

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**CONTROL DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE MURO
DIAFRAGMA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA LÍNEA 2 DEL
METRO DE LIMA Y CALLAO**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

JOSÉ LUIS TRINIDAD MENDOZA

ASESOR

Mag. PAVEL CHUQUIVILCA LÓPEZ

LIMA – PERÚ

2023

© 2023, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los Derechos Reservados.

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir el TSP en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Trinidad Mendoza, Jose Luis

jose.trinidad.m@uni.pe

+51 954 184 715

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
1.1 GENERALIDADES	10
1.2 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	10
1.3 OBJETIVOS DE ESTUDIO	12
1.3.1 Objetivo General	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 ANTECEDENTES	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL	15
2.1 MARCO TEÓRICO	15
2.1.1 Cimentaciones	15
2.1.2 Cimentaciones profundas	15
2.1.3 Muro diafragma	15
2.1.4 Lodos bentoníticos	17
2.1.5 Juntas de colado	19
2.1.6 Panel	20
2.1.7 Concreto tremie	21
2.1.8 Tubería tremie	21
2.1.9 Método tremie	23
2.1.10 Equipo de excavación	24
2.2 MARCO CONCEPTUAL	27
2.2.1 Brocal o Muro guía	27
2.2.2 Central de lodos	28
2.2.3 Panel	30
CAPÍTULO III: GENERALIDADES DEL PROYECTO	34
3.1 EDO DEL PROYECTO	34
3.2 PROYECTO	34
3.2.1 Ubicación	35

3.2.2	Características del proyecto	36
3.2.3	Estratigrafía.....	40
CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS ...		42
4.1	CONSTRUCCIÓN DE BROCALES O MUROS GUÍA	42
4.1.1	Control de brocales o muro guía	43
4.2	EXCAVACIÓN DE PANEL	45
4.2.1	Selección de equipo.....	45
4.2.2	Esquema de un sistema de excavación	46
4.2.3	Control de la excavación.....	48
4.3	DESARENADO DE PANEL	52
4.3.1	Control de desarenado.....	54
4.4	COLOCACIÓN DE JUNTAS TRAPEZOIDALES	56
4.4.1	Water-Stop.....	56
4.4.2	Colocación de Junta tipo CWS®	56
4.4.3	Extracción de las juntas trapezoidales	58
4.5	COLOCACIÓN DE ARMADURAS	60
4.5.1	Maniobras de izaje	61
4.5.2	Centrado de acero de refuerzo.....	63
4.5.3	Control de armaduras	65
4.6	COLADO DE PANEL CON TUBERÍA TREMIE.....	66
4.6.1	Control del colado	71
4.7	CASOS DEBIDO A UN INADECUADO CONTROL DURANTE LOS PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS DIAFRAGMA.....	75
4.8	PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE MURO DIAFRAGMA	79
4.9	APORTES AL CONTROL DEL PROCEDIMIENTO DE MURO DIAFRAGMA.....	81
CONCLUSIONES.....		83
RECOMENDACIONES.....		85
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		86
ANEXOS		88

RESUMEN

Actualmente en el Perú se está ejecutando la construcción de la “Línea 2 del Metro de Lima y Callao” la cuál será la primera red de metro completamente subterráneo en el país con 27 km de recorrido y 27 estaciones. Para poder ejecutar las estaciones subterráneas de hasta 35 m de profundidad se requiere sostener la excavación y, para ello, será necesario la ejecución de muros diafragma que es una tecnología muy poco difundida en nuestro país; por lo cual, nos plantea desarrollar como fuente de información y punto de inicio de este relativamente nuevo proceso de construcción, desde la construcción de los muros guías, excavación con equipo especializado, desarenado de panel, colocación de juntas trapezoidales con waterstop, izaje de armaduras, hasta el vaciado de panel mediante concreto tremie. Se desarrollaron controles durante cada etapa que permiten asegurar la calidad del muro diafragma y casos en las cuales no existió un control adecuado que conllevó a observaciones y su posterior reparación. El presente trabajo de suficiencia profesional se enfoca principalmente en los controles realizados en cada proceso constructivo que interviene en la construcción del muro diafragma para el “Proyecto de la Línea 2”, tomando como base la “Estación 02 Buenos Aires”, en el cual se desarrollaron 65 paneles de 1 200 mm de espesor, siendo un total de 12,455.82m² de excavación. Concluida la aplicación de los controles durante cada etapa, se procedió a evaluar y analizar con el fin de conseguir conclusiones y recomendaciones que justifiquen nuestros objetivos planteados.

Palabras claves: Cimentaciones Profundas, control, muro diafragma, proceso constructivo.

ABSTRACT

Currently in Peru, the construction of "Line 2 of the Lima and Callao Metro" is being executed, which will be the first completely underground metro network in the country with a 27 km route and 27 stations. In order to execute underground stations up to 35 m deep, it is necessary to support the excavation and, for this, it will be necessary to execute diaphragm walls, which is a technology that is not very widespread in our country; so, it propose us to develop, as a source of information and starting point of this relatively new construction process, from the construction of the guide walls, excavation with specialized equipment, sand removal of the panel, placement of trapezoidal joints with waterstop, hoisting of reinforcements, until panel casting using tremie concrete. Controls were developed during each stage that allow to ensure the quality of the diaphragm wall and cases in which there was no adequate control that led to observations and its subsequent repair. The present work of professional sufficiency focuses mainly on the controls carried out in each construction process that intervenes in the construction of the diaphragm wall for the "Line 2 Project", based on the "Station 02 of Buenos Aires", in which the 65 panels of 1 200 mm thickness were developed, with a total of 12,455.82m² of excavation. After the application of the controls during each stage, we proceeded to evaluate and analyze in order to reach conclusions and recommendations that justify our stated objectives.

Keywords: Deep Foundations, control, diaphragm wall, construction process.

LISTA DE FIGURAS

Figura N°2.1	Esquema de un muro diafragma.	16
Figura N°2.2	Sección transversal de junta trapezoidal de 1140mm.	20
Figura N°2.3	Juntas trapezoidales de 1140mm.....	20
Figura N°2.4	Dependencia entre composición, reología y características relacionadas, y los requisitos generales.	21
Figura N°2.5	Línea de tubería tremie.	22
Figura N°2.6	Esquema de flujo abombado.....	24
Figura N°2.7	Almeja hidráulica guiada con Kelly.....	26
Figura N°2.8	Hidrofresa.	26
Figura N°2.9	Sección transversal del muro guía.	27
Figura N°2.10	Lodo bentonítico en constante agitación.	28
Figura N°2.11	Tanques de almacenamiento de agua, silos (izquierda) y tanques australianos para almacenamiento de fluido de perforación (derecha).	29
Figura N°2.12	Preparación de fluido bentonítico en el Digestor.	29
Figura N°2.13	Desarenador.	30
Figura N°2.14	Panelado de un sector del PV01.....	30
Figura N°2.15	Ejecución de panel de Inicio.....	31
Figura N°2.16	Ejecución de panel de Avance.....	32
Figura N°2.17	Ejecución de panel de Cierre.	32
Figura N°2.18	Esquema de tipos de paneles.	33
Figura N°3.1	EDO del proyecto.....	34
Figura N°3.2	Trazo de plataforma para desarrollo de muros diafragma en la E2.....	35
Figura N°3.3	Ubicación de la E-02 Buenos Aires.....	36
Figura N°3.4	Cartel de obra.	36
Figura N°3.5	Vista en planta de un sector de la E2.....	37
Figura N°3.6	Vista de perfil de un sector de la E2.....	37
Figura N°3.7	Vista en planta de los paneles de la E2.....	39
Figura N°3.8	Plan de modulación de muros diafragma	40
Figura N°3.9	Estratigrafía según el EMS de la E02.....	40
Figura N°3.10	Litoestratigrafía según el EMS de la E02.	41
Figura N°4.1	Encofrado y desencofrado de muro guía.....	42
Figura N°4.2	Muro guía.....	43

Figura N°4.3	Verificando que la superficie de muro guía este aplomada.	44
Figura N°4.4	Verificando que el muro guía se encuentre alineado y con el ancho correspondiente.	44
Figura N°4.5	Grúa Liebherr 855 con cuchara bivalva hidráulica.....	45
Figura N°4.6	Grúa Liebherr 855 con cuchara bivalva hidráulica y grúa auxiliar.	46
Figura N°4.7	Excavación de panel de una posición (izquierda) y de dos posiciones (derecha).	47
Figura N°4.8	Esquema gráfico de las posiciones y merlo.	47
Figura N°4.9	Eliminación de material excedente procedente de la excavación en volquete.	48
Figura N°4.10	Sonda de cable para medir la profundidad de la excavación.....	49
Figura N° 4.11	Cableta, regleta y nivel de mano de dos burbujas.....	50
Figura N°4.12	Toma de verticalidad del panel.	51
Figura N° 4.13	Muestra de lodo obtenida a una profundidad de 15m de excavación.....	51
Figura N°4.14	Bomba sumergible acoplada a tubería tremie para desarenar panel.....	52
Figura N°4.15	Lodo de excavación es succionado y simultáneamente ingresa lodo sano a panel.....	53
Figura N°4.16	Limpieza del lodo bentonítico de arena y limos.	53
Figura N°4.17	Muestra de lodo de panel desarenado.	54
Figura N°4.18	Toma de ensayos en compañía de la supervisión.....	55
Figura N°4.19	Ensayo de densidad (izquierda), viscosidad (centro), porcentaje de arena (derecha).....	55
Figura N°4.20	Ensayo de filtrado (izquierda), pH (centro), cake (derecha).....	55
Figura N°4.21	Water-Stop (izquierda) y ranura porta wáter-stop (derecha).....	56
Figura N°4.22	Colocación de wáter-stop.....	57
Figura N°4.23	Colocación de junta plana trapezoidal de 30.0m en panel.	57
Figura N°4.24	Extracción de junta metálica trapezoidal.	58
Figura N°4.25	Verificación de las condiciones del wáter-stop a colocar.....	59
Figura N°4.26	Supervisando la correcta colocación de junta metálica en el panel (izquierda), colocación de nivel electrónico en junta (derecha).	60
Figura N 4.27	Sección transversal de jaulas de acero en panel.....	61

Figura N°4.28	Maniobra de izaje de armadura.....	62
Figura N°4.29	Verticalización de armadura.....	62
Figura N°4.30	Colocación de separadores trapezoidales.....	63
Figura N°4.31	Colocación de vigas para suspender armadura.	64
Figura N°4.32	Empalme de armadura mediante conectores mecánicos.	64
Figura N°4.33	Inspección de armaduras por parte de los supervisores.	65
Figura N° 4.34	Referencias realizadas por topografía para dejar el acero centrado.	66
Figura N°4.35	Racks con tubería tremie y embudos.	67
Figura N°4.36	Colocación de tubería tremie en panel.	68
Figura N°4.37	Antes del colado (a la izquierda) y luego del vertido de los primeros mixers (a la derecha).	69
Figura N°4.38	Vista frontal y de perfil del colado de panel.	70
Figura N°4.39	Proceso de colado.	71
Figura N°4.40	Slump y temperatura del concreto.....	72
Figura N°4.42	Sondeo de panel durante proceso de colado.	73
Figura N°4.43	Completando la curva “real” durante el proceso de colado.....	74
Figura N°4.44	Interferencias durante el proceso de excavación.	75
Figura N°4.45	WaterStop desprendido del muro diafragma sale en conjunto con la junta trapezoidal.	76
Figura N°4.46	Muros diafragma contaminados.	76
Figura N°4.47	Acero expuesto en el muro diafragma.....	77
Figura N°4.48	Acero expuesto en el muro diafragma.....	78
Figura N°4.49	Tubería tremie empotrado en muro diafragma.	78
Figura N°4.50	Picado de tramo de muro diafragma contaminado.	79
Figura N°4.51	Limpieza con escobiilla metálica y soplete de aire (a la izquierda), liberación por el supervisor de calidad (a la derecha)	79
Figura N°4.52	Aplicación del puente de adherencia Sikadur 32 (a la izquierda), colocación del Sika Rep (a la derecha)	80
Figura N°4.53	Empaste de muros diafragma con Sika Rep	80
Figura N°4.54	Muros diafragma reparados.	81

LISTA DE TABLAS

Tabla N°2.1	Parámetros del lodo bentonítico.....	19
--------------------	---	-----------

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

ACI	: Instituto Americano de Concreto
ASCE	: Asociación Americana de Ingenieros Civiles
CCM2L	: Consorcio Constructor Metro 2 Lima
NTE	: Norma Técnica de Edificación
SBP	: Soletanche Bachy Perú S.A.C.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

Debido al aumento potencial de la población, los espacios en la superficie en las grandes ciudades cada vez son menores, es por ello que se busca al empleo del subsuelo como una alternativa para las construcciones de estaciones subterráneas, metros, vías de comunicación más rápidas.

Sin embargo, producto de la variedad de construcciones existentes en la superficie, las obras subterráneas podrían presentar mayores riesgos para su ejecución.

Generalmente para los proyectos de obras subterráneas de gran envergadura una de las soluciones mayor utilizadas son los muros diafragma, conocida también como el “Muro Milán”.

La ejecución del muro diafragma nos permite alcanzar excavaciones hasta más de 50m de profundidad, trabajar con presencia o no del nivel freático, entre otras bondades.

El empleo de muros diafragma es muy variado, por ejemplo, se han empleado para muros de contención en obras viales, muros de sótanos en edificaciones, estaciones de metro, entre otras.

Es importante un adecuado diseño ya que se debe garantizar, además de la estabilidad propia de la estructura, la seguridad de aquellas infraestructuras que se encuentren cercanas.

En el presente Trabajo de Suficiencia Profesional solo se ha abordado el estudio de los muros diafragma ejecutados en la construcción de la Estación 02 – “Buenos Aires” de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao, siendo en total 27 Estaciones.

1.2 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Los metros subterráneos son un medio de transporte masivo y eficiente que proporcionan una alternativa rápida y confiable a los sistemas de transportes convencionales reduciendo la congestión vehicular.

Siendo el Metro de Londres el más antiguo, su origen data en la Revolución Industrial, época en la cual Londres era una de las ciudades más pobladas del

mundo. Sus problemas de congestión lograron resolverse cuando se dio por inaugurado el subterráneo en el año 1863.

El primer sistema de Metro de América Latina fue el Subterráneo de Buenos Aires, inaugurado en 1913. Sin embargo, hasta la fecha no todas las ciudades de América Latina cuentan un metro subterráneo, los motivos por los cuales no se tienen son diversos, por ejemplo en La Paz debido a sus accidentes geográficos se hace imposible la construcción de túneles, en Montevideo debido a que la composición del subsuelo en su mayoría es rocoso su construcción generaría un elevado costo.

El caos actual de la congestión vehicular de Lima Metropolitana (con más de 10 millones de habitantes), se debe principalmente a una escasa planificación de los gobiernos de turno, no pudiendo lograr un eficiente transporte público y privado. Es por tal motivo que requiere dar prioridad a infraestructuras como redes de Metro. La Línea 1 del Metro de Lima no es suficiente para solucionar los problemas de transporte masivo en la superficie, es necesario redes de metros subterráneos.

La Red Básica del Metro de Lima y Callao es la estructuración del sistema ferroviario metropolitano que servirá para la ciudad de Lima y Callao. Con una proyección inicial de 5 líneas en el año 2010 mediante Decreto Supremo N° 059-2010-MTC, abarca la ciudad desde sus extremos norte, este y sur, conectándose entre sí y permitiendo el alcance geográfico desde un punto a otro de la ciudad. En el año 2013 se añadió a la red una sexta línea en proyección.

Uno de los proyectos que se ejecuta en la actualidad es la “Línea 2 y Ramal Av. Faucett – Av. Gambetta de la Red Básica del Metro de Lima y Callao”.

La Línea 2 (27km de longitud) y el Ramal de la Línea 4 (8km) del Metro de Lima y Callao será el primer transporte en su trayecto mayormente subterráneo a una profundidad de 25 metros atravesando la ciudad de Lima en sentido Este a Oeste. Su construcción es necesaria ante el creciente problema del tráfico vehicular y congestión en la ciudad.

Es por tal motivo que se busca mostrar un sistema constructivo que sea efectivo para la construcción de estaciones subterráneas en la cual no afecte al tránsito de vehículos y de peatones en la superficie, empleando para ello el método de construcción de “Arriba hacia abajo” (Top – Down). Este método consiste

principalmente en construir primero los muros perimetrales y los soportes estructurales para luego ir excavando y construyendo de arriba hasta el nivel más bajo.

Los procesos constructivos que se desarrollan en las Estaciones de la Línea 02 son relativamente nuevos, ya que será la primera Línea de Metro totalmente subterránea en el país, por tal motivo sus controles de procesos podrían ser insuficientes en la ejecución de muros diafragma.

Debido a una falta de control de los procedimientos constructivos de los muros diafragma, luego de descubrirlos mediante el método de “Arriba hacia abajo” (Top – Down), se puede visualizar muros diafragma contaminados con bentonita.

Estos muros diafragma contaminados conllevan a un sobre costo por su reparación e incluso puede generar retrasos en la construcción de las Estaciones, aumentando el plazo de entrega de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao.

Es por tal motivo que el presente TSP busca estandarizar el monitoreo y control de los procesos constructivos de muro diafragma para la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao.

1.3 OBJETIVOS DE ESTUDIO

1.3.1 Objetivo General

Describir los procesos constructivos de muro diafragma y sus controles ejecutados para mejorar la construcción de la Estación 02 de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Evaluar los controles de parámetros de lodo bentonítico presentes en la excavación y antes del colado.
2. Evaluar los controles de la colocación de armadura de refuerzo.
3. Evaluar los controles de colado de muro diafragma con tubería tremie.

1.4 ANTECEDENTES

En el Perú, la aplicación de muros diafragma para la ejecución de túneles de transporte urbano como es el caso de la Línea del Metro es una tecnología poco conocida. Así mismo en el medio es escasa la información referente al tema, por

lo que es necesario recurrir a bibliografía extranjera, que por lo general está en un idioma diferente al español. Ello puede ser un obstáculo para controlar adecuadamente los procesos constructivos de la ejecución de estos tipos de estructura.

Padilla, A., Pando, L., Soto, N. (2017) en la tesis para optar el grado de maestro “Análisis de los procesos constructivos cut and cover para evaluar el plazo y costo de la construcción de una estación subterránea típica” concluye que el principal problema que se encuentra, está asociado a los procesos constructivos, no se cuentan con ratios del planeamiento y debido a ello se presenta mucha incertidumbre en la construcción de estaciones subterráneas en la ciudad de Lima, originado por falta de antecedentes de construcciones similares, es por tal motivo que se tiene la necesidad de investigar y comparar las distintas metodologías y alternativas que se están ejecutando actualmente, evaluando las ventajas o desventajas de los diferentes métodos de construcción, teniendo en cuenta la optimización en tanto el plazo como en el costo del proyecto.

En la ciudad de Lima es muy preocupante el déficit de infraestructura vial con la que se cuenta, se tiene sin duda la necesidad de implementar de manera urgente y simultánea construcciones de diversos tipos de obras viales, que en su mayoría debería de ser subterráneas, lo que generaría durante su proceso de ejecución un mayor caos en el tráfico a lo que ya se tiene, sin embargo eso sería si es que se realiza con los sistemas tradicionales de construcción que se ejecutan en Lima; por lo que el autor propone proyectos que conlleven la utilización de muros diafragma para minimizar la interrupción del tráfico en la superficie, generando así una menor intervención en el tránsito vehicular y un menor tiempo de la interrupción. El hecho de que aún no se haya usado varios métodos constructivos para obras viales, que se usan desde hace décadas en países más desarrollados que Perú, tales como muros diafragma, muros pilote, etc., hacen pensar que tal vez estas tecnologías no sean de conocimiento de los ingenieros de las administraciones públicas encargadas de la infraestructura pública; por lo que es necesario iniciar una campaña de difusión de sus importantes ventajas. (Calderón, 2014)

Chiri, L., Mendoza, P., Poma, E. (2019) en su trabajo de investigación para maestría “Aplicación de la metodología Top Down en la construcción de

estaciones de metro” nos permite conocer de esta nueva metodología del Top – Down, en la cual se está utilizando actualmente en la construcción de Estaciones para la Línea 2 del Metro de Lima, buscando con esta nueva tecnología el menor impacto social. En el cual concluyen que en base a los cálculos de ejecución entre la metodología Top Down y la metodología tradicional Botton Up, al aplicar la metodología Top Dow en la Estación 23 de la Línea 2 se logra optimizar su ejecución en un 12%, considerando principalmente que este proyecto solo llega al nivel de la superficie, siendo así un gran punto a favor a la hora de restablecer el tránsito vehicular, rehabilitándolo mucho más rápido. Así también concluyen que la metodología Top Down tienen unos procesos sofisticados debido a la intervención de tecnología que no se cuenta en el país y maquinaria escasa para este tipo de construcciones.

En la Universidad Nacional Autónoma de México, Fuentes Mario (2013) en su tesis profesional “Muro diafragma una alternativa de construcción para excavaciones verticales” hacen mención que en un principio los muros diafragma se empleaba exclusivamente para la construcción de cortinas impermeables en el terreno, actualmente se utilizan en gran número de elementos (pozos circulares profundos, accesos a túneles, obras hidráulicas para control de avenidas o plantas de bombeo, cajones para alojar el tren subterráneo, muros de contención provisionales o definitivos, etc.). El autor concluye que el muro diafragma es una técnica de contención de terrenos más fiable por su mayor inercia y por la contención de aguas evitando la pérdida de finos, este procedimiento ha resultado el más favorable, tanto por lo económico como por lo rápido de la construcción, comparado con otros métodos. (Fuentes, 2013)

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Cimentaciones

La cimentación es el elemento que recibe los esfuerzos de la estructura y los transmite al terreno garantizando que las tensiones sean inferiores a las admisibles de éste y los asentos compatibles con la deformabilidad de aquélla. (CEDEX, 2012)

Según que el terreno es capaz de compatibilizar asentos y deformaciones se encuentre próximo a la superficie o en profundidad, se utilizan las cimentaciones superficiales y las profundas. Otro nombre de estas cimentaciones profundas es el de cimentaciones indirectas, poco usado en la actualidad, a pesar de ser quizá más exacto ya que indica que debajo de la construcción se colocan unos elementos suplementarios que ya no pertenecen realmente a ella, y cuya misión es transmitir o diluir las cargas. La cimentación por pilotajes es la más antigua y la más extendida de las cimentaciones profundas. (CEDEX, 2012)

2.1.2 Cimentaciones profundas

Son aquellas en las que la relación profundidad /ancho (D_f/B) es mayor a cinco (5), siendo D_f la profundidad de la cimentación y B el ancho o diámetro de la misma. (E0.50, 2018).

Cuando la ejecución de una cimentación superficial no sea técnicamente viable, se debe contemplar la posibilidad de realizar una cimentación profunda. (CEDEX, 2012)

2.1.3 Muro diafragma

El muro Milán, diafragma o pantalla se puede definir como una pared tablestaca de concreto reforzado conformada en el subsuelo, es un ingenio constructivo que ha influido notablemente en la construcción de estructuras alojadas en el subsuelo y sistemas subterráneos de transporte urbano en muchas ciudades del mundo; su función principal es la de servir como elemento de sostenimiento temporal de zanjas longitudinales abiertas en la masa del suelo y también se ha empleado extensamente para estabilizar excavaciones profundas para la construcción de cimentaciones. (Santoyo, 2002)

Cabe advertir que en varios países de habla hispana se conoce como Muro Pantalla, pues en Lima se está erróneamente denominando “muro pantalla”, a los muros anclados bajantes que se están usando para sostener las excavaciones de los sótanos de los edificios de construcción. (Calderón, 2014)

Los muros diafragma de concreto armado son paneles vaciados in situ, contruidos a partir de la excavación de zanjas profundas, sin necesidad de encofrado ni de entibación, se logra mediante maquinaria especializada, las paredes se sostienen con lodos estabilizantes.

Los muros diafragma son estructuras lineales que al principio éstas estructuras trabajan como muros de apuntalamiento durante la construcción, para luego ser parte de los muros del sótano. Su función principal es de contener cortes verticales en cualquier tipo de excavación subterránea. Por ende, éstas estructuras son catalogadas como “apuntalamientos de construcciones existentes” de acuerdo a la Norma Técnica de Metrados del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú.

Un muro diafragma es un muro de contención que tiene por lo tanto la función de resistir los empujes del terreno en su trasdós sin romper estructuralmente ni deslizar o volcar. Es una estructura flexible que experimenta deformaciones de flexión. (González, 2008)

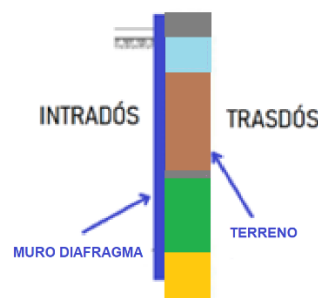


Figura N°2.1 Esquema de un muro diafragma.

Fuente: Elaboración propia.

El trasdós pertenece al lado del muro donde se encuentra el terreno que va a contener el muro diafragma y cumplir la función de muro de contención. Mientras que el intradós pertenece al lado del muro donde se realizan las excavaciones, que sería la parte interna de la estación subterránea.

2.1.4 Lodos bentoníticos

Los lodos bentoníticos son mezclas de agua con bentonita. La bentonita es una arcilla muy fina del tipo montmorillonita.

Los lodos sirven para sostener las paredes de perforaciones o excavaciones y tienen la propiedad de formar una delgada costra en contacto con el suelo denominada con el anglicismo cake, cuya doble función es evitar que el lodo penetre en el suelo y además que forme una membrana de baja permeabilidad. (Santoyo, 2002)

Las bentonitas que se emplean en perforaciones sufren tratamientos químicos (cambios de iones) y mecánicos (molturación muy energética), que acentúan un conjunto de propiedades muy interesantes (Ordura, V., Ordura, A., 2015):

Las características más importantes de los lodos, en el cual se deben considerar al momento de estabilizar la zanja, son los siguientes:

- a. Densidad: Está es la más importante propiedad de los lodos como agentes estabilizadores de las excavaciones en suelo finos, el valor recomendable es de 1.03 a 1.07t/m³. (Santoyo, 2002)
- b. Viscosidad: Está propiedad es una medida de la resistencia interna de la mezcla, a mayor viscosidad mayor la resistencia, se acostumbra definirla con el cono de Marsh como el tiempo que tomara para salir un litro de lodo. (Santoyo, 2002)
- c. Filtración: Pérdida de fluido.
- d. pH: Soluciones neutras tienen un pH igual a 7, ácidas inferior a éste y alcalinas superior. (Santoyo, 2002)
- e. Contenido en arena: En excavaciones o perforaciones una pequeñísima cantidad de arena es deseable, en cambio una excesiva cantidad resulta inadecuada ya que forma una costra de mayor espesor lo que la hace quebradiza. (Santoyo, 2002)
- f. Cake: Deposito fino de pasta formado por las partículas de bentonita que se depositan al drenar el agua de la suspensión al terreno a través de los bordes de la excavación al ir ésta progresando. Este cake permite que se mantenga la presión de la suspensión de bentonita sobre la presión intersticial de modo que los bordes de la excavación puedan permanecer estables. (AENOR, 2016)

La densidad, viscosidad, cake, contenido de arena, y el filtrado son medibles por medio de ensayos descritos en un documento publicado por el American Petroleum Institute Titulado “Recommended Practice Estander Procedure for Field Testing Water_Based Drilling Fluids”

Ensayos para controlar las propiedades del lodo bentonítico:

- Para determinar la densidad se debe colocar la muestra de un fluido en una balanza tipo Baroid y a través de esta se obtiene el valor de la densidad.
- Para obtener la viscosidad de Marsh se da según la duración en segundos del paso de un volumen de 946ml por el orificio de un cono.
- El filtrado se obtiene mediante el filtro-preso LPLT que es usado para medir la filtración y las propiedades de la pared que construyen el fluido de perforación. El filtrado es la pérdida de fluido medida en mm a través de un papel filtro especial.
- El valor del cake se obtiene midiendo el espesor en mm al centro del papel filtro que contiene la solución de bentonita.
- El PH se obtiene mediante los indicadores coloridos de pH (o indicador ácido – básico).
- El contenido de área se emplea mediante el análisis granulométrico, se usa un tamiz #200 para separar la arena y otras partículas del fluido de perforación.

Según la norma EN 1538:2011: E, se recomienda mantener los parámetros del lodo bentonítico de cada etapa en los siguientes valores:

Tabla N° 2.1 Parámetros del lodo bentonítico.

PROPIEDAD	ETAPAS		
	NUEVO	RE - USO	ANTES DE COLAR
Densidad (g/cm ³)	< 1.10	N/A	< 1.15
Viscosidad (s)	32 a 50	32 a 60	32 a 50
Filtrado (cm ³)	< 30	< 50	N/A
Ph	7 a 11	7 a 12	N/A
Cake (mm)	< 3	< 6	N/A
Contenido arena (%)	N/A	N/A	< 4

Fuente: EN 1538:2011: E

2.1.5 Juntas de colado

Las juntas para los muros Milán son piezas de acero que permiten confinar temporalmente uno o los extremos verticales de uno de sus módulos durante el proceso del vaciado de concreto. (Santoyo, 2002)

Las juntas tienen que cumplir las siguientes características:

- Resistir la presión del concreto fresco sin experimentar deformación y sin permitir la fuga lateral del concreto. (Santoyo, 2002).
- Proteger al panel previamente colado de los impactos de la cuchara bivalva y permitir la excavación del panel adyacente. (Santoyo, 2002).

2.1.5.1 Juntas trapezoidales

Son estructuras metálicas rectas que forman un prisma recto de base trapezoidal. Se presentan las juntas trapezoidales en tramos de 3, 6 y 9 metros, en el cual se van empalmando mediante sistema macho – hembra. Y con la longitud total de junta que se requiere según la profundidad del panel, se irá trabajando con ello durante todo el proyecto.

El ancho de la junta es siempre menor que el espesor de la pantalla con el fin de poder maniobrar con ella, por ejemplo, para paneles de 1200mm, el ancho de la junta será de 1140mm, así como se puede apreciar en la figura N°2.2.

El lado de la junta que está en contacto con el concreto fresco deberá de ser perfectamente lisa y recta, ni tampoco deberá tener agujeros y oquedades donde

pueda penetrar el concreto fresco, todo ello con el fin de no tener dificultades al momento de su extracción del panel colado.

Esta junta trapezoidal tiene la particularidad de que se puede instalar el wáter – stop en la parte trapezoidal mejorando la impermeabilidad de la junta.

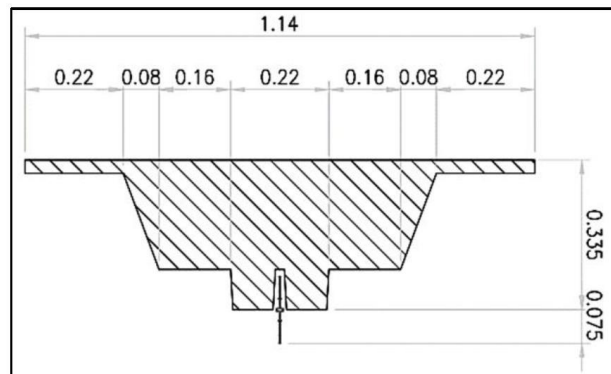


Figura N°2.2 Sección transversal de junta trapezoidal de 1140mm.

Fuente: COAATEEEF, 1983

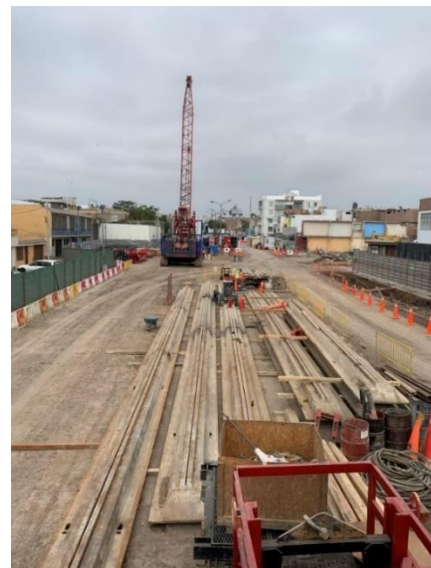


Figura N°2.3 Juntas trapezoidales de 1140mm.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.6 Panel

Tramo de muro pantalla hormigonada como una sola unidad. Puede ser lineal, en forma de T, en forma de L, o de otra configuración. (Grupo de trabajo conjunto EFFC – DFI para el hormigón, 2019)

2.1.7 Concreto tremie

Concreto capaz de fluir en el interior del encofrado o molde, llenándolo de forma natural, pasando entre las barras de armadura y consolidándose únicamente bajo la acción de su peso propio, sin ayuda de medios de compactación, y sin que se produzca segregación de sus componentes. (Ministerio de Fomento, 2000)

La reología determina el éxito de la puesta en obra y la calidad del producto final (por ejemplo, su durabilidad). (ATESS, 2018)

Las características de este tipo de concreto fresco son:

- Trabajabilidad: término general que define la capacidad del concreto para rellenar la excavación, auto nivelándose y auto compactándose por gravedad (ATESS, 2018).
- Retención de la trabajabilidad: definiendo cuánto tiempo se conservarán las propiedades especificadas en el concreto fresco (ATESS, 2018).
- Estabilidad: resistencia a la segregación, exudación y filtración (ATESS, 2018).

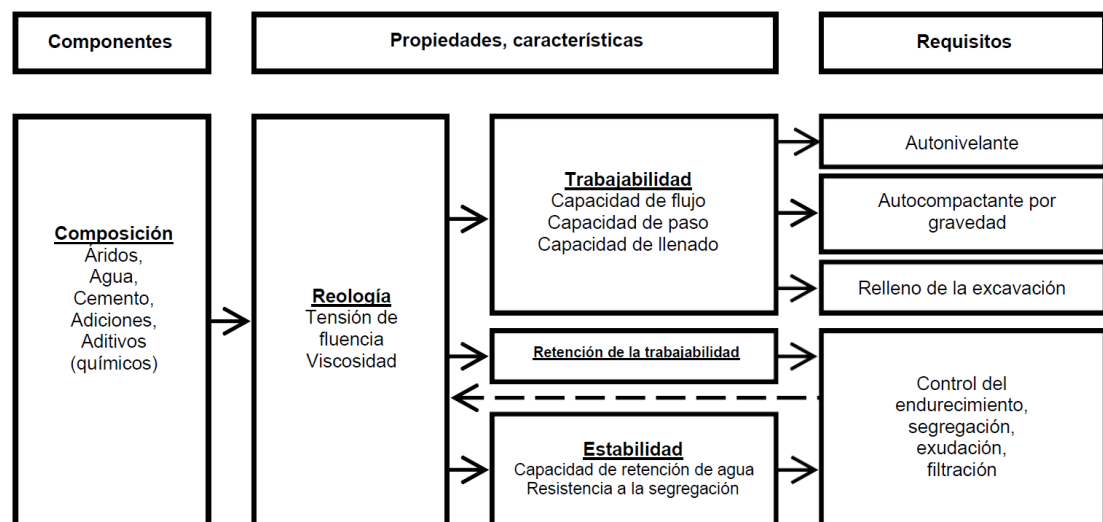


Figura N°2.4 Dependencia entre composición, reología y características relacionadas, y los requisitos generales.

Fuente: Grupo de trabajo conjunto EFFC – DFI para el hormigón, 2019

2.1.8 Tubería tremie

La tubería tremie es la unión de tubos de acero que presentan juntas estancas. Para colar un panel es necesario formar la línea tubería tremie, esto con la finalidad de llegar al fondo de la excavación evitando la contaminación del

concreto con el lodo bentonítico, la línea de tubería tremie consta en su parte superior de un embudo por donde se vierte el concreto.

Los tubos tremie deben tener un diámetro interior mínimo de 150mm (6 pulg.). Se utiliza comúnmente diámetro de 250mm. Los tubos tremie deben ser de acero, pues el aluminio reacciona con el concreto. (ATESS, 2018)

Los tramos de tubería tremie son empalmados mediante acoplamientos que les permite sellarlos y ser herméticos al paso del agua, con el fin de que el fluido de perforación no ingrese y pueda contaminar al panel durante el proceso de colado. Estos tramos de tubería tremie tienen longitudes generalmente de 0.5m hasta 4.0m, es muy preferible los tramos que tienen longitudes más largas ya que tendrían menos juntas en la longitud total de la tubería tremie, sin embargo tienen que considerarse diferentes factores para escoger la longitud del tramo de tubería a necesitar, como por ejemplo la profundidad de la excavación, la altura del embudo, el empotramiento para el retiro del primer tramo de tubería, así también deberán de tener un almacenamiento adecuado que le permita realizar una limpieza dejándolos sin partículas de concreto.



Figura N°2.5 Línea de tubería tremie.

Fuente: Elaboración propia.

2.1.9 Método tremie

Método de colocación de hormigón mediante el uso de un tubo tremie, con el fin de evitar la segregación del hormigón y su contaminación por el fluido interior de la excavación, donde el tubo tremie, después de la colocación inicial, permanece sumergido en el hormigón previamente colocado y trabajable hasta la finalización del proceso de hormigonado.

La tubería tremie debe permanecer embebida en el concreto fresco como mínimo 6m antes de extraer el primer tramo de tubería desde el comienzo del vaciado. Inmediatamente después de extraer cada tramo de tubería, la profundidad de la tubería tremie sumergida no debe ser menor de los 3m.

Algunos autores refieren al “punto de equilibrio hidrostático”, cuando la fuerza de gravedad dentro del tremie está en equilibrio con la resistencia al flujo. El concreto que se añada por encima del punto de equilibrio hidrostático hará que el concreto fluya, y cuanto mayor sea la velocidad del vertido, más rápido será el flujo por la salida de tremie. (Grupo de trabajo conjunto EFFC – DFI para el hormigón, 2019)

En base a la cantidad limitada de datos de ensayos de campo y a simulaciones de modelado numérico, se cree que el flujo abombado es el tipo de flujo más común en los vertidos profundos de tremie; se entiende que el concreto fresco, después de salir del tubo tremie e ir hacia arriba, genera un flujo laminar para una distancia particular dentro de una zona central de la excavación, siguiendo el camino de menor resistencia al flujo (en torno al tubo tremie) y extendiéndose hacia fuera al llegar a la parte superior del hormigón; el concreto más viejo es desplazado hacia arriba y hacia los lados para luego ser “embutido” hacia dentro de la circunferencia exterior de la excavación donde sigue habiendo una resistencia al flujo relativamente alta; por tanto, el flujo abombado es habitual, especialmente en cimentaciones profundas en las que las armaduras suponen un obstáculo importante al flujo vertical; una superficie de excavación rugosa también puede impedir el flujo del hormigón y contribuir al flujo del abombado. (Grupo de trabajo conjunto EFFC – DFI para el hormigón, 2019)

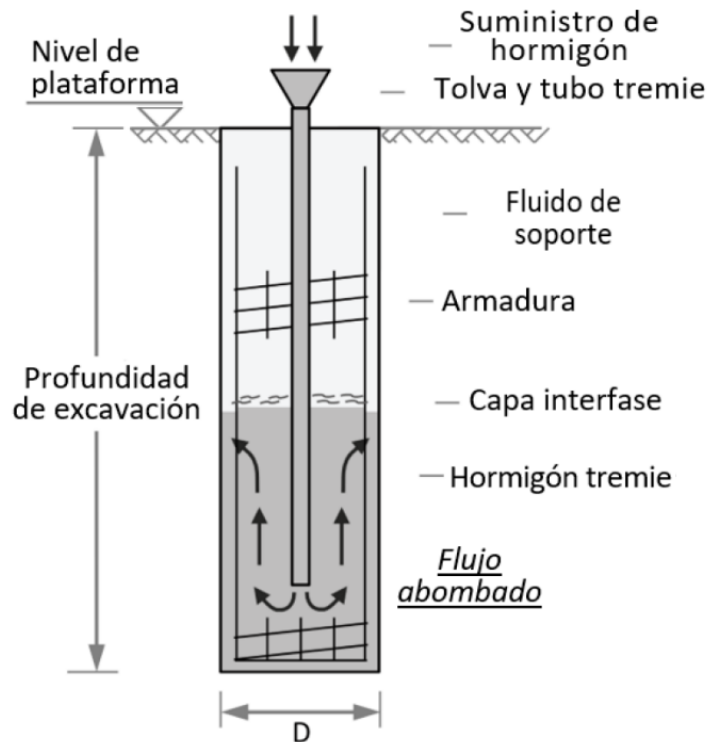


Figura N°2.6 Esquema de flujo abombado.

Fuente: Grupo de trabajo conjunto EFFC – DFI para el hormigón, 2019

De todo ello se puede concluir que luego de realizar el primer vaciado del mixer, ese concreto que ingreso primero, mediante la tubería tremie, al terminar el colado del panel jamás se va a encontrar en la parte superior, ya que ese concreto buscará establecerse en la parte extrema de los paneles, todo ello debido a la rigidez propia del concreto que es menor alrededor de la tubería tremie, mientras que en la parte más alejada se endurece mucho más rápido.

2.1.10 Equipo de excavación

Para lograr realizar la excavación del panel se requieren equipos especiales que permitan desarrollar la actividad según se tenga las condiciones del terreno a excavar. Generalmente para realizar las excavaciones de los muros diafragmas se utilizan las cucharas bivalvas especiales montadas en grúas, también conocidas como almejas.

Las máquinas modernas han tendido a ser cada vez más grandes y fuertes, para hacerlas capaces de funcionar en cualquier terreno; para una de ellas, le es igual operar en suelos con aluvión grueso y con intercalaciones de suelos duros, ya que el peso de las almejas o el empuje de los kellys rompe esas limitaciones. Pero paradójicamente resultan ser máquinas muy sobradas para suelos muy blandos; las máquinas para excavar zanjas para muro Milán han sido diseñadas para operar en cualquier tipo de suelo es decir son capaces de operar hasta en suelos muy duros; conviene reconocer que los constructores de máquinas tienen el reto de seguir diseñando máquinas especializadas para los suelos blandos, como alternativa necesaria para reducir el costo de los muros y que los mecanismos hidráulicos permiten hasta imaginar que se podrán construir en el país. (Santoyo, 2006)

Las máquinas comunes son las siguientes:

- Almejas mecánicas de caída libre.
- Almejas hidráulicas de caída libre.
- Perforadoras de circulación inversa.
- Almejas hidráulicas guiadas con Kelly
- Hidrofresa.

La selección de la máquina adecuada para un caso particular está en función de la profundidad, disponibilidad de la maquinaria, magnitud del proyecto y del tiempo y costo disponibles. (Santoyo, 2006)



Figura N°2.7 Almeja hidráulica guiada con Kelly.
Fuente: Elaboración propia.



Figura N°2.8 Hidrofresa.
Fuente: Elaboración propia.

2.2 MARCO CONCEPTUAL

2.2.1 Brocal o Muro guía

Son pequeños muros paralelos de concreto ligeramente armados provisionales que se construyen encima de donde se va a desplantar en muro diafragma. Presentan una sección aproximada de $G=25-30$ cm de anchura por $C=100$ a 150 cm de altura, separados el ancho de la cuchara más 1"-2" de holgura. (figura 2.10)

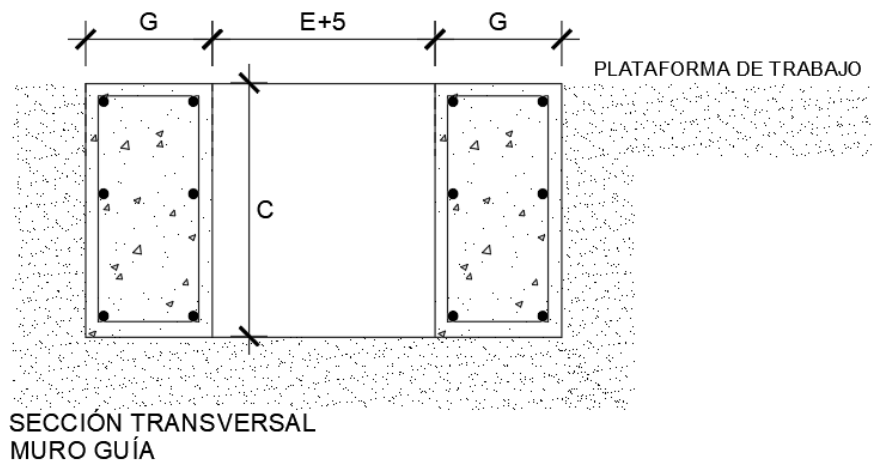


Figura N°2.9 Sección transversal del muro guía.

Fuente: Elaboración propia.

Sus funciones principales son:

- Guía inicial para la herramienta de excavación evitando desmoronamientos en las paredes de la superficie, que se producirían fundamentalmente por las cargas que trasmite la propia maquina y sus posteriores maniobras.
- Evitar el hundimiento de la zanja en la zona de fluctuación del fluido de excavación.
- Soporte de los armados durante el proceso de colocación de las mismas a la excavación y facilitar el empalme de un armado con otro en caso lo hubiese, así también sirve como soporte de la jaula en su posición final durante el proceso de colado.
- Soporte de tubería tremie durante el colado.
- Ubicación y referencia de los paneles.

2.2.2 Central de lodos

Para poder realizar la excavación de la zanja es necesario contar con una central de lodos bentoníticos. Esta central de lodos se sitúa generalmente en áreas cercanas a donde se va a desarrollar los muros diafragma, también se debe de considerar ubicar en una zona donde no dificultará el traslado o movimiento del equipo de excavación y la grúa auxiliar, ya que la central de lodos permanecerá fija durante toda la ejecución de los muros diafragma. Tiene como principal función la fabricación de lodo bentonítico, su almacenamiento, reciclado y desarenado del mismo.

La central de lodos esta equipada con tanques de almacenamiento de agua y para fluidos de perforación (silos y/o tanques australianos), un digestor en la cual nos permita mezclar y generar el lodo de perforación, un desarenador que nos permita limpiar el lodo para que se encuentre dentro de los parámetros según la norma, bombas sumergibles para el traslado adecuado de lodo.

El lodo bentonítico en todo momento debe estar en permanente agitación mediante el sistema de aire instalado en los tanques australiano. (ver Figura N°2.10)

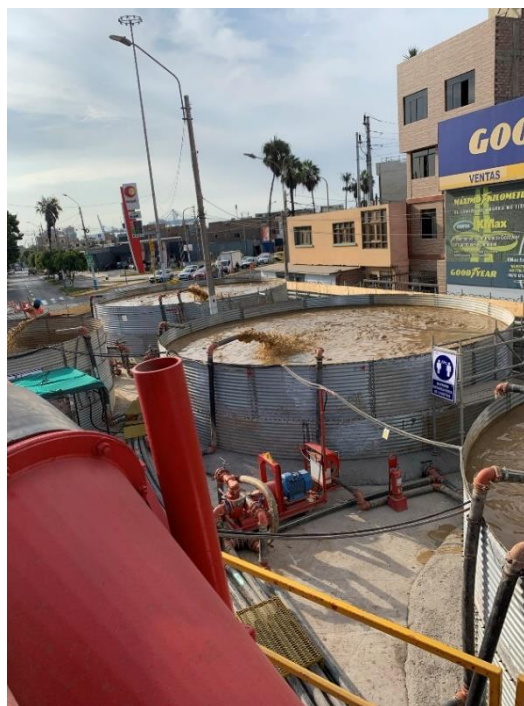


Figura N°2.10 Lodo bentonítico en constante agitación.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°2.11 Tanques de almacenamiento de agua, silos (izquierda) y tanques australianos para almacenamiento de fluido de perforación (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

El digestor tiene la función de mezclar a alta turbulencia el fluido de excavación, en este se agrega el agua y seguidamente la bentonita en la dosificación diseñada para su preparación. La dosificación del lodo bentonítico dependerá del tipo de suelo en el cual se desarrolla los muros diafragma.

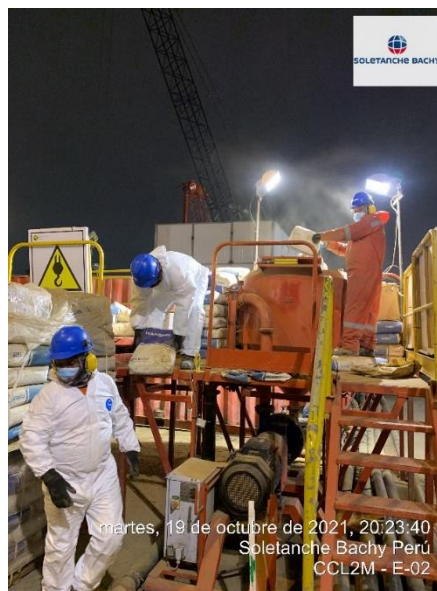


Figura N°2.12 Preparación de fluido bentonítico en el Digestor.

Fuente: Elaboración propia

El desarenador tiene como función principal la limpieza del lodo bentonítico que está expuesto de arenas y limos presentes durante el proceso de excavación del panel, para así encontrarse dentro de los parámetros indicados en la norma, y pueda ser reutilizado en otras excavaciones posteriores.

El desarenador funciona mediante vibración de zarandas, luego del ingreso del lodo contaminado o sucio al desarenador, por medio de vibración de zarandas y ciclonados se separa la arena y limos, recuperando el lodo sano para su reutilización y es enviado a los tanques de almacenamiento.



Figura N°2.13 Desarenador.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.3 Panel

Antes de iniciar con los trabajos propios de la construcción del muro diafragma, en el proceso de diseño se elabora un plano en planta que cuenta con la distribución de los paneles del proyecto, a esto se le llama “panelado”.

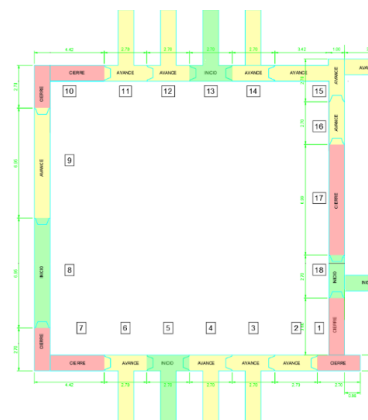


Figura N°2.14 Panelado de un sector del PV01.

Fuente: Elaboración propia.

En dicho “panelado” se observa 3 tipos diferentes de paneles para su ejecución “INICIO”, “AVANCE” y “CIERRE”.

Panel de INICIO: Se construye aisladamente, no existiendo panel contiguo alguno. Se ejecución de este tipo de panel requiere de dos juntas planas, una en cada extremo del panel. Son los primeros paneles a ejecutarse, sin embargo, pueden quedar algunos para ejecutarse durante el proyecto.

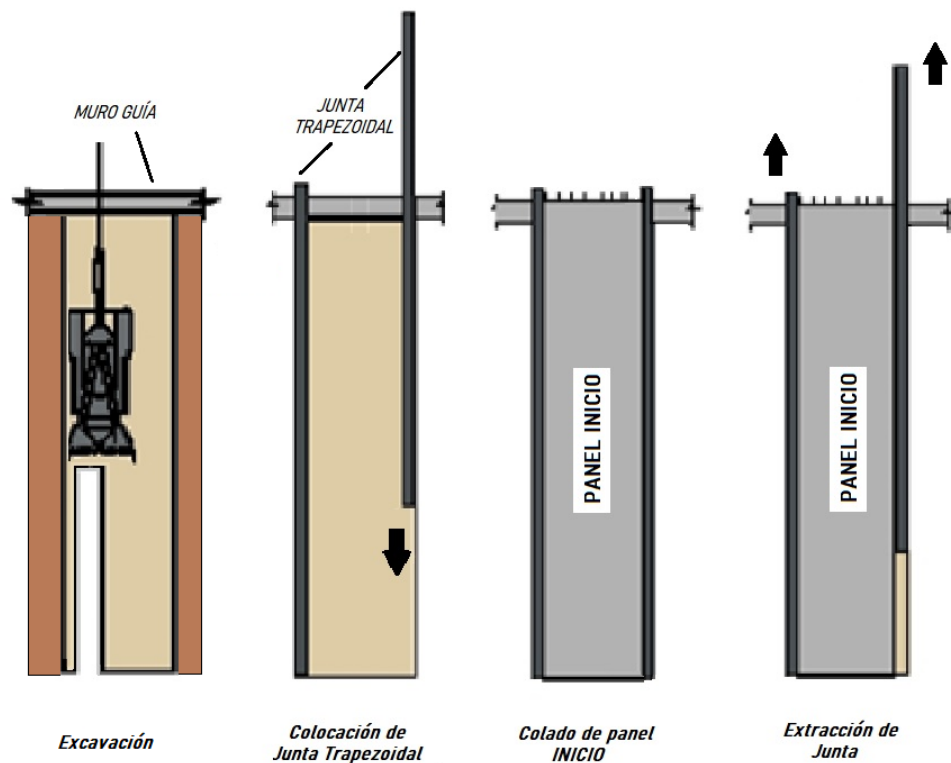


Figura N°2.15 Ejecución de panel de Inicio.

Fuente: Elaboración propia

Panel de AVANCE: Se hace la perforación guiada por un panel contiguo. Son ejecutados luego de los paneles de INICIO, el panel contiguo es uno de inicio o uno mismo de avance, por lo que requieren la colocación de una junta trapezoidal en el extremo más alejado del panel previamente ejecutado.

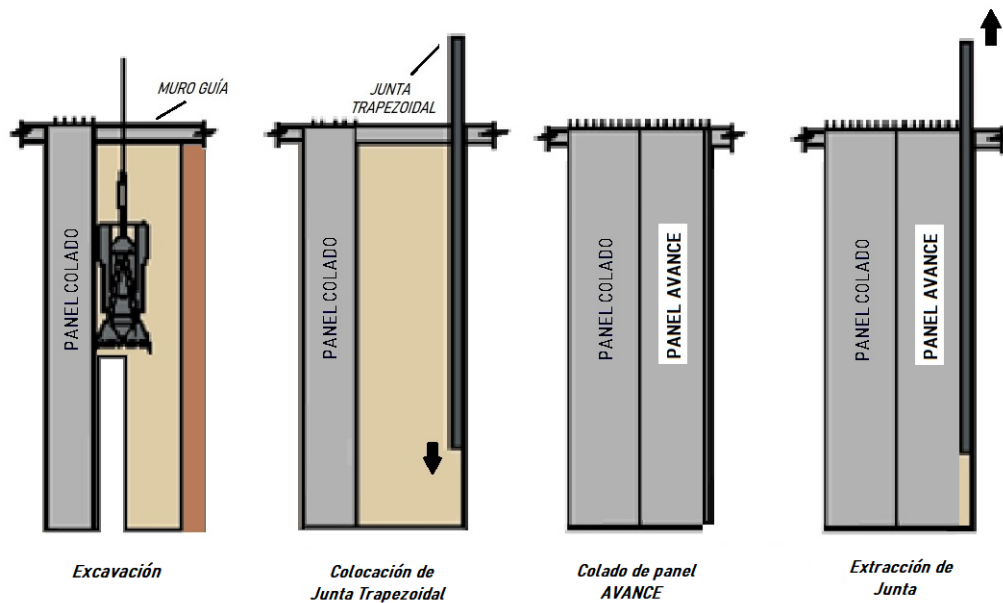


Figura N°2.16 Ejecución de panel de Avance.

Fuente: Elaboración propia

Panel de CIERRE: Se perfora entre paneles ya ejecutados y sin necesidad de colocación de juntas trapezoidales. Son los últimos paneles ejecutados generalmente, sin embargo, puede desarrollarse algunos paneles de “cierre” a mediados del proyecto por motivos de cerrar un tramo o por situaciones constructivas.

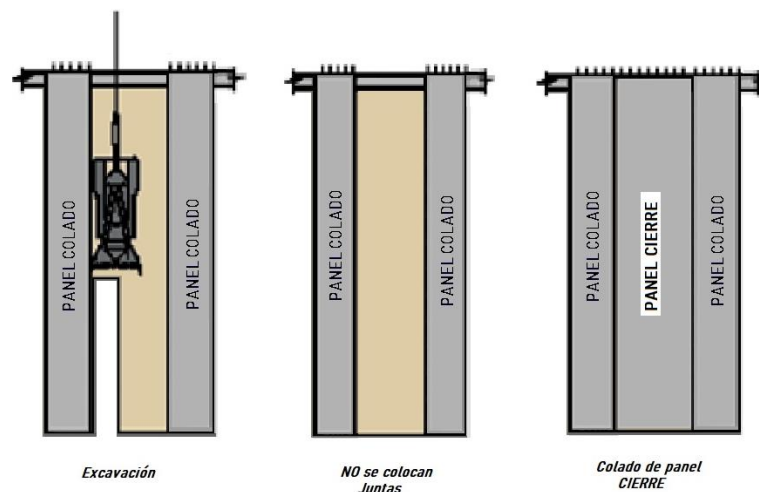


Figura N°2.17 Ejecución de panel de Cierre.

Fuente: Elaboración propia.

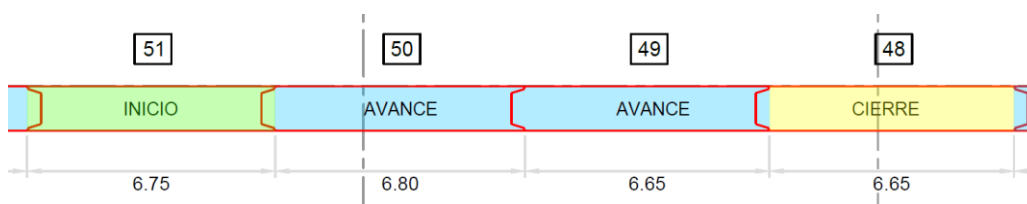


Figura N°2.18 Esquema de tipos de paneles.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III: GENERALIDADES DEL PROYECTO

3.1 EDO DEL PROYECTO

El organigrama como subcontratista encargado de ejecutar la construcción de los muros diafragma se muestra en la Figura N°3.1

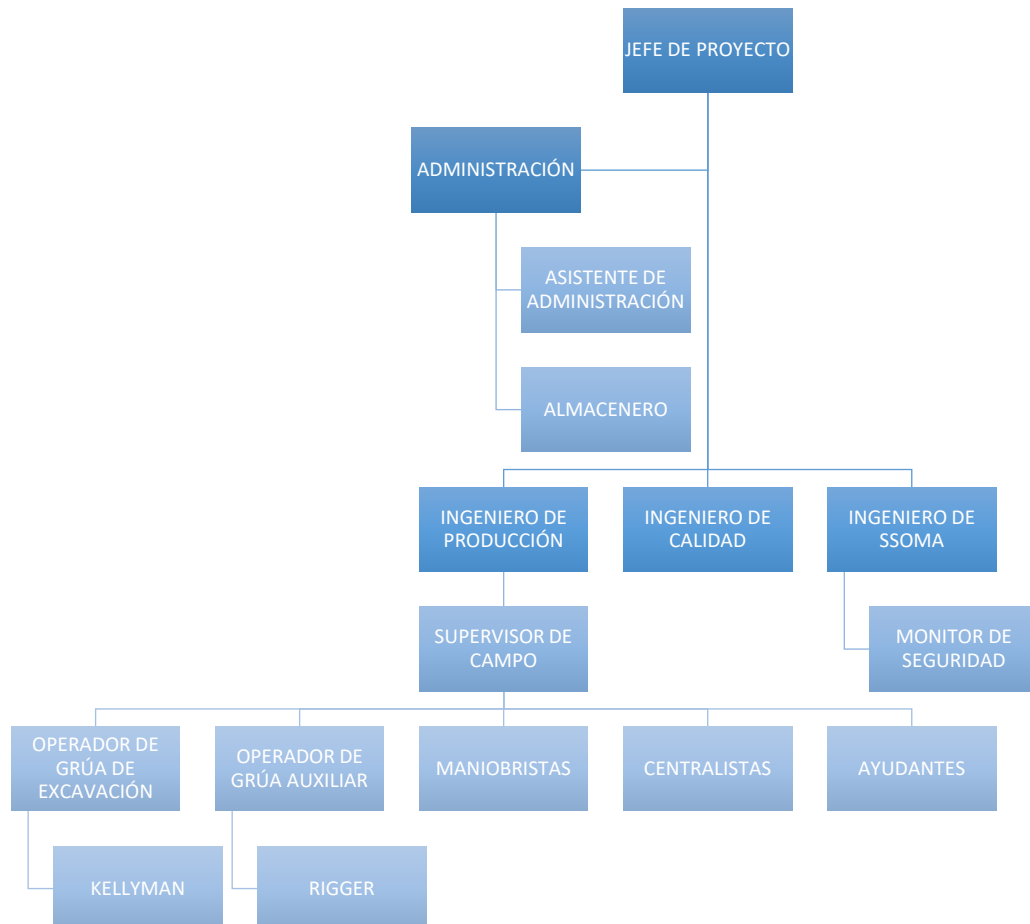


Figura N°3.1 EDO del proyecto

Fuente: Elaboración propia.

El presente TSP fue elaborado desde la posición jerárquica de asistente de producción, en el cual es responsable del cumplimiento de la programación de obra, rendimiento y exigir que los trabajos sean ejecutados de acuerdo a los procedimientos en cada etapa.

3.2 PROYECTO

En el Trabajo de Suficiencia Profesional solo se ha abordado el estudio de los muros diafragma empleados en la construcción de las obras subterráneas, como el caso de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao, dentro del cual la Estación 02 ha

sido el área de estudio. Sin embargo, dados los objetivos planteados, el presente TSP puede ser un gran apoyo e importante fuente bibliográfica de muros diafragma que son construidas en otro tipo de obras, como puede ser las demás Estaciones y pozos de ventilación de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao u otros proyectos similares.



Figura N°3.2 Trazo de plataforma para desarrollo de muros diafragma en la E2.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1 Ubicación

La Estación N°02 Buenos Aires se encuentra ubicado entre la Av. Oscar Benavides con Av. Guardia Chalaca en el distrito de Bellavista en Provincia Constitucional del Callao

El proyecto comprende la ejecución de muros diafragma de la Estación E02 – Buenos Aires que forma parte de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao (27 km de la Línea Este - Oeste y 8km del tramo Av. Elmer Faucett – Av. Néstor Gambetta)



Figura N°3.3 Ubicación de la E-02 Buenos Aires

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Características del proyecto

El Contratante es el Ministerio de Transportes y Comunicaciones siendo el Contratista el Metro de Lima Línea 2 S.A. y la subcontrata encargada de ejecutar los muros diafragma es la empresa Soletanche Bachy Perú SAC.



Figura N°3.4 Cartel de obra.

Fuente: Elaboración propia.

El proyecto comprende la ejecución de 65 paneles de un espesor de 1,200mm incluyendo la colocación de armadura de refuerzo, instalación de juntas y colado, con un total de 12,455.82m² de excavación, el desplante de estos muros es variable y alcanza una profundidad máxima de 36.5m.

El máximo peso total de una jaula de armado es de 37.74 toneladas, siendo está un empalme roscado por tramos en el interior del panel.

El ancho de los paneles varía entre 2.7m y 7.0m considerando que el ancho de la cuchara bivalva de excavación es de 2.7m de mordida, se tiene paneles que tendrán solo una posición de excavación y otros paneles de dos posiciones y merlón.

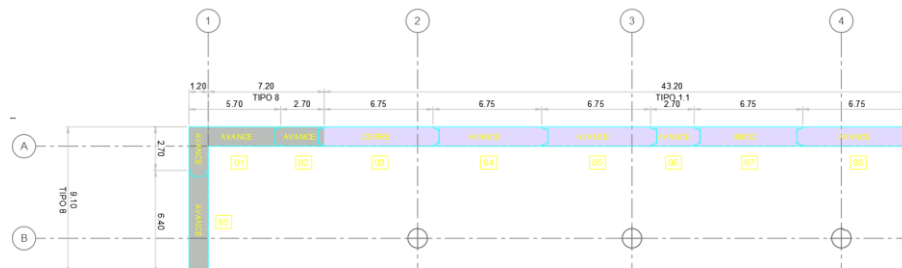


Figura N°3.5 Vista en planta de un sector de la E2.

Fuente: Plano de ejecución del CCM2L.

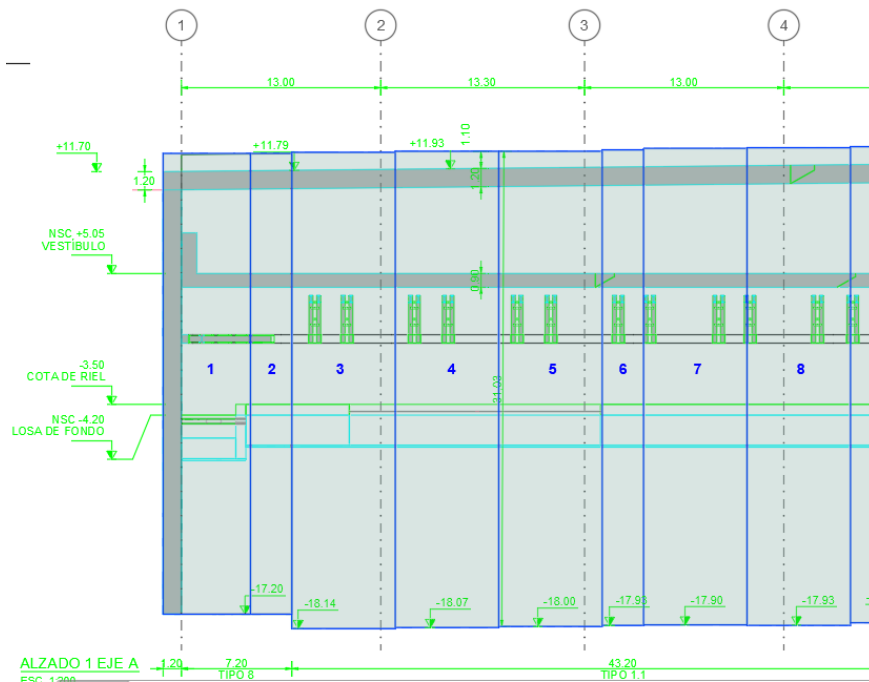


Figura N°3.6 Vista de perfil de un sector de la E2.

Fuente: Plano de ejecución del Consorcio Constructor Metro 2 de Lima (CCM2L)

El panel 1 como se puede mostrar en la Figura N°3.6 tiene una cota de desplante de -17.20 teniendo una profundidad de 28.99m, siendo está la longitud de excavación del muro diafragma. Mientras que la cota del nivel superior de losa de fondo es de - 4.20. La diferencia de estas cotas depende mucho de las características del tipo de terreno sobre el cual se tiene contemplado construir determinada estructura, el cual se logra a través de los Estudios Geotécnicos, que tiene por objetivo determinar la naturaleza y propiedades del terreno, necesarios para definir el tipo y profundidad de la cimentación, todo ello se desarrolla en la etapa de diseño del proyecto.

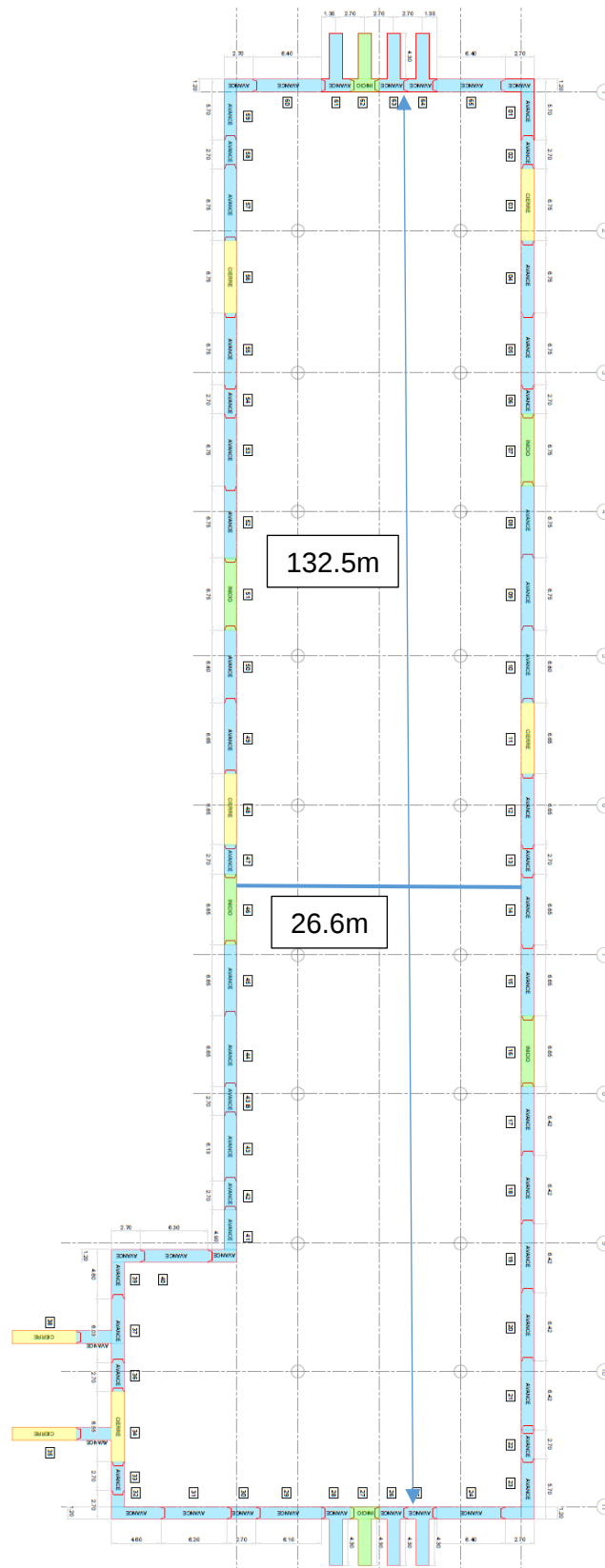


Figura N°3.7 Vista en planta de los paneles de la E2.

Fuente: Plano de ejecución del Consorcio Constructor Metro 2 de Lima (CCM2L).

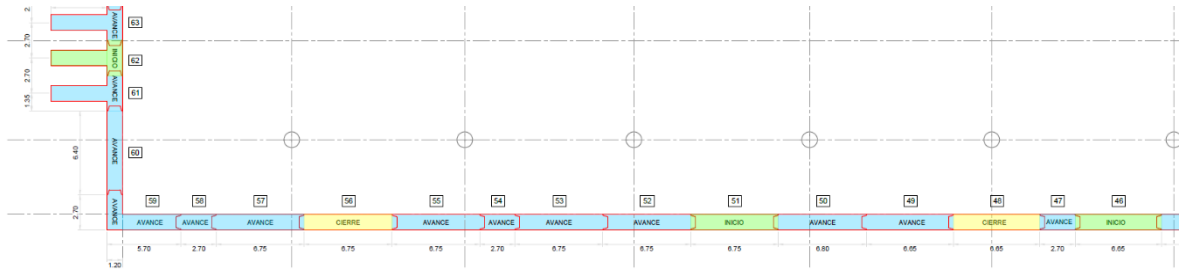


Figura N°3.8 Plan de modulación de muros diafragma
Fuente: Consorcio Constructor Metro 2 de Lima (CCM2L)

Es primordial que la excavación del panel se tenga expuesta la mínima cantidad de tiempo posible, ya que si no podría ocurrir derrumbes y existe mayor posibilidad de que el panel se contamine considerablemente, es por ello la importancia de planificar correctamente la secuencia de la excavación, colocación de acero y vaciado de concreto tremie.

Durante su ejecución pueden surgir inconvenientes no previstos, que pueden obligar a alterar parcialmente el plan de trabajo. En el caso de que aparezcan oquedades en el proceso de excavación de las pantallas y se haga necesario rellenarlas con consumos extras de morteros. (Ordura Vidal V., 2015).

3.2.3 Estratigrafía

Para realizar los trabajos de excavación, se tomó como referencia la estratigrafía suministrada por el cliente Consorcio Constructor Metro 2 de Lima (CCM2L).

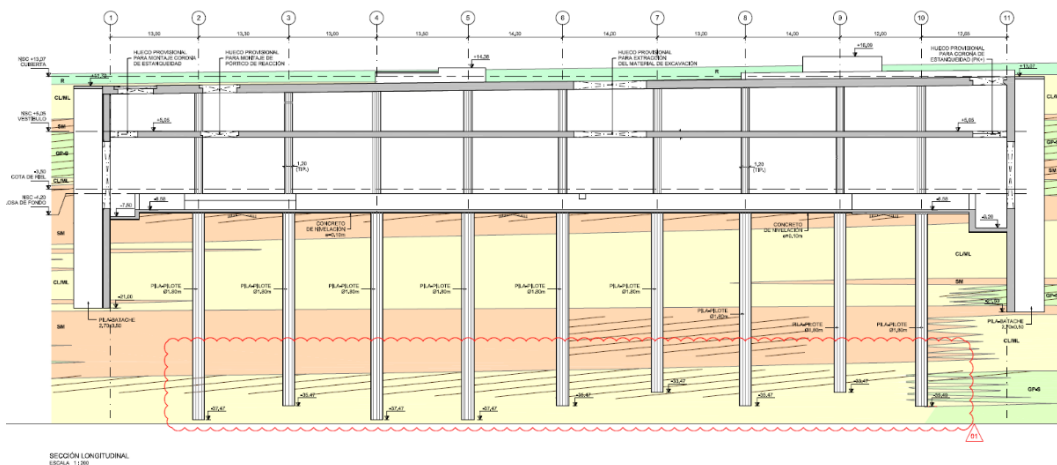


Figura N°3.9 Estratigrafía según el EMS de la E02.
Fuente: Consorcio Constructor Metro 2 de Lima (CCM2L).

LITOESTRATIGRAFÍA:	R		RELLENO, MEZCLA DE SUELOS POCO COMPACTADOS Y CONTAMINADOS.
	CL/ML		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD Y LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD.
	CL/ML		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA A MEDIA PLASTICIDAD Y LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD CON INTERCALACIONES DE ARENAS Y GRAVAS.
	SM		ARENAS LIMOSAS.
	SM		ARENAS LIMOSAS CON INTERCALACIONES DE ARENAS Y GRAVAS.
	GP-Ss		GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARENA, ARCILLA Y LIMO Y CON ARENA LIMOSA Y ARCILLOSA. GP-Ss = NIVEL POCO DENSO (V_s media = 448 m/s).
	GP-Sm		GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARENA, ARCILLA Y LIMO Y CON ARENA LIMOSA Y ARCILLOSA. GP-Sm = NIVEL MEDIO (V_s media = 684 m/s).
	GP-Sf		GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARENA, ARCILLA Y LIMO Y CON ARENA LIMOSA Y ARCILLOSA. GP-Sf = NIVEL DENSO (V_s media = 724 m/s).
	GP-S		GRAVA POBREMENTE GRADADA CON ARENA, ARCILLA Y LIMO Y CON ARENA LIMOSA Y ARCILLOSA, CON MATRIZ ARENOSA.
	A		SUSTRATO ROCOSO (ANDESITA, FORMACIÓN VENTANILLA).

Figura N°3.10 Litoestratigrafía según el EMS de la E02.

Fuente: Consorcio Constructor Metro 2 de Lima (CCM2L).

CAPÍTULO IV: PROCEDIMIENTO Y METODOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

4.1 CONSTRUCCIÓN DE BROCALES O MUROS GUÍA

La primera operación antes de la excavación de los muros diafragma, consiste en la construcción de una zanja guía de poca profundidad, para ello se construyó el muro guía con 1.20m de peralte y 40cm de grosor construido a ambos lados de zanja en la que se ubicará el muro diafragma.

Para su construcción el encofrado que se utilizó fue metálico. El espesor del muro guía fue de 1.25m, espesor del muro diafragma (1.20m) más 5cm, esto con el propósito de dar holgura de 5cm a la cuchara bivalva. El equipo de topografía estuvo perenne durante el proceso para dar el trazo y nivelación para su correcta ejecución.

No se desencofra hasta que haya pasado al menos 12 horas desde el vaciado del concreto, e inmediatamente se rellenará con tierra el espacio comprendido entre muros.



Figura N°4.1 Encofrado y desencofrado de muro guía.

Fuente: Elaboración propia.

El concreto del muro guía tuvo una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, es importante que los muros guía estén diseñados con esa resistencia porque en ellos se

suspenderán armaduras de 30 ton. y tener en consideración que mediante el contacto de la cuchara bivalva con el muro guía se tiene un desgaste.

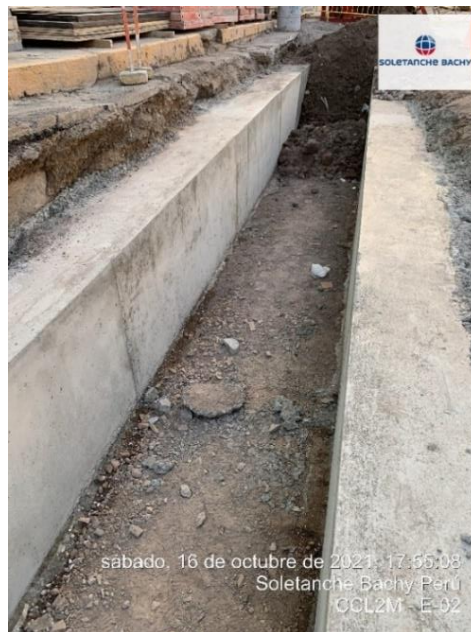


Figura N°4.2 Muro guía.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.1 Control de brocales o muro guía

Finalmente, para dar inicio a la excavación del panel se realiza el control del estado real de muro guía, mediante el protocolo “control de muro guía” (Ver anexo 1) tomando lo siguientes controles:

- Superficie de muro guía aplomada.
- Superficie de muro guía sin protuberancias.
- Muro guía diferenciado con respecto a los paneles contiguos.
- Muro guía se encuentra alineado.
- Sin interferencias de línea, ductos entre otros.
- Muro guía se encuentra identificado con N° de panel.



Figura N°4.3 Verificando que la superficie de muro guía este aplomada.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°4.4 Verificando que el muro guía se encuentre alineado y con el ancho correspondiente.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 EXCAVACIÓN DE PANEL

Desde los 3 a 4m de excavación del panel ya se puede ir vertiendo el fluido de excavación con el fin de evitar socavación o derrumbes en el panel. Así también es de vital importancia controlar que la herramienta de perforación se encuentre totalmente vertical permaneciendo dentro de las tolerancias con el fin de garantizar la verticalidad del muro diafragma. Otro punto que también se debe considerar es de no dejar el panel en su totalidad excavado y con el fluido de perforación con más 24hrs a menos que sean casos excepcionales.

4.2.1 Selección de equipo

La selección de la máquina adecuada estuvo en función de la disponibilidad y magnitud del proyecto.

La excavación en el proyecto se realiza con una cuchara bivalva que está guiado por un Kelly, todo ello montado en una grúa Liebherr.

Está herramienta junto a la cuchara bivalva de 2,700mm de largo y espesor de 1,200mm (requerido para el presente proyecto) se monta sobre la grúa de orugas Liebherr 855 de 100 toneladas de capacidad.



Figura N°4.5 Grúa Liebherr 855 con cuchara bivalva hidráulica.

Fuente: Elaboración propia.

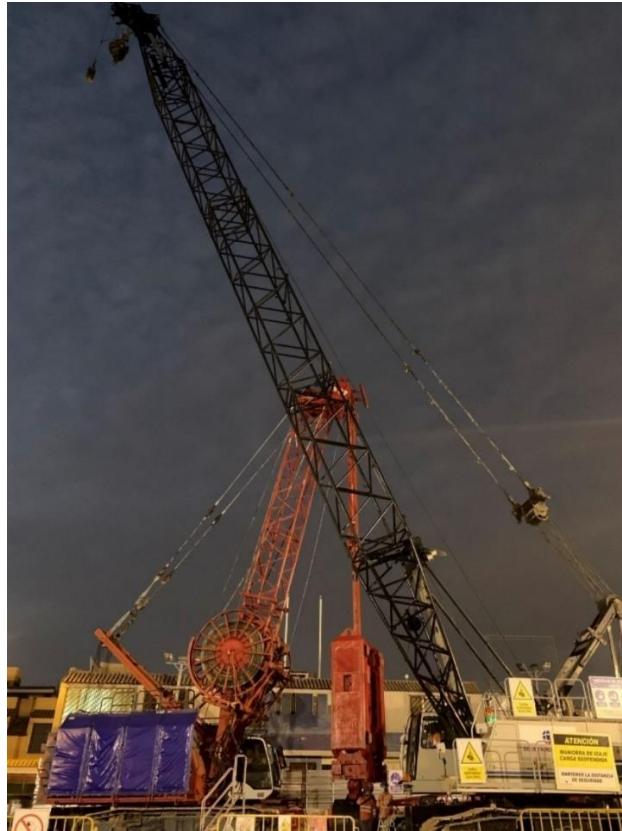


Figura N°4.6 Grúa Liebherr 855 con cuchara bivalva hidráulica y grúa auxiliar.
Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Esquema de un sistema de excavación

Como se mencionó anteriormente la excavación se realiza mediante paneles, esta secuencia y longitud de los paneles dependen mucho de las condiciones del suelo y de la envergadura del proyecto.

La excavación de un panel se encuentra compuesta mediante tres posiciones; la 1era y 2da posición o también llamados pases se encuentran en los extremos del panel y es delimitada por la longitud de la cuchara bivalva que en el presente proyecto es de 2.70m, y la posición central o merlo (terreno que queda entre dos mordidas de la cuchara bivalva). El merlo tiene una longitud variable dependiendo de la longitud del panel y es excavado al finalizar las posiciones extremas.

La longitud de la excavación no podrá ser menor de 6.0m para paneles de 2 posiciones debido a que si el merlo es menor a 0.6m es demasiado inestable y puede provocar desvíos generando desviación en la excavación del muro diafragma, en caso sea de tan solo un pase será de 2.7m.



Figura N°4.7 Excavación de panel de una posición (izquierda) y de dos posiciones (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

Por ejemplo, en caso se tenga un panel de 7.0m, se tendrán la posición 1 y la posición 2 con un ancho de 2.7m y el merlo sería de tan solo 0.60m, gráficamente se observa en la Figura N°4.8.

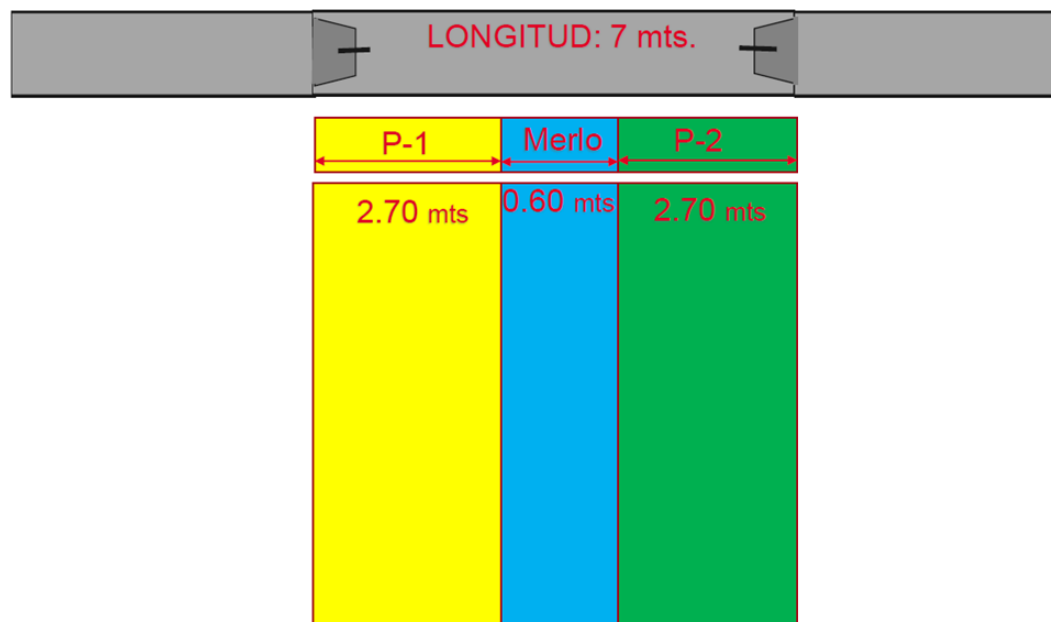


Figura N°4.8 Esquema gráfico de las posiciones y merlo.

Fuente: Elaboración propia.

El material excedente producto de la excavación es cargado en volquetes para su eliminación en un botadero autorizado.



Figura N°4.9 Eliminación de material excedente procedente de la excavación en volquete.

Fuente: Elaboración propia

Es poco probable que en la secuencia de excavación se tenga paneles contiguos, a menos que el concreto ya se tenga fraguado por más de 24h, es por ello que se excava paneles alternos, iniciando la excavación de un panel nuevo que no sea adyacente al panel recientemente vaciado de concreto.

Luego de culminar la excavación y llegar a su cota de fondo, inmediatamente antes de iniciar con el proceso de desarenado se realiza una limpieza de fondo con el fin de eliminar todo residuo suelto que se haya asentado al fondo, es necesario que los residuos en el fondo del panel se mantengan a lo mínimo posible. Esta limpieza se realiza utilizando el equipo de excavación.

4.2.3 Control de la excavación

4.2.3.1 Verificación de la profundidad de la zanja

Al finalizar la excavación se verifica la profundidad mediante una sonda de cable de acero de 3/8 de pulg. la cual está provista de nudos, cada nudo es un metro y el cual lleva en la punta adicionado un contrapeso para que el cable baje hasta

encontrar el nivel máximo de excavación, y este se encuentre según lo indicado en los planos.



Figura N°4.10 Sonda de cable para medir la profundidad de la excavación.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.2 Verticalidad de la excavación

El control de verticalidad se realiza mediante el método de cabletas manuales. Las cabletas son dos cables que van desde la parte superior del cuerpo de la herramienta hasta la parte inferior de la pluma, en la cual la distancia entre cabletas es de 2.7m.

Este método que determina la desviación es calculado mediante la colocación de una regleta colocada en el muro guía la cual tiene el cero de referencia a nivel de plataforma, contra el cual se mide la proyección de las cabletas en dirección del equipo en el panel, para poder colocar el cable en posición vertical, este debe estar bien tensado de modo que con un nivel de mano de dos burbujas se logre centrar. Es decir, cuando mayor separación existe entre el cable y la posición cero de la regla a nivel de muro guía, mayor será la desviación del panel, con respecto a la excavación.

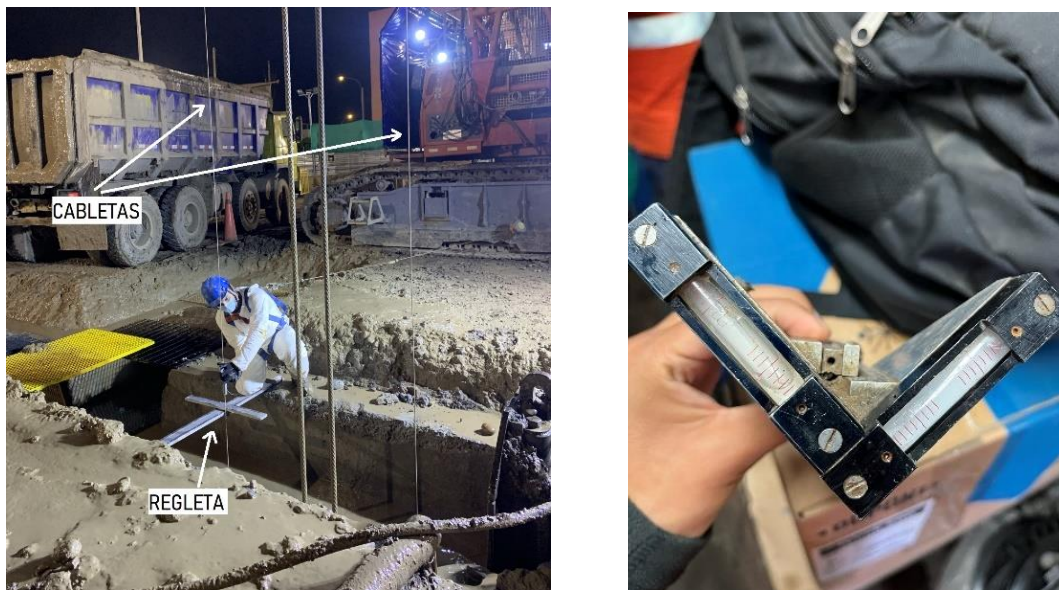


Figura N° 4.11 Cableta, regleta y nivel de mano de dos burbujas.

Fuente: Elaboración propia.

Este control es manual y son registradas con un intervalo de cada 7.0m. o cuando sea solicitado por el operador del equipo, realizando en cada posición del panel, excepto en el merlo ya que éste es determinado por las posiciones extremas.

La tolerancia de verticalidad de los paneles según el EUROCODIGO 7 es del 1% de la profundidad total excavada. Cuando el terreno presenta bolones y obstáculos, está tolerancia podría ser aumentada.

El control de verticalidad se toma en compañía del operador del equipo y de los supervisores, y toda esta información es anotada en el protocolo “Control de verticalidad de muro diafragma” (Ver anexo 2).



Figura N°4.12 Toma de verticalidad del panel.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3.3 Control de parámetros de lodos

Durante el proceso de excavación se debe dar seguimiento a la variación de las características del lodo. Es por tal motivo que se toma muestras durante el proceso de excavación del panel y se obtiene los parámetros en el laboratorio, estos deben estar dentro de lo permitido. Dichos parámetros deberán estar dentro de las tolerancias permisibles según la Tabla N°2.1. Los datos tomados de los ensayos son registrados en el protocolo “Control de Lodo Bentonítico”. (Ver anexo 3)

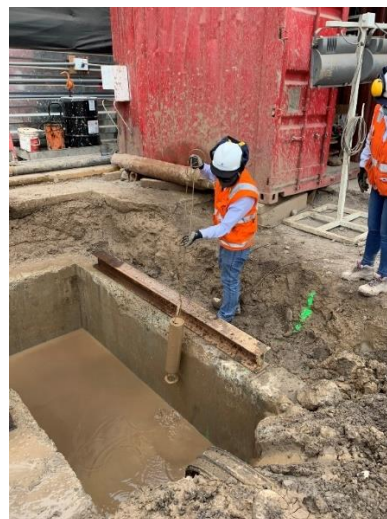


Figura N° 4.13 Muestra de lodo obtenida a una profundidad de 15m de excavación.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 DESARENADO DE PANEL

Una vez que se terminó de realizar la limpieza de fondo de excavación con el equipo de perforación se procede a desarenar con el propósito de limpiar los restos contenidos en el pozo ya que estos podrían generar juntas frías en la estructura del muro diafragma. Se sustituye el lodo bentonítico presente en el panel por un fluido nuevo o sano (lodo bentonítico que se encuentre dentro de los parámetros de la Tabla °2.1).

Este proceso se inicia con el acoplamiento de una línea de tubería tremie y en la parte más baja se coloca una bomba sumergible Toyo en la cual es acoplada (según se observa en la Figura N° 4.5) y colocada en el fondo de la excavación, haciendo variar su posición horizontal y verticalmente según lo indique el responsable del desarenado.

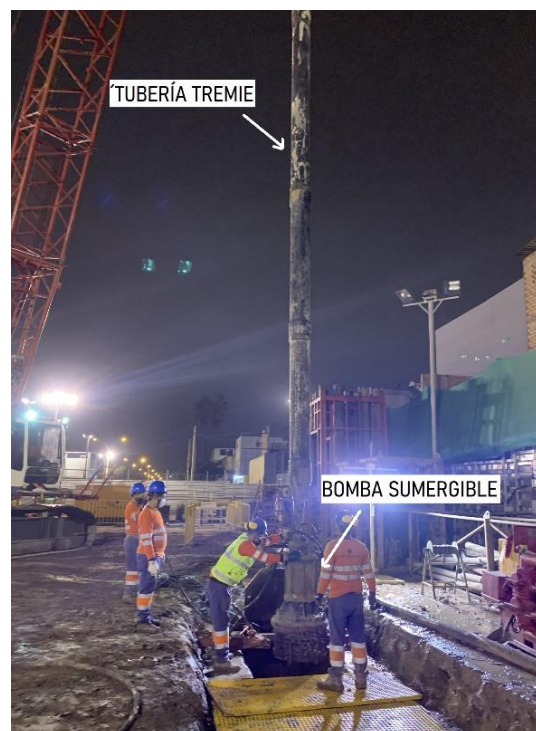


Figura N°4.14 Bomba sumergible acoplada a tubería tremie para desarenar panel.

Fuente: Elaboración propia

El lodo de excavación “sucio” es succionado mediante la bomba sumergible y es enviado al desarenador y un lodo nuevo o sano se incorpora al mismo flujo en la parte alta del panel. (ver Figura N°4.15)

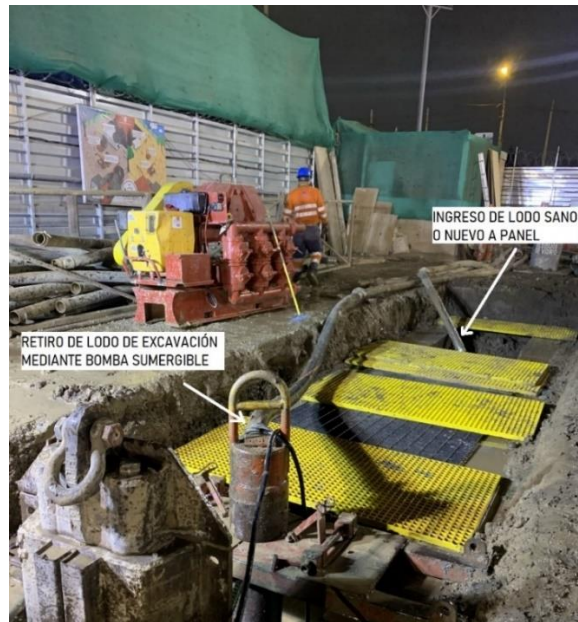


Figura N°4.15 Lodo de excavación es succionado y simultáneamente ingresa lodo sano a panel.

Fuente: Elaboración propia

Se tiene que tener cuidado en los niveles, deben ser al mismo nivel, no bajar más allá del nivel de fondo del muro guía. Así también se debe verificar las líneas de tubería de bentonita para que no se presente derrames.



Figura N°4.16 Limpieza del lodo bentonítico de arena y limos.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de hacer la sustitución completa por lodo sano, en el desarenador ya no caerá material limo o arenoso, y para ello se debe realizar el control en el laboratorio de la planta de lodos sacando una muestra de lodo del panel mediante un “buzo” (recipiente que se introduce a determinadas profundidades).

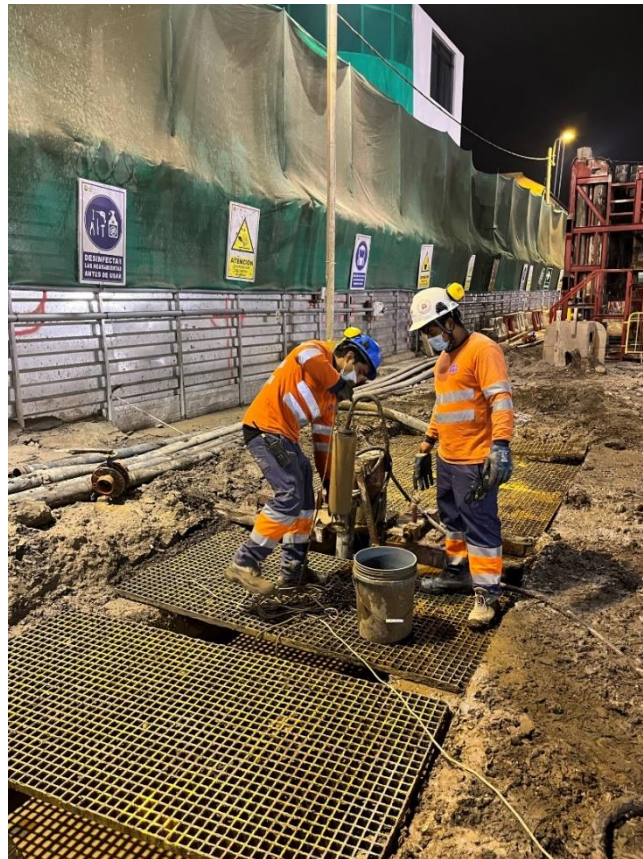


Figura N°4.17 Muestra de lodo de panel desarenado.

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1 Control de desarenado

Con la muestra de lodo extraída del panel se realiza ensayos en el cual debe estar dentro de los parámetros “antes de colado” según la Tabla N°2.1. Los datos tomados de los ensayos son registrados en el protocolo “Control de Lodo Bentonítico”. (Ver anexo 3)

- Densidad < 1.15 g/cm³ antes de colado.
- Viscosidad entre 32 a 50s antes de colado.
- Contenido de arena < 3% antes de colado.
- Filtración < 45 ml antes de colado.
- Cake < 3 mm antes de colado.



Figura N°4.18 Toma de ensayos en compañía de la supervisión.

Fuente: Elaboración propia.

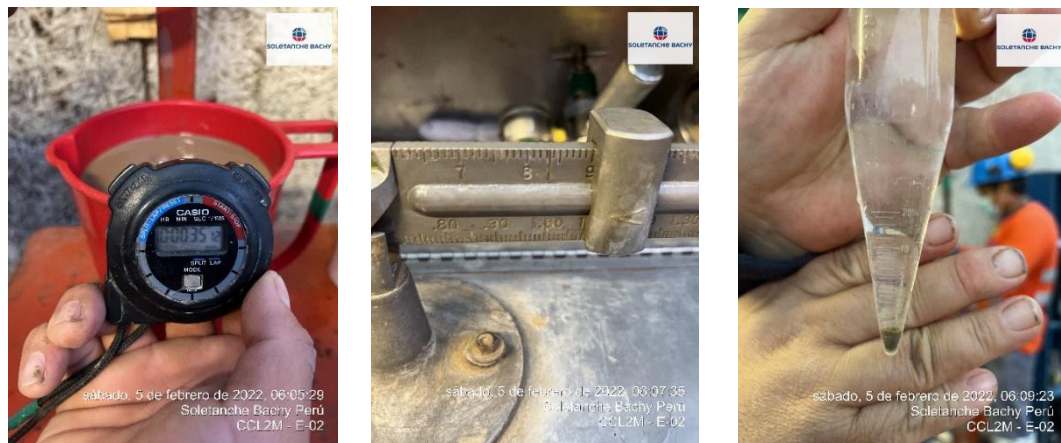


Figura N°4.19 Ensayo de densidad (izquierda), viscosidad (centro), porcentaje de arena (derecha).

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°4.20 Ensayo de filtrado (izquierda), pH (centro), cake (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizar los ensayos y estos se encuentre dentro de los parámetros se puede dar inicio al izaje de la armadura para su posterior vaciado de concreto.

4.4 COLOCACIÓN DE JUNTAS TRAPEZOIDALES

4.4.1 Water-Stop

La junta de acero trapezoidal tiene en el centro una canaleta en el cual se coloca una banda tipo wáter-stop continua y sin uniones, la cual quedará la mitad embebida en el concreto cuando se realice el colado de ese panel y quedará libre la otra mitad para que sirva de unión con el panel contiguo. El Water-Stop se coloca con la finalidad de crear estanqueidad entre los paneles y así evitar el paso del agua a través de las juntas.

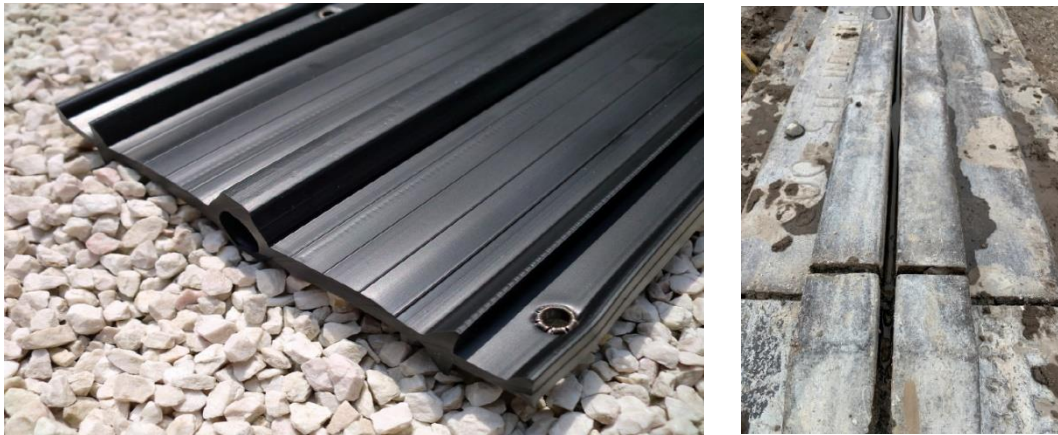


Figura N°4.21 Water-Stop (izquierda) y ranura porta wáter-stop (derecha).

Fuente: Elaboración propia

La junta metálica y la banda de neopreno forman la junta tipo CWS®, y sirve para encofrar los extremos de los paneles en terreno natural.

4.4.2 Colocación de Junta tipo CWS®

Luego de haber concluido con el desarenado, verificando la profundidad de la zanja y controlado los parámetros del lodo bentonítico, se procede a introducir la junta metálica de sección trapezoidal con la banda de Water-Stop la cual se posiciona en el extremo del panel con apoyo de la grúa auxiliar.

Debido a las profundidades de excavación del proyecto, las juntas se ensamblan varios elementos entre sí antes de ser colocadas en el panel.

Las juntas deberán tener una resistencia adecuada y ser muy recta en toda su longitud es por tal motivo que al momento de su colocación dentro del panel deben

ser plomeadas para verificar su verticalidad. Su instalación vertical es soportada por un sistema de freno. El lado trapezoidal se queda en el lado recientemente excavado.

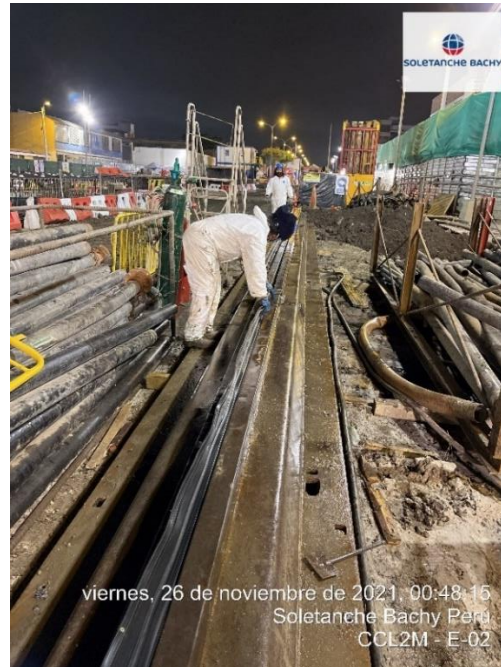


Figura N°4.22 Colocación de wáter-stop.

Fuente: Elaboración propia



Figura N°4.23 Colocación de junta plana trapezoidal de 30.0m en panel.

Fuente: Elaboración propia.

La junta trapezoidal deberá sobresalir entre 0.5m a 1.0m por encima del muro guía.

4.4.3 Extracción de las juntas trapezoidales

La extracción de la junta trapezoidal se llevará a cabo durante la excavación del panel contiguo al que se ha colado, puede ser varios días después, la extracción de la junta se realiza mediante elementos metálicos que son integrados en la herramienta de excavación llamados “manitos”, luego que la junta está liberada del concreto del panel contiguo y se encuentra suelta, se extrae con apoyo de la grúa auxiliar. Como regla principal para la extracción de la junta trapezoidal se debe cumplir que la resistencia del concreto del panel contiguo debe tener por lo menos 100 kg/cm² de esta forma se asegura que la banda Water-Stop se quedará embebida en el concreto y no saldrá con la junta trapezoidal.



Figura N°4.24 Extracción de junta metálica trapezoidal.

Fuente: Elaboración propia

4.4.3.1 Control de juntas y wáter-stop

- Si una junta con wáter-stop no se colocó adecuadamente se presentan problemas de filtraciones. Es por tal motivo que se verifica en campo si el wáter-stop se encuentra en buenas condiciones, y si el wáter-stop es colocado luego de hacer limpieza a la ranura.



Figura N°4.25 Verificación de las condiciones del wáter-stop a colocar.

Fuente: Elaboración propia.

- Las juntas deberán tener una resistencia adecuada y ser muy recta en toda su longitud es por tal motivo que al momento de su colocación dentro del panel deben ser plomeadas para verificar su verticalidad, así como se observa en la Figura N°4.26. Las desviaciones tanto en la dirección longitudinal como en la transversal, respecto a su posición vertical no debe sobrepasar un valor de $\pm 1\%$ de la profundidad total.



Figura N°4.26 Supervisando la correcta colocación de junta metálica en el panel (izquierda), colocación de nivel electrónico en junta (derecha).

Fuente: Elaboración propia.

Todos estos controles son registrados en el protocolo “Control de junta metálica y wáter stop”. (Ver anexo 4).

4.5 COLOCACIÓN DE ARMADURAS

Antes de colocar la armadura y verter el concreto, se debe controlar que el lodo cumpla con las propiedades y se encuentre dentro de los parámetros “antes de colado” ya mencionado.

Los armados son habilitados en la obra según las especificaciones de los planos aprobados por el cliente, en caso no se tenga espacio para armarlo en obra son habilitados en taller y se traen por tramos a obra, para ser empalmados dentro del panel mediante conectores mecánicos.

Las jaulas de armaduras son diseñadas de forma que se garantice un vaciado de concreto correcto, con separaciones adecuadas que faciliten el perfecto recubrimiento.

La colocación de las armaduras se realiza con apoyo de la grúa auxiliar.

Las armaduras tendrán una sección diseñada para permitir proteger las juntas con wáter-stop ya colocadas.

En la Figura N°4.27 se muestra la sección transversal de un panel de avance, en el cual se muestran las 02 jaulas de armadura, en el cual cada jaula tiene un espacio para introducir la tubería tremie y poder verter concreto tremie en el panel.

Así también debido a que es un panel de avance se colocará una junta trapezoidal y la jaula tiene la sección diseñada para ello.

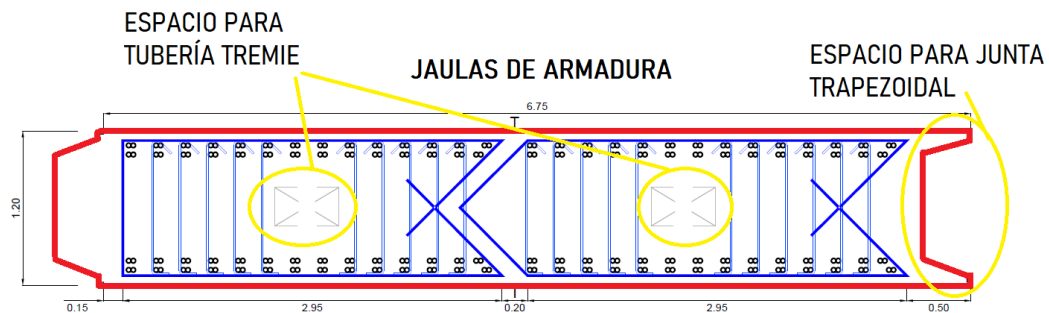


Figura N 4.27 Sección transversal de jaulas de acero en panel.

Fuente: Elaboración propia.

Cada armado es verificado y etiquetado para poder identificarlo.

4.5.1 Maniobras de izaje

Una vez habilitada la jaula de acero, se colocarán los ganchos de izaje y de suspensión, así como los aceros de rigidez que van a permitir levantar las armaduras sin dañarlas y sin que sufra deformaciones exageradas que pondrían en riesgo la calidad del acero.

Se tiene un especial cuidado con los izajes de los armados, se debe revisar exhaustivamente la soldadura de los elementos de izaje y traslapes, así como también hacer el retiro de los materiales sueltos que se encuentre sobre la jaula de acero.

La maniobra de izaje es muy importante en la ejecución de muros diafragma y debe realizarse con especial cuidado para evitar deformar la jaula de acero. Para ello se requiere de un balancín acorde a los puntos de izaje, un sistema de poleas y líneas de estrobos para el izaje y manipulación de la jaula como se muestra en la figura N° 4.13, que sujete a la armadura en varios puntos a la vez, para ello se dispone de una grúa auxiliar con una capacidad de carga mayor al peso de la jaula. A continuación, se muestra un esquema de la forma en la que se realiza el proceso de izaje de la jaula.



Figura N°4.28 Maniobra de izaje de armadura.

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°4.29 Verticalización de armadura.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.2 Centrado de acero de refuerzo

Para el centrado de las armaduras en la zanja, es muy común colocar separadores circulares de concreto en el intrados y trasdos, sin embargo, estos separadores trabajan adecuadamente cuando las paredes de las zanjas son lo suficiente resistentes para permitir que estos elementos giren sin hundirse. Para suelos blandos, no son recomendables es por tal motivo que se adicionaron separadores trapezoidales (ver figura N°4.15). La armadura se deja centrada según las marcas de posicionamiento colocadas por el área de topografía hechas sobre el muro guía.



Figura N°4.30 Colocación de separadores trapezoidales.

Fuente: Elaboración propia

Los armados de los paneles no quedan asentados en el fondo de la excavación ya que el acero no puede tener contacto con el terreno para poder garantizar la integridad del muro, sino que se suspenden en los muros guía por medio de barras de acero o vigas transversales tal como se muestra en la figura N° 4.17. Y así la jaula queda según la cota indicada en el plano.



Figura N°4.31 Colocación de vigas para suspender armadura.

Fuente: Elaboración propia.

Los armados se bajarán uno después de otro y se quedarán suspendidas en los muros guías. Las armaduras de dos a más tramos se traslapan mediante conectores mecánicos.



Figura N°4.32 Empalme de armadura mediante conectores mecánicos.

Fuente: Elaboración propia

Una vez que los armados se colocaron en su posición se procede a colocar la tubería tremie.

4.5.3 Control de armaduras

La armadura de refuerzo de los muros diafragma estará conformada por barras de acero corrugado ASTM A-706 Gr. 60, de resistencia característica mínima (f_y) de 420 MPa. Las jaulas de la armadura de acero de refuerzo serán fabricadas con anticipación a su colocación en la excavación de cada panel, pudiendo prepararse en obra o en talleres especializados.

4.5.3.1 Control de armado

Debe verificarse en el armado de cada panel lo siguiente:

- ✓ La cantidad de barras.
- ✓ Su disposición del acero.
- ✓ El espaciamiento que se tiene entre las barras.
- ✓ La soldadura en barras para reforzar rigidizadores.
- ✓ El amarre adecuado.
- ✓ Separadores de concreto entero para garantizar el mínimo recubrimiento.
- ✓ Las azas de izaje y suspensión se encuentren bien fijados con soldadura.
- ✓ Las barras deben de estar limpias, libres de lodo, pintura, oxidación, etc.

Todos estos puntos deberán de estar según lo indicado en los planos, y será verificado en campo en compañía de los supervisores de calidad. (Ver anexo 5).

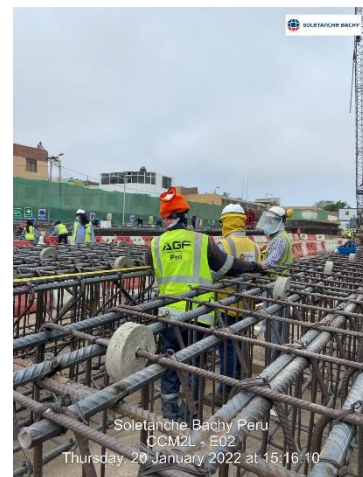


Figura N°4.33 Inspección de armaduras por parte de los supervisores.

Fuente: Elaboración propia

4.5.3.2Centrado de armadura

Se debe controlar que el armado quede centrado, respetando los recubrimientos mínimos, dejando el armado según las marcas que deja topografía en el muro guía como referencia, así también que queda en la cota dispuesta según planos.

El centrado de la armadura se hace en compañía de topografía y el supervisor de calidad.



Figura N° 4.34 Referencias realizadas por topografía para dejar el acero centrado.

Fuente: Elaboración propia

4.6 COLADO DE PANEL CON TUBERÍA TREMIE

El tiempo que transcurre entre la limpieza final de la excavación y el comienzo de colado debe ser lo más corto posible.

En el rack de tuberías tremie cada pieza de tubería tiene una longitud que oscila entre 1 a 4 metros, siendo el diámetro de la tubería 10 pulgadas.



Figura N°4.35 Racks con tubería tremie y embudos.

Fuente: Elaboración propia

Una vez culminado la instalación del armado se procede con el armado de las líneas de tubería tremie en el cual se acoplará y se introducirá en los espacios designados dentro de la jaula del armado hasta el fondo de excavación, es de suma importancia anotar la longitud de cada uno de los tubos de cada línea, esto para saber cuántos metros de tubería se tienen dentro del concreto fresco.

La unión de cada pieza de tubería tremie debe ser hermético para que no ingrese lodo o agua a través de las uniones y esto se logra mediante cuerdas en el cual deben estar en perfecto estado para facilitar las maniobras de acoplado y desprenderlo rápidamente.

Es de vital importancia que las tuberías tremie estén limpias adecuadamente ya que debe ser lisa por dentro y por fuera para que el concreto fluya libremente y también evitar que se atore con el armado.



Figura N°4.36 Colocación de tubería tremie en panel.

Fuente: Elaboración propia

Al finalizar la colocación total de tubería tremie (depende de la profundidad de la excavación), en la parte superior se coloca un embudo con el fin de asegurar la llegada homogénea del concreto en la cota más baja del panel y así evitar la segregación del concreto.

Su longitud total de tubería tremie va a depender de la profundidad de la excavación real del panel, es por tal motivo que se realiza el sondeo para saber con exactitud antes de colocar la línea de tubería tremie; lo recomendable es reposar el tubo tremie sobre el fondo de la excavación y subir aproximadamente 10cm. Debido a que el tubo tremie está lleno de fluido antes de iniciar el colado se coloca un “tapón” (placa redonda de acero provista de un asa) en el embudo que impida la contaminación de concreto con el lodo al inicio del colado, una vez que el concreto este por llenar el embudo, se quitará el tapón rápidamente con ayuda de la grúa auxiliar para que el concreto fluya continuamente y desplace los sedimentos que se encuentran en el fondo de la excavación. Gráficamente ambas etapas se pueden observar en la Figura N° 4.37.

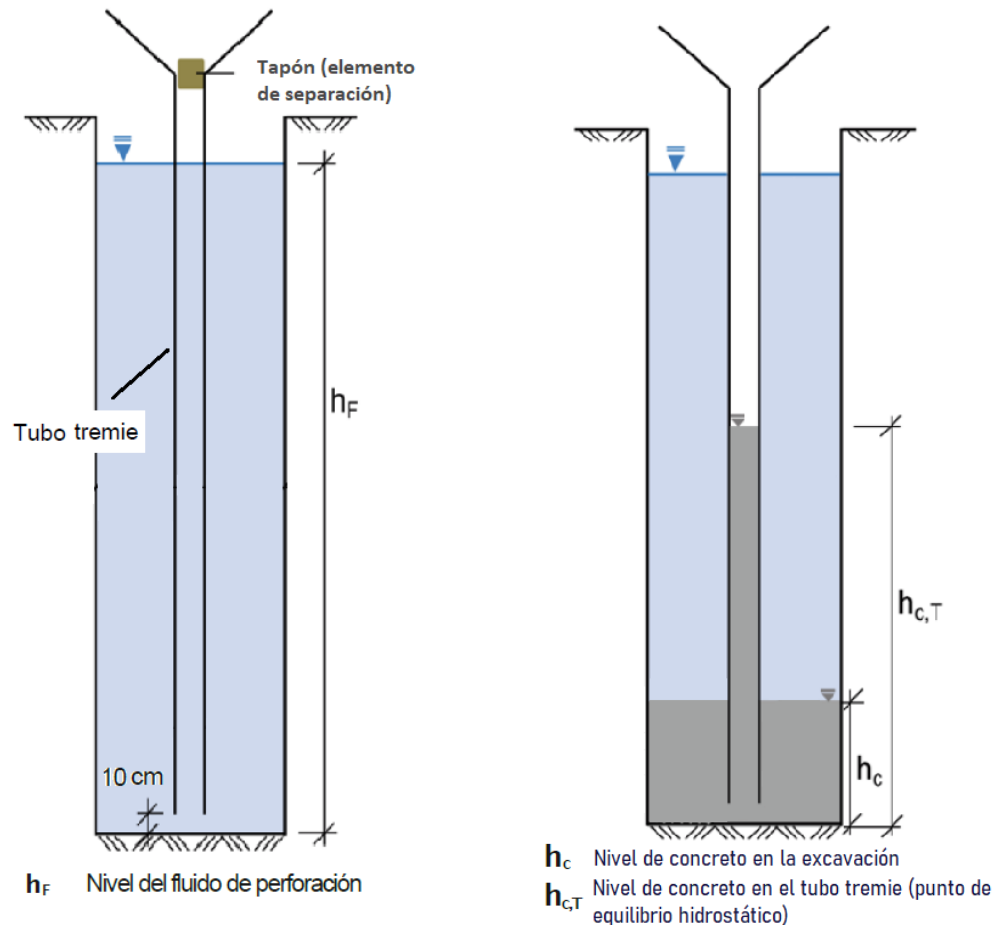


Figura N°4.37 Antes del colado (a la izquierda) y luego del vertido de los primeros mixers (a la derecha).

Fuente: Elaboración propia

El tipo de concreto que se utilizará en los muros diafragma deberá cumplir las especificaciones solicitadas con el fin de evitar imprevistos, así también la permanencia del concreto deberá estar definida, en este proyecto es de 4.0hrs, lo cual se ratificará con las pruebas de permanencia.

El concreto se vaciará a través de tubería tremie, de manera que se evite la segregación. Se coloca una línea de tubería tremie por cada jaula de armadura del panel. Cuando se utilicen varias líneas de tubería tremie es preciso alimentarlos de manera simultánea el concreto con el fin de que se distribuya de manera uniforme.

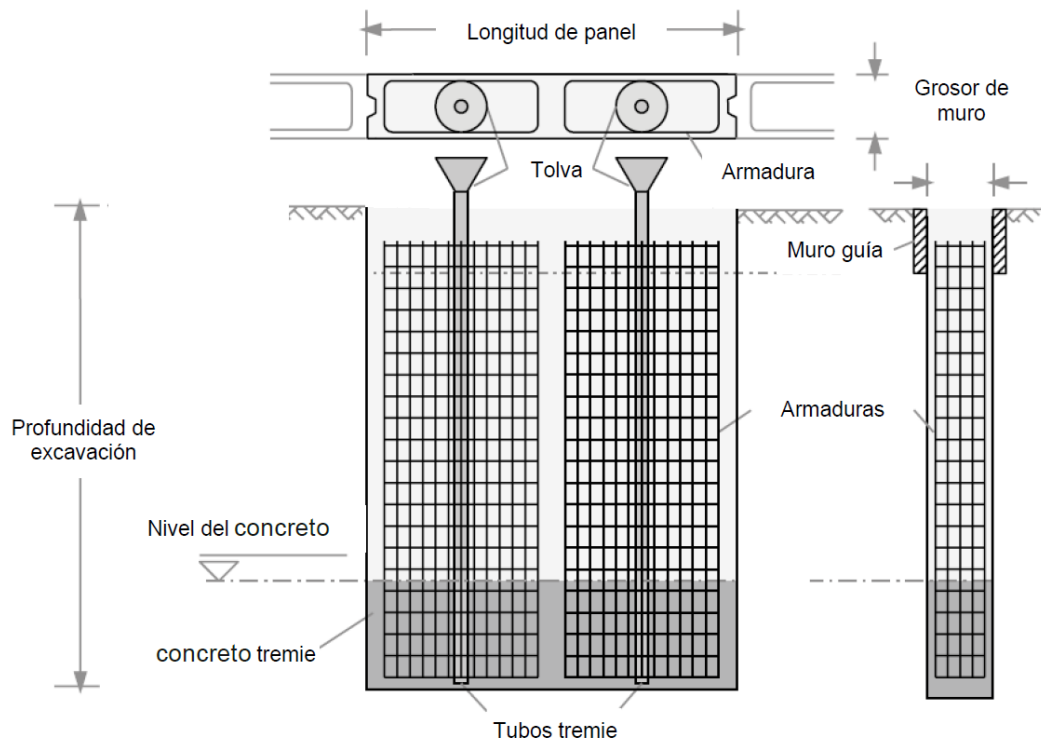


Figura N°4.38 Vista frontal y de perfil del colado de panel.

Fuente: Grupo de trabajo conjunto EFFC – DFI para el hormigón, 2019

El vertido del concreto que, obligatoriamente debe ser de consistencia fluida, se efectúa sin interrupciones y de forma continua. Debido a la mayor densidad del concreto, éste empuja el lodo bentonítico que se encuentra en el interior de la zanja hacia arriba, el lodo se irá extrayendo a medida que progresa el colado a través de una bomba hidráulica PDM, cuidando que el nivel del lodo no quede por debajo del nivel inferior del brocal, y se irá a un tanque de almacenamiento de la planta de lodos.

Durante el proceso de colado el concreto irá ascendiendo durante el vertido, la tubería tremie se irá desacoplando progresivamente, cuidando siempre tener como mínimo 3.0m embebidos en el concreto fresco, todo ello deberá hacerse de forma pausada, así también de la misma manera al finalizar el colado deberá extraerse lentamente con el fin de evitar contaminaciones en el muro diafragma.

Luego de llegar al nivel superior de concreto especificado en los planos, se extrae lentamente la tubería tremie y deberá ser colocada en el rack de tuberías para su limpieza correspondiente y adecuado almacenamiento para así no tener percances en el posterior colado.

Para evitar el concreto contaminado por lodo se deja el concreto entre uno 40-60cm sobre la cota del proyecto con el fin de demoler el pedazo de muro contaminado con lodo en un posterior proceso y así evitar concreto contaminado en la parte superior.



Figura N°4.39 Proceso de colado.

Fuente: Elaboración propia.

4.6.1 Control del colado

Según el diseño de concreto suministrado por el cliente las especificaciones técnicas son las siguientes:

- Resistencia del concreto es de $f'c=300\text{kg/cm}^2$.
- Tamaño del agregado ($t \text{ max } \frac{3}{4}"$).
- Permanencia o pérdida de trabajabilidad del concreto de al menos 4.0hrs desde la salida de la planta.

Para realizar el control de colado se utiliza el protocolo "Control de colado Muro Diafragma" que se tiene que ir rellenando con la información correspondiente de cada mixer (Ver anexo 6).

A la llegada de cada mixer a obra se toma el control de lo siguiente:

- Revenimiento, debe estar comprendido entre $9 \pm 1 \frac{1}{2}$ "
- Temperatura, debe estar comprendido entre $10^{\circ}\text{C} - 32^{\circ}\text{C}$

Adicionalmente la verificación visual de segregación y homogeneidad de la mezcla.

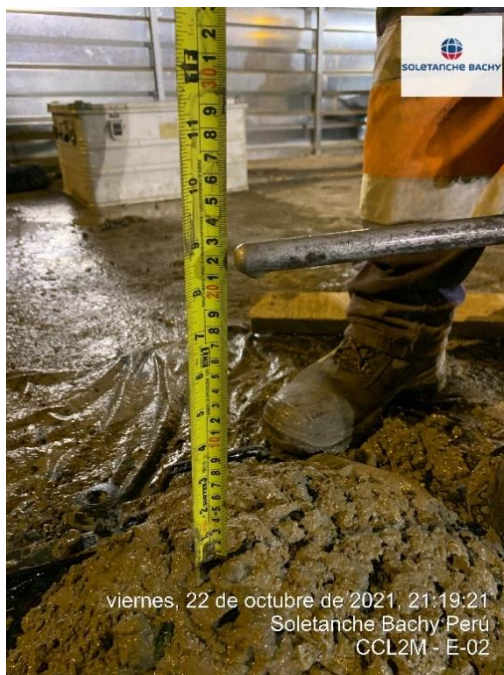


Figura N°4.40 Slump y temperatura del concreto.

Fuente: Elaboración propia

Se prepara 6 probetas cilíndricas por muestra de concreto por cada 6 mixer para realizar posteriormente los ensayos en concreto endurecido correspondiente.

Se deberá tomar en cuenta que para realizar un corte de tubería tremie, esta deberá estar embebida en el concreto 3 metros como mínimo. Por ejemplo, si se tiene 18.0m de tubería tremie, y colocando la sonda el nivel del concreto se encuentra a 13.0m, como máximo se podrá hacer un desacople de tubería tremie de 2.0m. y quedará 3.0m de tubería tremie embebida en el concreto fresco para evitar su contaminación, y así se respeta los 3 metros de tubería tremie embebido en el concreto fresco. Así también no es recomendable dejar más de 8 metros de tubería tremie embebida en el concreto ya que dejar una excesiva cantidad puede quedarse atorada por la presión del concreto o por la pérdida de la trabajabilidad

del concreto. Para ello se debe llevar el control de la tubería tremie que se va desacoplando durante el proceso de vaciado de concreto.

Para revisar el nivel que se encuentra el concreto fresco con respecto al nivel superior de muro guía se introduce la sonda, se mide la profundidad del concreto generalmente en cada 3 puntos del panel (extremos y centro), esto se realiza luego del vaciado simultaneo de los mixeres.

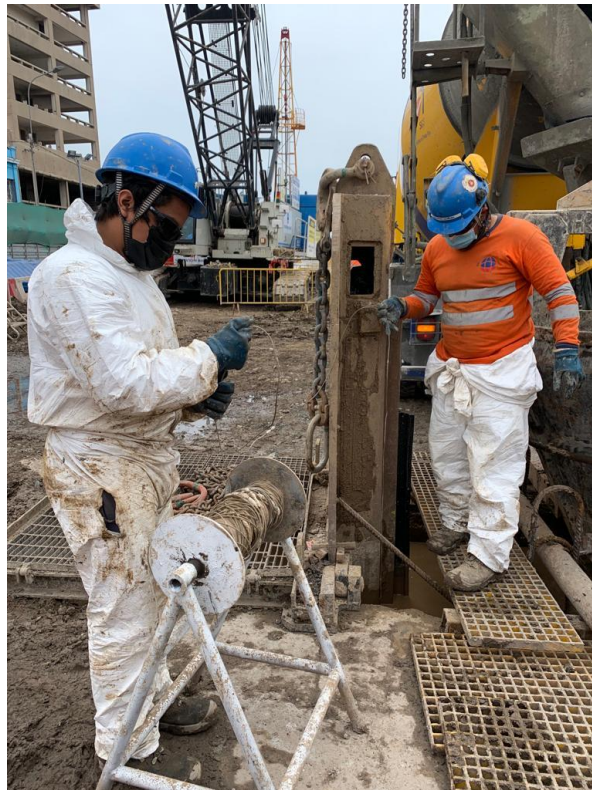


Figura N°4.42 Sondeo de panel durante proceso de colado.

Fuente: Elaboración propia.

Para llevar un control adecuado de la tubería tremie y evitar que el panel se contamina se utiliza un protocolo de control de vaciado de concreto, es una curva que en el eje X es representado por el volumen de concreto (en m³) que se está vertiendo al panel, mientras que en el eje Y se coloca la profundidad (en metros) en la cual se encuentra el concreto. Mediante este protocolo podemos controlar cuántos metros de tubería tremie puede ser extraída, asegurando que siempre permanezca embebida la tubería tremie por lo menos 3.0m dentro del concreto fresco, cuidando que el concreto no se contamine con el lodo bentonítico, es por ello que en la parte izquierda del protocolo se detalla la tubería tremie de cada

línea que se está utilizando para el colado, y se va tachando correspondientemente se va desacoplando la tubería tremie.

Figura N°4.43 Completando la curva “real” durante el proceso de colado.

Fuente: Elaboración propia.



Antes de ejecutar el vaciado del panel, en el protocolo se realiza la curva teórica, la cual representa el volumen teórico del concreto que se utilizará para el muro diafragma.

Para poder graficar la curva real se hacen los sondeos durante el vertido de concreto en el panel y así obtenemos las coordenadas, y se compara con la curva teórica. Si la coordenada de la curva real se encuentra por debajo de la curva teórica nos da la información que se está utilizando mayor concreto que el teórico (sobre volumen) que es lo más normal; sin embargo si la coordenada se encuentra encima de la curva teórica, quiere decir que está ingresando menor concreto que el teórico (sub volumen), algún elemento está ocupando el espacio del concreto, se puede dar en algunos casos por la presencia de suelos expansivos, sin embargo es poco usual, en dicha situación se debería de realizar nuevamente el sondeo y verificar que se está ejecutando correctamente, si continúa se deberá evaluar ya en gabinete.

Una vez culminado el colado del panel, podemos obtener el valor total de concreto vaciado y al realizar una comparación con el volumen teórico, sabremos si cantidad de sobre volumen o sub volumen de concreto en el panel. Generalmente el sobre volumen de concreto no es mayor al 10% del teórico (Ver anexo 7).

4.7 CASOS DEBIDO A UN INADECUADO CONTROL DURANTE LOS PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN DE MUROS DIAFRAGMA

Durante el proceso de excavación cut and cover con el apoyo de excavadoras se va descubriendo el muro diafragma y se observan anomalías producto de un deficiente control en el procedimiento durante su ejecución.

4.7.1.1 Inadecuado control de muro guía

Al iniciar la excavación con el equipo se puede apreciar una interferencia, en este caso de una tubería de desagüe de 12" y el personal del CCM2L procede a sellarlo para poder continuar con la excavación, según se observa en la Figura N°4.44, se generará stand by en el proceso de excavación, debido a un inadecuado control de muros guía.

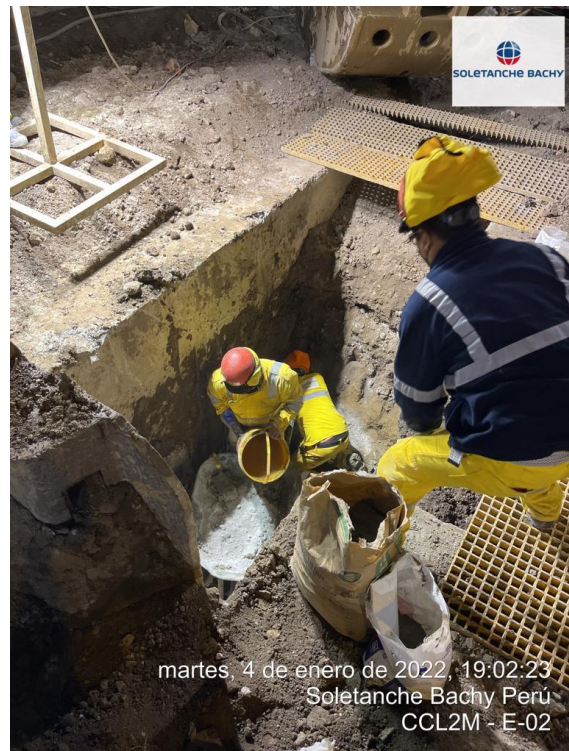


Figura N°4.44 Interferencias durante el proceso de excavación.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1.2 Inadecuado control durante la colocación de Juntas Trapezoidales

Como se puede observar en la Figura N°4.45, al extraer la junta trapezoidal luego del proceso de colado del panel contiguo, está salió junto con el waterstop, generando a futuro posibles problemas de filtración de agua en ese extremo del muro, ya que en la junta del muro no se contaría con waterstop. Esto se debió a que no existió un adecuado control durante la colocación del waterstop, en su

limpieza y la sujeción adecuada del wáter stop a la ranura de la junta metálica trapezoidal.



Figura N°4.45 WaterStop desprendido del muro diafragma sale en conjunto con la junta trapezoidal.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1.3 Inadecuado control durante el desarenado

Según se aprecia en la Figura N°4.46, no se realizó adecuadamente un proceso de desarenado, incumpliendo posiblemente los parámetros del lodo bentonítico generando que se queden partículas contaminadas en el muro.



Figura N°4.46 Muros diafragma contaminados.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1.4 Inadecuado control en la colocación de armaduras

En la Figura N°4.47 se puede apreciar acero expuesto sin recubrimiento en el muro diafragma, producido principalmente por no centrar correctamente la jaula de acero al introducir en la excavación.



Figura N°4.47 Acero expuesto en el muro diafragma.

Fuente: Elaboración propia.

4.7.1.5 Inadecuado control durante el colado de panel

Según se muestra en la Figura N°4.48, esa franja vacía en el medio del panel se debe principalmente a un mal corte de tramo de tubería tremie durante el proceso de colado, el corte de tubería tremie que se realizó fue de demasiada longitud generando que el tramo mínimo de 3.0m embebido en el concreto no se tenga, y produciéndose contaminación con la bentonita. Es por ello que es necesario tener bien identificado la profundidad en la que se encuentra el concreto en cada vaciado de mixer y así también la longitud total que se tiene antes del corte, y la permanencia en todo momento de al menos 3.0m de tubería tremie embebida en el concreto. Para ello es importante tener bien identificados los controles del colado de inicio a fin.



Figura N°4.48 Acero expuesto en el muro diafragma.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N°4.49 se aprecia que un tramo de tubería tremie se quedó empotrado en el muro diafragma, se presentan muchas causas que pudo originar ello, citando algunas tenemos:

- El concreto no llegó a obra con las características solicitadas y fraguó rápidamente, generando que la tubería tremie se quede atorada.
- Mal empalme de tramos de tubería tremie, quedando parte de esta embebida en el muro diafragma.



Figura N°4.49 Tubería tremie empotrado en muro diafragma.

Fuente: Elaboración propia.

4.8 PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN DE MURO DIAFRAGMA

- Se realiza el picado de la zona contaminada (lodo bentonítico, suelo natural, etc.) hasta el retiro total del material contaminante. Se debe respetar el recubrimiento de acero mínimo de 7.5cm se picará hasta encontrar un concreto sano y en buenas condiciones.



Figura N°4.50 Picado de tramo de muro diafragma contaminado.

Fuente: Elaboración propia.

- Luego de realizar el picado se limpiará la zona mediante una escobilla metálica y con un equipo que genere presión de aire se eliminará las partículas contaminantes que pudiesen quedar, para luego realizar la liberación con el responsable de Calidad.



..... **Figura N°4.51** Limpieza con escobilla metálica y soplete de aire (a la izquierda), liberación por el supervisor de calidad (a la derecha)

Fuente: Elaboración propia.

- Inmediatamente se aplicará un puente de adherencia tipo Sikadur 32 y se colocará el Sika Rep hasta alcanzar el recubrimiento requerido.



Figura N°4.52 Aplicación del puente de adherencia Sikadur 32 (a la izquierda), colocación del Sika Rep (a la derecha)

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°4.53 Empaste de muros diafragma con Sika Rep

Fuente: Elaboración propia.



Figura N°4.54 Muros diafragma reparados.

Fuente: Elaboración propia.

4.9 APORTES AL CONTROL DEL PROCEDIMIENTO DE MURO DIAFRAGMA

Los procesos constructivos para la construcción de los muros diafragma están bien definidos por Soletanche Bachy que es una transnacional francesa, líder mundial en cimentaciones y tecnologías de suelo. Lleva utilizando esta técnica de contención desde más de 60 años, sin embargo, la primera vez que se utilizaron la construcción de muros diafragma en el Perú fue en el Proyecto de Viaductos de Línea Amarilla en el año 2017. Técnica bastante joven en el país y fuertemente desarrollada en la construcción de las Estaciones de la Línea 2 del Metro de Lima y Callao. La primera estación que desarrolló SBP fue la Estación 04 que inició por el año 2019, en el cual la mayoría del personal directo e indirecto que comprendía el equipo era de extranjeros de distintas nacionalidades. Estación tras estación fue disminuyendo ello.

Así también producto de la experiencia propia de participar en la construcción de varias Estaciones de la Línea 2 que se ejecutaron los muros diafragma, gracias a las lecciones aprendidas y al mejoramiento continuo para tener un mejor control de la calidad final del muro diafragma se fue adicionando protocolos a los que ya

internamente manejaba la empresa, con el fin de dar continuidad al procedimiento y evitar reprocesos y mayores costes por su ejecución. Estos aportes de protocolos a los ya existentes se pueden visualizar en el anexo 1 y el anexo 4.

La correcta aplicación de estos controles ayudó a tener un mejor monitoreo de cada fase del proceso constructivo de muros diafragma, permitiendo reducir las no conformidades, evitar retrabajos, reducir costos y no extender mayor el cronograma del proyecto. (Ver anexo 09)

El presente TSP busca ser una fuente bibliográfica de las buenas prácticas para el correcto desarrollo de la construcción de muros diafragma, y reducir a lo mínimo las reparaciones de los mismos por causas de contaminación de los muros por bentonita, que generan solo mayores gastos.

CONCLUSIONES

En la presente TSP se concluye que, por medio de cada control ejecutado en cada proceso, con la finalidad de hacer un seguimiento de todo el procedimiento constructivo del muro diafragma obtenemos la reducción de tiempos de ejecución y costos, controles de calidad siguiendo normas nacionales e internacionales, evitando la necesidad de hacer retrabajos, reparaciones por contaminación del muro diafragma, y nos aseguramos de la calidad del muro.

En el Control de Lodo Bentonítico (ver anexo 3) nos permite tener bien controlado los parámetros del lodo dentro de la Norma EN 1538:2011: E (ver Tabla N°2.1), ello nos garantiza no tener material fino o tipo suelo adherido al acero y no perjudicar la adherencia entre acero y el concreto. Dado el caso que el lodo de excavación no esté dentro de ello, se tendrá que corregir inmediatamente para no afectar el muro diafragma. Si luego del desarenado no se encuentran las propiedades del lodo dentro de los parámetros se tendrá que realizar un segundo desarenado más rápido; es por ello la importancia de realizar el control del lodo bentonítico constantemente.

Tener un adecuado Control de Armadura (ver anexo 5) es esencial ya que se debe cumplir las características técnicas del diseño, y la armadura debe encontrarse bien centrada al panel respetando los recubrimientos correspondientes de 7.5cm con el fin de proteger la estructura.

Por medio del Control de colado de Muro Diafragma (ver anexo 6) nos garantiza que el concreto que se está vertiendo en el panel son de las especificaciones técnicas solicitadas, ya que, no es lo mismo vaciar un panel de 80m³ a un panel de 300m³ de concreto, éste último el concreto debe tener mayor trabajabilidad y mayor tiempo de permanencia.

Mediante el Control de Verticalidad de Muro diafragma (Ver anexo 2) se hace un seguimiento de la verticalidad del muro cada 7.0 - 10.0m aproximadamente, gracias al monitoreo nos permite llevar la excavación dentro de la tolerancia permisible (1%), para así no tener que hacer un reproceso en la excavación generando mayores tiempos de ejecución.

Dado el Control de junta metálica y Waterstop (ver anexo 4) nos aseguramos que las condiciones sean optimas del wáterstop que se va introducir en la canaleta de la junta metálica, ya que si esta no es colocada de una manera correcta se podría

desprender el waterstop provocando problemas de filtración en el muro diafragma. De igual manera se controla que el waterstop este comprendido en toda la profundidad del panel y que la junta metálica se encuentre verticalmente para así no perjudicar al panel contiguo. Es por ello la importancia de este control.

Mediante la Gráfica de control de colado de Muro Diafragma (ver anexo 7) podemos hacer un seguimiento real del concreto durante el proceso de vaciado, y podemos concluir en que tramo hubo un sobre volumen de concreto posiblemente por una socavación o un derrumbe, y definir cuánto concreto en exceso a lo teórico se está presentando en el panel.

Debido a que se hace un vaciado in situ puede encontrarse acabados del muro diafragma más rugosos, así como también acabados más finos dependiendo del tipo de suelo. Es posible hacer acabados caravistas o más plano para ello se hace el uso de la hidrofresa el cual rota y va desgastando la cara del terreno quedando un acabado más plano.

RECOMENDACIONES

Los controles mencionados en el presente TSP deben ser considerados como mínimo para poder ejecutar el proceso constructivo de todo muro diafragma, y deben ser elaborados antes de haber iniciado el proyecto.

Se sugiere como posible futuro tema de investigación profundizar los principales motivos que conllevan a reparar cada muro diafragma, y los ratios de reparación de muros diafragma por cada estación y/o pozos de ventilación de la Línea 2 del Metro de Lima.

En la presente TSP se tuvo como limitante que el proceso que se detalla fue ejecutado mediante los lineamientos y procedimientos estandarizados de la empresa francesa Soletanche Bachy sin embargo simultáneamente en la actualidad también viene ejecutando Muros Diafragma la empresa española Grupo Terratest, sería recomendable en un posterior tema de investigación la comparación entre ambas metodologías que desarrollan para llevar su adecuado proceso constructivo, comparando las ventajas y/o desventajas de una con respecto a otro teniendo en cuenta la optimización de plazo y costo del proyecto.

Se sugiere que, a través conferencias especializadas, se difunda la tecnología de muros diafragma para la ejecución de túneles de transporte urbano como es el caso de la Línea del Metro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Asociación Española de Normalización (2016). *Ejecución de trabajos geotécnicos especiales Muros – Pantalla (UNE EN 1538: 2011 + A1:2016)*. Asociación Española de Normalización y Certificación.

Calderón, J (2014). *Muros-Diafragma y Muros-Pilote: Aporte a la solución del tráfico de Lima*. Revista Científica Ingetecno, 2 (2).
<http://dx.doi.org/10.21503/rci.v2i2.156>

CEDEX (2012). *Recomendaciones para la ejecución del hormigonado de pilotes y pantallas “in situ”*. Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo (AETESS).
https://www.aetess.com/files/ugd/c939f2_9ba1128947bb4e52be62e26b86899647.pdf

Chiri, L., Mendoza, P., Poma, E. (2019). *Aplicación de la metodología Top Down en la construcción de estaciones de metro (Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas)*. Repositorio Académico UPC.
<http://hdl.handle.net/10757/625560>

COAATEEEF (1983). *Norma Tecnológica de la Edificación Cimentaciones contención pantallas*. Ingemecánica. Ibiza, España.

Fuentes, M. (2013). *Muro diafragma una alternativa de construcción para excavaciones verticales (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de México)*. Repositorio Institucional de la UNAM.
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/175736>

Grupo de Trabajo Conjunto European Federation of Foundation Contactors – Deep Foundations Institute para el hormigón (2019). *Guía del hormigón tremie en cimentaciones profundas*. Asociación de Empresas de la Tecnología del Suelo y Subsuelo (AETESS).
https://www.effc.org/content/uploads/2019/10/EFFC_DFI_Tremie_Concrete_Guide_2nd-Ed_2018_TRADUCIDO_Final.pdf

- Ministerio de Fomento (2000). *Instrucción del Hormigón Estructural*. Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento.
- Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción. (2018). *Norma Técnica Edificación E.050 Suelos y Cimentaciones*. Lima: El Peruano.
- Ordura, V., Ordura, A. (2015). *MP Hormigonería Muros Pantalla Tecnología de muros pantalla*. Obrapropia. Valencia, España.
- Padilla, A., Pando, L., Soto, N. (2017). *Análisis de los procesos constructivos cut and cover para evaluar el plazo y costo de la construcción de una estación subterránea típica (Tesis de maestría, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas)*. Repositorio Académico UPC.
<http://hdl.handle.net/10757/622772>
- Santoyo, E., Segovia, J. (2002). *Manual de construcción geotécnica*. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A.C.

ANEXOS

Anexo 1 Control de Muro Guía

	CONTROL DE MURO GUÍA	Código: TSP-JT-01 Versión: 00 Fecha: 08/09/2020
--	-----------------------------	---

Proyecto: _____ Turno: _____ Fecha: _____

DATOS DEL MURO GUÍA	
N° de Panel :	_____
Ancho de muro guía (G) :	_____
Longitud del tramo de muro guía:	_____
Prof. de muro guía (C) :	_____
Separación entre muro guía comienzo:	_____
Separación entre muro guía al final:	_____

SECCIÓN TRANSVERSAL MURO GUÍA

CHECK LIST DEL ESTADO EN CAMPO DEL MURO GUÍA

- | | | | |
|--|--------------------------|--|--------------------------|
| * Superficie de Muro guía aplomada | ☐ | * Muro guía se encuentra alineado. | ☐ |
| * Superficie de Muro guía sin protuberancias. | ☐ | * Sin interferencias de línea, ductos entre otros. | ☐ |
| * Muro guía diferenciado con respecto a los paneles contiguos. | ☐ | * Muro se encuentra identificado con N° de panel | ☐ |

Recomendaciones: _____

Observaciones: _____

Nombre y firma Residente de Obra	Nombre y firma Ing. Producción	Nombre y firma Ing. Control de calidad	Nombre y firma Supervisión
-------------------------------------	-----------------------------------	---	-------------------------------

Anexo 2 Control de Verticalidad de Muro Diafragma

	CONTROL DE VERTICALIDAD DE MURO DIAFRAGMA	Código: TSP-JT-02 Versión: 00 Fecha: 08/09/2020
--	--	---

Proyecto: _____ Turno: _____ Fecha: _____

N° de panel: _____ Tipo de panel: ☐ I ☐ A ☐ C Equipo: _____

Altura Blvalva: _____ m Dist. entre puntos de sujección de las cabletas: _____ m

	Cableta izquierda		Cableta derecha		Verticalidad	
Profundidad (m)	Izquierda/Derecha (mm)	Atras/Adelante (mm)	Izquierda/Derecha (mm)	Atras/Adelante (mm)	IZ / DE	AT / AD

Anotar la distancia del centro de la herramienta

Indicar posición y junta

Observaciones: _____

Nombre y firma Residente de Obra	Nombre y firma Ing. Producción	Nombre y firma Ing. Control de calidad	Nombre y firma Supervisión
-------------------------------------	-----------------------------------	---	-------------------------------

Anexo 3 Control de Lodo Bentonítico

	CONTROL DE LODO DE BENTONÍTICO	Código: TSP-JT-03 Versión: 00 Fecha: 08/09/2020
--	---------------------------------------	---

Proyecto: _____ Turno: _____ Fecha: _____

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Producto	Densidad (gr/cm³)	Viscosidad (seg)	Arena %	PH	Cake (mm)	Filtrado (ml)
Lodo nuevo	< 1.10	32 a 50	0	9 a 11	≤ 1	< 25
Lodo antes de colar	< 1.15	32 a 50	< 3	7 a 10	< 3	< 45
Lodo de rehuso	< 1.25	32 a 60	< 3	7 a 12	< 3	< 45
Equipo de medición (verificacion)	1	26	Utilizar agua potable para la verificación de los equipos			

DOSIFICACIÓN DE LODO BENTONÍTICO

	Agua (m³)	Bentonita (kg)	Bicarbonato (kg)	Aditivo:	Aditivo:	Bacha	
Dosificación						Volumen:	m³
N° de bachas:							Lt

CONTROLES EN CAMPO Indicar el tiempo que se utilizó para la realización de la prueba Cake/Filtrado 7.5 min ☐ 30 min ☐

Contenedor (en curso)	Hora	Densidad (gr/cm³)	Viscosidad (seg)	Arena %	Ph	Cake (mm)	Filtrado (ml)
Muestras							
Panel (antes de colado)							
Verificación de equipos de medición							
Balanza baroid / Cono Marsh				Cake /Filtrado - Si es 7.5 min el resultado se multiplica por 2 y se registra			

Nombre y firma Residente de Obra	Nombre y firma Ing. Producción	Nombre y firma Ing. Control de calidad	Nombre y firma Supervisión
-------------------------------------	-----------------------------------	---	-------------------------------

Anexo 4 Control de Junta Metálica y Water Stop

	CONTROL DE JUNTA METÁLICA Y WATER STOP	Código: TSP-JT-04 Versión: 00 Fecha: 08/09/2020
--	---	--

Proyecto: _____ Turno: _____ Fecha: _____

N° de panel: _____ Tipo de panel: ☐ I ☐ A ☐ C Espesor de panel: _____

Profundidad de panel: _____ Long. Water Stop: _____

WATER STOP	Control	Observaciones
Sin presencia de manchas o suciedad en toda la longitud.		
Continuidad de banda de water stop en toda la longitud.		
Sección de water stop sin desgarro o daño en toda la longitud.		

JUNTA METÁLICA	Control	Observaciones
Continuidad de canal de sujeción de water stop.		
Limpieza de ranura de canal de sujeción de water stop.		

JUNTA METÁLICA + WATER STOP	Control	Observaciones
Verificación de verticalidad con nivel electrónico.		
Fijación de banda water stop a canal de junta metálica en toda su longitud.		
Se añaden elementos adicionales para sujeción de water stop a ranura de junta metálica.		
Longitud de water stop no excede la longitud de la junta metálica.		

Recomendaciones: _____

_____Observaciones: _____

Nombre y firma Residente de Obra	Nombre y firma Ing. Producción	Nombre y firma Ing. Control de Calidad	Nombre y firma Supervisión
-------------------------------------	-----------------------------------	---	-------------------------------

Anexo 5 Control de Armadura

	CONTROL DE ARMADURA	Código: TSP-JT-05 Versión: 00 Fecha: 08/09/2020
--	----------------------------	--

Proyecto: _____ Turno: _____ Fecha: _____ Panel: _____

Jaula 1 Jaula N°: _____ Plano Ref.: _____ Rev. _____

Jaula 2 Jaula N°: _____ Plano Ref.: _____ Rev. _____

N° Correlativo: _____

Nota: Realizar la inspección del armado con planos aprobados.

Características			Especificaciones Técnicas	Control en campo	Comentarios
Acero Vertical	Barras Principales	Trasdos	Varillas # (diámetro)		
			Cantidad		
			Separación @		
			Traslapes (Cantidad / longitud)		
			Acero de refuerzo		
		Intrados	Varillas # (diámetro)		
			Cantidad		
			Separación @		
			Traslapes (Cantidad / longitud)		
			Acero de refuerzo		
Acero Transversal	Estribos Principales		Varillas # (diámetro)		
			Cantidad		
			Separación @		
			Tipos		
	Estribos Secundarios		Varillas # (diámetro)		
			Cantidad		
			Separación @		
			Tipos		
	Reservaciones para losa de fondo		Varillas # (diámetro)		
			Cantidad		
			Tipos		
Rigidizadores	Lado Trasdos		Varillas # (diámetro) / Cantidad		
	Lado intrados		Varillas # (diámetro) / Cantidad		
	Internos		Varillas # (diámetro) / Cantidad		
Asas	De suspensión		Varillas # (diámetro)		
			Cantidad		
			Separación @		
			Soldadura		
	De izaje		Varillas # (diámetro)		
			Cantidad		
			Separación @		
			Soldadura		
Control General	Separadores		Ancho		
			Longitud		
			Espesor		
			Pasos para tubería tremie		
			Identificación		
Otros Elementos			Varillas # (diámetro)		
			Cantidad		
			Separación @		
			Tipos		

Observaciones: _____

Nombre y firma Residente de Obra	Nombre y firma Ing. Producción	Nombre y firma Ing. Control de calidad	Nombre y firma Supervisión
-------------------------------------	-----------------------------------	---	-------------------------------

	CONTROL DE COLADO MURO DIAFRAGMA	Código: TSP-JT-06 Versión: 00 Fecha: 08/09/2020
--	---	--

Panel N°	
----------	--

ESPECIFICACIONES DEL CONCRETO		CONTROL EN CAMPO			
Código: _____	fc: _____ kg/cm ²	Teórico Real		Prof. desde muro guía (m): _____	Hora inicio: _____
Rev.: _____	Pulg. Permanencia: _____ hr.			Nivel Tope de concreto: _____	Hora Fin: _____

[illegible]

Nombre y Firma Inq. Residente	Nombre y Firma Ing. De Producción	Nombre y Firma Inq. Control de Calidad	Nombre y Firma Responsable de Colado	Nombre y Firma Supervision
----------------------------------	--------------------------------------	---	---	-------------------------------

GRÁFICA DE CONTROL DE COLADO MURO DIAFRAGMA

Código: TSP-JT-07
Versión: 00
Fecha: 08/09/2020

Proyecto: _____

Turno: _____ Fecha: _____

PANEL N°

LODO ANTES DE COLADO

Densidad (gr/cm³)	
Viscosidad (seg)	
Arena %	

Nivel de muro guía: _____

NIVELES

	Proyecto	Campo
Fondo de panel		
Concreto sano		
Concreto real		

CONCRETO

	Teórico	Real
Volumen		
Sobrevolumen		
% Sobrevolumen		

Observaciones:

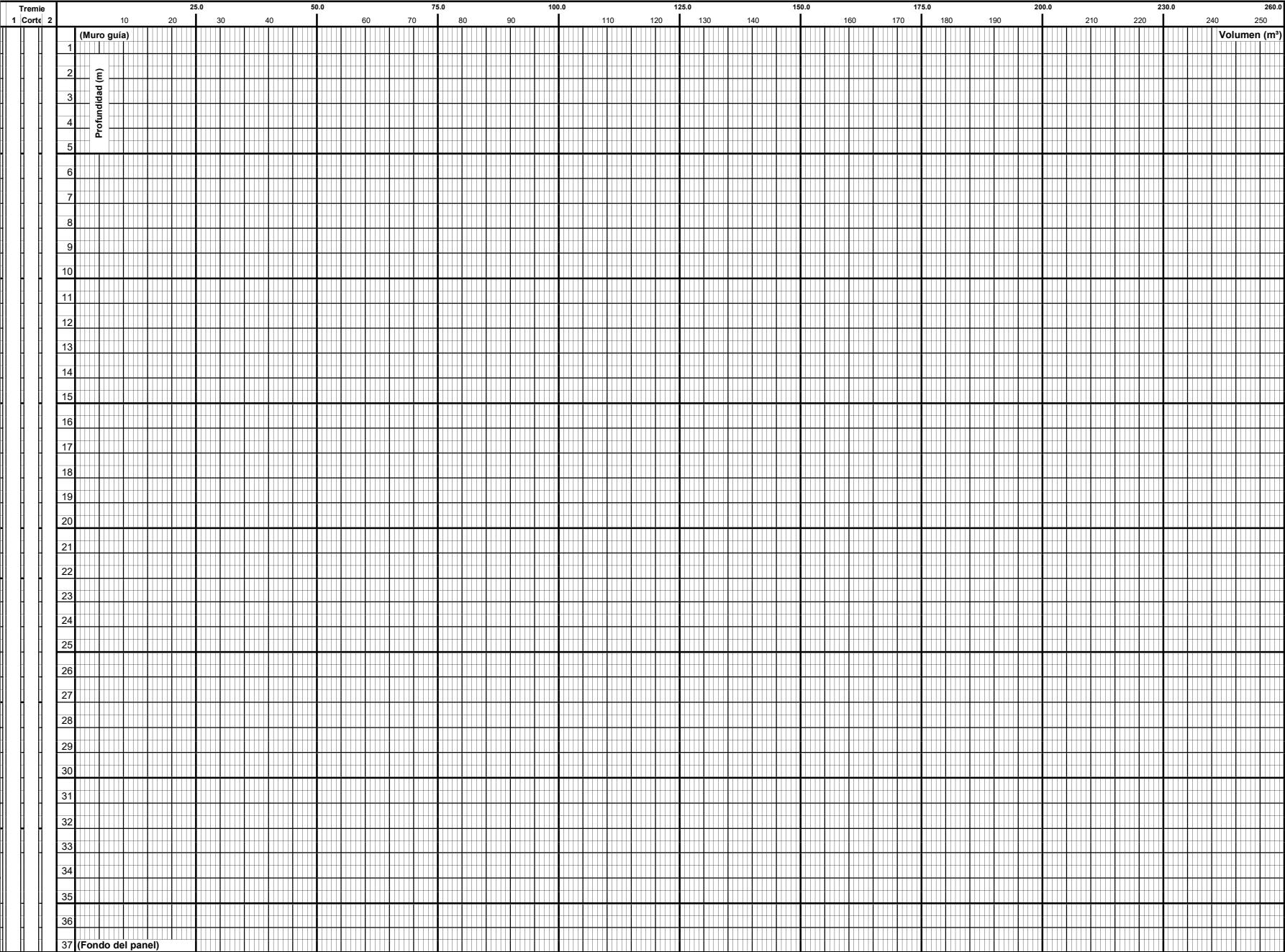
Nombre y firma
Residente de Obra

Nombre y firma
Ing. de Producción

Nombre y firma
Ing. Control de Calidad

Nombre y firma
Responsable de Colado

Nombre y firma
Supervisión



Anexo 8: Diagrama de Flujo de los procesos constructivos de muro diafragma

