



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**PROGRAMACION COLABORATIVA EN OBRA: LAST PLANNER
SYSTEM, A TRAVÉS DE AUTODESK PLANGRID, CON UN
ENFOQUE VDC, APLICADO EN LA OBRA PARMA**

Autor
Santiago Agudelo Buitrago

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería
Civil.
Medellín, Colombia
2020



PROGRAMACION COLABORATIVA EN OBRA: LAST PLANNER SYSTEM, A TRAVÉS DE
AUTODESK PLANGRID, CON UN ENFOQUE VDC, APLICADO EN LA OBRA PARMA

Santiago Agudelo Buitrago

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesores

Nora Elena Villegas Jiménez
MSc. Profesora asociada – Universidad de Antioquia Facultad de ingeniería,
Escuela ambiental.

Arq. Felipe Alejandro López Valencia
Líder Estrategia Digital: Gestión Colaborativa en Obra.
Muros y Techos S.A.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental, Ingeniería Civil
Medellín, Colombia
2020.

Tabla de contenido

Descripción General.....	5
Introducción	6
Objetivos	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
Marco Teórico	8
Metodología	10
Análisis y resultados	56
Conclusiones	57
Referencias Bibliográficas	57

Índice de tablas

Tabla 1: Ejecución de pilas de fundación por capas.	23
Tabla 2: Información técnica de pilas de contención y fundación del proyecto.	39
Tabla 3: Secuencia de ejecución de vigas de fundación y cabezotes.	40
Tabla 4: Secuencia de ejecución de armado y vaciado de losa nivel 1548 msnm.	47
Tabla 5: Secuencia de ejecución de armado y vaciado de losa nivel 1551 msnm.	52

Índice de figuras

Figura 1: Localización general del proyecto.	5
Figura 2: Visualización general del proyecto, fachada Norte (from sketchUp Viewer).	5
Figura 3: Visualización general del proyecto, fachada sur (from sketchUp Viewer).	6
Figura 4: Metodología de trabajo en Obra Parma.	11
Figura 5: Plano estructural de la planta de fundaciones.	13
Figura 6: Nomenclatura plano estructural de la planta de fundaciones.	14
Figura 7: Planta de fundaciones en 3D.	15
Figura 8: Vista en 3D del sistema de fundaciones.	16
Figura 9: Dashboard de PlanGrid: Obra Parma.	17
Figura 10: Listado de sellos de incidencia sobre una semana específica.	17
Figura 11: Sello de incidencia.	18
Figura 12: PAC actividades programadas por contratista.	18
Figura 13: Listas de ejecución.	19
Figura 14: Lista de cuadrillas por contratista.	20
Figura 15: Sello de ejecución en el plano de fundaciones.	21
Figura 16: Sello de ejecución: Columnas.	22
Figura 17: Ejecución de pantalla de pilas ancladas.	24
Figura 18: Registro fotográfico del sistema de contención.	25
Figura 19: Apertura de pilas de contención.	26
Figura 20: Finalización excavación de pilas de contención.	27
Figura 21: Vaciado pilas de contención.	28
Figura 22: Vaciado de muros entre pilas de contención.	29
Figura 23: Inicio de excavación viga cabezal.	30
Figura 24: Fin de excavación viga cabezal.	31

Figura 25: Vaciado de viga cabezal.	32
Figura 26: Excavación y vaciado del primer lote de pilas: Zona plataforma.	33
Figura 27: Excavación y vaciado del segundo lote de pilas: Zona plataforma.	34
Figura 28: Excavación y vaciado del tercer lote de pilas: Zona plataforma.	35
Figura 29: Excavación y vaciado del cuarto lote de pilas: Zona torre.	36
Figura 30: Visualización digital del conjunto de pilas finalizado.	37
Figura 31: Excavación parcial del conjunto de pilas de fundación.	37
Figura 32: Excavación total del conjunto de pilas de fundación.	38
Figura 33: Excavación y vaciado del primer lote de VF y cabezotes: Zona plataforma.	41
Figura 34: Excavación y vaciado del segundo lote de VF y cabezotes: Zona mixta.	42
Figura 35: Excavación y vaciado del tercer lote de VF y cabezotes: Zona torre.	43
Figura 36: Excavación y vaciado del cuarto lote de VF y cabezotes: Zona torre.	44
Figura 37: Registro fotográfico del proceso de VF y cabezotes.	45
Figura 38: Registro fotográfico del proceso de VF y cabezotes.	45
Figura 39: Registro fotográfico del proceso de VF y cabezotes.	46
Figura 40: Registro fotográfico inicio de armado losa nivel 1548 msnm.	47
Figura 41: Armado y vaciado de primera capa de losa.	48
Figura 42: Registro fotográfico armado de losa.	48
Figura 43: Armado y vaciado de segunda capa de losa (2 tramos).	49
Figura 44: Armado y vaciado de tercera capa de losa (2 tramos).	50
Figura 45: Armado y vaciado de cuarta capa de losa (2 tramos).	51
Figura 46: Armado y vaciado de primera capa de losa (1 tramo).	52
Figura 47: Armado y vaciado de segunda capa de losa (3 tramos).	53
Figura 48: Armado y vaciado de tercera capa de losa (3 tramos).	54
Figura 49: Registros fotográficos armado y vaciado de losas.	55

APOYO A LA GESTIÓN COLABORATIVA EN OBRA EMPLEANDO LA APLICACIÓN PLANGRID

Descripción General

Información general: El proyecto “Parma”, es un conjunto mixto, donde se albergarán dos torres residenciales y una tercera torre de uso comercial: oficinas. El proyecto se sitúa en la ciudad de Medellín – Antioquia, barrio La Linde del Poblado, con vías principales de acceso, en el costado sur calle 12 y costado norte por la calle 11B. Parma es un proyecto en unidad cerrada con 174 apartamentos en total. Torre 1 y torre 2 cuentan con 4 apartamentos por piso y 2 ascensores por torre. Los apartamentos se entregan completamente terminados, la construcción es de tipo tradicional y el proyecto es estrato 6.



Figura 1: Localización general del proyecto.



Figura 2: Visualización general del proyecto, fachada Norte (from sketchUp Viewer).



Figura 3: Visualización general del proyecto, fachada sur (from sketchUp Viewer).

El presente proyecto se sustentará sobre la torre 2, puesto que para el momento en que se inició con este trabajo, la torre estaba en su fase inicial, además de ser el frente de trabajo donde se pudo tener incidencia directa de los procesos, metodologías y herramientas que se expondrán posteriormente.

Introducción

La metodología de “Lean Construction” se basa en la gestión de proyectos regidos a los principios de la mejora continua. Constantemente se busca minimizar las pérdidas y maximizar el valor del producto final [1]. Mediante la implementación de técnicas Lean, se incrementa la productividad y se minimizan las pérdidas, se optimiza la rentabilidad total de un proyecto de construcción en donde, además, se alcanzan niveles satisfactorios en la planificación y control sobre las actividades programadas.

Al implementar el conjunto de secuencias que definen la metodología Lean, se refleja sobre los proyectos, múltiples beneficios, entre ellos la reducción en el tiempo de ejecución, aumento en la productividad, eficiencia, y calidad en el entregable. [1]

Cuando se desea optimizar la ejecución de obras de infraestructura surgen algunas metodologías que al igual que la metodología Lean, nacen a partir de la necesidad de dinamizar el flujo de trabajo y cerrar la brecha de comunicación entre el equipo de diseño y el equipo de construcción de un proyecto, es decir, comunicación directa entre diseñadores y constructores; donde históricamente, dicha brecha ha representado uno de los mayores retos en la industria.

Muros y Techos S.A., ha pretendido adoptar metodologías y estrategias que permitan crear simulaciones digitales en la planificación de sus proyectos basado en la coordinación de las partes implicadas, y así mismo, el debido seguimiento en la ejecución de estos (gestión colaborativa en

obra). De esta forma se planifica, se ejecuta y se monitorea cada proceso de forma colaborativa, congruente y eficiente.

Se enfatiza las metodologías y herramientas que se emplearon en el proyecto Parma: “Lean Construction”, “Building information modeling (BIM)” y “Virtual Design & Construction (VDC)”, donde cada una de estas tiene un papel estratégico en el proceso del proyecto y que como fin último, su integración no solamente busca crear una herramienta de visualización 3D y de detección de interferencias o colisiones, sino que además se busca escalar a nivel de producir un instrumento fuera de obra que sirva para contribuir con la industrialización la construcción.

La articulación de estas metodologías y herramientas desafía la planificación y ejecución de proyectos de infraestructura, teniendo en cuenta que supone la evolución de los sistemas de diseño tradicionales; se emplean datos generados en los modelos BIM (3D) para gestionar los procesos de producción (Project Production Management) usando las variables tiempo (4D) y costo (5D), donde, además, es posible obtener en tiempo real avances gráficos. Lo anterior, cabe resaltar, siempre vinculado a información digital. Por otra parte, es fundamental destacar que, de forma paralela, Lean gestiona proyectos buscando disminuir esfuerzos y costos, sin reducir la calidad, se trata de una optimización continua de un proceso. [1]

Como es evidente, y de forma resumida, se busca industrializar la construcción, migrando a los modelos digitales que contienen información en dimensiones intangibles: tiempo y costos.

Este proyecto se desarrolló con la ayuda de algunos softwares de la casa matriz Autodesk: PlanGrid, BIM 360 y Revit; así como la suite ofimática. A través de estos, se pudo realizar el acoplamiento de información técnica, vinculando a ésta el control de actividades de programación necesarias para la obra, visualización del avance gráfico y gestión de las dimensiones tiempo y costo.

Objetivos

Objetivo general

Gestionar de forma óptima, la ejecución de actividades de la programación general del proyecto Parma, a través de la consolidación de información verídica y útil que permita potenciar el trabajo colaborativo en obra.

Objetivos específicos

- Adquirir información y capacitación sobre las metodologías empleadas y los softwares de productividad de la casa matriz Autodesk.
- Programar semanalmente las actividades de obra según la programación general, teniendo en cuenta la ruta crítica, la superposición de actividades, los recursos humanos y sus rendimientos.
- Realizar un sistema de avance gráfico que permita visualizar y proyectar la ejecución de obra, teniendo en cuenta la ruta crítica del proyecto.
- Realizar semanalmente el Last Planner® System (LPS) para el control de actividades de la programación de obra, donde se evaluará el porcentaje de ejecución, recursos destinados y calidad, basado en el monitoreo realizado mediante el sistema del avance gráfico implementado.

- Generar integración y canales de información efectivos entre todos los implicados en el proceso constructivo de la obra Parma. Se espera crear flujos de trabajo continuo y previsible, donde se administre efectivamente la incertidumbre asociada a las actividades.
- Promover el uso de softwares de productividad y gestión de documentos en obra, buscando dinamizar el flujo de trabajo, la gestión colaborativa y la productividad.
- Disminuir los reprocesos en obra asociados a la falta de información y errores de comunicación entre los integrantes del equipo de trabajo de Parma.

Marco Teórico

Para la correcta comprensión del propósito y justificación de esta propuesta, es apropiado contextualizarse con los términos aplicados.

- Lean: Es un término que se refiere a una forma comprobada de hacer negocios, centrado en maximizar el valor para los clientes mediante la eliminación implacable de todas las pérdidas y garantizar que las actividades que generen valor se han completado con eficiencia [2].
- Lean Construction: Es una filosofía de producción enfocada en maximizar el valor y minimizar el desperdicio. El enfoque dirigido a la gestión de proyectos de construcción para maximizar el valor y minimizar las pérdidas, mediante la aplicación de técnicas conducentes al incremento de la productividad en los procesos de construcción. Es una estrategia de gestión de proyectos de construcción que busca: 1. eficiencia 2. eliminación de cuellos de botella 3. orden, aseo, 4. planificación y 5. trabajo en equipo. [2]
- Modelo de producción convencional: El modelo convencional de producción fue establecido en el siglo XIX cuando las industrias se enfocaron en el proceso de conversión, es decir, la transformación de las entradas (materiales, mano de obra, información) hacia las salidas (productos terminados). Como modelo de producción ha sido aceptado y usado, pero se encuentra subdesarrollado (Botero, 2006). Es un modelo lento, ya que no dinamiza las secuencias de ejecución, y la duración del proyecto no se logra reducir, puesto que las actividades no están premeditadas para ser abordadas en simultáneo. [3]
- Modelo de producción Lean: Es un modelo en el que las actividades están orientadas a producir un valor único para el cliente basado en cinco principios básicos: calidad, cadena de valor, flujo de trabajo, programación y la mejora continua. Implementar Lean significa adoptar el enfoque de proyecto como sistema de producción y definir el objetivo en términos de clientes. La duración y el costo están orientadas al proyecto como sistema de producción, por lo tanto, el costo y la duración total son más importante que el de cualquier actividad. [2] Se apunta a la industrialización de la construcción civil, mayor automatismo y menos pérdidas.
- Productividad: Es la medida para el grado de eficiencia con que se administran los recursos para la elaboración de un producto específico, cumpliendo con estándares de calidad y tiempos de entrega.
- Last Planner System: se define como un sistema de planificación y control de la producción para proyectos de construcción, originalmente desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell

desde mediados de los años 90. Se ha posicionado como una herramienta clave para implementar Lean Construction en proyectos de construcción, así como un estándar de la “planificación colaborativa” y la “planificación pull”. permite planificar, tener una visión global de la obra, de los recursos que vas a necesitar y sobre todo manejar la variabilidad. [4]

- Control de programación: Se enfoca en la recolección de información sobre los avances, comparar lo programado con lo realizado y realizar modificaciones necesarias. [5], [2]
- Building Information Modeling (BIM): Es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción. Se enfoca en centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital gestionado por todos los colaboradores. El uso de BIM va más allá de las fases de diseño, abarca la ejecución del proyecto y se extiende a lo largo del periodo de construcción, permitiendo la gestión del mismo y reduciendo los costes de operación [1]. BIM, está basado en el uso de estándares abiertos, como el IFC, que sirve como formato de intercambio de datos entre agentes, procesos y aplicaciones.
- Virtual Design and Construction (VDC): Se refiere a la gestión de procesos multidisciplinarios integrados en los procesos de diseño y construcción de un proyecto. principalmente, simula el proceso constructivo de acuerdo a la información técnica del proyecto, premeditando de forma temprana la ejecución de la obra, aportando dinamismo en la toma de decisiones y reducciones importantes en los reprocesos y riesgos asociados. [7] De forma puntual, VDC es una combinación de nuevas tecnologías (BIM) con un adecuado esquema de trabajo y gestión (PPM), apoyando a las personas que trabajan juntas en el proyecto, de forma integrada y simultánea (ICE). El esquema se enfoca en lograr los objetivos del proyecto, lo que debería ayudar al equipo a lograr sus metas mientras recopila datos y rastrea el progreso del flujo de trabajo.
- Integrated Concurrent Engineering (ICE): es un método de realización de reuniones interdisciplinarias con el uso de tecnologías de visualización modernas, donde se realizan trabajos de diseño simultáneos.
- Project production Management (PPM): es un método para establecer un proceso de producción. Define la programación del flujo de trabajo y los recursos necesarios. PPM emplea herramientas como el Last Planner System o la metodología de planificación visual para gestionar procesos que se basan fundamentalmente en Lean Construction.
- Control de calidad (QC): Parte de la gestión de calidad orientada al cumplimiento de los requisitos de calidad.
- Aseguramiento de la calidad (QA): Parte de la gestión de calidad orientada a proporcionar confianza en que se cumplirán los requisitos de la calidad.

Metodología

A continuación, se describe cada uno de los pasos realizados y técnicas empleadas para el desarrollo del proyecto.

Basado en la información bibliográfica suministrada por la empresa y las reuniones realizadas con los asesores del proyecto, se acotó inicialmente los alcances de la práctica, los recursos necesarios, además de entrar en contexto con el panorama y dinámicas generales del escenario de práctica.

En términos generales, el flujo de trabajo que se buscaba alcanzar, inició con el estudio detallado del proyecto, se identificaron las falencias primarias y se definió la ruta crítica para formular un proyecto congruente y posteriormente, implementarlo.

Se buscó la forma de monitorear asertivamente las tareas y actividades de obra mediante herramientas digitales que permitieran semana a semana, evaluar el avance de obra en todos los frentes de trabajo. Sin embargo, para efectos de este informe, se presentará el procedimiento sobre el frente de estructura en Torre 2, por circunstancias anteriormente mencionadas. Se buscaba obtener visualizaciones digitales 2D y 3D, a las cuales se le pudieran asignar la variable tiempo, costo, impacto en el programa y la gestión de recursos. De esta forma, por ejemplo, a un vaciado de concreto para columnas, aparte de tener las especificaciones técnicas a la mano, se pudo asignarle una cuadrilla de operarios, un tiempo de ejecución, cantidades de materia prima y calcular que tan determinante era esta actividad en la ruta crítica del programa. Es aquí donde se logra apreciar la magnitud del proyecto: una correcta planeación, ejecución efectiva y calidad certificada donde se ven involucradas las metodologías descritas anteriormente.

Para la consecución de este objetivo, fue fundamental reconocer las magnitudes de ejecución (M), buscando generar elementos indispensables como la trazabilidad (1M), secuencias de ejecución (2M), integración geométrica de planos (3M) y control temporal sobre la ejecución de las actividades basado en programación colaborativa (4M) a cada una de las actividades de obra gestionadas.

Se presenta a continuación, un esquema que permite, grosso modo, develar el flujo de trabajo en Obra Parma:

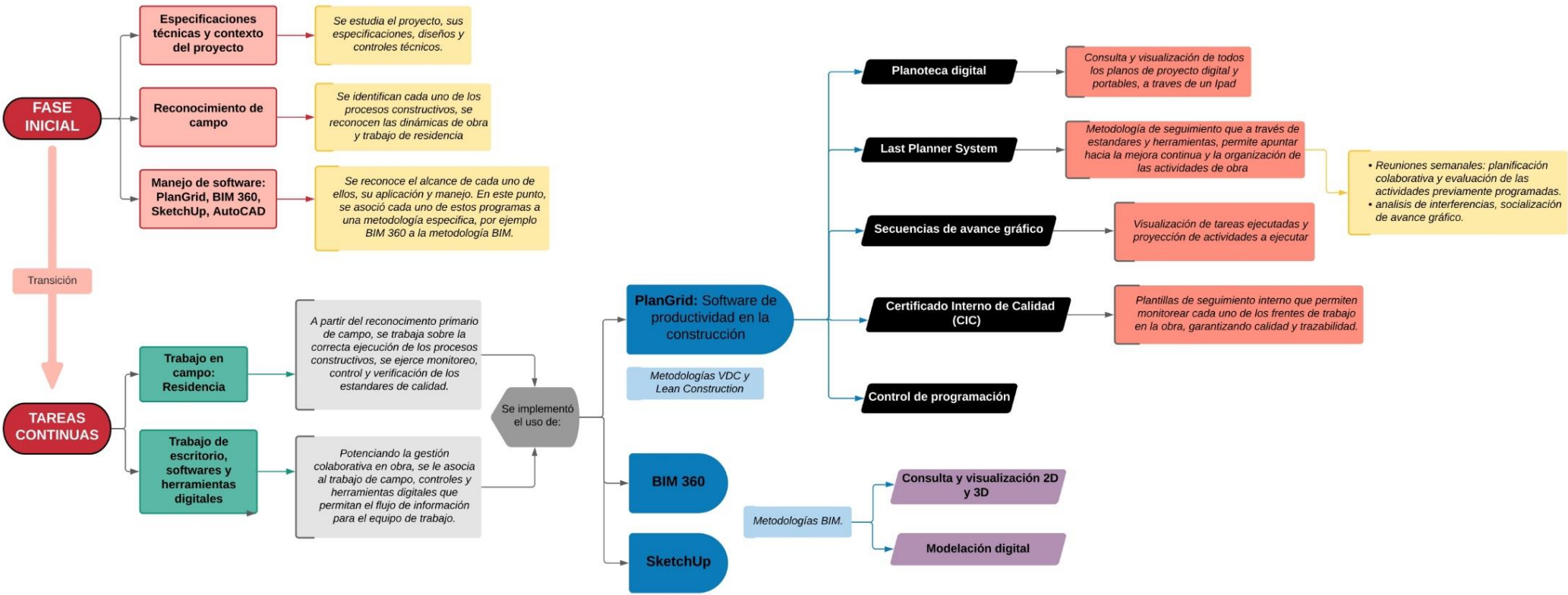


Figura 4: Metodología de trabajo en Obra Parma.

Inicialmente, es importante recordar la secuencia constructiva de una estructura de esta envergadura, se trata de una edificación tradicional aporticado, cimentada sobre pilas de concreto reforzado, rigidizadas por vigas de fundación. La ruta crítica del proceso constructivo es entonces:

1. Fundaciones:

- Conformación y nivelación del terreno
- Excavación de pilas
- Armado y vaciado de pilas
- Excavación de brechas para vigas de fundación (VF)
- Armado de VF, de forma paralela al armado de cabezotes o dados de fundación.
- Vaciado de VF y cabezotes

2. Superestructura:

- Armado y vaciado de columnas
- Armado de losa aérea que se apoya sobre las columnas que le subyacen. En el armado de las losas se comprenden elementos estructurales como vigas, y nervios, puesto que las losas del edificio son de tipo nervada.
- Se repite el procedimiento, grupo de columnas y posteriormente losas.

Dicho esto, se muestra el plano estructural de la planta de fundaciones, el cual corresponde al primer proceso constructivo de la torre, donde se puede apreciar los elementos estructurales, ejes de referencia y niveles:

🔍 Buscar en este plano

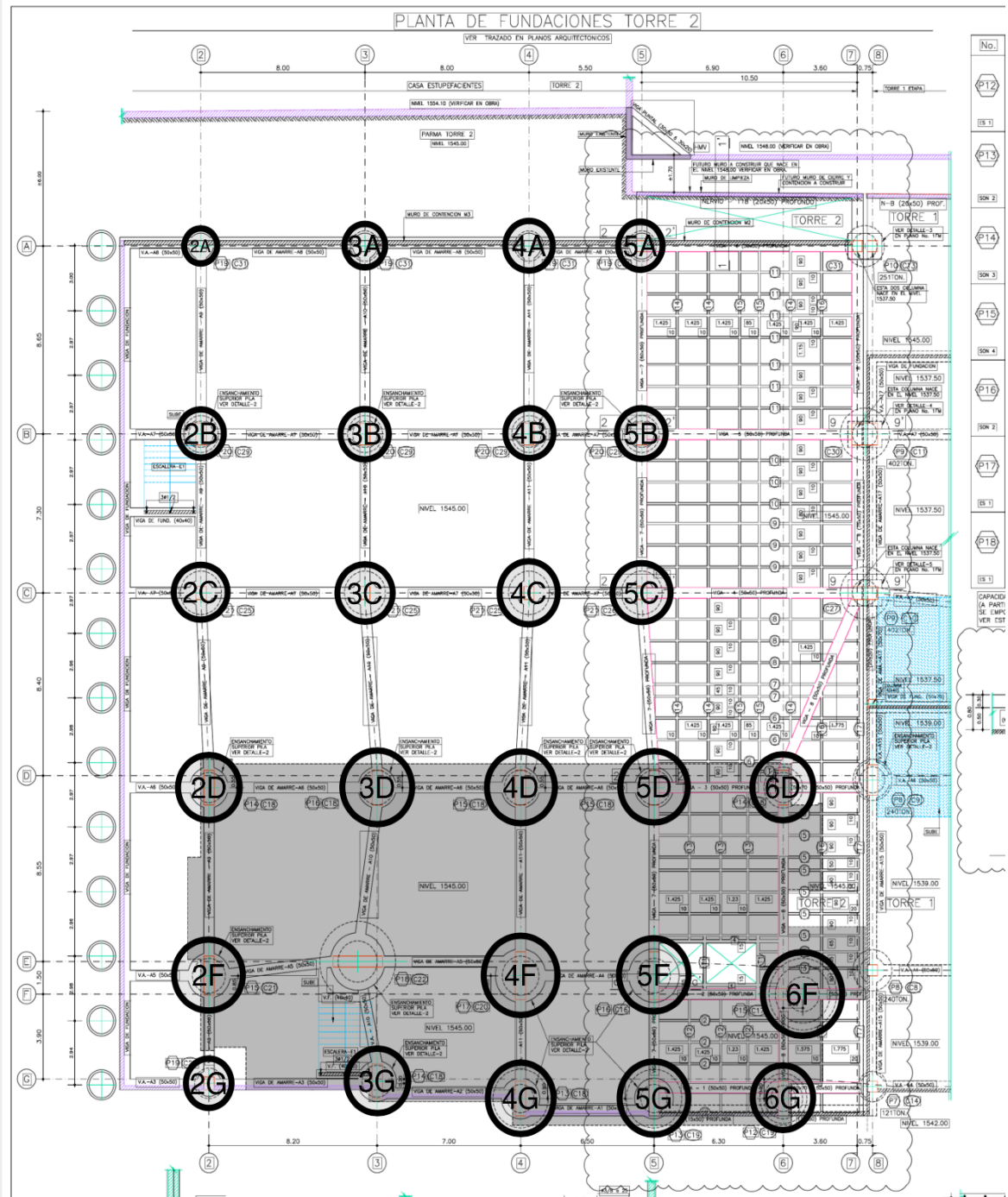


Figura 6: Nomenclatura plano estructural de la planta de fundaciones.

Tridimensionalmente:

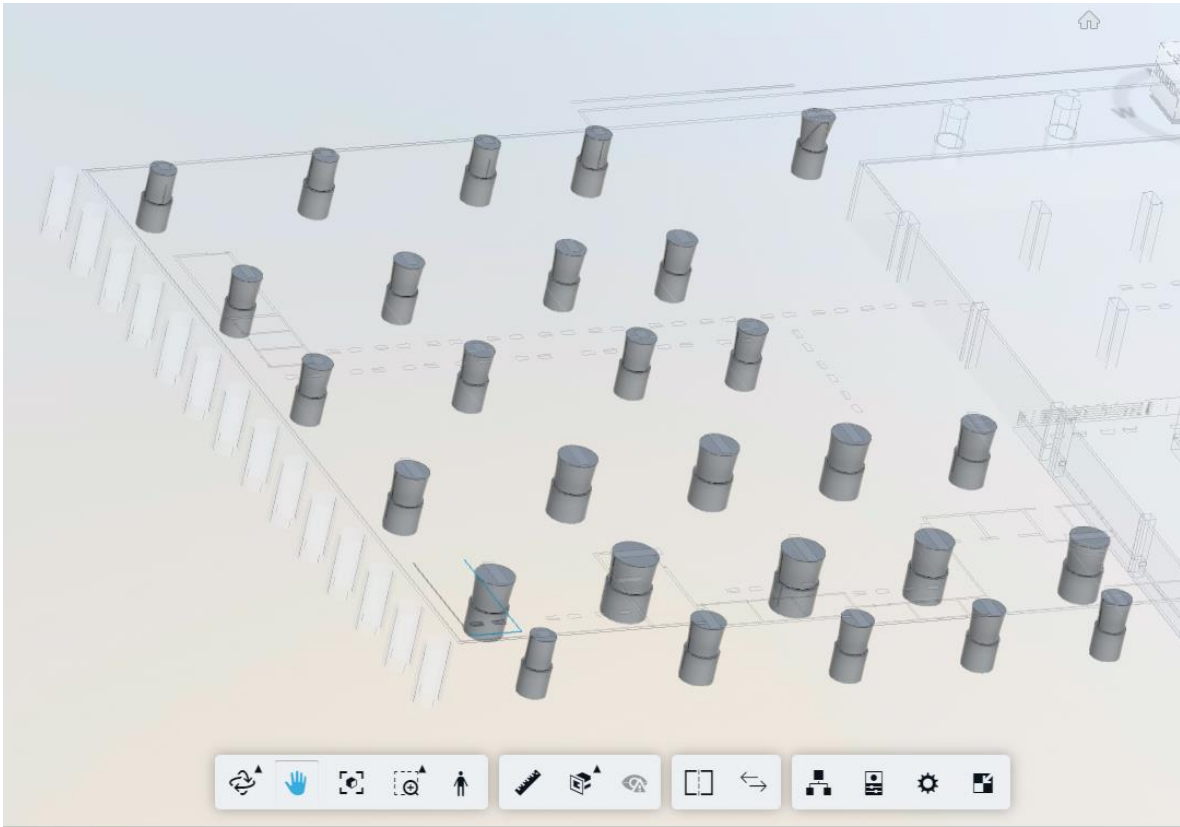


Figura 7: Planta de fundaciones en 3D.



Figura 8: Vista en 3D del sistema de fundaciones.

Una vez visualizado en 2D y 3D, las fundaciones de torre 2, se introduce en este punto el software de productividad PlanGrid, el cual fue una herramienta de uso diario en el tiempo de residencia en la obra, y que inclusive, se ha convertido la principal herramienta de gestión de obra para la compañía. Para el proyecto Parma en específico, se definió un workspace donde se puede visualizar la estructura del software y los elementos que comprende su dashboard:

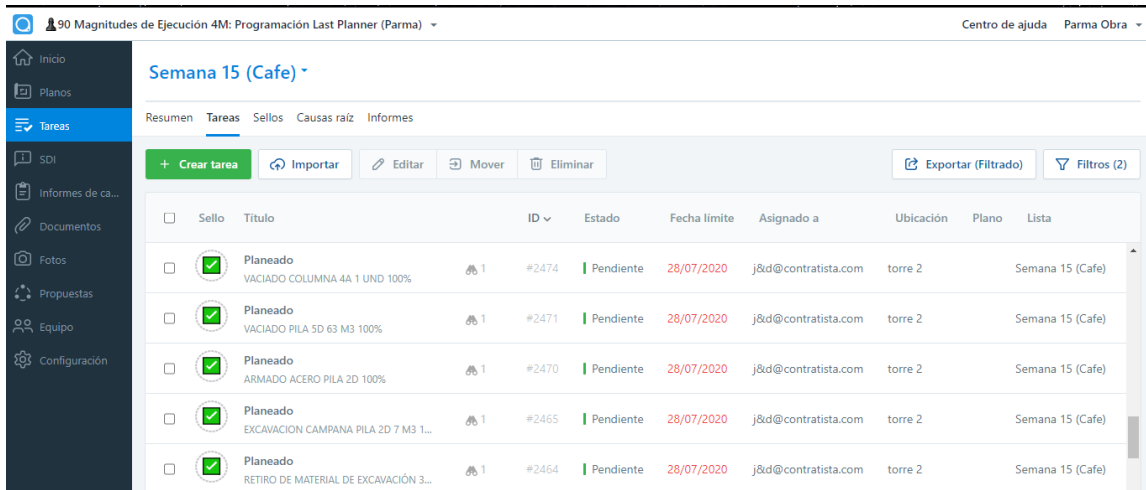


Figura 9: Dashboard de PlanGrid: Obra Parma.

Sobre el menú izquierdo, se cuenta con un espacio para almacenar los planos, detalles y especificaciones técnicas, sección de tareas (task), espacio para albergar documentos, registros fotográficos, miembros del equipo de trabajo, entre otros. Mientras que, en la parte central, se puede apreciar una línea de tiempo que está definida por la fecha de ejecución del proyecto, además de notificar los cambios e información más relevante sobre el proyecto.

Partiendo de la programación general de la obra, semana a semana se programaban tareas a ejecutar que estuvieran en congruencia con los plazos establecidos por el programa de obra; PlanGrid permitía generar tasks donde se es posible asignar diferentes parámetros a una sola actividad, y agruparlas por contratistas y/o frentes de trabajo.

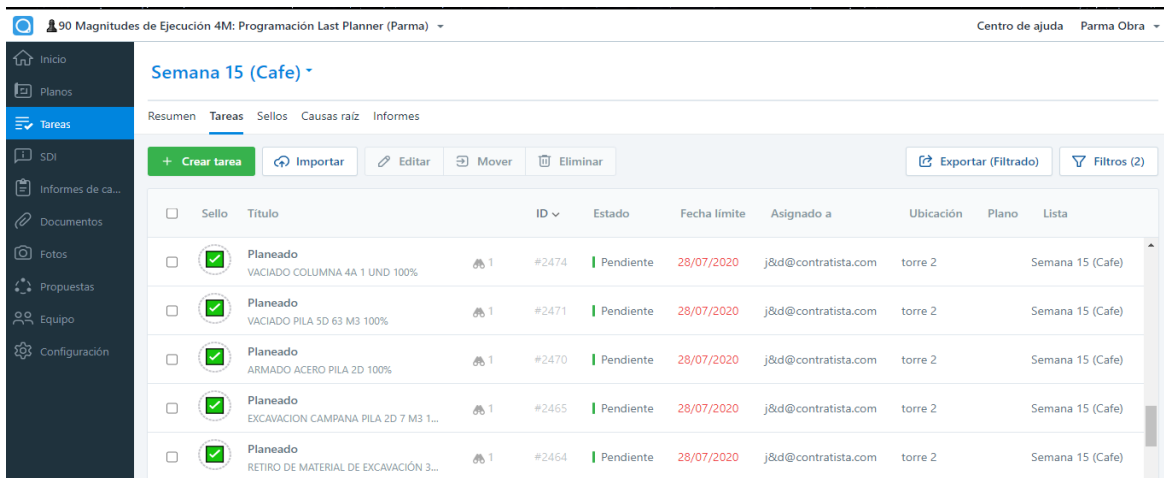


Figura 10: Listado de sellos de incidencia sobre una semana específica.

Cada task permite asignar la siguiente información:

- Título de la actividad.
- Estado de la actividad: Indicando el estado de ejecución, es decir, si el sello de incidencia cuenta abierto, en revisión, pendiente o cerrado.

- Tipo de trabajo.
- Asignación de la actividad: se refiere al contratista que se le ha asignado ejecutar una(s) actividad(es) específica(s)
- Observador de la actividad: se refiere al ingeniero residente encargado de supervisar dicha actividad.
- Ubicación: localización espacial de la actividad.
- Fecha de inicio y finalización de la actividad
- Sello de incidencia: se refiere al estado de ejecución que tiene la actividad, en este sello se puede calificar si la actividad fue ejecutada de forma conforme o no, y si es del caso que no fue ejecutada, determinar si fueron causas imputables al contratista o ajenas a él. Esta herramienta es muy indicativa para determinar los rendimientos de cada contratista semana a semana y socializar mediante la reunión de Last Planner.



Figura 11: Sello de incidencia.

Estadísticamente, es posible en esta herramienta, agrupar el conjunto de tasks planificadas para una semana específica una vez verificado su estado de conformidad o no en la reunión de last planner. Así pues, es posible obtener el PAC (porcentaje de asignaciones completas) bajo el siguiente formato, teniendo en cuenta el código de colores especificado en la Figura 11:

j&d@contratista.com

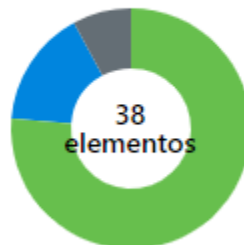


Figura 12: PAC actividades programadas por contratista.

- Lista: Para el proyecto Parma, se definió una lista de semanas, la cual me permitiera filtrar las actividades por la semana en la que fueron programadas.

← Atrás	Listas	Editar
Sin lista		
LISTAS		
Semana 01		
Semana 01 (Rojo)		
Semana 02 (Naranja)		
Semana 03 (Cafe)		
Semana 04 (Amarillo)		
Semana 05 (Oliva)		
Semana 06 (Verde)		
Semana 07 (Cian)		
Semana 08 (Azul)		
Semana 09 (Morado)		
Semana 10 (Rosa)		
Semana 11 (Gris)		
Semana 12 (Negro)		

Figura 13: Listas de ejecución.

- Plano: permite ubicar los sellos de incidencia en un plano específico del proyecto, permitiendo vincular la información de una actividad en un plano (Metodología BIM).
- Descripción de la actividad.
- Fotos y videos: registro fotográfico del proceso de ejecución y producto final de la actividad.
- Impacto en coste.
- Impacto en el programa general.
- Comentarios del observador, donde indique por ejemplo la razón por la cual una actividad no se ejecutó conforme.
- Asignación de cuadrillas de operarios: Permite asignar a cada actividad un grupo de operarios específico. así, además de monitorear el rendimiento de cada contratista mediante el estado de los sellos, es posible monitorear el rendimiento de una cuadrilla específica de cada contratista.

J&D (AMARILLO)

Yellow SST: William Ríos / Esteban Arango

Yellow 02: Eduis Manuel Anaya / David Enrique San Martí...

Yellow 01: Javier Barrera / José Méndez / Guillermo Pache...

Yellow 03: Oscar Humberto Taborda / Juan Camilo Tabord...

Yellow 04: Wilson Taborda / Pedro Posada / Franklin Angulo

Yellow 05: Fredy Montoya / justo Mosquera / Walter C... ✓

Yellow 06: Wilfer Baltazar / Onalvis Barrera / Leonel Osori...

Yellow 07: Juan Gabriel Bertel / Higinio Lozano

Yellow 08: John Jairo Pino Espinoza / Manuel Antonio Guz...

Yellow 09: Rosember Zambrano / Jonatan Cassiani / Migu...

Yellow 11: Libaniel Montoya / Arley Puerta

Yellow 10: Elias Giraldo / Daniel Mosquera / Yefri Viloría

Yellow 12: Johny Gallego / Miguel Aguilar / Luis Fernando...

Yellow 13: Antonio Hinestroza / Andrés Felipe Sánchez

Yellow 14: Alonso de Jesús Sepúlveda / Alberto Amado Hi...

Yellow 15: Edgar Girón Joaquín / Luis Carlos Villa / Luis Alf...

Yellow 16: Manuel Ibarguen / Tarcilio Rentería / Yomenis...

Yellow 19: Alonso Pulgarín / Ramiro Meneses / Alberto Vel...

Figura 14: Lista de cuadrillas por contratista.

Además de agrupar las tareas y toda la información que se le puede vincular, también se tiene la posibilidad de generar sobre un plano bidimensional, sellos de incidencia que finalmente contenían la información previamente detallada y le permitía al grupo de trabajo ubicarse espacialmente en el proyecto, sin dejar de lado la información mencionada. Hablando de torre 2, tenemos lo siguiente sobre de la planta de fundaciones:

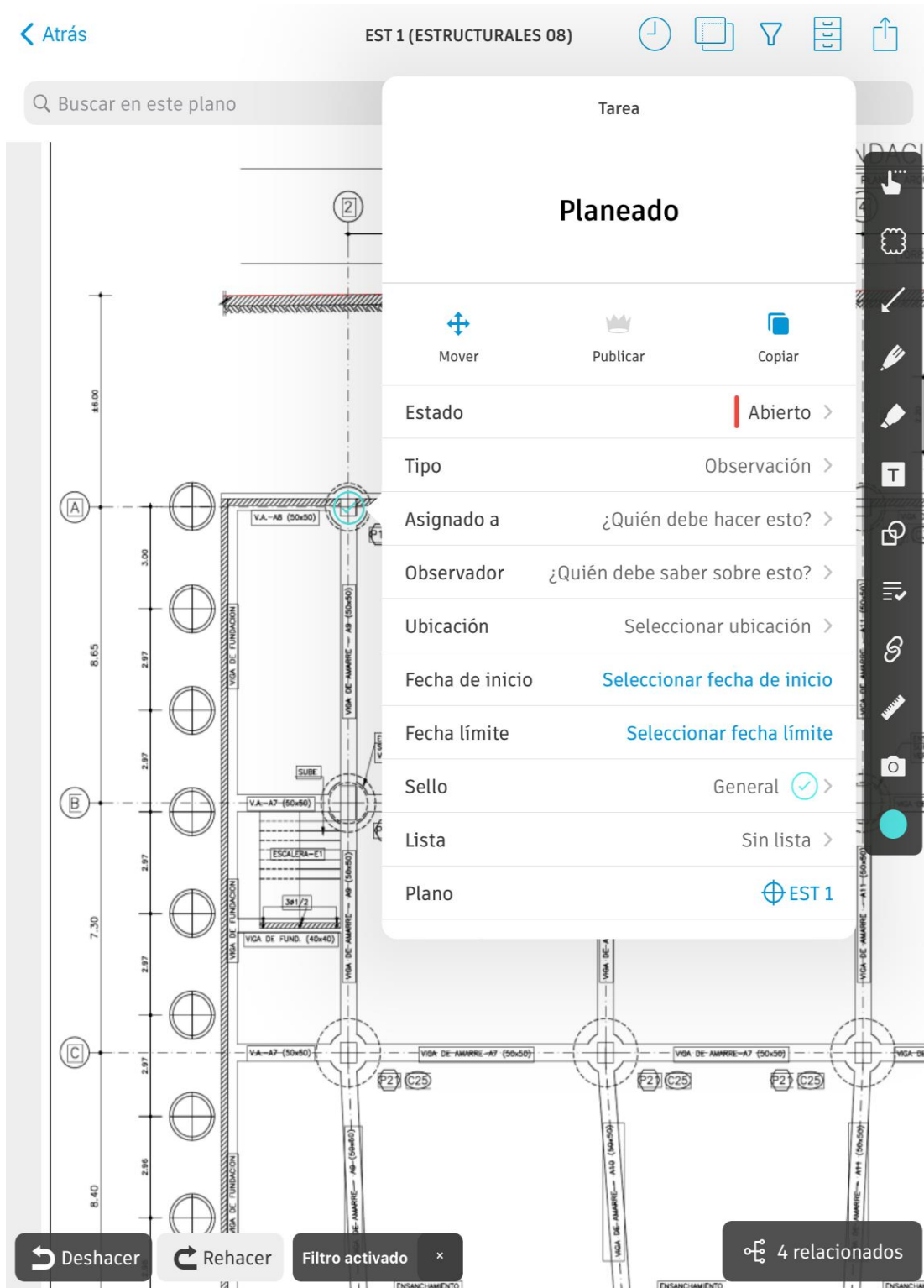


Figura 15: Sello de ejecución en el plano de fundaciones.

Una vez ilustrada la forma en la que se lleva a cabo la programación las actividades del proyecto, se muestra para torre dos el proceso:

Por ejemplo, para en nivel 1545 de torre dos:

🔍 Buscar en este plano

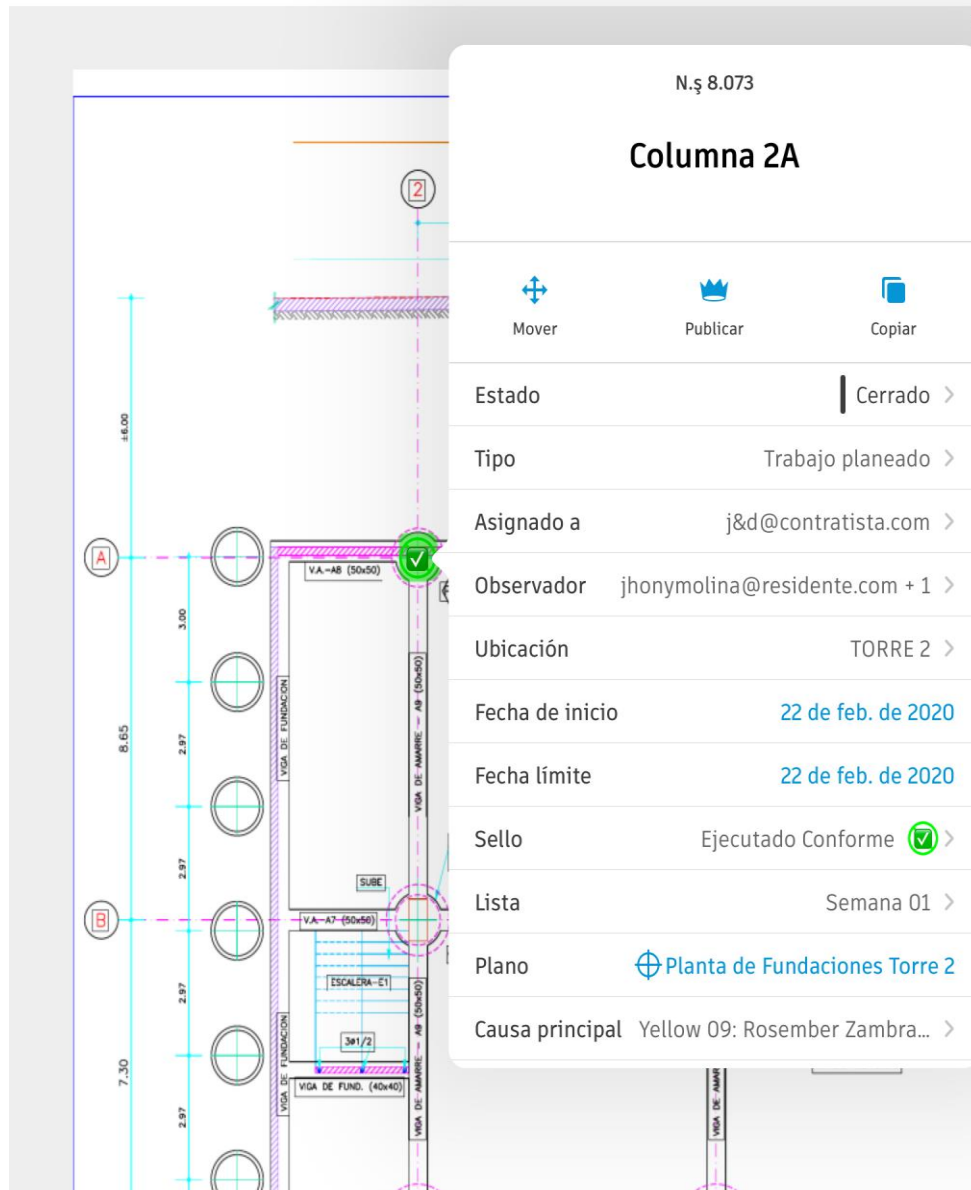


Figura 16: Sello de ejecución: Columnas.

y así sucesivamente para cada elemento a ejecutar, tanto pilas como cabezotes, vigas de fundación, columnas, muros de concreto y losas. PlanGrid además de agregar sellos de incidencia sobre los planos con información vinculada, también permitió implementar una herramienta clave de la metodología VDC, se trata de los avances gráficos de ejecución, teniendo en cuenta que la información de los sellos seguía presente, y es allí donde se permite la articulación de las metodologías, teniendo claro cuáles son los límites y elementos que acota cada una de ellas.

Para la ejecución de las pilas, por ejemplo, vamos a agrupar la fecha de vaciado de pilas por capas, cada capa contiene la siguiente información:

CAPA	COLOR	MES	AÑO
Capa 1	Azul	Marzo	2019
			2019
			2019
Capa 1	Gris	Enero	2019
	Naranja	Noviembre	2019
	Café	Diciembre	2019
Capa 2	Rosa	Enero	2020
	Celeste	Febrero	2020
	Verde	Marzo	2020
Capa 3	Oliva	Abril	2020
	Azul	Mayo	2020
	Morado	Junio	2020
Capa 4	Amarillo	Julio	2020
	Rojo	Agosto	2020
	Negro	Septiembre	2020

Tabla 1: Ejecución de pilas de fundación por capas.

Dicho esto, se muestra entonces la secuencia de ejecución para la excavación, armado y posterior vaciado de las pilas de fundación de torre dos:

Buscar en este plano

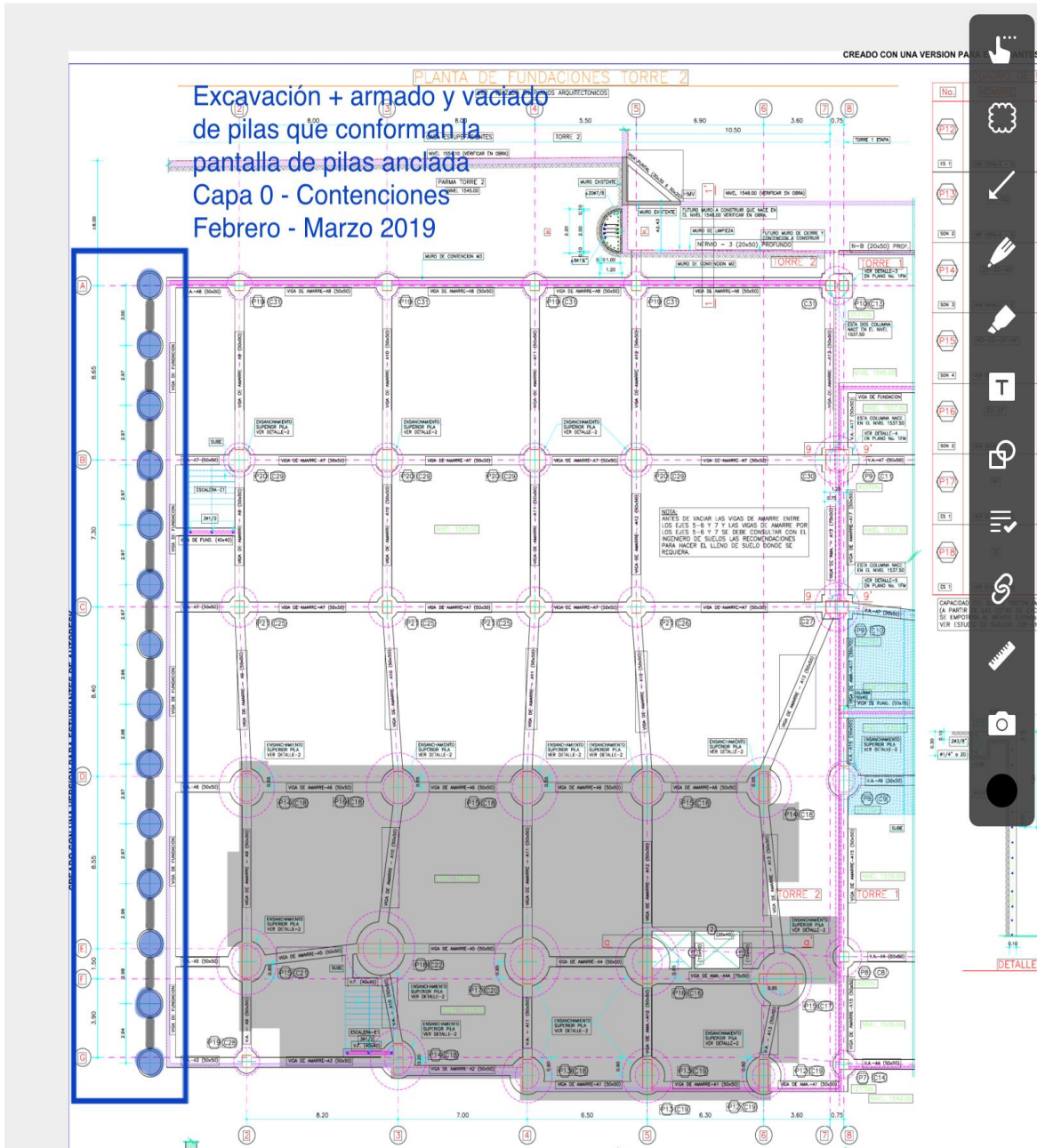


Figura 17: Ejecución de pantalla de pilas ancladas.

Inicialmente, como se muestra en la figura anterior, se procedió con un sistema de contención al costado oriental del lote de la torre, puesto que el lote colinda con una estructura pre existente (Edificio Art Living). Es por esto que, entre los meses de febrero y marzo de 2019, se ejecutaron 14 pilas, conformando una pantalla de pilas que, además, fue postensada con una línea de anclajes activos.



Figura 18: Registro fotográfico del sistema de contención.

Se procede a desglosar detalladamente el proceso constructivo de la pantalla de pilas, para dar un indicio más claro de cómo funciona un avance gráfico:

Iniciando con la apertura de la pila en superficie y posteriormente excavación en profundidad:

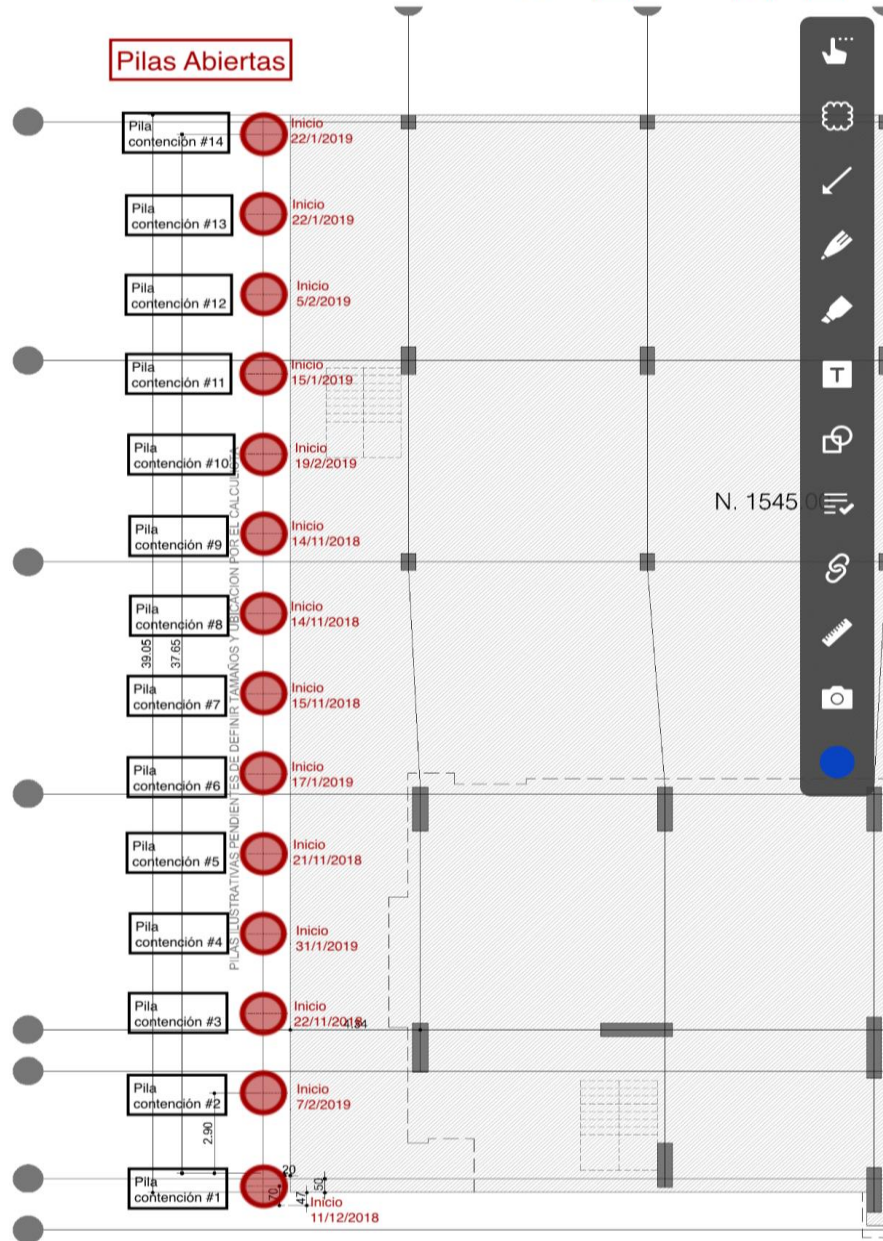


Figura 19: Apertura de pilas de contención.

Luego, se tiene la excavación de cada pila y su fecha de finalización:

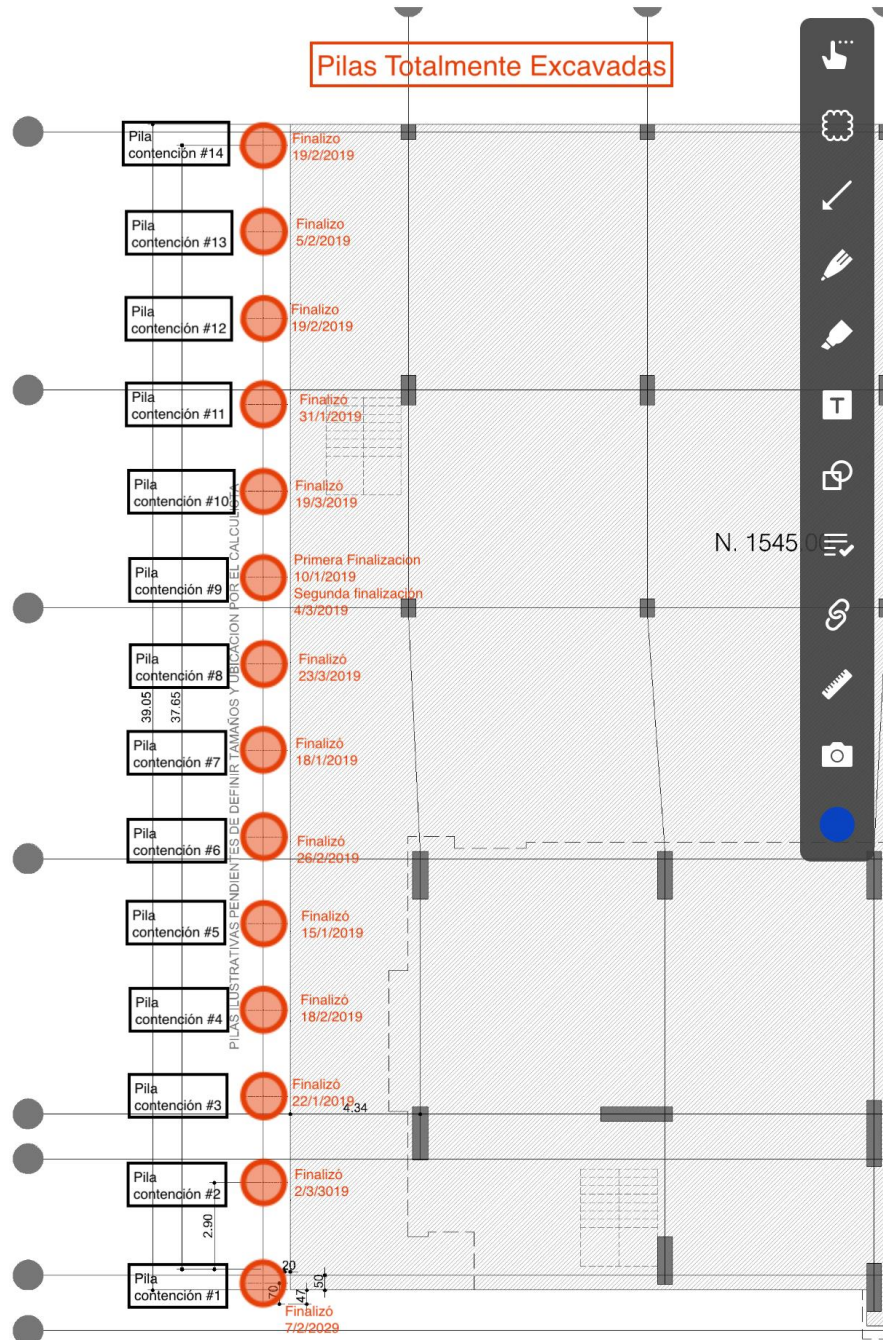


Figura 20: Finalización excavación de pilas de contención.

Una vez completada la excavación, se procede con el vaciado de las pilas, de la siguiente manera:

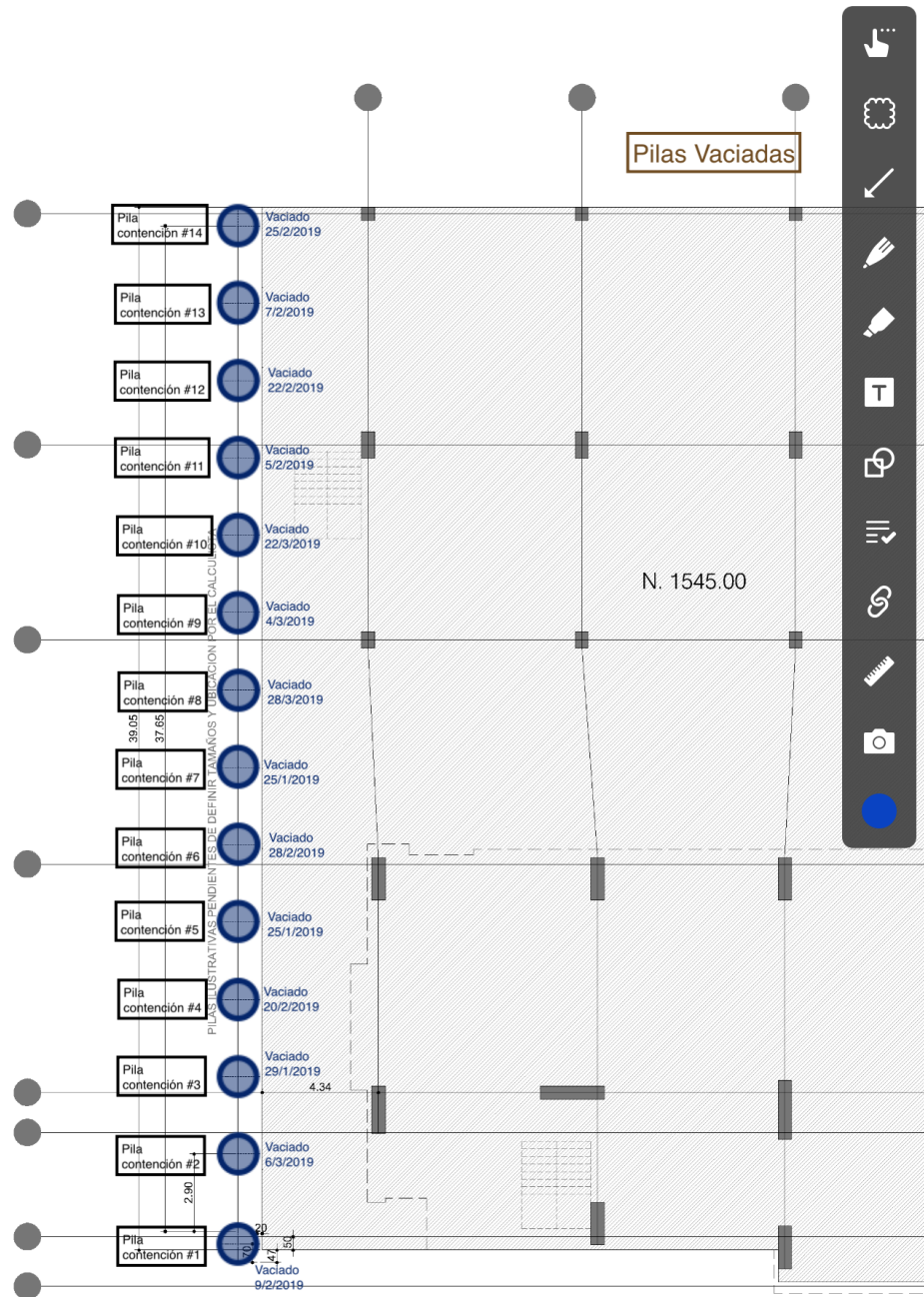


Figura 21: Vaciado pilas de contención.

Vaciado de muros entre pilas y posterior postensado:

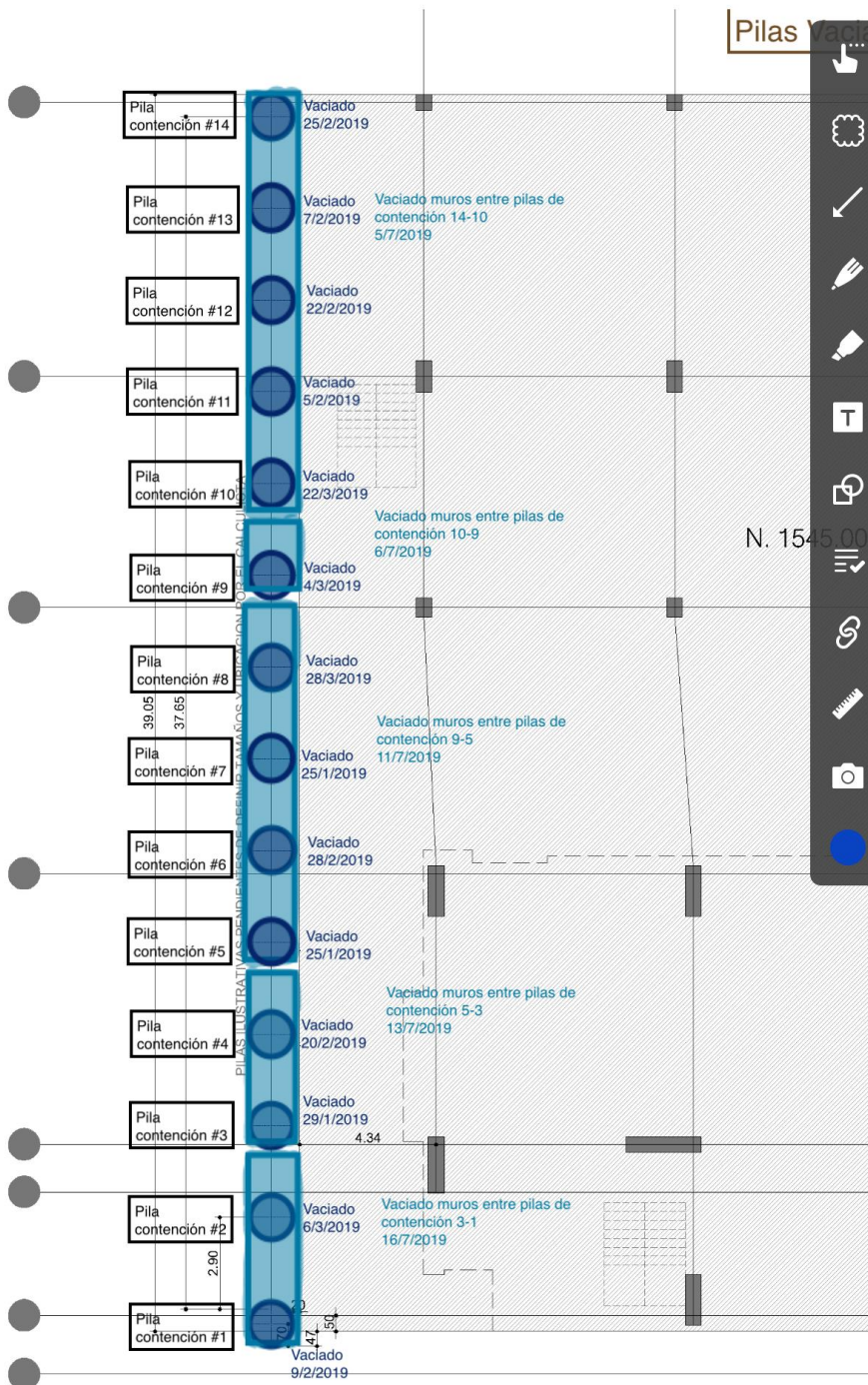


Figura 22 Vaciado de muros entre pilas de contención.

Análogamente para la viga cabezal, iniciando con la apertura de la brecha, finalización en proceso de excavación y posterior vaciado del elemento de rigidez estructural, que les permitirá a las pilas, trabajar como grupo estructural:

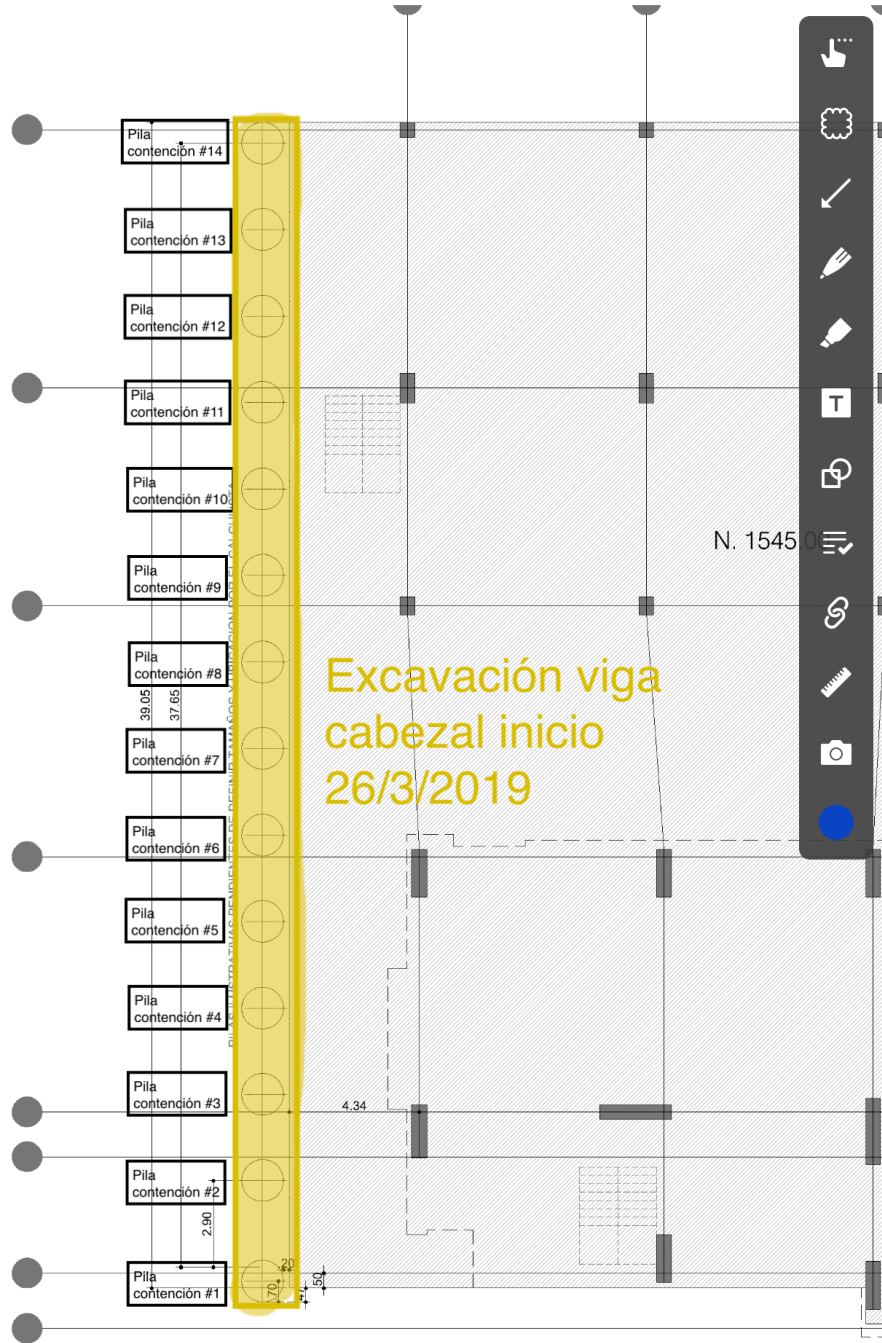


Figura 23: Inicio de excavación viga cabezal.

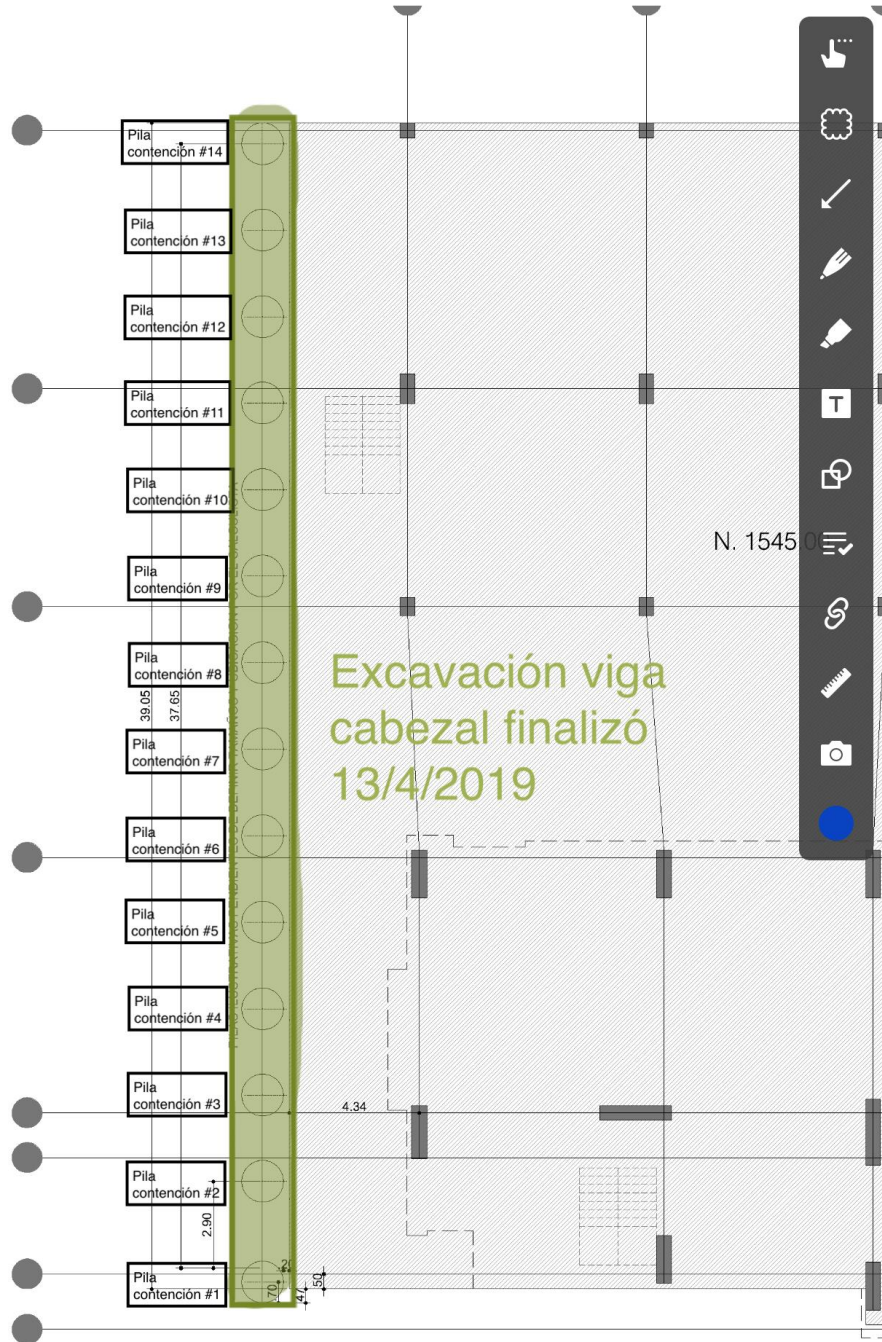


Figura 24: Fin de excavación viga cabezal.

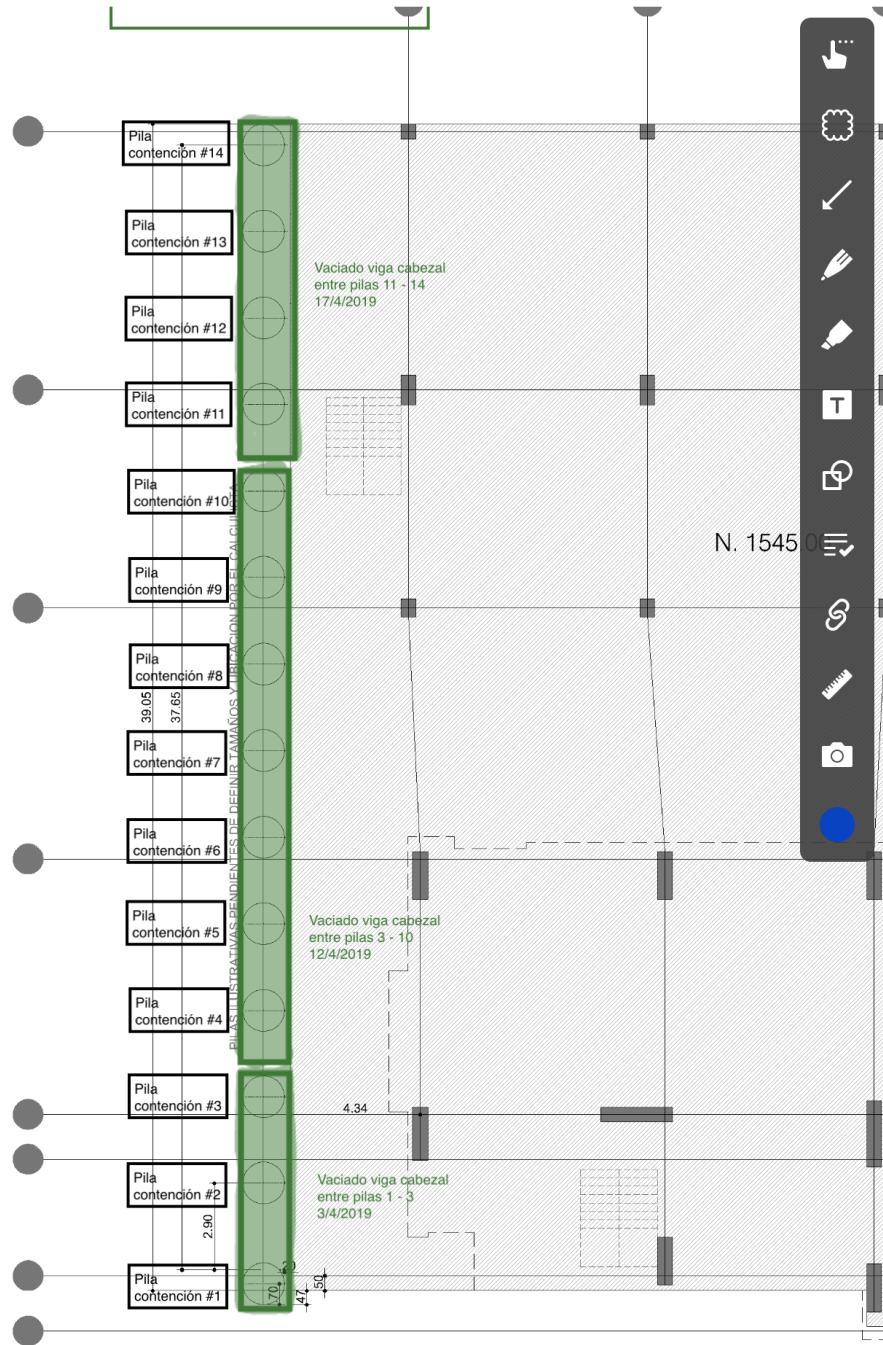


Figura 25: Vaciado de viga cabezal.

Luego de haber sido estabilizado el terreno mediante el sistema de contención y debidamente nivelado, se procedió con la excavación del primer lote de pilas del proyecto torre 2 hacia el mes de agosto de 2019. Para el mes de diciembre, ya se tenían vaciadas las primeras pilas:

🔍 Buscar en este plano

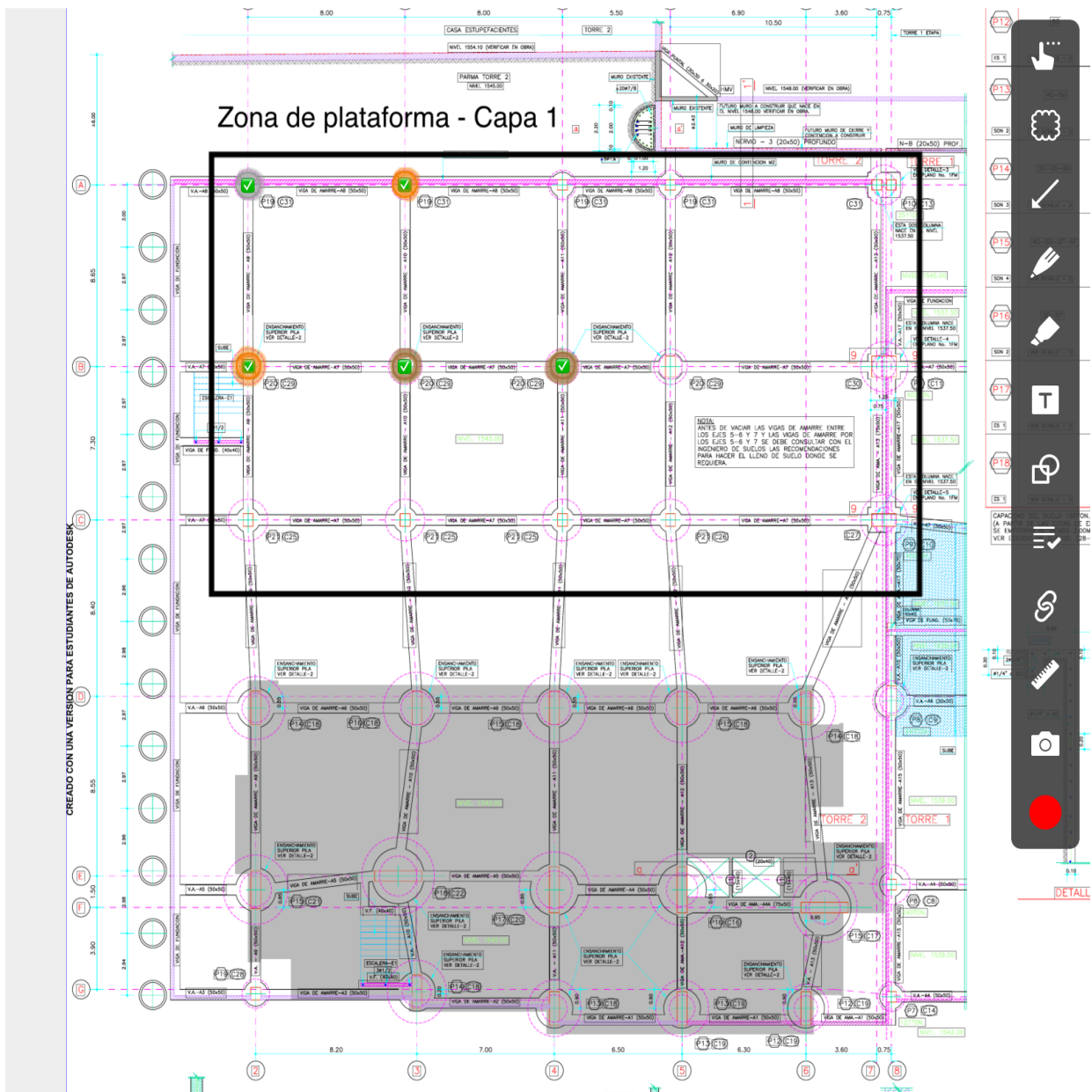


Figura 26: Excavación y vaciado del primer lote de pilas: Zona plataforma.

🔍 Buscar en este plano



Figura 28: Excavación y vaciado del tercer lote de pilas: Zona plataforma.

De esta forma, para el mes de junio de 2020, se había finalizado con el vaciado de pilas de la zona de plataformas de torre 2, para posteriormente, iniciar con el área propia de la torre:

🔍 Buscar en este plano

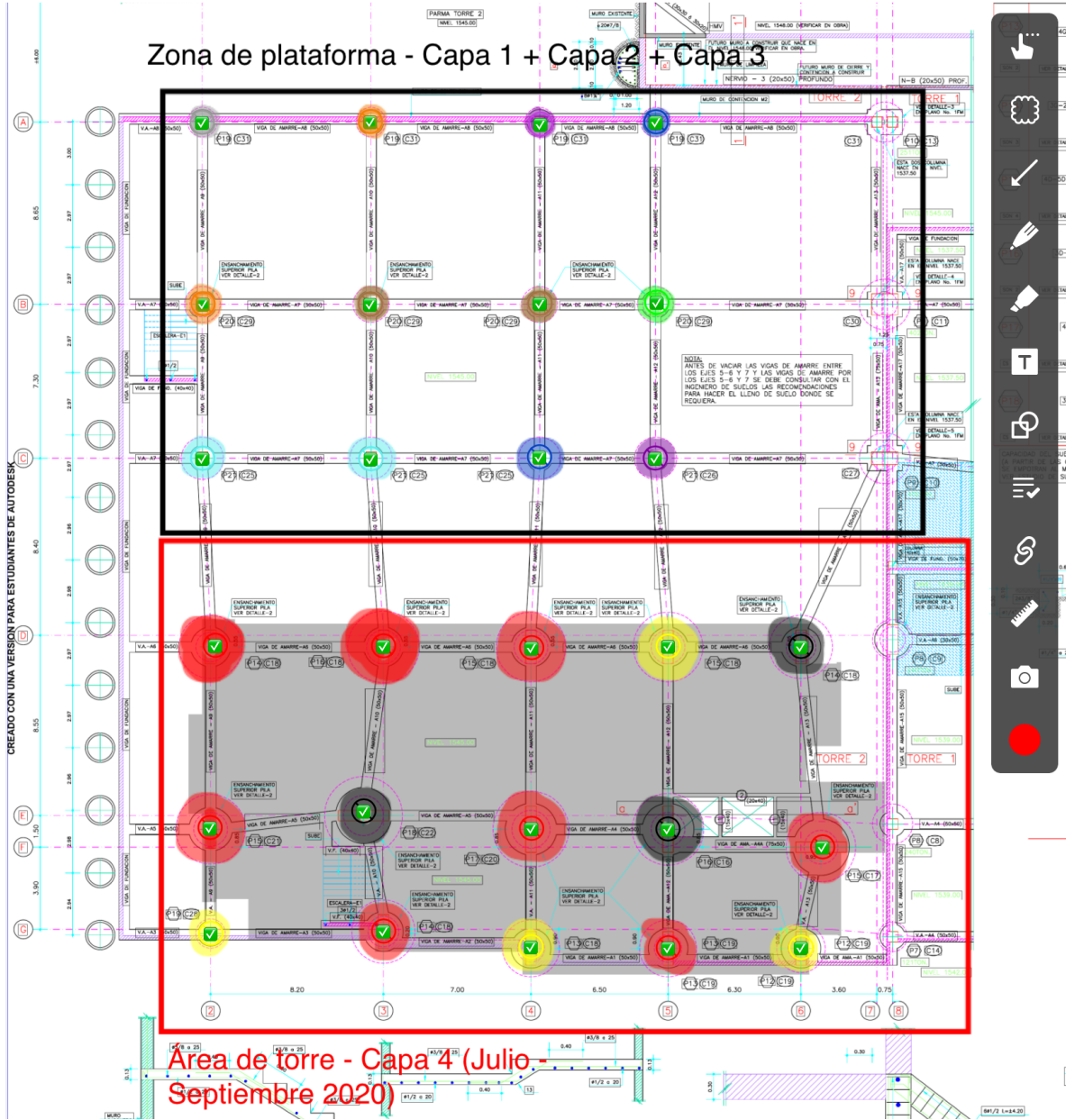


Figura 29: Excavación y vaciado del cuarto lote de pilas: Zona torre.

Finalizando el mes de septiembre, se terminaron las labores de excavación, armado y pilas de fundación tanto de la zona de plataforma, como de la torre. Para este punto, las fundaciones digitalmente se visualizaban así:

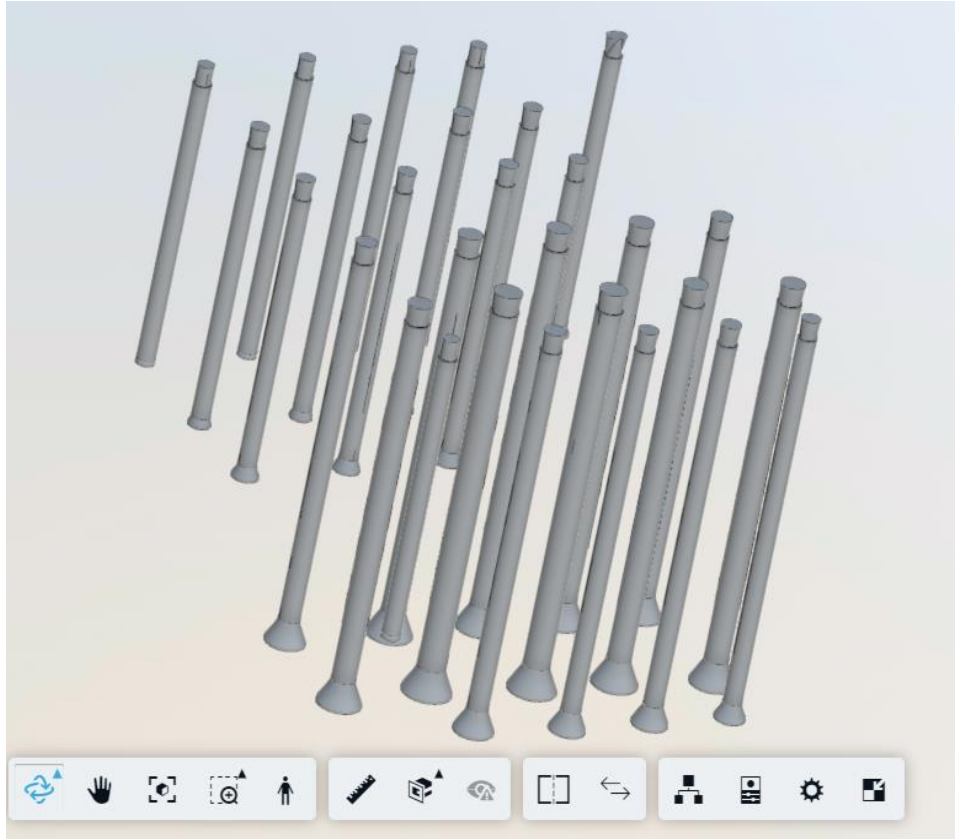


Figura 30: Visualización digital del conjunto de pilas finalizado.

Fotográficamente:



Figura 31: Excavación parcial del conjunto de pilas de fundación.



Figura 32: Excavación total del conjunto de pilas de fundación.

En este punto es importante recordar que semana a semana a partir del programa general de obra, se programaban las actividades necesarias para cumplir con los tiempos estipulados. siendo esto un método de control y seguimiento más específico, donde como anteriormente se había mencionado, las actividades son discriminadas al detalle, lo que permite al residente de obra, llevar un control integral de los procesos constructivos.

A la par, una vez finalizada la semana programada, se realizaba el control de programación a través de las reuniones del Last Planner® System (LPS), donde se evaluaba el porcentaje de ejecución, recursos destinados y calidad de cada actividad previamente programada para cada contratista de la obra. Para el caso de la estructura torre dos, el contratista correspondiente era “J & D”. Además de esto, se pudieron generar automatismos en la construcción del porcentaje de Actividades Completadas (PAC).

LPS permitió, además, identificar las fechas reales de inicio y fin, se pudieron detectar interferencias en obra debido a la superposición de actividades y monitorear el rendimiento de las cuadrillas. Básicamente se trataba de un formato de socialización entre contratistas, encargados e ingenieros,

donde se evaluaban los aspectos descritos anteriormente y se tomaban decisiones que permitirán corregir falencias, o potenciar el trabajo bien ejecutado por parte del personal. Es por ello que se destaca la gestión colaborativa en obra, donde todos los implicados en el proyecto de construcción pueden aportar al mejoramiento continuo.

Resumidamente, se tiene la siguiente información técnica de las pilas de contención y fundación del proyecto:

NOMBRE PILA	EDIFICACION	ALTURA PILA	DIAMETRO PILA	DIAMETRO CAMPANA	ALTURA CAMPANA	ALTURA BASE CAMPANA	DIAMETRO EXCAVACION PILA	ALTURA CABEZOTE	ALTURA FUSTE
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
2	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
3	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
4	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
5	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
6	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
7	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
8	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
9	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
10	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
11	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
12	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
13	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
14	CONTENCION	16	1,40	0,00	0,00	0,00	1,60	0,30	15,70
NOMBRE PILA	EDIFICACION	ALTURA PILA	DIAMETRO PILA	DIAMETRO CAMPANA	ALTURA CAMPANA	ALTURA BASE CAMPANA	DIAMETRO EXCAVACION PILA	ALTURA CABEZOTE	ALTURA FUSTE
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
6G	TORRE 2	30	1,20	2,30	1,10	0,20	1,40	1,50	27,20
4G	TORRE 2	30	1,30	2,70	1,40	0,20	1,50	1,50	26,90
5G	TORRE 2	30	1,30	2,70	1,40	0,20	1,50	1,50	26,90
3G	TORRE 2	30	1,40	3,00	1,60	0,20	1,60	1,50	26,70
2D	TORRE 2	30	1,40	3,00	1,60	0,20	1,60	1,50	26,70
6D	TORRE 2	30	1,40	3,00	1,60	0,20	1,60	1,50	26,70
4D	TORRE 2	30	1,60	3,30	1,70	0,20	1,80	1,50	26,60
5D	TORRE 2	30	1,60	3,30	1,70	0,20	1,80	1,50	26,60
2F	TORRE 2	30	1,60	3,30	1,70	0,20	1,80	1,50	26,60
6F	TORRE 2	30	1,60	3,30	1,70	0,20	1,80	1,50	26,60
3D	TORRE 2	30	1,60	3,40	1,80	0,20	1,80	1,50	26,50
5F	TORRE 2	30	1,60	3,40	1,80	0,20	1,80	1,50	26,50
4F	TORRE 2	30	1,80	3,60	1,80	0,20	2,00	1,50	26,50
3E	TORRE 2	30	1,90	3,70	1,80	0,20	2,10	1,50	26,50
NOMBRE PILA	EDIFICACION	ALTURA PILA	DIAMETRO PILA	DIAMETRO CAMPANA	ALTURA CAMPANA	ALTURA BASE CAMPANA	DIAMETRO EXCAVACION PILA	ALTURA CABEZOTE	ALTURA FUSTE
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
2G	PLATAFORMA TORRE 2	30	1,20	1,40	0,20	0,20	1,40	1,50	28,10
2A	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	1,40	0,20	0,20	1,40	1,50	20,10
3A	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	1,40	0,20	0,20	1,40	1,50	20,10
4A	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	1,40	0,20	0,20	1,40	1,50	20,10
5A	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	1,40	0,20	0,20	1,40	1,50	20,10
2B	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	1,70	0,50	0,20	1,40	1,50	19,80
3B	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	1,70	0,50	0,20	1,40	1,50	19,80
4B	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	1,70	0,50	0,20	1,40	1,50	19,80
5B	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	1,70	0,50	0,20	1,40	1,50	19,80
2C	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	2,00	0,80	0,20	1,40	1,50	19,50
3C	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	2,00	0,80	0,20	1,40	1,50	19,50
4C	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	2,00	0,80	0,20	1,40	1,50	19,50
5C	PLATAFORMA TORRE 2	22	1,20	2,00	0,80	0,20	1,40	1,50	19,50
ML	PLATAFORMA TORRE 2	24	2,00	1,50	1,20	0,20	2,20	0,00	22,60

Tabla 2: Información técnica de pilas de contención y fundación del proyecto.

Una vez finalizadas las pilas de la torre, se procedió con la ejecución de las vigas y cabezotes de fundación; para los cuales se presenta el siguiente time-lapse que una vez más, permite visualizar mediante una secuencia gráfica de ejecución, como se rigidiza el sistema de fundaciones. Importante tener en cuenta el siguiente cuadro que tal como con el proceso constructivo de pilas, me indica las fechas de ejecución asociadas a la actividad:

CAPA	COLOR	MES	AÑO
Capa 0	Azul	Marzo	2019
			2019
			2019
Capa 1	Gris	Enero	2019
	Naranja	Noviembre	2019
	Café	Diciembre	2019
Capa 2	Rosa	Enero	2020
	Celeste	Febrero	2020
	Verde	Marzo	2020
Capa 3	Oliva	Abril	2020
	Azul	Mayo	2020
	Morado	Junio	2020
Capa 4	Amarillo	Julio	2020
	Rojo	Agosto	2020
	Negro	Septiembre	2020
Capa 5	Oliva	Octubre	2020
	Naranja	Noviembre	2020

Tabla 3: Secuencia de ejecución de vigas de fundación y cabezotes.

🔍 Buscar en este plano

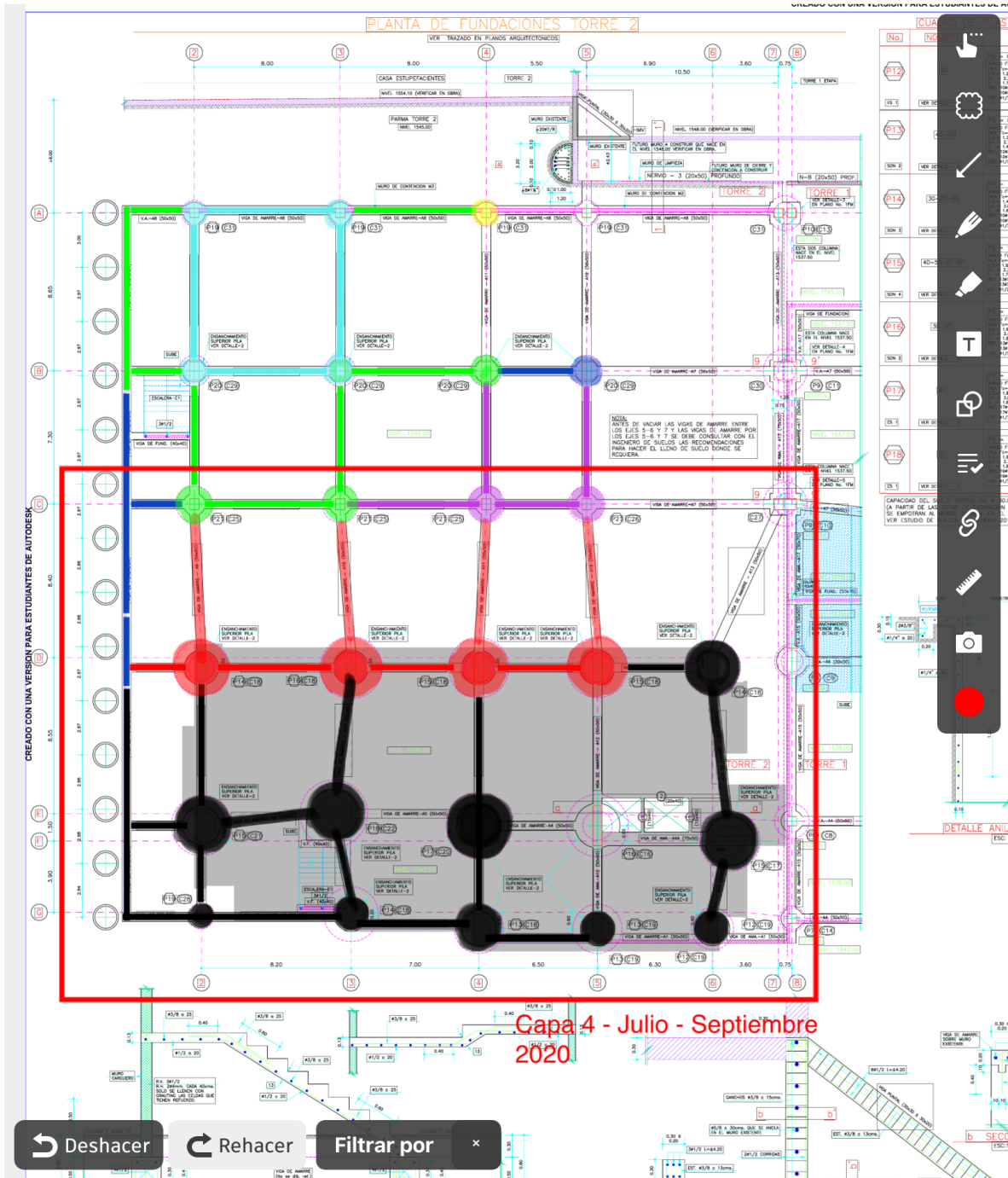


Figura 35: Excavación y vaciado del tercer lote de VF y cabezotes: Zona torre.



Figura 37: Registro fotográfico del proceso de VF y cabezotes.



Figura 38: Registro fotográfico del proceso de VF y cabezotes.



Figura 39: Registro fotográfico del proceso de VF y cabezotes.

Finalmente, se ilustró el procedimiento de avance gráfico para el proceso constructivo de las losas del nivel 1548 msnm y nivel 1551 msnm correspondientes a sótano 1 y piso 1 respectivamente.



Figura 40: Registro fotográfico inicio de armado losa nivel 1548 msnm.

Se resalta que, PlanGrid permite calcular áreas y longitudes que permite determinar el área de un espacio demarcado a partir de una cota o medida conocida. Tenemos entonces, la siguiente información:

Piso	Nivel	Capa	Color	Ejes	Ejes	Área	Fecha de vaciado
	msnm					(m2)	
Sótano 1	1548	1	Rojo	Eje 1-3	Eje A-C	273,24	30/07/2020
		2	Verde	Eje 1-3	Eje C-D	134,91	15/09/2020
			Azul	Eje 1-3	Eje D-G	160,66	18/09/2020
			Morado	Eje 3-5	Eje B-D	138,43	25/09/2020
			Café	Eje 3-4	Eje A-B	32,92	7/10/2020
		3	Negro	Eje 4-6	Eje D-G	294,91	27/10/2020
			Rosa	Eje 3-4	Eje D-G	51,66	7/11/2020
		4	Celeste	Eje 4-6	Eje C-D	128,47	27/11/2020

Tabla 4: Secuencia de ejecución de armado y vaciado de losa nivel 1548 msnm.

🔍 Buscar en este plano



Figura 41: Armado y vaciado de primera capa de losa.



Figura 42: Registro fotográfico armado de losa.

🔍 Buscar en este plano

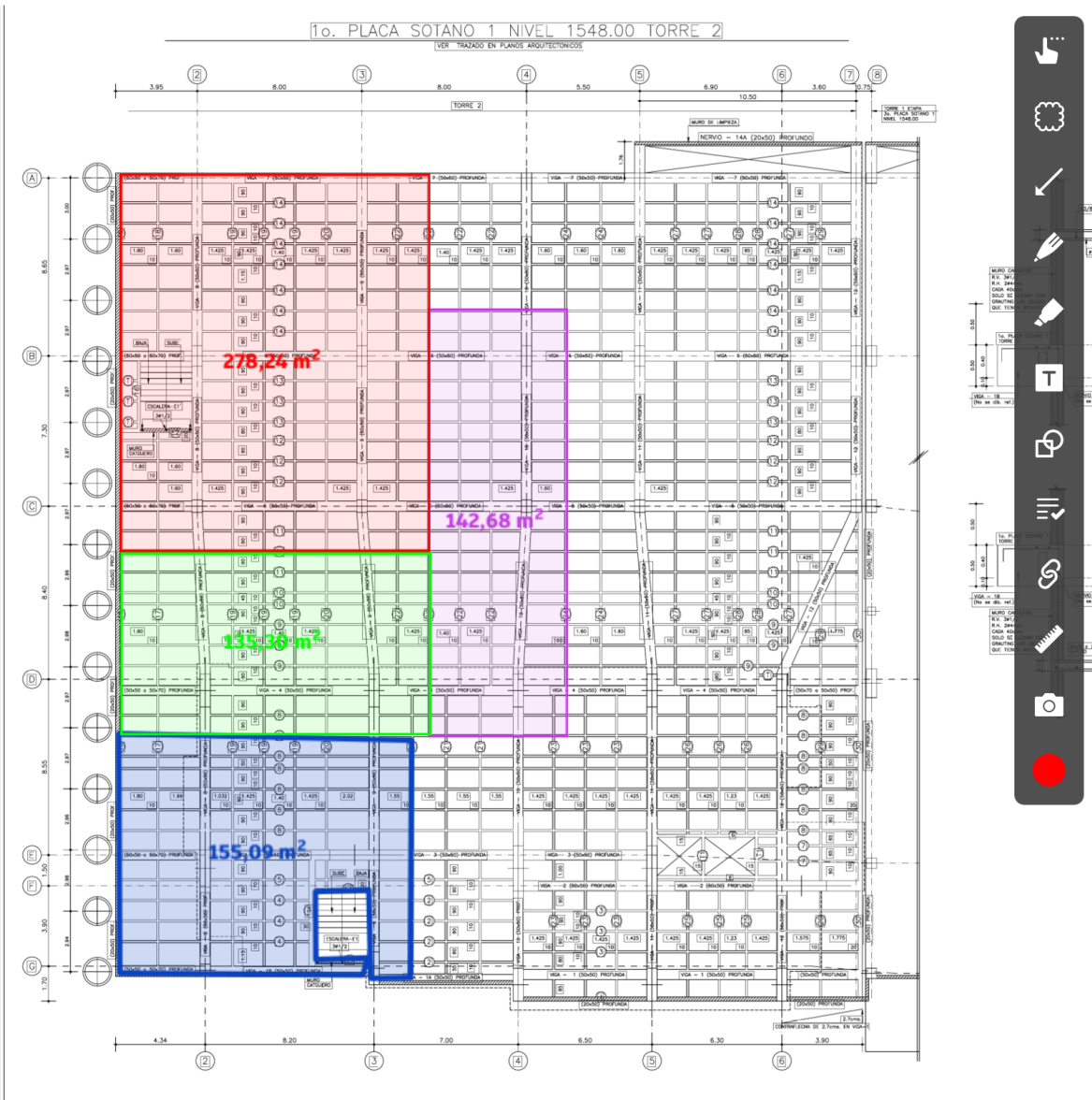


Figura 43: Armado y vaciado de segunda capa de losa (2 tramos).

🔍 Buscar en este plano

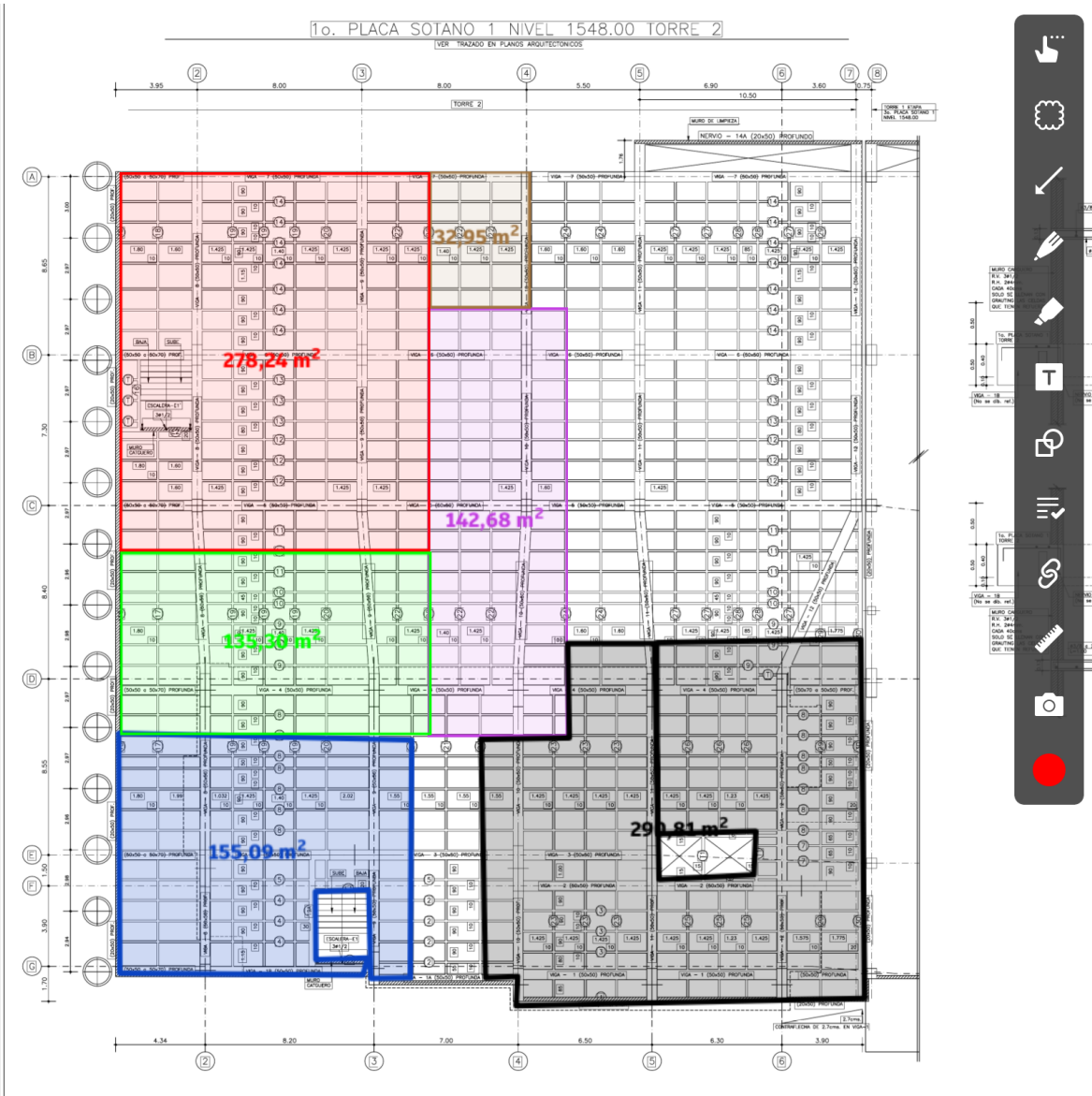


Figura 44: Armado y vaciado de tercera capa de losa (2 tramos).

Buscar en este plano

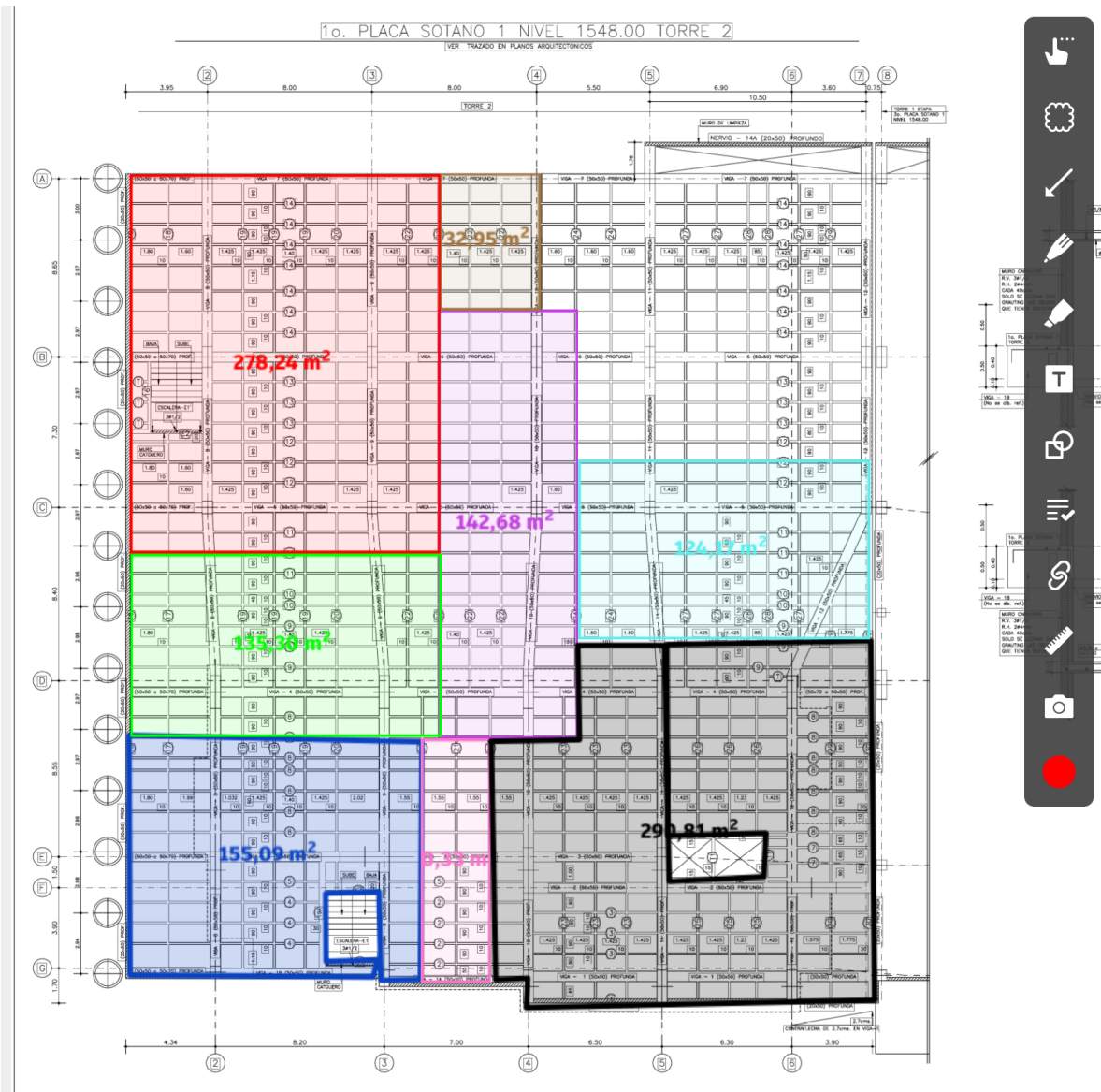


Figura 45: Armado y vaciado de cuarta capa de losa (2 tramos).

El área de losa restante no se había ejecutado a fecha de diciembre, puesto que, existe un volumen de suelo importante que imposibilita la ejecución de la obra falsa que permite soportar el armado de losa.

Análogamente para piso 1 (nivel 1551 msnm):

Piso	Nivel	Capa	Color	Ejes	Ejes	Área	Fecha de vaciado
	msnm					(m2)	
Piso 1	1551	1	Rojo	Eje 1-3	Eje A-C	273,22	24/08/2020
		2	Verde	Eje 1-3	Eje C-D	134,91	1/10/2020
			Morado	Eje 3-5	Eje B-D	138,43	6/10/2020
			Café	Eje 3-4	Eje A-B	32,92	16/10/2020
		3	Negro	Eje 4-6	Eje D-G	301,72	6/11/2020
			Azul	Eje 1-3	Eje D-G	199,2	12/11/2020
		Celeste	Eje 4-6	Eje C-D	128,48	4/12/2020	

Tabla 5: Secuencia de ejecución de armado y vaciado de losa nivel 1551 msnm.

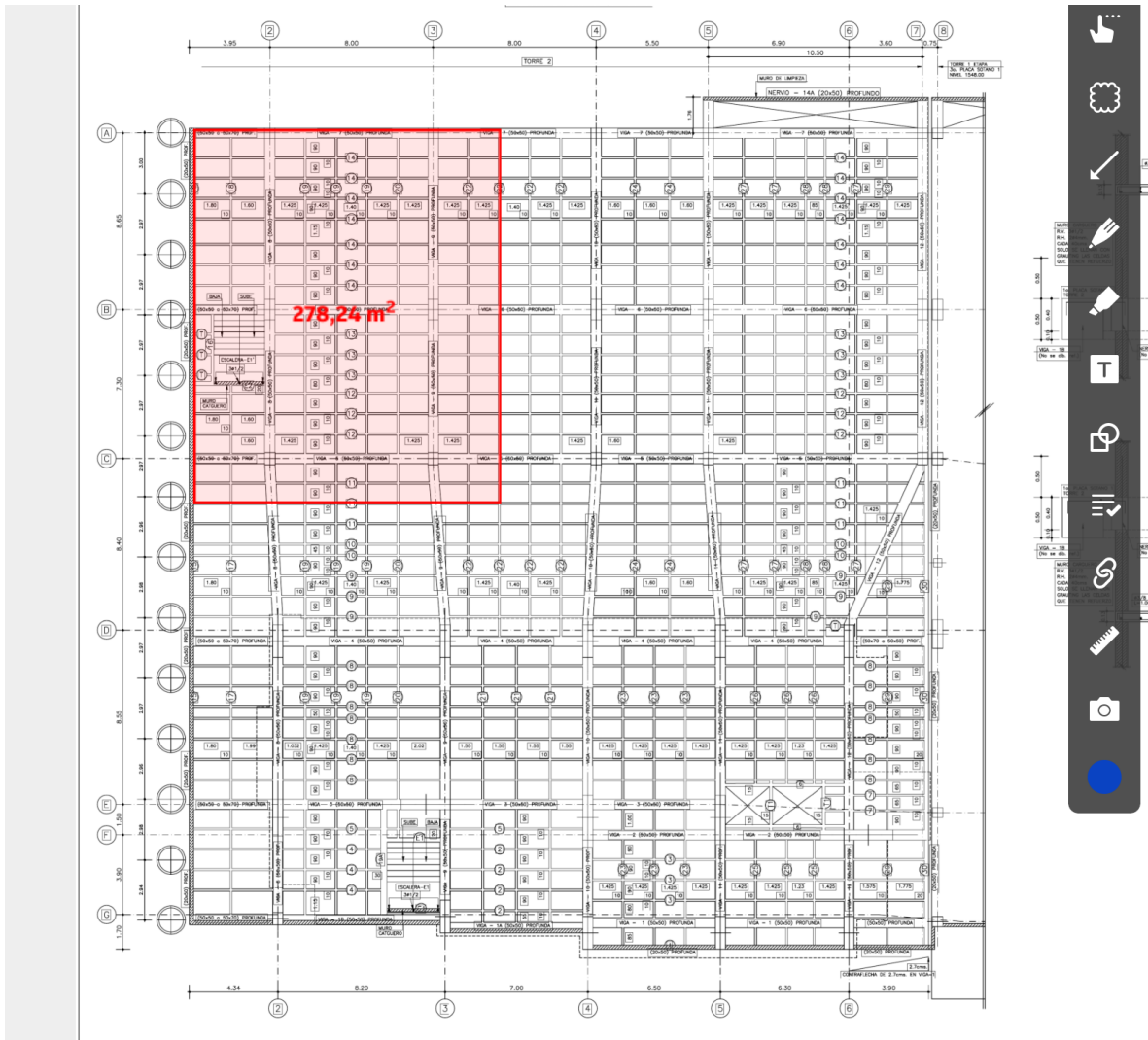


Figura 46: Armado y vaciado de primera capa de losa (1 tramo).

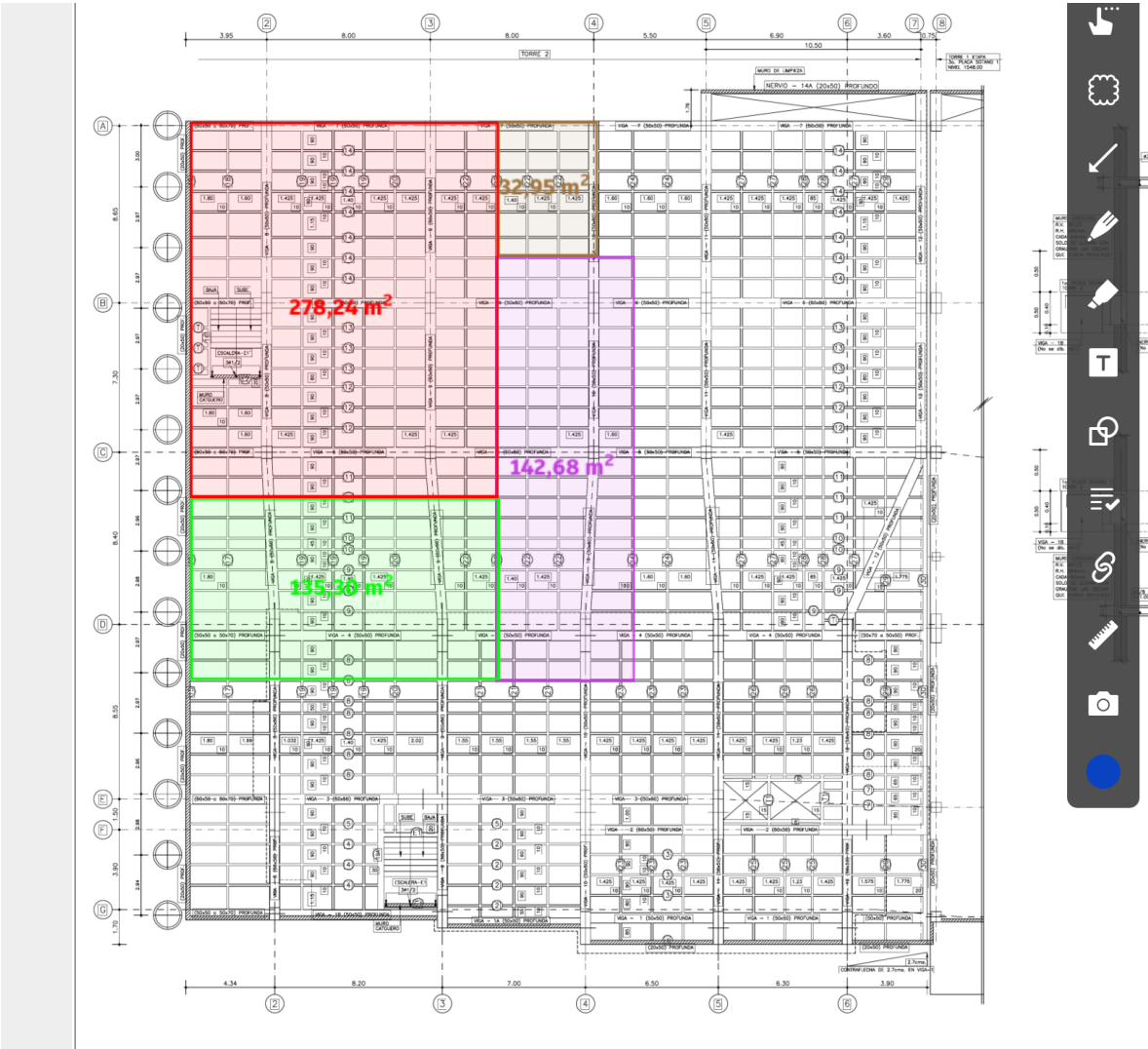


Figura 47: Armado y vaciado de segunda capa de losa (3 tramos).

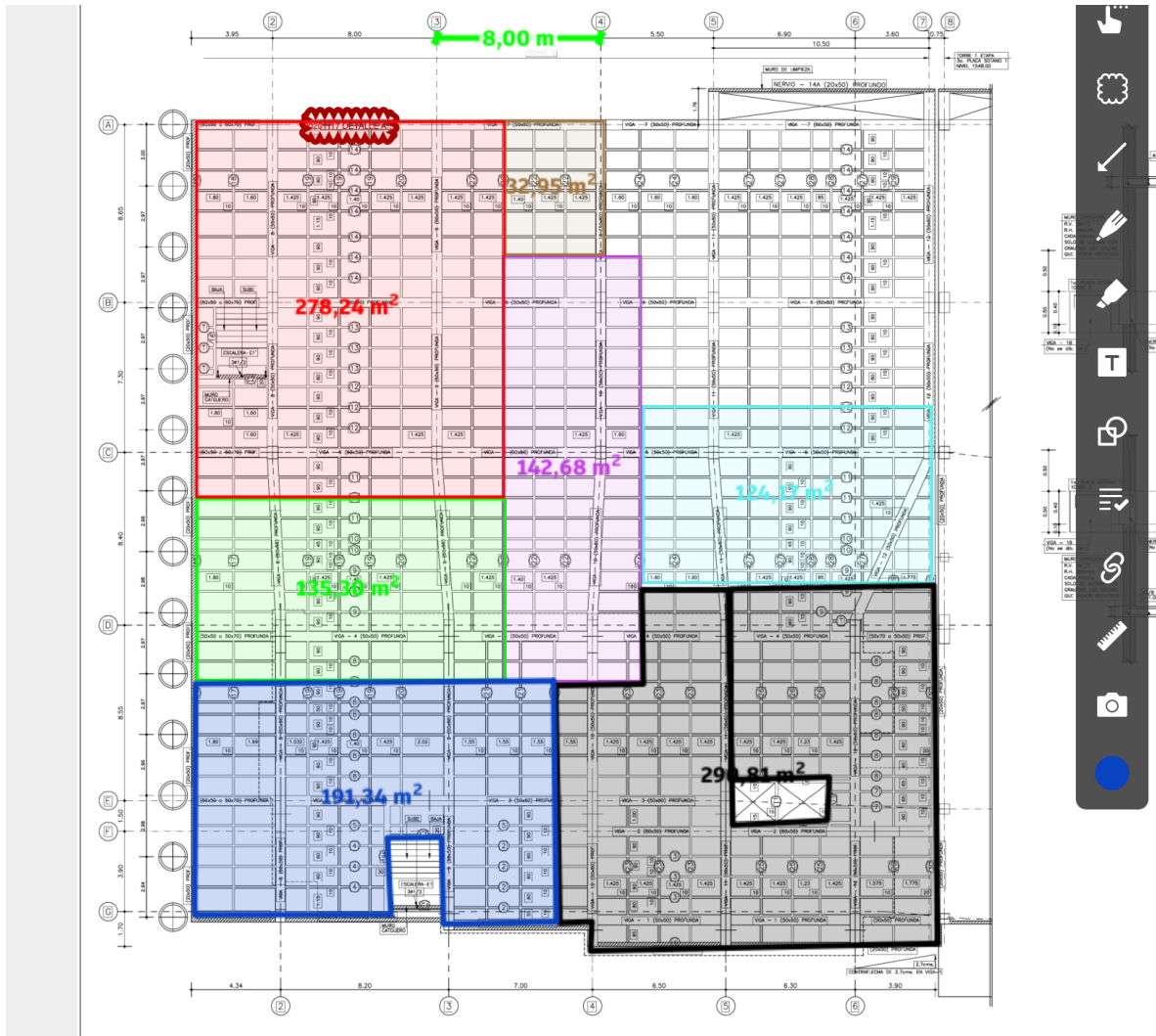


Figura 48: Armado y vaciado de tercera capa de losa (3 tramos).

Al igual que la losa del nivel 1548, El área de losa restante no se había ejecutado a fecha de diciembre, puesto que, existe un volumen de suelo importante que imposibilita la ejecución de la obra falsa que permite soportar el armado de losa.



Figura 49: Registros fotográficos armado y vaciado de losas.

Es fundamental destacar que cada una de las secuencias anteriormente ilustradas fueron posibles gracias a un constante monitoreo de los procesos constructivos de estructura en la torre 2, como es posible evidenciarlo. Además, este monitoreo permitió a través del sistema de Last Planner y su reunión semanal, dinamizar el flujo de trabajo a una magnitud difícil de describir, pues gracias a lo implementado, la administración de la obra (residentes y director) tuvo herramientas para saber dónde se encontraba la obra, hacia donde debía dirigirse y no menos importante, que se requería para poner en marcha tal fin. Last Planner es sin duda alguna, una herramienta de gestión colaborativa que, bien implementada en las obras, es capaz de direccionar hacia el rumbo correcto los grandes proyectos de construcción.

A continuación, se comparte un video ilustrativo de como se ha implementado el Last Planner System en las obras de la constructora Muros y Techos S.A: <https://youtu.be/o646jZ2iu4A>

Análisis y resultados

A través de las secuencias gráficas de ejecución socializadas en la metodología de este documento, se puede evidenciar el flujo de trabajo que se puede crear en un entorno de trabajo colaborativo, pues basado en la información recopilada, se llevó a cabo análisis de avance de obra que permitieron evaluar si la programación del proyecto comprendía metas congruentes, puesto que las secuencias gráficas de ejecución entre otras cosas, permiten realizar proyecciones de ejecución. Además de proyectar, esta metodología combinada con herramientas y procedimientos propios del Lean construction y BIM, permitieron básicamente, controlar todas las variables que cobran relevancia en la ejecución de cualquier actividad de construcción en una obra, independientemente del frente de trabajo.

Semana a semana basado en los resultados obtenidos y tratados, en la reunión de Last Planner System se ajustó la programación de obra, se socializaron los cuellos de botella, se tomaron medidas correctivas, en esencia lo que se pudo lograr fue dinamizar el flujo de trabajo apuntando hacia la automatización de los procedimientos constructivos.

Dicho esto, La validez y relevancia de este proyecto se fundamentó en el desarrollo continuo de un entorno de trabajo colaborativo que permite entre otros aspectos, controlar rigurosamente la programación y tiempos de ejecución de las actividades (4M); todo esto, permitiendo acceder a los colaboradores al paquete de información de forma remota y sincrónica, donde a través de un dispositivo móvil (IPad), se podría acceder a todo el paquete de información previamente mencionado, además de gestionar la programación de obra en tiempo real. Se optimizaron los tiempos de ejecución, se generó control sobre el personal de obra y finalmente, se pudo potenciar el rendimiento y eficiencia como cuadrillas, además de elevar la calidad de lo entregables.

Conclusiones

A través de la labor e ingeniería que se desarrolla al interior de Muros y Techos, se ha podido mitigar gradualmente, el déficit existente en el flujo de información entre los colaboradores de un proyecto de construcción, por ejemplo, entre diseñadores y constructores. Continuamente se contribuyó al trabajo colaborativo en la obra basado en la implementación de las diferentes herramientas y metodologías previamente discriminadas, las cuales contribuyen a la automatización e industrialización de los procesos constructivos. Todo esto, cabe resaltar se logra a través de la migración hacia los modelos digitales que albergaron información vinculada a dimensiones intangibles: tiempo y costos.

Es importante resaltar que, para que se pudieran alcanzar resultados satisfactorios en cuanto los esfuerzos realizados en pro de automatizar los procesos constructivos, la información técnica del proyecto debió ser centralizada, e indispensablemente, ser información verídica, útil, pragmática y, sobre todo, información actualizada. De lo contrario, no hubiera sido posible lograr los objetivos planteados; más bien, la influencia sobre la obra, sería matizada con reprocesos y circunstancias altamente nocivas para el avance constructivo.

En este sentido, es fundamental destacar las ventajas de implementar softwares de productividad y gestión de obra, puesto que, a partir de ellos, se logró hacerle frente los a los conflictos tratados en este documento. Dichos softwares permiten dinamizar el flujo de trabajo, la gestión colaborativa y la productividad en obra a través del almacenamiento de información en nubes de datos o bases de datos, las cuales ofrecen múltiples beneficios, entre ellos el acceso remoto y portable a la información, la fácil interfaz de uso, la correcta actualización de versiones y planos de la obra y el trabajo colaborativo. Implementar PlanGrid (que hace parte de los softwares de gestión colaborativa) por ejemplo, permitió integrar y generar canales de información efectivos entre todos los implicados en el proceso constructivo de la obra Parma. Se crearon flujos de trabajo continuo y previsible, disminuyendo la incertidumbre asociada a las actividades de obra y garantizando un rumbo de trabajo correcto, disminuyendo los reprocesos a su mínima expresión.

Finalmente, vale la pena destacar que el Last Planner System y la metodología de planificación visual para gestionar procesos (ambas metodologías realizadas desde la plataforma PlanGrid), permitió planificar, tener una visión global de la obra, de los recursos que necesarios, dejar trazabilidad de la ejecución de obra y sobre todo gestionar la variabilidad asociada. Es aquí donde se logra apreciar la magnitud que tuvo el proyecto y en el cual se sigue trabajando actualmente: una correcta planeación y ejecución efectiva de la obra, certificando la calidad de los entregables y controlando los tiempos de ejecución y presupuesto.

Referencias Bibliográficas

- [1] “¿Qué es BIM? - Building SMART.” [Online]. Available: <https://www.buildingsmart.es/bim/>. [Accessed: 09-Sep-2020].
- [2] T. Vega Trujillo, “Implementación de Last Planner System y Building Information Modeling en proyectos de construcción,” 2018.
- [3] J. F. Achell Pons, “Introducción a Lean Construction,” *Fund. Labor. la Construcción*, 2014.
- [4] F. A. López Valencia, “Magnitudes de ejecución 4M: Planeación colaborativa,” 2020.
- [5] L. F. Botero Botero and M. E. Álvarez Villa, “Guía de mejoramiento continuo para la productividad en la construcción de proyectos de vivienda (Lean construction como estrategia de mejoramiento),” *Rev. Univ. EAFIT*, vol. 40, no. 136, pp. 50–64, 2004.

- [6] H. Porras Díaz, O. G. Sánchez Rivera, and J. A. Galvis Guerra, "Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción," *Av. Investig. en Ing.*, vol. 11, no. 1, p. 32, 2014.
- [7] M. y T. S. A. Ingenieros y Arquitectos, "PROYECTOS | Gestión Colaborativa." [Online]. Available: <https://www.gestioncolaborativaenobra.com/proyectos>. [Accessed: 09-Sep-2020].