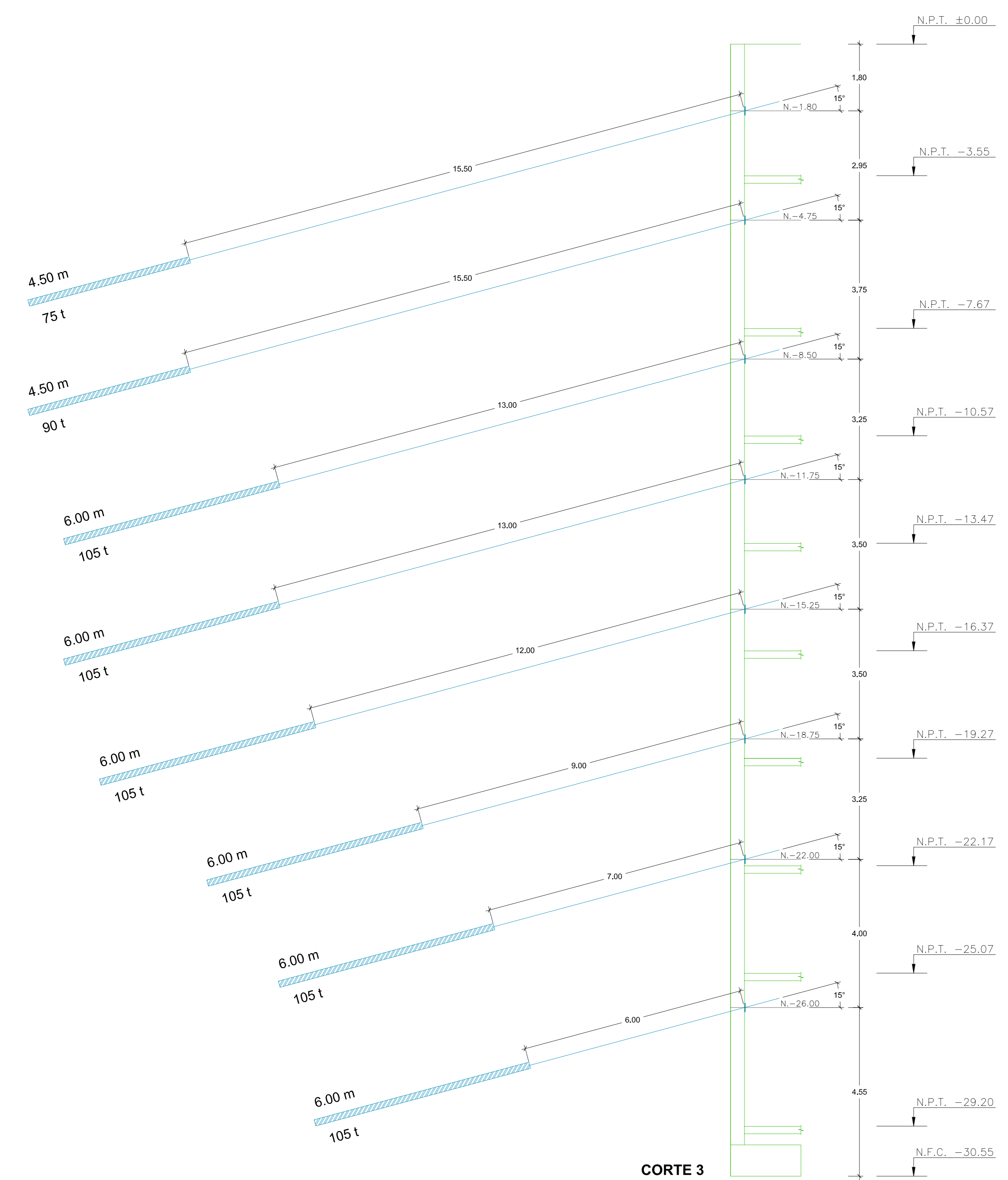


NOTAS:
 * EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSUELO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
 • LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.

DHESAC DRILLING

ANCLAJES POSTENSADOS

O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAICES LVC II PLANO : MURO ANCLADO EJE "1-1"	Nº 006-2020 M4 DE 11 FECHA : MARZO 2020
ESCALA : 1:75	DIBUJO : A. GUEVARA
DISEÑO : ARGP/FAES	APROBADO : F. ESTRADA
REV: 02	

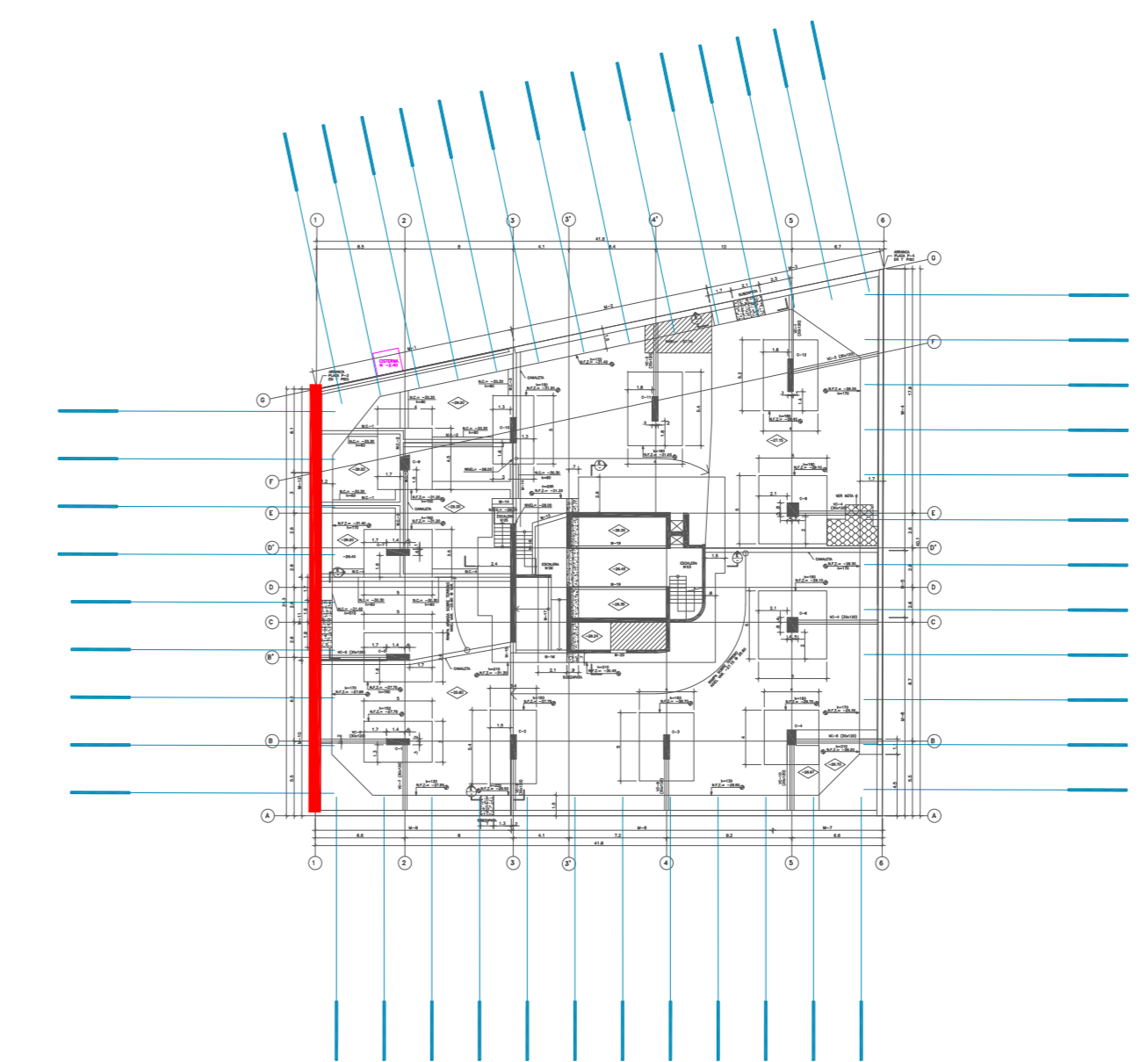


ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "1-1"
912.36 m²

- Leyenda:**
- Columnas o pilas
 - Cimentación existente
 - Sótano vecino
 - Sótano vecino (Ajado)
 - Eje de quiebre
 - Anclaje

ANCLAJES PROVISIONALES

Corte	Fila	Long. libre (m)	Long. anclada (m)	Long. tensado (m)	Long. anclaje (m)	Número anclajes	Long. total anclajes (m)	Long. efectiva (m)	Long. total efectiva (m)	Carga (t)	Tipo de Inyección
2-2	1	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	75.00	IRS
	2	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	90.00	IRS
	3	13.00	6.00	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	105.00	IRS
	4	12.00	6.00	1.00	19.00	3.00	57.00	18.00	54.00	105.00	IRS
	5	10.00	6.00	1.00	17.00	3.00	51.00	16.00	48.00	105.00	IRS
	6	8.00	6.00	1.00	15.00	3.00	45.00	14.00	42.00	105.00	IRS
	7	6.00	6.00	1.00	13.00	3.00	39.00	12.00	36.00	105.00	IRS
1A-1A	1	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	90.00	IRS
	2	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	90.00	IRS
	3	13.00	6.00	1.00	20.00	2.00	40.00	19.00	38.00	105.00	IRS
	4	12.00	6.00	1.00	19.00	2.00	38.00	18.00	36.00	105.00	IRS
	5	10.00	6.00	1.00	17.00	2.00	34.00	16.00	32.00	105.00	IRS
	6	8.00	6.00	1.00	15.00	2.00	30.00	14.00	28.00	105.00	IRS
	7	6.00	6.00	1.00	13.00	2.00	26.00	12.00	24.00	105.00	IRS
3-3	1	15.50	4.50	1.00	21.00	4.00	84.00	20.00	80.00	75.00	IRS
	2	15.50	4.50	1.00	21.00	4.00	84.00	20.00	80.00	90.00	IRS
	3	13.00	6.00	1.00	20.00	4.00	80.00	19.00	76.00	105.00	IRS
	4	13.00	6.00	1.00	20.00	4.00	80.00	19.00	76.00	105.00	IRS
	5	12.00	6.00	1.00	19.00	4.00	76.00	18.00	72.00	105.00	IRS
	6	9.00	6.00	1.00	16.00	4.00	64.00	15.00	60.00	105.00	IRS
	7	7.00	6.00	1.00	14.00	4.00	56.00	13.00	52.00	105.00	IRS
	8	6.00	6.00	1.00	13.00	4.00	52.00	12.00	48.00	105.00	IRS
Totales	-	-	-	-	-	69.00	1,238.00	-	1,167.00	-	-



UBICACIÓN DEL MURO ANCLADO
VISTA EN PLANTA

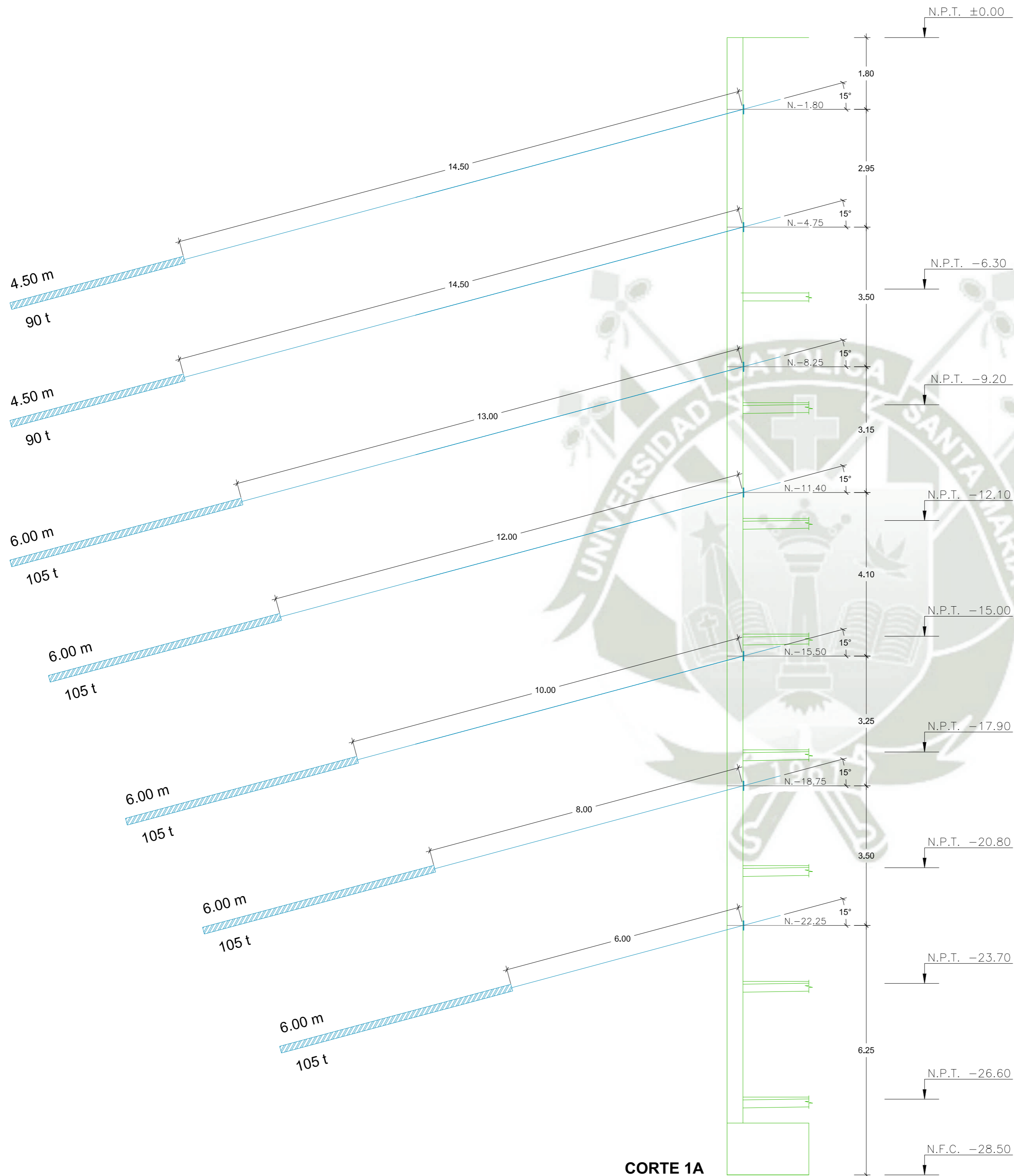
NOTAS:

- EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSUELO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
- LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.



DHVESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS

O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL		Nº 006-2020
PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAÍCES LVC II		M5 DE 11
PLANO : MURO ANCLADO EJE "1-1" - CORTE TÍPICO		FECHA : MARZO 2020
ESCALA : 1:75	DIBUJO : A. GUEVARA	APROBADO : F. ESTRADA
REVISOR : ARGP/FAES	REVISOR : ARGP/FAES	REVISOR : 02



CORTE 1A

ANCLAJES PROVISIONALES

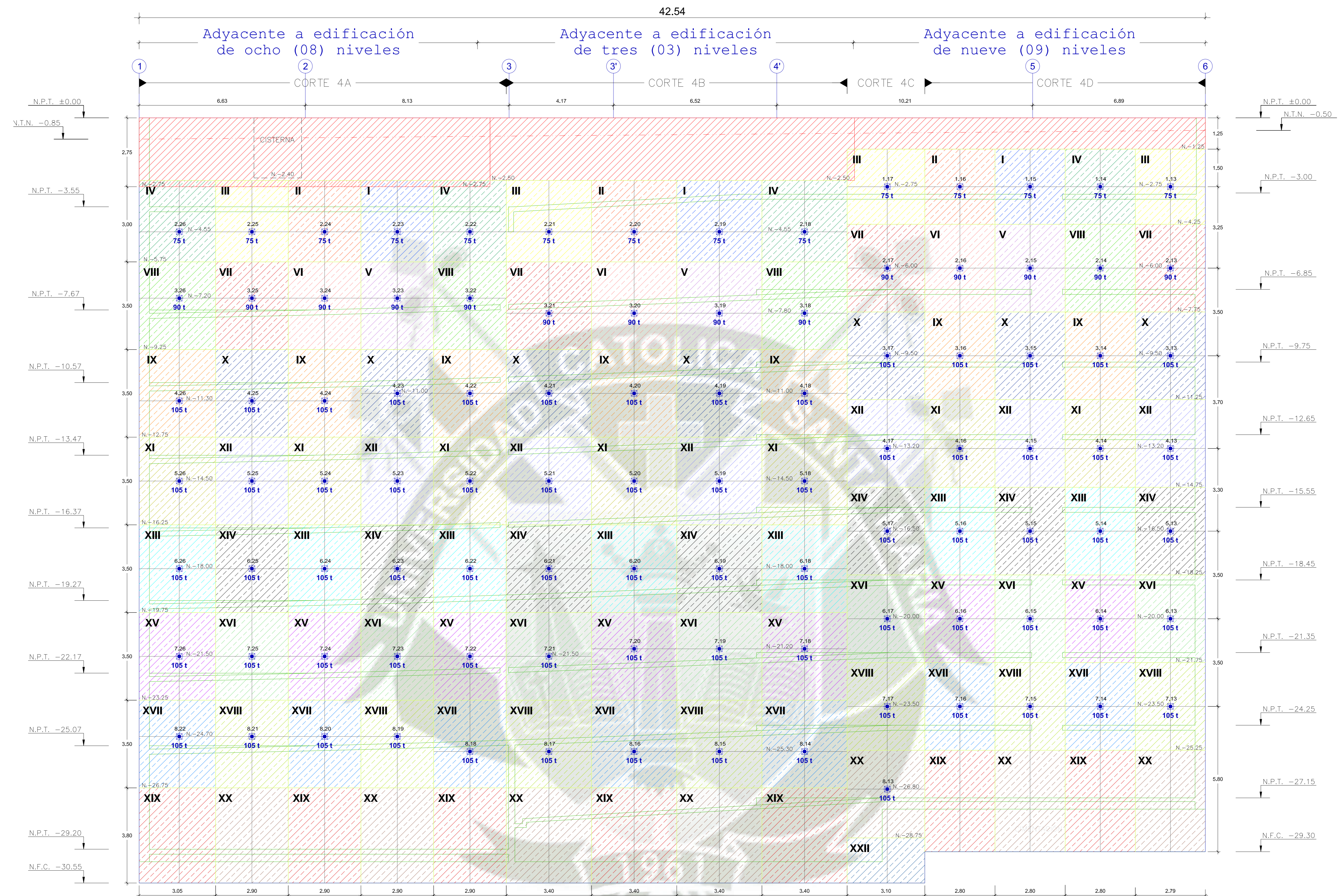
Corte	Fila	Long. libre (m)	Long. anclada (m)	Long. tensado (m)	Long. anclaje (m)	Número anclajes	Long. total anclajes (m)	Long. efectiva (m)	Long. total efectiva (m)	Carga (t)	Tipo de Inyección
2-2	1	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	75.00	IRS
	2	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	90.00	IRS
	3	13.00	6.00	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	105.00	IRS
	4	12.00	6.00	1.00	19.00	3.00	57.00	18.00	54.00	105.00	IRS
	5	10.00	6.00	1.00	17.00	3.00	51.00	16.00	48.00	105.00	IRS
	6	8.00	6.00	1.00	15.00	3.00	45.00	14.00	42.00	105.00	IRS
	7	6.00	6.00	1.00	13.00	3.00	39.00	12.00	36.00	105.00	IRS
1A-1A	1	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	90.00	IRS
	2	14.50	4.50	1.00	20.00	3.00	60.00	19.00	57.00	90.00	IRS
	3	13.00	6.00	1.00	20.00	2.00	40.00	19.00	38.00	105.00	IRS
	4	12.00	6.00	1.00	19.00	2.00	38.00	18.00	36.00	105.00	IRS
	5	10.00	6.00	1.00	17.00	2.00	34.00	16.00	32.00	105.00	IRS
	6	8.00	6.00	1.00	15.00	2.00	30.00	14.00	28.00	105.00	IRS
	7	6.00	6.00	1.00	13.00	2.00	26.00	12.00	24.00	105.00	IRS
3-3	1	15.50	4.50	1.00	21.00	4.00	84.00	20.00	80.00	75.00	IRS
	2	15.50	4.50	1.00	21.00	4.00	84.00	20.00	80.00	90.00	IRS
	3	13.00	6.00	1.00	20.00	4.00	80.00	19.00	76.00	105.00	IRS
	4	13.00	6.00	1.00	20.00	4.00	80.00	19.00	76.00	105.00	IRS
	5	12.00	6.00	1.00	19.00	4.00	76.00	18.00	72.00	105.00	IRS
	6	9.00	6.00	1.00	16.00	4.00	64.00	15.00	60.00	105.00	IRS
	7	7.00	6.00	1.00	14.00	4.00	56.00	13.00	52.00	105.00	IRS
	8	6.00	6.00	1.00	13.00	4.00	52.00	12.00	48.00	105.00	IRS
Totales		-	-	-	-	69.00	1,236.00	-	1,167.00	-	-

NOTAS:
 • EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSUELO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
 • LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.



DHFESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS

O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL		Nº 006-2020	
PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAÍCES LVC II		M6 DE 11	
PLANO : MURO ANCLADO EJE "1-1" - CORTE TÍPICO		FECHA : MARZO 2020	
ESCALA : 1:75	DIBUJO : A. GUEVARA	DISEÑO : ARGP/FAES	APROBADO : F. ESTRADA
			REV: 02

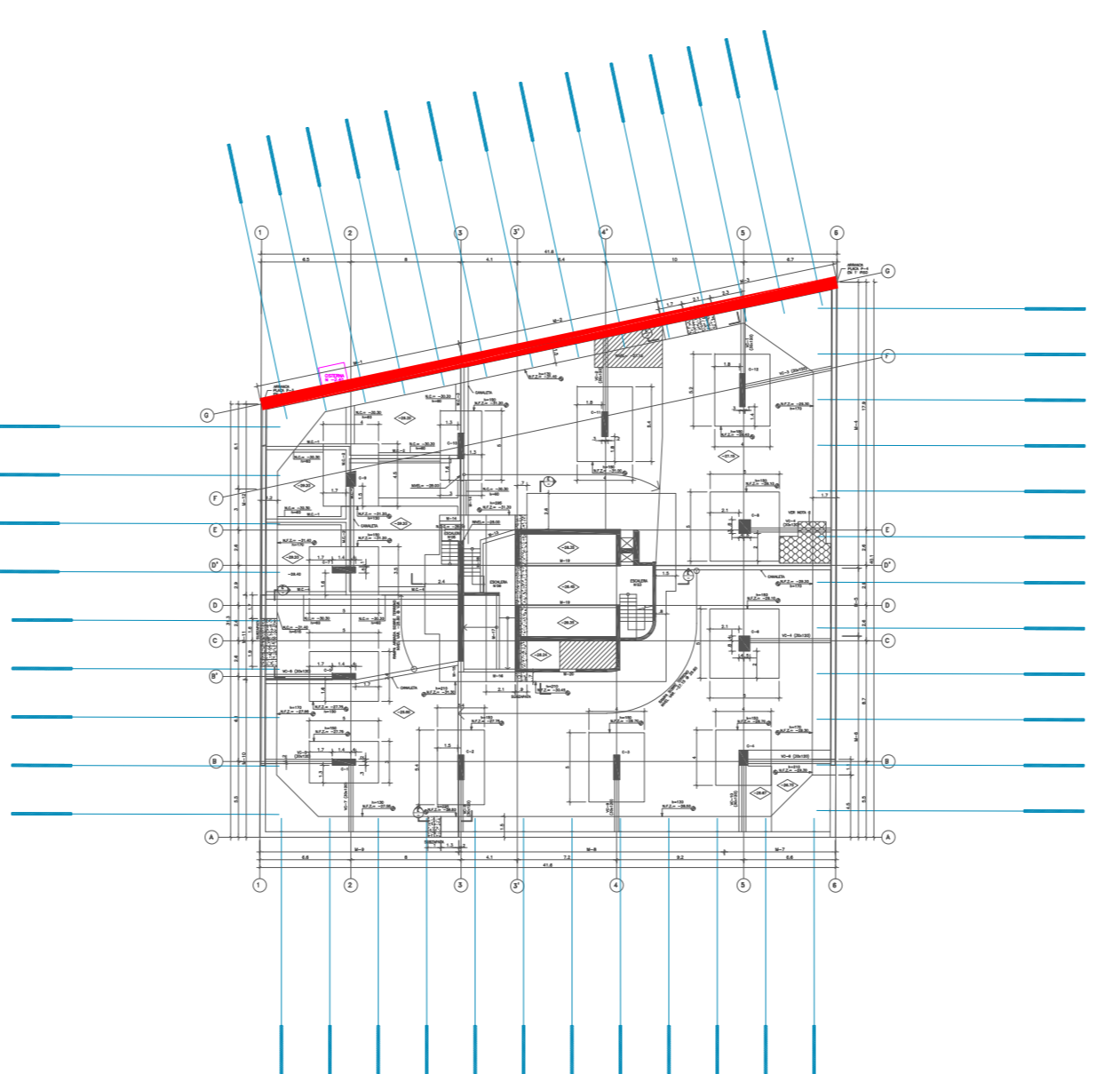


Legenda:

- Columnas o placas
- Cimentación existente
- Sótano vecino
- Sótano vecino (alzado)
- Eje de quiebre
- Anclaje

ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "G-G"
1,285.67 m²

I	PAÑO INICIAL	XII	DESPUÉS DE TENSADO XI
II	DESPUÉS DE TENSADO I	XIII	DESPUÉS DE TENSADO XII
III	DESPUÉS DE TENSADO II	XIV	DESPUÉS DE TENSADO XIII
IV	DESPUÉS DE TENSADO III	XV	DESPUÉS DE TENSADO XIV
V	DESPUÉS DE TENSADO IV	XVI	DESPUÉS DE TENSADO XV
VI	DESPUÉS DE TENSADO V	XVII	DESPUÉS DE TENSADO XVI
VII	DESPUÉS DE TENSADO VI	XVIII	DESPUÉS DE TENSADO XVII
VIII	DESPUÉS DE TENSADO VII	XIX	DESPUÉS DE TENSADO XVIII
IX	DESPUÉS DE TENSADO VIII	XX	DESPUÉS DE TENSADO XIX
X	DESPUÉS DE TENSADO IX	XXI	DESPUÉS DE TENSADO XX
XI	DESPUÉS DE TENSADO X	XXII	DESPUÉS DE TENSADO XXI

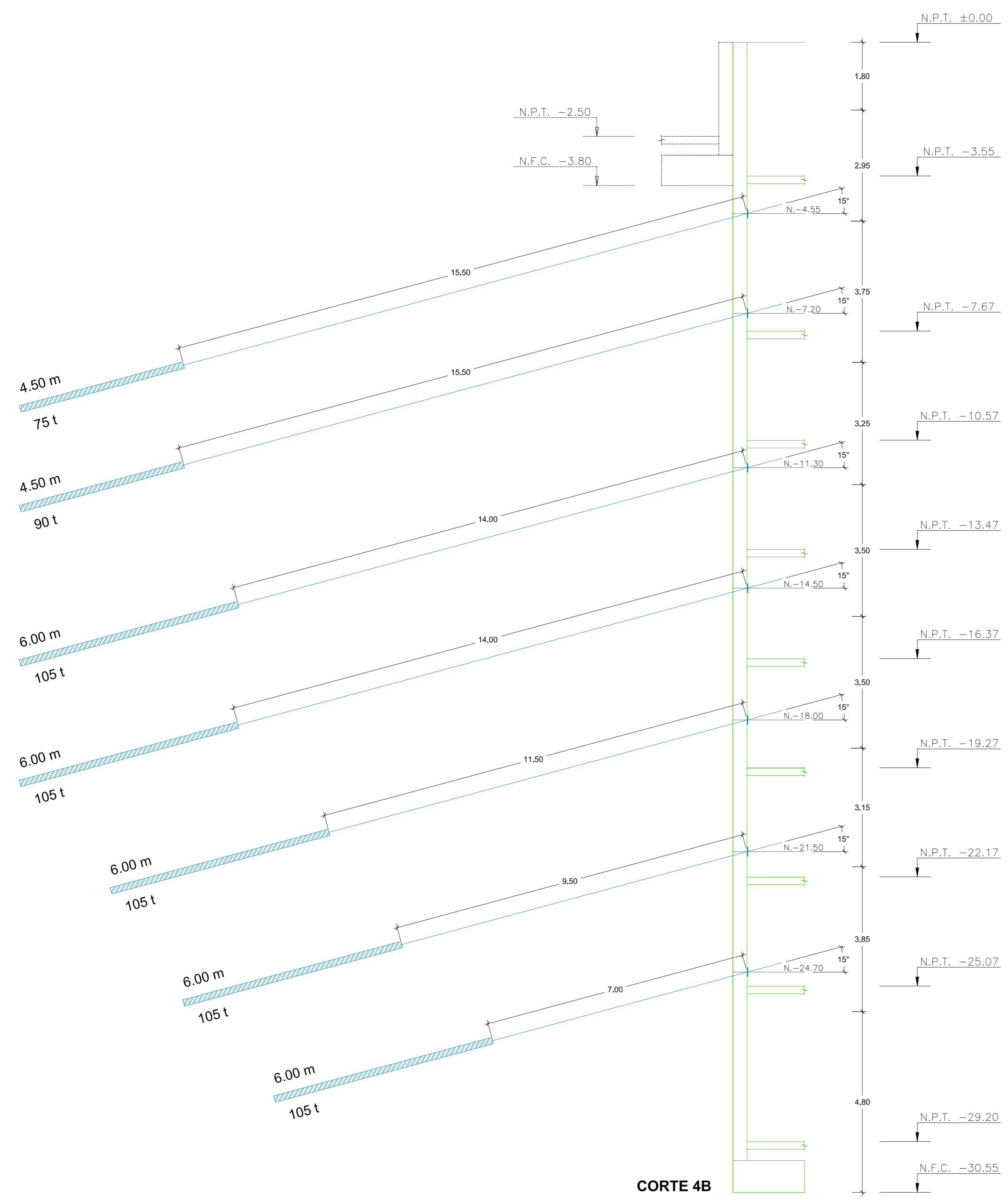


UBICACIÓN DEL MURO ANCLADO
VISTA EN PLANTA

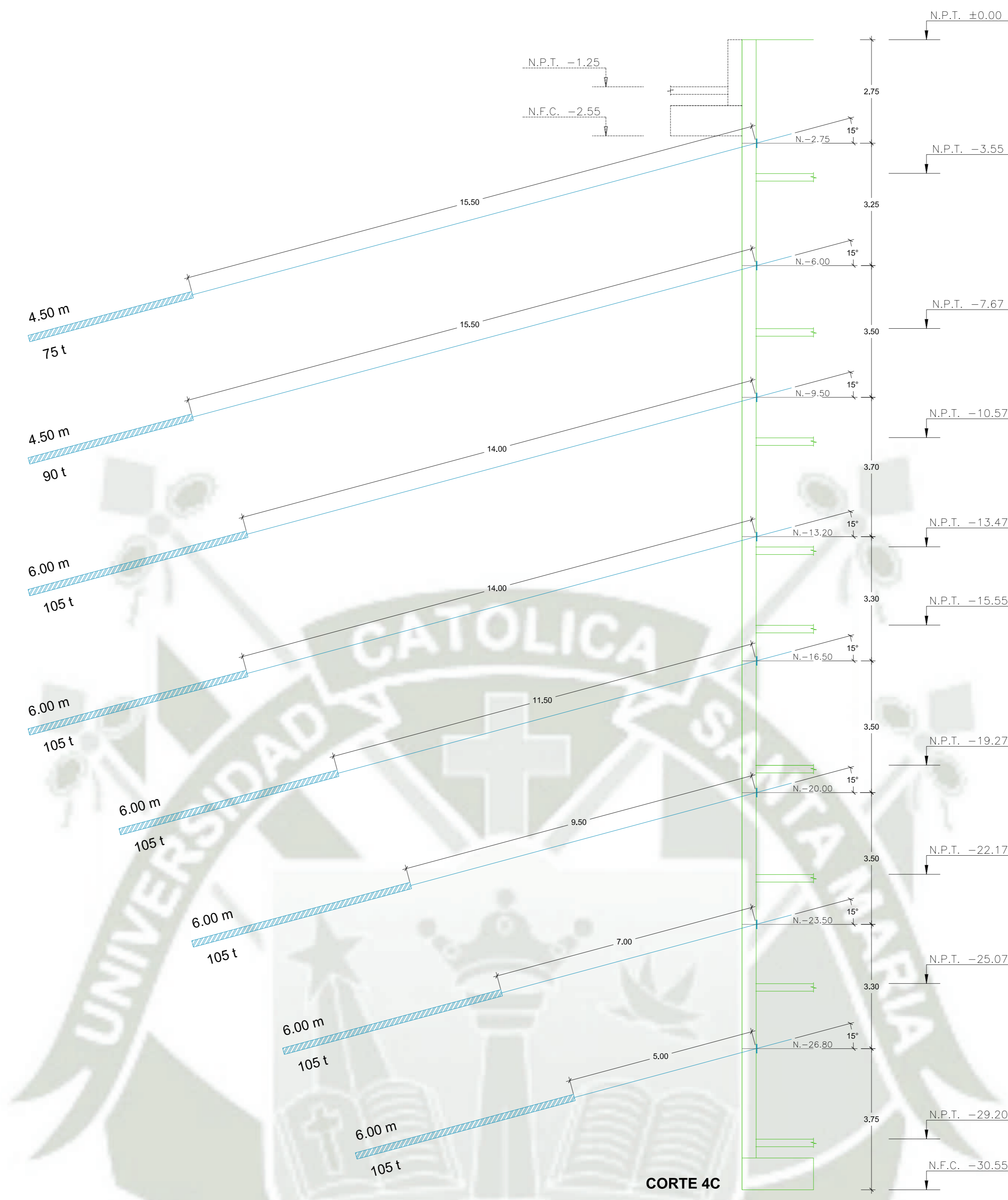
NOTAS:
* EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSUELO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
* LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.

DHESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS

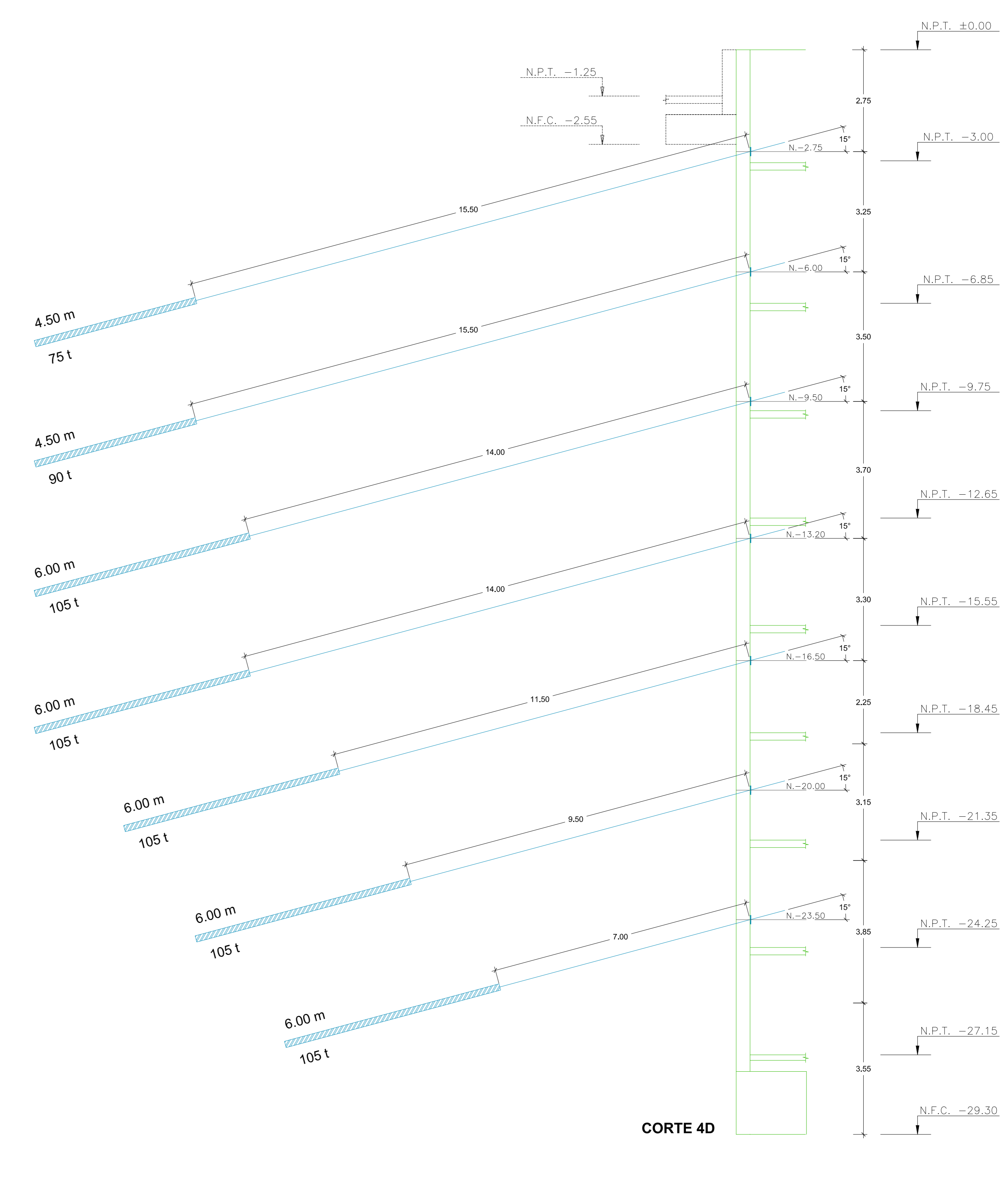
O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL		Nº 006-2020	
PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAICES LVC II		M7 DE 11	
PLANO : MURO ANCLADO EJE "G-G"		FECHA : MARZO 2020	
ESCALA : 1:75	DIBUJO : A. GUEVARA	DISEÑO : ARGP/FAES	APROBADO : F. ESTRADA
			REV: 02



CORTE 4B



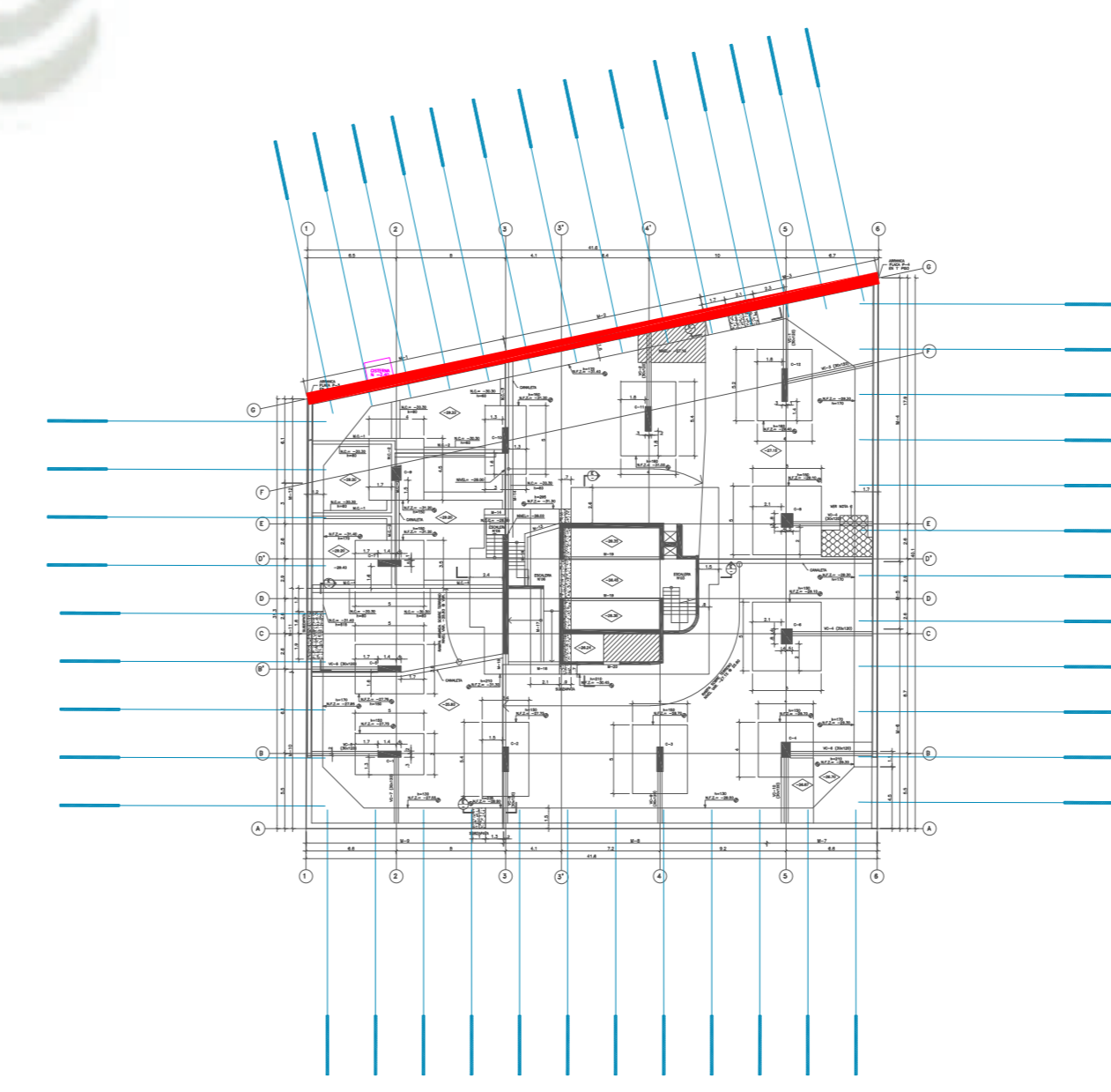
CORTE 4C



CORTE 4D


ANCLAJES PROVISIONALES

Corte	Fila	Long. libre (m)	Long. anclada (m)	Long. tensorio (m)	Long. anclaje (m)	Número anclajes	Long. total anclajes (m)	Long. total efectiva (m)	Carga (t)	Tipo de Inyección	
4A-4A	1	15.50	4.50	1.00	21.00	5.00	105.00	20.00	100.00	75.00	IRS
	2	15.50	4.50	1.00	21.00	5.00	105.00	20.00	100.00	90.00	IRS
	3	14.00	6.00	1.00	21.00	5.00	105.00	20.00	100.00	105.00	IRS
	4	14.00	6.00	1.00	21.00	5.00	105.00	20.00	100.00	105.00	IRS
	5	11.50	6.00	1.00	18.50	5.00	92.50	17.50	87.50	105.00	IRS
	6	9.50	6.00	1.00	16.50	5.00	82.50	15.50	77.50	105.00	IRS
	7	7.00	6.00	1.00	14.00	5.00	70.00	13.00	65.00	105.00	IRS
	8	5.00	6.00	1.00	12.00	5.00	60.00	11.00	55.00	105.00	IRS
4B-4B	1	15.50	4.50	1.00	21.00	4.00	84.00	20.00	80.00	75.00	IRS
	2	15.50	4.50	1.00	21.00	4.00	84.00	20.00	80.00	90.00	IRS
	3	14.00	6.00	1.00	21.00	4.00	84.00	20.00	80.00	105.00	IRS
	4	14.00	6.00	1.00	21.00	4.00	84.00	20.00	80.00	105.00	IRS
	5	11.50	6.00	1.00	18.50	4.00	74.00	17.50	70.00	105.00	IRS
	6	9.50	6.00	1.00	16.50	4.00	66.00	15.50	62.00	105.00	IRS
	7	7.00	6.00	1.00	14.00	4.00	56.00	13.00	52.00	105.00	IRS
	8	5.00	6.00	1.00	12.00	4.00	48.00	11.00	44.00	105.00	IRS
4C-4C	1	15.50	4.50	1.00	21.00	1.00	21.00	20.00	20.00	75.00	IRS
	2	15.50	4.50	1.00	21.00	1.00	21.00	20.00	20.00	90.00	IRS
	3	14.00	6.00	1.00	21.00	1.00	21.00	20.00	20.00	105.00	IRS
	4	14.00	6.00	1.00	21.00	1.00	21.00	20.00	20.00	105.00	IRS
	5	11.50	6.00	1.00	18.50	1.00	18.50	17.50	17.50	105.00	IRS
	6	9.50	6.00	1.00	16.50	1.00	16.50	15.50	15.50	105.00	IRS
	7	7.00	6.00	1.00	14.00	1.00	14.00	13.00	13.00	105.00	IRS
	8	5.00	6.00	1.00	12.00	1.00	12.00	11.00	11.00	105.00	IRS
4D-4D	1	15.50	4.50	1.00	21.00	5.00	105.00	20.00	100.00	75.00	IRS
	2	15.50	4.50	1.00	21.00	5.00	105.00	20.00	100.00	90.00	IRS
	3	14.00	6.00	1.00	21.00	5.00	105.00	20.00	100.00	105.00	IRS
	4	14.00	6.00	1.00	21.00	5.00	105.00	20.00	100.00	105.00	IRS
	5	11.50	6.00	1.00	18.50	5.00	92.50	17.50	87.50	105.00	IRS
	6	9.50	6.00	1.00	16.50	5.00	82.50	15.50	77.50	105.00	IRS
	7	7.00	6.00	1.00	14.00	5.00	70.00	13.00	65.00	105.00	IRS
	Totales	-	-	-	-	106.00	2,007.00	-	1,901.00	-	-




UBICACIÓN DEL MURO ANCLADO VISTA EN PLANTA

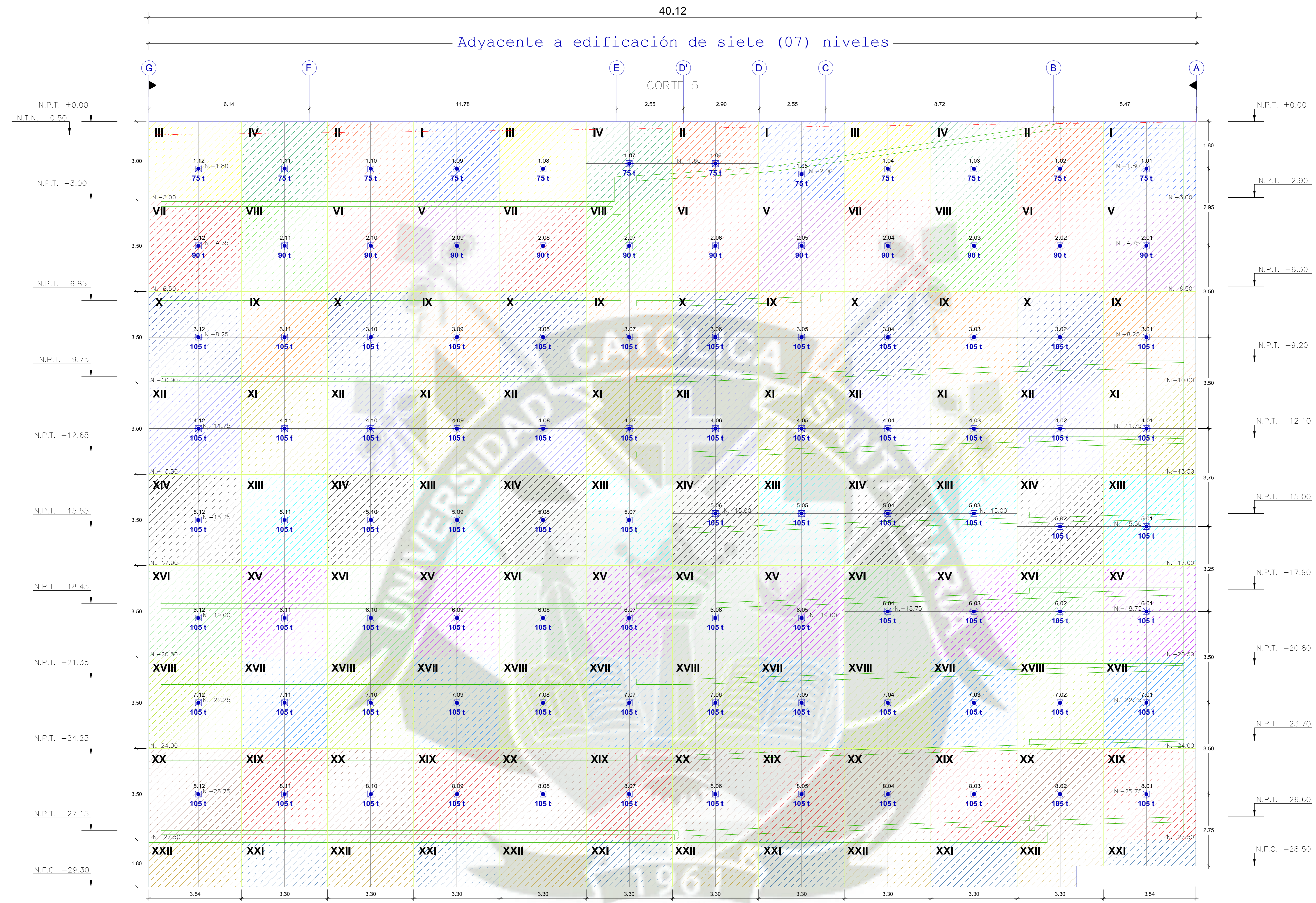
NOTAS:
 * EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSTRATO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
 * LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.



DHESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS



O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL		Nº 006-2020	
PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAICES LVC II		M9 DE 11	
PLANO : MURO ANCLADO EJE "G-G" - CORTE TÍPICO		FECHA : MARZO 2020	
ESCALA : 1:75	DIBUJO : A. GUEVARA	DISEÑO : ARGP/FAES	APROBADO : F. ESTRADA
			REV: 02

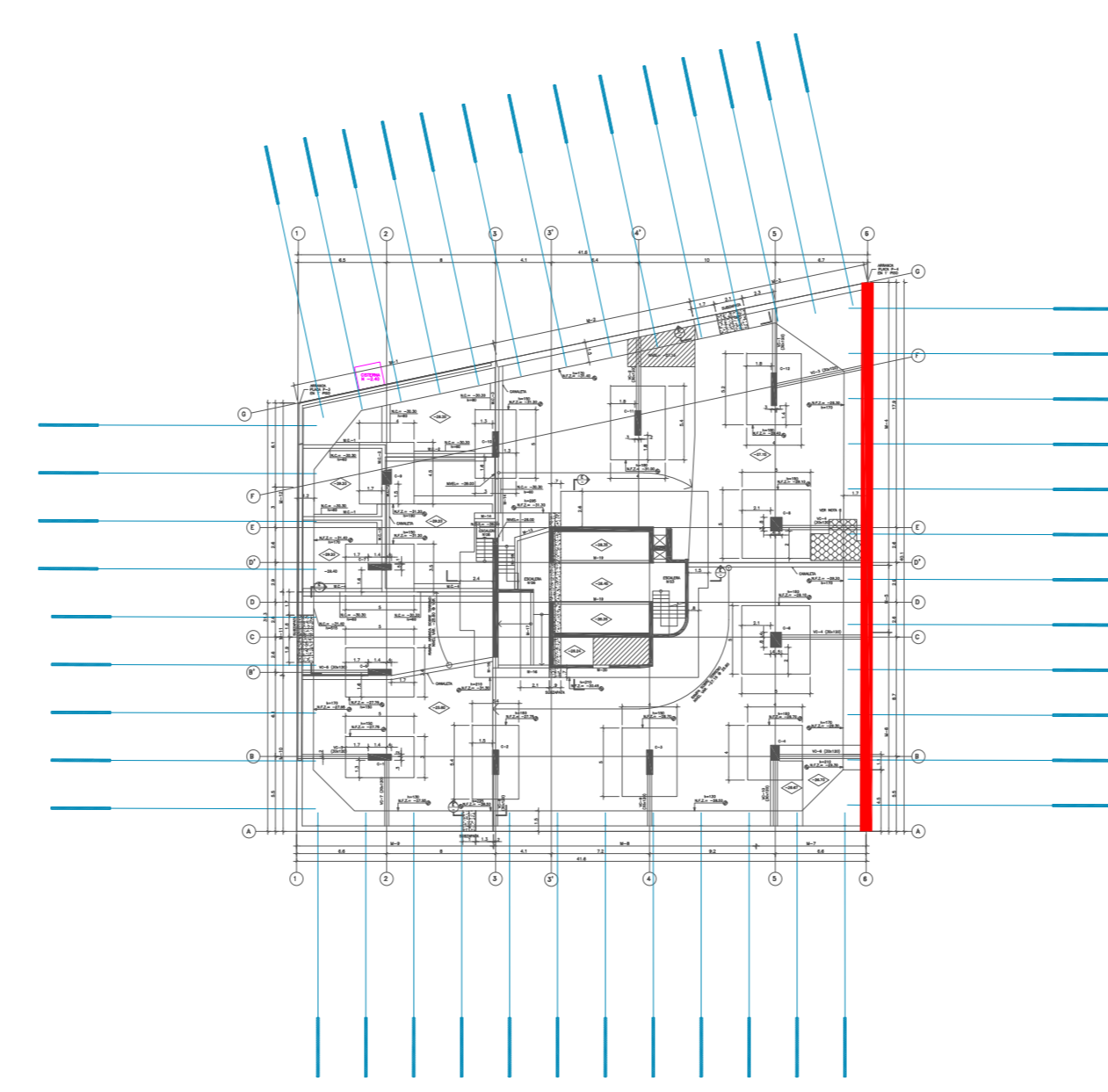


ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "6-6"
1,170.99 m²

Leyenda:

- Columnas o placas
- Cimentación existente
- Sótano vecino
- Sótano vecino (alzado)
- Eje de quiebre
- Anclaje

I	PAÑO INICIAL	XII	DESPUÉS DE TENSADO XI
II	DESPUÉS DE TENSADO I	XIII	DESPUÉS DE TENSADO XII
III	DESPUÉS DE TENSADO II	XIV	DESPUÉS DE TENSADO XIII
IV	DESPUÉS DE TENSADO III	XV	DESPUÉS DE TENSADO XIV
V	DESPUÉS DE TENSADO IV	XVI	DESPUÉS DE TENSADO XV
VI	DESPUÉS DE TENSADO V	XVII	DESPUÉS DE TENSADO XVI
VII	DESPUÉS DE TENSADO VI	XVIII	DESPUÉS DE TENSADO XVII
VIII	DESPUÉS DE TENSADO VII	XIX	DESPUÉS DE TENSADO XVIII
IX	DESPUÉS DE TENSADO VIII	XX	DESPUÉS DE TENSADO XIX
X	DESPUÉS DE TENSADO IX	XXI	DESPUÉS DE TENSADO XX
XI	DESPUÉS DE TENSADO X	XXII	DESPUÉS DE TENSADO XXI

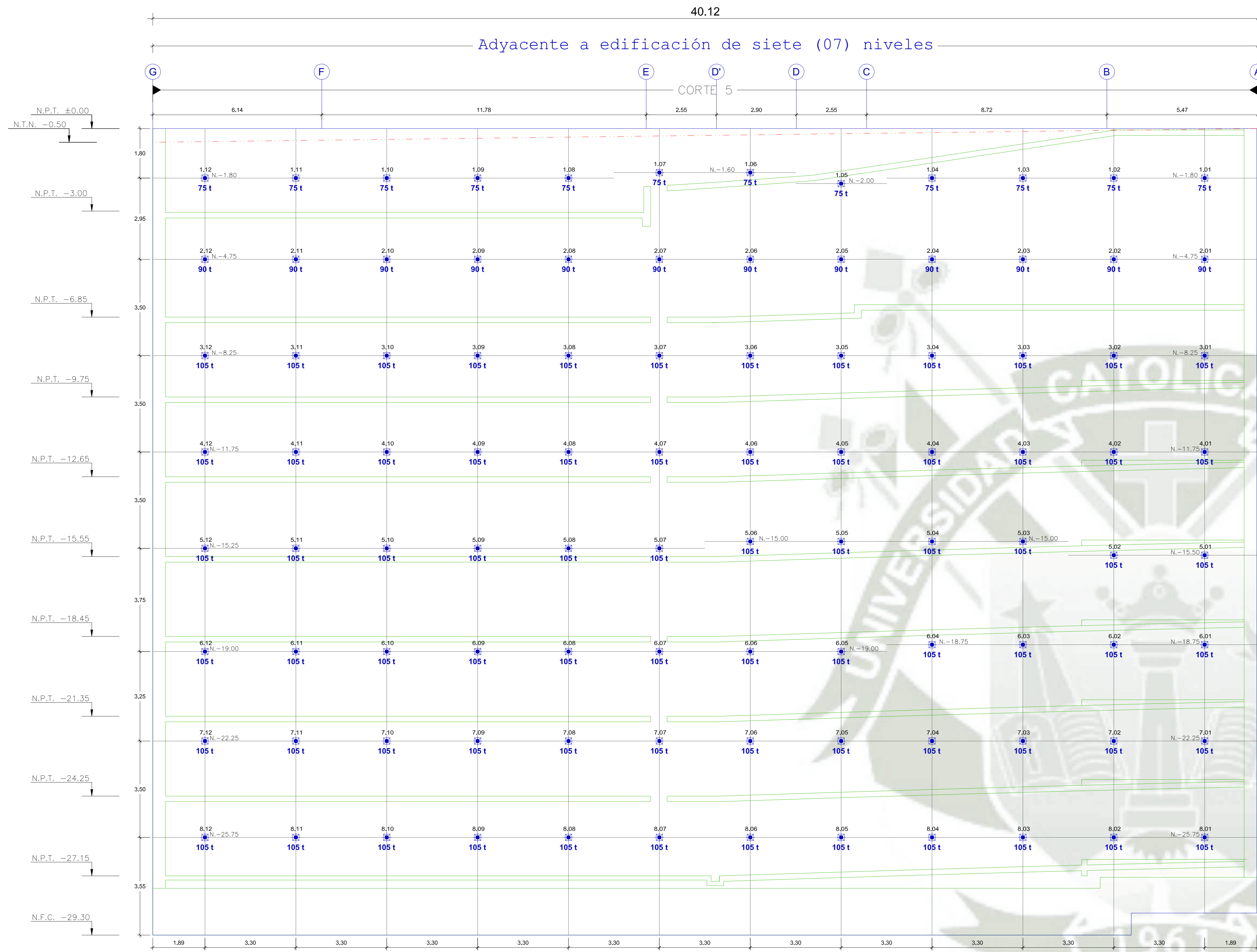


UBICACIÓN DEL MURO ANCLADO
VISTA EN PLANTA

NOTAS:
* EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSUELO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
* LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.

DHESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS

O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL		Nº 006-2020	
PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAICES LVC II		M10 DE 11	
PLANO : MURO ANCLADO EJE "6-6"		FECHA : MARZO 2020	
ESCALA : 1:75	DIBUJO : A. GUEVARA	DISEÑO : ARGP/FAES	APROBADO : F. ESTRADA
			REV: 02

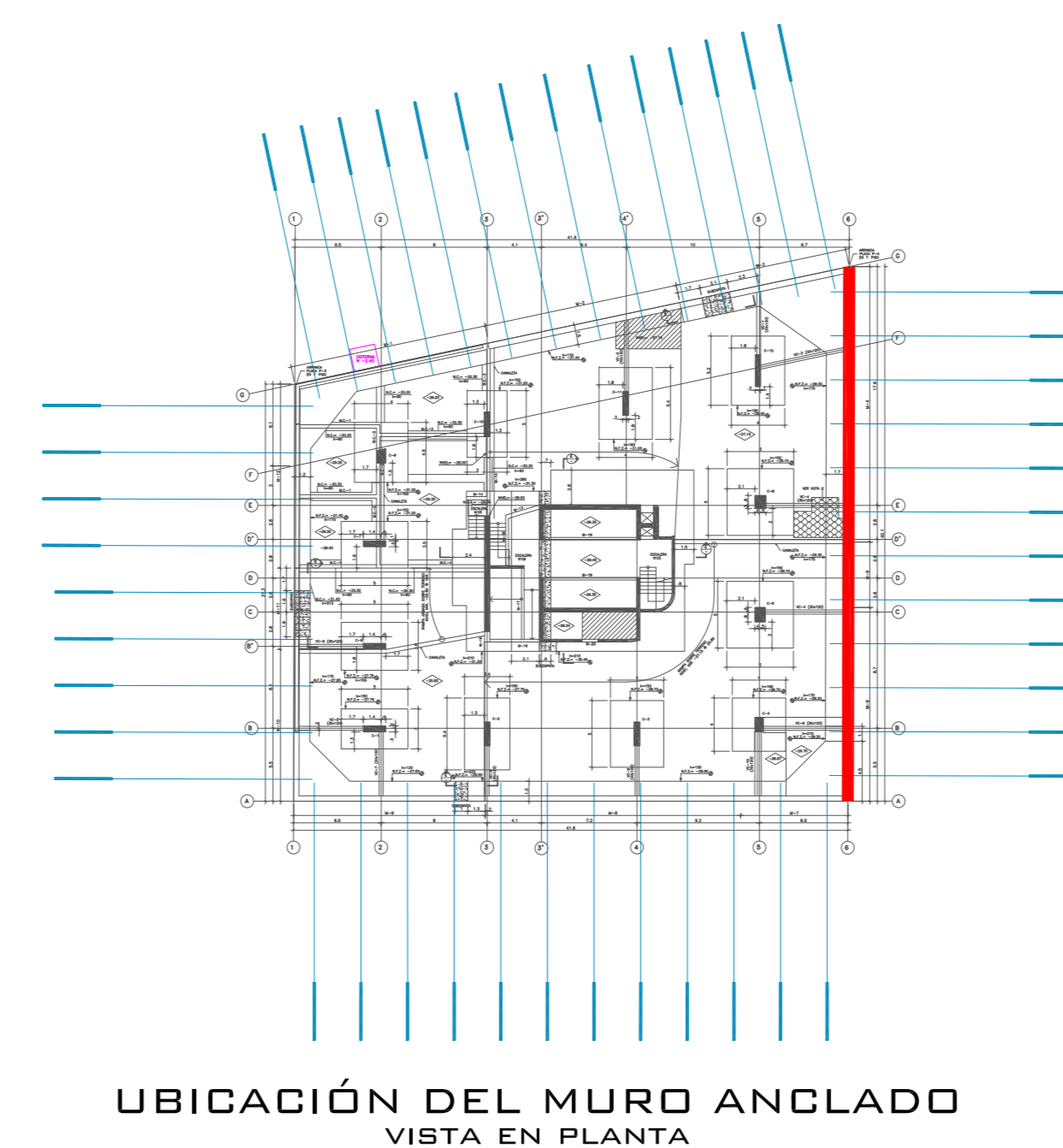


ELEVACIÓN DE MURO EN EL EJE "6-6"
1,170.99 m²

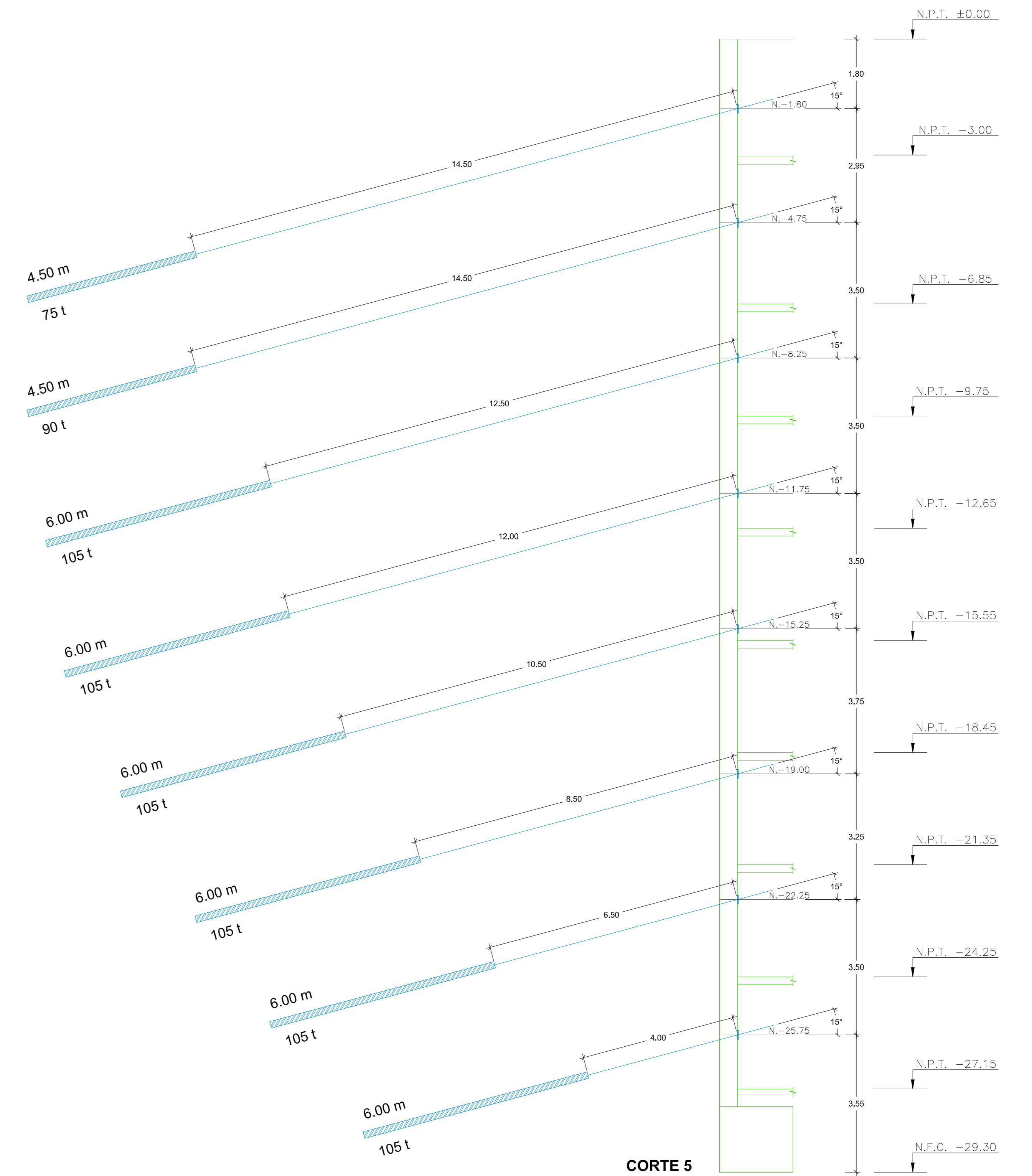
- Leyenda:**
- Columnas o placas
 - Cimentación existente
 - Sótano vecino
 - Sótano vecino (alzado)
 - Eje de cotaire
 - Anclaje

ANCLAJES PROVISIONALES

Corte	Fila	Long. libre (m)	Long. anclada (m)	Long. tendido (m)	Long. anclaje (m)	Número anclajes	Long. total anclajes (m)	Long. total efectiva (m)	Carga (t)	Tipo de Inyección
5-5	1	14.50	4.50	1.00	20.00	12.00	246.00	19.00	228.00	75.00
	2	14.50	4.50	1.00	20.00	12.00	246.00	19.00	228.00	90.00
	3	12.50	6.00	1.00	19.50	12.00	234.00	18.50	222.00	105.00
	4	12.00	6.00	1.00	19.00	12.00	228.00	18.00	216.00	105.00
	5	10.50	6.00	1.00	17.50	12.00	216.00	16.50	198.00	105.00
	6	8.50	6.00	1.00	15.50	12.00	196.00	14.50	174.00	105.00
	7	6.50	6.00	1.00	13.50	12.00	162.00	12.50	150.00	105.00
	8	4.00	6.00	1.00	11.00	12.00	132.00	10.00	120.00	105.00
Totales		-	-	-	-	96.00	1,632.00	-	1,536.00	-



UBICACIÓN DEL MURO ANCLADO
VISTA EN PLANTA



CORTE 5

NOTAS:
* EL DISEÑO DE LOS ANCLAJES PODRÍA VARIAR EN FUNCIÓN DE LAS REALES CONDICIONES DEL SUBSUELO; ESTA MODIFICACIÓN DEBERÁ SER REALIZADA POR EL ING. ESPECIALISTA.
* LA UBICACIÓN DE LOS ANCLAJES PODRÁ VARIAR CON LA DEFINICIÓN DE LOS NIVELES TOPOGRÁFICOS DEL TERRENO.



DHESAC DRILLING
ANCLAJES POSTENSADOS



O B R A : EDIFICIO DE OFICINAS CAMINO REAL		Nº 006-2020	
PROPIETARIO : FONDO DE INVERSIÓN EN BIENES RAICES LVC II		M11 DE 11	
PLANO : MURO ANCLADO EJE "6-6" - CORTE TÍPICO		FECHA : MARZO 2020	
ESCALA : 1:75	DIBUJO : A. GUEVARA	DISEÑO : ARGP/FAES	APROBADO : F. ESTRADA
			REV: 02