

**PERITAJE TÉCNICO PARA EVALUACIÓN DEL PROCESO
CONSTRUCTIVO DE LAS CIMENTACIONES PROFUNDAS EN
EL PROYECTO CONNECTA 80 – BOGOTÁ D.C.**



INFORME FINAL DEL PERITAJE

VERSIÓN 1

BOGOTÁ D.C., 18 SEPTIEMBRE DE 2024

ENTREGA DE INFORMES	ENTIDAD	Unidades
Original	Equipos y Terratest	1
Copia No 1		
Copia No 2		
Copia No 3		
Copia No 4		

CAMBIOS REALIZADOS

Versión	Cambios realizados respecto a la versión anterior	Fecha
1		
2		
3		
4		

APROBACIÓN CAMBIOS

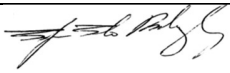
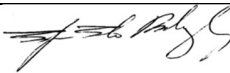
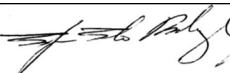
Versión	Realizó	Revisó	Aprobó	Observaciones	Fecha
1	 Edgar E. Rodríguez	 Edgar E. Rodríguez	 Edgar E. Rodríguez	Informe Final de Peritaje	18-09-24
2					
3					
4					

TABLA DE CONTENIDO

1. INFORMACIÓN DEL PERITO	7
2. INTRODUCCIÓN	10
3. LOCALIZACIÓN	10
4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PARA EL PERITAJE	13
5. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL ESTUDIO DE SUELOS DEL PROYECTO CONNECTA 80	15
5.1. Alcance de la Revisión.....	15
5.2. Revisión del Informe del Estudio de Suelos	16
5.2.1. Verificación del cumplimiento del Reglamento NSR-10	16
5.2.2. Caracterización Geotécnica del Subsuelo	23
5.2.3. Presencia de Suelos Orgánicos, Turbas y Cenizas	27
INCIDENCIA DEL ESTUDIO DE SUELOS EN las afectaciones presentadas en los elementos durante EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA	37
5.3.....	37
6. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS ELEMENTOS DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA	39
6.1. Alcance de la Revisión del Proceso Constructivo de la Cimentación	39
6.2. Aspectos normativos y especificaciones contractuales	40
6.2.1. Estándares para asegurar la Construcción de los elementos de la cimentación Profunda	40
6.2.2. Características y generalidades de la cimentación Profunda.....	40
6.2.3. Suministro de Concreto y Acero	41
6.3. Afectaciones en los elementos durante el proceso constructivo de la cimentación	43

6.3.1.	Taponamiento de tubería	43
6.3.2.	Falta de continuidad del concreto en los elementos fundidos, suministro de Concreto e influencia de las capas de Turba en la construcción	47
6.4.	Inventario de elementos afectados (Aspectos contractuales y la relación).....	56
6.5.	Pruebas de Calidad (PIT,Cross Hole y koden).....	61
6.5.1.	Pruebas PIT	61
6.5.2.	Pruebas Cross Hole	65
6.5.3.	Pruebas KODEN	70
7.	CONCLUSIONES DEL PERITAJE	73
7.1.	Influencia del suelo en el Proceso Constructivo:.....	73
7.2.	Proceso de fundición de concreto:.....	74
8.	REFERENCIAS.....	75
9.	ANEXOS	76

Listado de figuras

Figura 1. Localización del proyecto Connecta 80	11
Figura 2. Estructuras proyectadas Proyecto Connecta 80	12
Figura 3. Construcción Parcial del Proyecto Connecta 80 a la fecha actual (septiembre 2024)	12
Figura 4. Construcción Parcial a marzo del 2024 Proyecto Connecta 80.....	13
Figura 5. Metodología seguido por IGR para analizar la cimentación profunda del proyecto Connecta 80. Fuente: Elaboración Propia	14
Figura 6. Exploración geotécnica realizada para el Proyecto Connecta 80.....	16
Figura 7. Localización (sin numeración) de los sondeos de la Campaña 2 realizada para el Proyecto Connecta 80	18
Figura 8. Unidad de Construcción	18
Figura 9. Clasificación de unidades de construcción.....	19
Figura 10. Número de sondeos por cada unidad de Construcción.....	19
Figura 11. Número mínimo de sondeos y efecto por repetición.	20
Figura 12. Características y distribución de los sondeos.....	21
Figura 13. Distribución de Sondeos en la construcción actual (Makro y torre oriental).	21
Figura 14. Profundidad de Sondeos	22
Figura 15. Parámetros geomecánicos empleados para la caracterización del subsuelo del Proyecto Connecta 80	24
Figura 16. Sondeos del 1 al 15 campaña del 2013	27
Figura 17. Parámetros geotécnicos de diseño	27
Figura 18. Perfil Geotécnico (Ensayo CPTu-01) realizado por IGR.....	28
Figura 19. Perfil geotécnico del Sondeo 4 (Campaña 2013).....	29
Figura 20. Perfil geotécnico del Sondeo 5 (Campaña 2013).....	29
Figura 21. Perfil geotécnico del Sondeo 2 (Campaña 2013).....	30
Figura 22. Perfil geotécnico del Sondeo 6 (Campaña 2013).....	31
Figura 23. Perfil geotécnico del Sondeo 11 (Campaña 2013).....	31
Figura 24. Perfil geotécnico del Sondeo 13 (Campaña 2013).....	32

Figura 25. Sondeo S-01 de la Campaña de exploración (2018).....	33
Figura 26. Sondeo S-02 de la Campaña de exploración (2018).....	34
Figura 27. Perfil Geotécnico realizado por IGR con la información de ensayos y sondeos del Informe de EyR	36
Figura 28. Foto del Muro Pantalla 40 (Sótano 1). Presencia de material orgánico....	44
Figura 29. Pantalón 45B (Sótano 1)	45
Figura 30. Descripción en Actas de Servicio de ARGOS y ARPRO	49
Figura 31 . Elementos analizados	53
Figura 32. Elementos analizados	54
Figura 33. Elementos analizados	55
Figura 34. Pruebas PIT ejecutadas	62
Figura 35. Planta de Localización de Ensayos Cross Hole	66
Figura 36. Perfil de resultados ensayos Cross Hole.....	68

Listado de Tablas

Tabla 1. Resumen de exploración del Subsuelo campañas 2013 y 2018.	17
Tabla 2. Ensayos Laboratorios campañas de Exploración (2013 y 2018).....	24
Tabla 3. Ensayos de Laboratorio Campaña 2013	25
Tabla 4. Ensayos de Laboratorio Campaña 2018	25
Tabla 5 . Dimensiones de algunos elementos escogidos	50
Tabla 6. Tiempos de Hormigonado y rata de suministro	51
Tabla 7. Tiempo de manejabilidad del Concreto	52
Tabla 8. Control de Hormigonado (Barretes).....	57
Tabla 9. Tabla de control de Hormigonado (Pantalones)	58
Tabla 10. Tabla de control de Hormigonado (Muros Pantalla)	59
Tabla 11. Tabla de control de Hormigonado (Pilotes)	59
Tabla 12. Pruebas PIT en pilotes	63
Tabla 13. Ensayo PIT para Barretes (1 página)	64
Tabla 14. Ensayos PIT barretes (2 página)	65
Tabla 15. Análisis del ensayo Cross Hole con el fallo más profundo en los elementos.	69

Tabla 16. Resultados pruebas de verticalidad Koden excavaciones realizadas para los
barretes. 71

Tabla 17. Resultados pruebas de verticalidad Koden excavaciones realizadas para los
barretes. 72

1. INFORMACIÓN DEL PERITO

El presente dictamen Pericial es rendido por el suscrito perito técnico, Ingeniero EDGAR EDUARDO RODRÍGUEZ GRANADOS, con C.C. 19.416.613 de Bogotá, cuya información más relevante se destaca a continuación, y el detalle respecto de los estudios cursados.

Se adjuntan los títulos académicos obtenidos, y demás documentos que acreditan la idoneidad, experiencia profesional y técnica del perito:

Nombre	Edgar Eduardo Rodríguez Granados
Cédula de Ciudadanía No.	19.416.613 de Bogotá
Dirección	Carrera 19A No. 84-14 Oficina 501, Bogotá D.C.
Teléfono	310 7775879
Correo electrónico	eerg@ingeoriesgos.com
Egresado	Universidad Nacional de Colombia
Profesión	Ingeniero Civil, Magister en Geotecnia
Oficio	Ingeniero Civil, Especialista en Geotecnia
Matrícula profesional	25202-12293 CND

Las copias de la tarjeta profesional, títulos académicos, certificaciones de experiencia se incluyen en el Anexo A del presente informe.

EXPERIENCIA TÉCNICA

Edgar Eduardo Rodríguez Granados es **Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Colombia** en Bogotá (1983), **Magister Scientiae en Geotecnia de la Universidad Nacional de Colombia** (1990), **Especialista en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural de la Universidad Politécnica de Cataluña – Barcelona-España** (1992).

Su experiencia profesional de 41 años comprende la participación como Director, Especialista, Asesor o Interventor en diferentes proyectos de infraestructura vial, hidroeléctricos, irrigación, geotecnia urbana, puentes y viaductos, Metro de Bogotá y de evaluación de amenazas y riesgos, en los temas de Geotecnia, Diseño de Cimentaciones, Estabilidad de Taludes, Excavaciones, Presas, Procesos de Remoción en Masa, Peritaje Técnico de Diseño y Construcción de Obras Geotécnicas, los cuales cubren aplicaciones de Investigación del Subsuelo, Ingeniería Geotécnica, Ingeniería Geotécnica-Sísmica, Dinámica de Suelos, Interacción Dinámica Suelo-Estructura (IDSE) y modelación numérica para geotecnia, entre otros.

Actualmente, es **Profesor Asistente de Cátedra de Pregrado y Posgrado en la Universidad Nacional de Colombia** (desde 1993). Fue subdirector del Área de Ingeniería Geoambiental (Geoamenazas) del Servicio Geológico de Colombia (Ingeominas) entre 1995 y 1999. Ha publicado diferentes artículos técnicos en Congresos, Cursos y Seminarios nacionales e internacionales.

En el sector privado, desde el año 2000 se desempeña como **Gerente General** de la firma **INGENIERÍA Y GEORIESGOS IGR SAS**, especializada en Consultoría, Diseños, Interventoría, Asesoría y Peritaje Técnico, en las especialidades de Geotecnia, Investigación del Subsuelo, Ingeniería Geotécnica-Sísmica, Amenaza Vulnerabilidad y Riesgos Geotécnicos.

Es miembro Activo de la **Sociedad Colombiana de Ingenieros (SCI)** y de la **Sociedad Colombiana de Geotecnia (SCG)**, donde coordina las comisiones Técnicas de Investigación del Subsuelo y Dinámica de Suelos - IDSE. Además, entre **2016 y 2020 fue PRESIDENTE de la SOCIEDAD COLOMBIANA DE GEOTECNIA (SCG)**.

Como miembro de la SCG hace parte del grupo de especialistas de la Comisión de Normatividad en el desarrollo y actualización del **Título H – Estudios Geotécnicos de la norma sismo-resistente para edificaciones NSR-10 (actualmente vigente) y NSR-25 (en aprobación)**

Ha participado en la ejecución de más de 200 estudios de suelos y de respuesta sísmica para todo tipo de estructuras civiles, incluyendo edificios, subestaciones eléctricas, vías, puentes, presas y taludes; gran parte de éstos incluyen asesoría técnica durante construcción de las cimentaciones y estructuras.

Adicionalmente a continuación se listan los casos en los que ha sido designado como perito o participado en la elaboración de un dictamen pericial en los últimos 4 años:

Entidad Contratante: Conjunto Residencial Dimonti 2.

Descripción: Peritaje para revisión y concepto del estudio geotécnico y estructural de las torres 1 a 6 del Conjunto Residencial Dimonti 2, localizado en la calle 151 # 109-25 de Bogotá D.C., tomando como base la información existente para diagnosticar los diseños originales y establecer los errores técnicos que influyeron en el comportamiento anómalo de la cimentación profunda y las implicaciones futuras para la seguridad y riesgo de las torres del conjunto.

Juzgado: Un total de 8 Juzgados en Trámite y la Superintendencia de industria y comercio.

Partes: Conjunto Residencial Dimonti 2 contra Constructora Alcabama.

Año: 2024

Entidad Contratante: Sociedad Colombiana de Ingenieros SCI -Instituto de Desarrollo Urbano, IDU.

Descripción: Peritaje para la SCI e IDU para revisión de las falencias del Estudio de Suelos y sus implicaciones en la tipología de cimentación profunda en el diseño y construcción del puente localizado en la Avenida Ciudad de Cali con Avenida Ferrocarril, Bogotá.

Año 2020

Entidad Contratante: Constructora Icono Urbano.

Descripción: Peritaje para revisión y concepto geotécnico sobre los informes de peritaje del ing. Hector Parra Ferro para evaluar los daños en las estructuras del edificio Takami por efecto de los tipos de cimentación profunda y excavaciones realizadas en ambos proyectos (Takami e Square 85), Calle 85 Carrera 13 Bogotá D.C.

Juzgado: Juzgado 32 civil del circuito de Bogotá

Partes: Takami S.A. contra Ícono Urbano S.A.

Apoderados de las partes: María Isabel Osorio Lara, apodera judicial de Takami S.A.

Año: 2022.

Entidad Contratante: Conjunto Residencial Rincón de la Alameda.

Descripción: Peritaje para revisión y concepto del estudio geotécnico y estructural de las torres 1 a 6 del Conjunto Residencial Rincón de La Alameda, localizado en la carrera 10 # 176-25 de Bogotá D.C., tomando como base la información existente para diagnosticar los diseños originales y establecer los errores técnicos que influyeron en el comportamiento anómalo de grandes asentamientos en la cimentación profunda y las implicaciones futuras para la seguridad y riesgo de las torres y plataformas del conjunto.

Año 2023

Manifiesto que no me encuentro incurso en ninguna de las causales contenidas en los artículos 50 del Código General del Proceso y 219 del Código de Procedimiento Administrativo y de lo Contencioso Administrativo.

Salvo por el presente dictamen, no he sido designado en procesos anteriores o en curso, ni he realizado dictámenes o informes técnicos, para Equipos y Terratest o sus asesores legales (Dentons Cárdenas y Cárdenas Abogados S.A.S.)

Declaro que los exámenes, métodos, experimentos, investigaciones y comprobaciones efectuadas para elaborar el presente informe, son los mismos que he

utilizado en trabajos similares, y corresponden con aquellos utilizados en el ejercicio regular de la profesión y oficio que desempeño.

Manifiesto bajo la gravedad del juramento, que mi opinión es independiente y corresponde a mi real convicción profesional.

Finalmente, como anexos al presente informe se encuentra la información que fue utilizada en la elaboración del presente trabajo.

En el Anexo A se encuentran la hoja de vida y correspondientes soportes de títulos académicos y certificados de experiencia de quien rinde el dictamen pericial.

2. INTRODUCCIÓN

Equipos y Terratest (EyT) solicitó a Ingeniería y Georriesgos IGR SAS, realizar el peritaje técnico del proceso constructivo de la cimentación profunda del Proyecto Connecta 80, ubicado en Bogotá D.C. En este informe pericial se presentará, la revisión, verificación y análisis de la documentación e información técnica existente y suministrada por el EyT. Este peritaje incluyó los estudios de suelos previos realizados para el proyecto, información técnica de los elementos de cimentación construidos, el control del proceso constructivo (hoja de vida de los elementos y el control de hormigonado), así como los requisitos para la construcción de cada elemento.

Finalmente, se revisará la información técnica enviada entre las diferentes empresas o entidades que participaron en la ejecución del proceso constructivo de la cimentación profunda. Por último, se revisarán los documentos pertinentes relacionados con la defensa técnica del contratante, a fin de asegurar un análisis técnico y fundamentado que permita establecer conclusiones claras respecto al cumplimiento de los estándares y la calidad en la ejecución de los trabajos.

3. LOCALIZACIÓN

De acuerdo con el informe “Estudio de suelos EYR-S 12541-6 para la nueva versión del proyecto CONNECTA 80”, elaborado por EYR Ingeniería de Suelos el 28 de septiembre de 2020, el proyecto se encuentra ubicado en la Av. Carrera 72 #81B-13, en la localidad de Engativá, al noroccidente de Bogotá, D.C. La Figura 1 muestra la ubicación general del proyecto.



Figura 1. Localización del proyecto Connecta 80

Fuente: EYR-S 12541-6 (2020)

El proyecto Connecta 80 está compuesto por las siguientes estructuras:

- *Dos torres de 16 pisos y una torre de 19 pisos, con tres sótanos que cubren toda el área del lote. Las torres serán construidas mediante pórticos de concreto reforzado, con luces entre ejes de columnas de 8.50 m. Las cargas estimadas por columna suministradas para este diseño alcanzan las 2200 toneladas.*
- *Tienda Makro, una estructura de un piso que se construirá sobre los tres sótanos, con una altura total de 11.4 m. Esta tienda está proyectada con una estructura metálica y/o pórticos de concreto reforzado, con luces entre ejes de columnas de 24.0 m. Las cargas suministradas por columna para esta estructura varían entre 500 y 700 toneladas.*
- *Plataforma de un piso y zona comercial de tres pisos, también proyectadas con tres sótanos. Estas estructuras se ubican adyacentes a las torres y la tienda Makro, con pórticos de concreto reforzado y luces entre ejes de columnas de entre 7.0 m y 9.0 m. Las cargas por columna estimadas para la plataforma de un piso son inferiores a 230 toneladas, mientras que para la zona comercial de tres pisos son inferiores a 650 toneladas.*

Dichas estructuras mencionadas anteriormente se muestran en la Figura 2.



Figura 2. Estructuras proyectadas Proyecto Connecta 80

Fuente: EYR-S 12541-6 (2020)

Hasta la fecha actual como se observa en la Figura 3, la construcción ha avanzado parcialmente en relación con el proyecto completo, incluyendo únicamente la torre oriental de 16 pisos y la Tienda Makro de un piso (Ver Figura 4).



Figura 3. Construcción Parcial del Proyecto Connecta 80 a la fecha actual (septiembre 2024)

Fuente: Propia



Figura 4. Construcción Parcial a marzo del 2024 Proyecto Connecta 80

Fuente: Google Maps

4. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PARA EL PERITAJE

Con el propósito de obtener un concepto técnico más preciso para el peritaje se evaluaron las causas de los problemas de fundida del concreto y los desplazamientos del refuerzo estructural que afectaron varias de las cimentaciones profundas del proyecto. Para lograr este objetivo se desarrolló una metodología que comprendió tres (3) lineamientos, mostrados en el diagrama de procesos de la Figura 5 a saber:

- a) Recopilación y Análisis de la información contenida en los Estudios de Suelos y Geotecnia del proyecto: Enfocado a verificar la cantidad, distribución y calidad de la exploración geotécnica realizada al proyecto (ver Anexo C); cumplimiento de la normatividad vigente (Norma Sismo Resistente NSR-10); verificación de la estratigrafía del subsuelo existente (en cada perforación y la promedia para el proyecto). Además, la caracterización geotécnica de todos los materiales de suelo encontrados (propiedades índices o básicas, de resistencia y de deformabilidad), enfocado a verificar la posible incidencia de las condiciones geológicas geotécnicas de los materiales del subsuelo en el sitio (suelos orgánicos y turbas) en la calidad y generación de los daños ocurridos de muchos elementos durante la etapa de fundida de la cimentación profunda.
- b) Recopilación y Análisis del Proceso Constructivo de la Cimentación Profunda: Mediante la revisión del control del proceso constructivo el cual se encuentra en el

Anexo E (hojas de vida y tablas de control de hormigonado) de los elementos de cimentación construidos (pilotes, pantallas, barretes y pantalones). Se incluyó para cada elemento, parámetros de análisis, el tipo de concreto, cantidad de mixers utilizadas, duración de la fundida total, tiempos de demora de fundida entre mixer, volúmenes de consumo de concreto, ensayos de asentamiento (Slump) y los ensayos de calidad que se encuentran en el Anexo H (PIT, Crosshole y Kodan). En los elementos que presentaron problemas constructivos en los sótanos y en otras profundidades, se analizó el cumplimiento de límites (máximos y/o mínimos) estipulados para los parámetros contractuales y de calidad (ver Anexo B), los cuales contemplan, tiempo máximo para la fundida completa, tiempo máximo de continuidad de suministro entre mixer, asentamiento de la mezcla de concreto, relación de volumen de concreto consumido, resultados de pruebas in-situ de calidad) y relación con los perfiles estratigráficos del subsuelo.

- c) Verificación y análisis de la correspondencia técnica discutida entre el Contratante y el Contratista: Se revisaron todas las comunicaciones escritas que el Contratista entregó para este peritaje (ver Anexo F), que corresponden con los problemas en la fundida de varios elementos, y las discusiones y puntos de vista de cada parte, relacionadas con las responsabilidades y posibles causas de cada caso tratado.

Como resumen, en la Figura 5 se presenta el Diagrama de Procesos con la secuencia metodológica y relaciones de actividades utilizadas para este Peritaje. Adicionalmente, se aclara que toda la información revisada y analizada para la elaboración del presente documento fue suministrada por Equipos y Terratest.

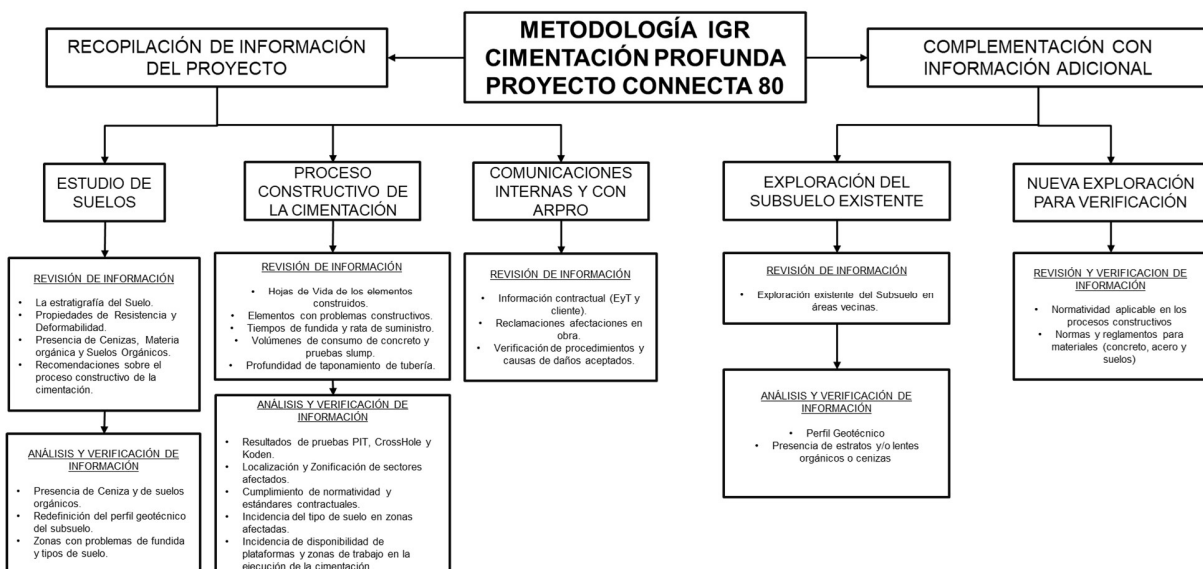


Figura 5. Metodología seguido por IGR para analizar la cimentación profunda del proyecto Connecta 80. Fuente: Elaboración Propia

5. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL ESTUDIO DE SUELOS DEL PROYECTO CONNECTA 80

5.1. ALCANCE DE LA REVISIÓN

Con base en las tres (3) versiones del Estudio de Suelos para el Proyecto CONNECTA 80, elaboradas por la firma ESPINOSA Y RESTREPO EYR en los años 2002, 2013 y 2020, aunque con las limitaciones por la falta de algunos anexos, se realizó una revisión, verificación y análisis integral del contenido técnico del proyecto parcial construido hasta la fecha. Dicho estudio de suelos fue solicitado por el constructor del proyecto, Terranum, como consta en la primera hoja del estudio de suelos y entregado por ARPRO a los proponentes para elaborar en base a él la propuesta comercial que presentaría este último para la ejecución de la cimentación profunda. Este análisis se enfocó principalmente en correlacionar las características geotécnicas de los diferentes estratos de suelo con los tipos de cimentaciones profundas recomendadas y los procesos constructivos utilizados.

Dado el papel fundamental del cumplimiento de los requisitos mínimos normativos para estudios geotécnicos (Título H del Reglamento NSR-10) y de las condiciones contractuales acordadas entre las partes para la construcción de la cimentación, también fue necesario verificar que la investigación del subsuelo, los análisis realizados y las recomendaciones contenidas en el Estudio de Suelos permitieran una interpretación adecuada para la correcta ejecución del proceso constructivo de la cimentación profunda requerida para las estructuras del Proyecto Connecta 80.

Finalmente, se revisarán los aspectos contractuales relacionados con la información geotécnica contemplada en el contrato CT2100009 y en la oferta técnica-económica presentada por Equipos y Terratest, la cual incluye las siguientes notas importantes:

- *“Si durante la excavación se observan diferencias sustanciales de los estratos encontrados se notificará de manera inmediata al geotecnista o quien corresponda para evaluar la incidencia en el comportamiento de los elementos a construir”.*
- *“En caso de encontrar suelos diferentes a la descrita en el estudio de suelos, los plazos deberán ser evaluados nuevamente”.*

Estas notificaciones permitían evaluar la posible incidencia de estos cambios en el comportamiento de los elementos a construir, ajustando las técnicas o estrategias según fuese necesario para asegurar la estabilidad y durabilidad de la cimentación.

Este alcance busca garantizar las condiciones geotécnicas del terreno, las recomendaciones del estudio y los procesos constructivos implementados, así como asegurar que las decisiones tomadas en obra estén basadas en una evaluación técnica y acorde con las normativas vigentes. En El ANEXO B, del presente informe encontramos el Contrato mencionado anteriormente, la Oferta Técnica-Económica y la Orden de Compra No. 7 y No. 47 respecto a Concretos de ARPRO y ARGOS.

5.2. REVISIÓN DEL INFORME DEL ESTUDIO DE SUELOS

5.2.1. Verificación del cumplimiento del Reglamento NSR-10

En el ANEXO C, se encuentra los informes realizados por Espinosa y Restrepo (EyR) con sus respectivos anexos. De acuerdo con la última versión del Informe del Estudio de Suelos elaborado por EyR con fecha del 28/09/2020, el cual fue solicitado por TERRANUM y hace parte de la documentación suministrada por Equipos y Terratest para la ejecución del presente peritaje, el sitio del proyecto se encuentra ubicado sobre depósitos cuaternarios de origen lacustre, caracterizados por la presencia de materiales como arcillas, turbas y arcillas arenosas, acompañadas de niveles delgados de gravas. El estudio efectuó tres campañas de exploración del subsuelo, llevadas a cabo en diferentes periodos de tiempo, las cuales se muestran en la Figura 6.

Tabla 1 Campañas de perforación

Campaña	Fecha	# Sondeos	Profundidad (m)
1	Febrero 2002	4	10.0 / 15.0
2	Agosto/ Septiembre 2013	15	60.0 / 67.0
3	Abril/ Mayo 2018	2	80.0

Figura 6. Exploración geotécnica realizada para el Proyecto Connecta 80

Fuente: EYR-S 12541-6 (2020)

Se realizaron un total de 21 sondeos para el desarrollo del proyecto en su totalidad, distribuidos de la siguiente manera: 4 sondeos con profundidades entre 10 m y 15 m, 15 sondeos con profundidades entre 60 m y 67 m, y 2 sondeos con profundidades de 80 m. Cabe destacar que, al revisar los anexos correspondientes a los tres informes geotécnicos, no se encontraron los registros de los sondeos pertenecientes a la Campaña 1, realizada en febrero de 2002 (4 sondeos de 10 m a 15 m de profundidad).

Sin embargo, los registros de los 17 sondeos restantes, correspondientes a las campañas 2 y 3, están incluidos en los anexos de la última versión. Adicionalmente, no se disponen de los registros fotográficos de las muestras de suelo obtenidas durante las campañas de exploración, ni de la ubicación exacta y numerada de todos los sondeos realizados.

La profundidad de los sondeos ejecutados durante las campañas 2 y 3 se resume en la Tabla 1, mientras que la localización aproximada (aunque sin la respectiva numeración y ubicación) de los 15 sondeos de la Campaña 2 se muestra en la Figura 7.

Tabla 1. Resumen de exploración del Subsuelo campañas 2013 y 2018.

Campaña	Sondeo	Profundidad (m)
2013	S1	60
2013	S2	60
2013	S3	60
2013	S4	60
2013	S5	60
2013	S6	63.5
2013	S7	60
2013	S8	60
2013	S9	67
2013	S10	60
2013	S11	61.5
2013	S12	61.5
2013	S13	60
2013	S14	60
2013	S15	63
2018	S1	80
2018	S2	81.5

Fuente: Realizado con la información de EYR-S 12541-6 (2020)

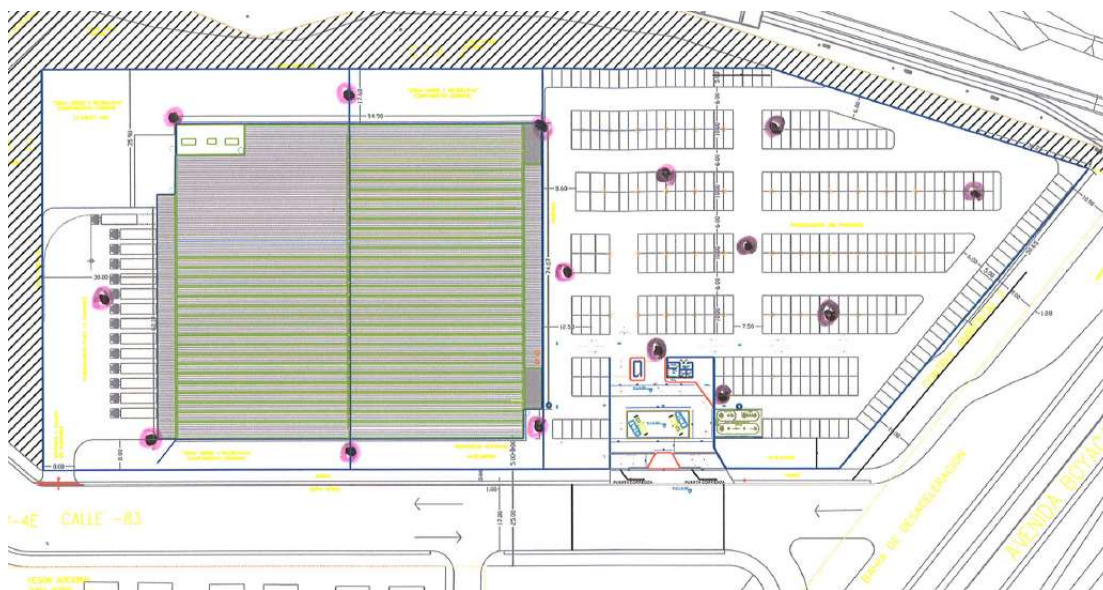


Figura 7. Localización (sin numeración) de los sondeos de la Campaña 2 realizada para el Proyecto Conecta 80

Fuente: "V&P arquitectos LTDA"

En el informe EYR-S 12541-6 (2020), se señala que la exploración geotécnica se realizó cumpliendo con los requisitos establecidos en la Tabla H.3.1-1 del Capítulo H.3 del Título H de la Norma NSR-10. Durante la ejecución de los sondeos, se midió la resistencia al corte no drenado (C_u) únicamente mediante el uso de un penetrómetro manual, complementado con ensayos in situ de penetración estándar (SPT).

Según la NSR-10 (Ver Figura 8), se entiende que la unidad de construcción es cada zona separada por juntas en su construcción, cada parte del proyecto con alturas, cargas o niveles de excavación diferentes o el grupo de construcción cuya longitud máxima en planta no exceda los 40m y si es de categoría baja no exceda 80 m de la longitud máxima en planta.

H.3.1 — UNIDAD DE CONSTRUCCIÓN.

Se define como unidad de construcción

- (a) Una edificación en altura,
- (b) Grupo de construcciones adosadas, cuya longitud máxima en planta no exceda los 40 m,
- (c) Cada zona separada por juntas de construcción,
- (d) Construcciones adosadas de categoría baja, hasta una longitud máxima en planta de 80 m
- (e) Cada fracción del proyecto con alturas, cargas o niveles de excavación diferentes.

Para los casos donde el proyecto exceda las longitudes anotadas, se deberá fragmentar en varias unidades de construcción, por longitudes o fracción de las longitudes.

Figura 8. Unidad de Construcción

Fuente: NSR-10

Al comparar estos procedimientos con los requisitos establecidos en el Capítulo H.3 de la NSR-10 (ver Figura 9), se observa que las tres torres planteadas en el estudio de suelos se clasifican como unidad de construcción de **categoría especial** debido a las cargas significativas en las columnas. Pero como cada torre tiene aproximadamente 80m X 40m de longitud en planta, se deberá fragmentar en varias unidades de construcción como lo dice la NSR-10, esto debido a que supera la longitud máxima de 40m. Para este tipo de edificaciones, la normativa exige un mínimo de cinco (5) sondeos con una profundidad de 30 metros por unidad de construcción, es decir que para las torres cuyas longitudes aproximadas en planta son de 80m X 40m se deben realizar 10 sondeos al tener 2 unidades de construcción.

Otras edificaciones del proyecto como la Tienda Makro y sótanos, cuya longitud es de 120 m X 100 m se clasifican como **categoría media** que tiene entre 4 y 10 niveles, para las cuales se requieren al menos cuatro (4) sondeos por unidad de construcción (Ver Figura 10). Pero, la longitud máxima en planta excede los 40m, por lo que se deberá fragmentar en varias unidades de construcción por longitudes la edificación.

Tabla H.3.1-1
Clasificación de las unidades de construcción por categorías

Categoría de la unidad de construcción	Según los niveles de construcción	Según las cargas máximas de servicio en columnas (kN)	
Baja	Hasta 3 niveles	Menores de 800 kN	
Media	Entre 4 y 10 niveles	Entre 801 y 4,000 kN	Makro
Alta	Entre 11 y 20 niveles	Entre 4,001 y 8,000 kN	
Especial	Mayor de 20 niveles	Mayores de 8,000 kN	Torres

Figura 9. Clasificación de unidades de construcción.
Fuente: NSR-10

Tabla H.3.2-1
Número mínimo de sondeos y profundidad por cada unidad de construcción
Categoría de la unidad de construcción

Categoría Baja	Categoría Media	Categoría Alta	Categoría Especial
Profundidad Mínima de sondeos: 6 m. Número mínimo de sondeos: 3	Profundidad Mínima de sondeos: 15 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 25 m. Número mínimo de sondeos: 4	Profundidad Mínima de sondeos: 30 m. Número mínimo de sondeos: 5

Figura 10. Número de sondeos por cada unidad de Construcción
Fuente: NSR-10

Con base en lo anterior, se identifican 4 unidades de construcción de categoría media, correspondientes a Makro y la zona comercial, y 6 unidades de construcción de categoría especial, correspondientes a las torres. Según la normativa NSR-10, para cada unidad de categoría media se requieren al menos 4 sondeos, mientras que para

las unidades de categoría especial se necesitan un mínimo de 5 sondeos por unidad. Esto implica que serían necesarios un total de 30 sondeos para las torres (**categoría especial**) y 16 sondeos para la zona comercial y tienda Makro (**categoría media**), lo que suma un total de 46 sondeos.

No obstante, debido a la repetición de varias unidades funcionales similares (ver Figura 11), se ajusta el número de sondeos requeridos. En el caso de las torres oriental y occidental, el número total de sondeos se reduce para las unidades repetidas. El cálculo se realiza tomando la mitad de los sondeos requeridos para la primera unidad y redondeando al número entero siguiente. De esta manera, se necesitarían **14 sondeos** para las 4 unidades funcionales de **categoría especial** (torres oriental y occidental), **8 sondeos** para las 2 unidades de **categoría especial** (torre central) y **10 sondeos** para las unidades de **categoría media** (zona comercial y tienda Makro).

En conclusión, debieron ejecutarse un total de **32 sondeos** (22 sondeos para las unidades de categoría especial y 10 para las de categoría media). Sin embargo, al revisar las campañas de exploración, se evidencia un déficit en la cantidad de sondeos realizados, ya que el número ejecutado no cumple completamente con los requisitos normativos establecidos por la NSR-10.

H.3.2.6 — NÚMERO MÍNIMO DE SONDEOS — Para definir el número de sondeos en un proyecto, se definirán inicialmente las unidades de construcción de acuerdo con las normas dadas en el numeral H.3.1.1. En todos los casos el número mínimo de sondeos para un estudio será de tres (3) y para definir el número se debe aplicar el mayor número de sondeos resultante y el número de unidades de construcción.

Los sondeos realizados en la frontera entre unidades adyacentes de construcción de un mismo proyecto, se pueden considerar válidos para las dos unidades siempre y cuando domine la mayor profundidad aplicable.

Efecto por repetición — Para proyectos con varias unidades similares, el número total de sondeos se calculará a partir de la segunda unidad de construcción y siguientes como la mitad (50%) del encontrado para la primera unidad, aumentando al número entero siguiente al aplicar la reducción.

Figura 11. Número mínimo de sondeos y efecto por repetición.
Fuente: NSR-10

Por otra parte, según el numeral H.3.2.4 de la NSR-10 (Ver Figura 12), se estipula que al menos el 50% de los sondeos deben ubicarse directamente sobre el terreno destinado para la construcción de las edificaciones. Sin embargo, este requisito no ha podido ser verificado en el presente estudio. Aunque se realizaron un total de 21 sondeos en tres campañas de exploración distintas, la falta de información sobre la ubicación y las coordenadas exactas de los sondeos en el estudio de suelos impide confirmar si este requisito normativo se ha cumplido.

H.3.2.4 — CARACTERÍSTICAS Y DISTRIBUCIÓN DE LOS SONDEOS — Las características y distribución de los sondeos deben cumplir las siguientes disposiciones además de las ya enunciadas en H.3.1-1 y H.3.2-1:

- (a) Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.
- (b) En los sondeos con muestreo se deben tomar muestras cada metro en los primeros 5 m de profundidad y a partir de esta profundidad, en cada cambio de material o cada 1.5 m de longitud del sondeo...
- (c) Al menos el 50% de los sondeos deben quedar ubicados dentro de la proyección sobre el terreno de las construcciones.
- (d) Los sondeos practicados dentro del desarrollo del Estudio Preliminar pueden incluirse como parte del estudio definitivo - de acuerdo con esta normativa - siempre y cuando hayan sido ejecutados con la misma calidad y siguiendo las especificaciones dadas en el presente título del Reglamento.
- (e) El número de sondeos finalmente ejecutados para cada proyecto, debe cubrir completamente el área que ocuparán la unidad o unidades de construcción contempladas en cada caso, así como las áreas que no quedando ocupadas directamente por las estructuras o edificaciones, serán afectadas por taludes de cortes u otros tipos de intervención que deban ser considerados para evaluar el comportamiento geotécnico de la estructura y su entorno.
- (f) En registros de perforaciones en ríos o en el mar, es necesario tener en cuenta el efecto de las mareas y los cambios de niveles de las aguas, por lo que se debe reportar la elevación (y no la profundidad solamente) del estrato, debidamente referenciada a un datum preestablecido.

Figura 12. Características y distribución de los sondeos.

Fuente: NSR-10

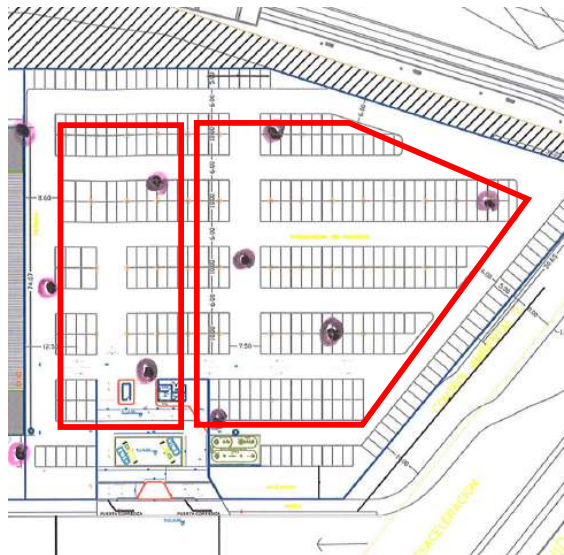


Figura 13. Distribución de Sondeos en la construcción actual (Makro y torre oriental).

Fuente: Elaboración propia usando el plano de distribución de sondeos

Si se realiza un análisis de las proyecciones de las construcciones actuales y la ubicación de los sondeos realizados en la campaña 2 (ver Figura 13), se observa que el proyecto construido hasta la fecha incluye **4 unidades de construcción de categoría media**, correspondiente a la tienda Makro, y **2 unidades de construcción de categoría especial**, correspondiente a la torre construida. De acuerdo con los requisitos de la NSR-10, para la unidad de categoría media se requieren al menos **10 sondeos**, y para la categoría especial se requieren al menos **8 sondeos**, lo que suma un total de **18 sondeos** para el proyecto en su estado actual, cantidad que no cumple actualmente con los sondeos realizados para la zona construida.

No obstante, en cuanto a la profundidad mínima requerida para los sondeos, el numeral H.3.2.5 de la NSR-10 (ver Figura 14) estipula que al menos el 50% de los sondeos deben alcanzar una profundidad equivalente a 4 veces el diámetro del pilote (o lado del barrete) o 2 veces el ancho del grupo de pilotes. Además, estos sondeos deben superar el nivel de apoyo de la cimentación.

En el caso de la Torre, se han utilizado barretes con longitudes que van desde 70 m, medidos desde la placa de contrapiso del tercer sótano, con dimensiones de 2.0 m a 3.0 m de largo y 0.6 m a 0.8 m de ancho. Los barretes han alcanzado una profundidad máxima de 85.11 m (Barrete BC-93-13), considerando los 12.5 m de nivel de excavación del tercer sótano. Sin embargo, la exploración geotécnica realizada incluye solo 2 sondeos con una profundidad de 80 m, 15 sondeos con profundidades entre 60 m y 67 m, y 4 sondeos con profundidades de solo 10 m a 15 m. Ninguno de estos sondeos alcanzó el nivel de cimentación propuesto en el Estudio de Suelos, ni la profundidad mínima especificada por la NSR-10, que sería de 84.9 m (70 m + 12.5 m + 4x0.6 m) para este tipo de cimentación.

H.3.2.5 — PROFUNDIDAD DE LOS SONDEOS — Por lo menos el 50% de todos los sondeos debe alcanzar la profundidad dada en la Tabla H.3.2-1, afectada a su vez por los siguientes criterios, los cuales deben ser justificados por el ingeniero geotecnista. La profundidad indicativa se considerará a partir del nivel inferior de excavación para sótanos o cortes de explanación. Cuando se construyan rellenos, dicha profundidad se considerará a partir del nivel original del terreno:

- (a) Profundidad en la que el incremento de esfuerzo vertical causado por la edificación, o conjunto de edificaciones, sobre el terreno sea el 10% del esfuerzo vertical en la interfaz suelo-cimentación.
- (b) 1.5 veces el ancho de la losa corrida de cimentación.

- (c) 2.5 veces el ancho de la zapata de mayor dimensión.
- (d) Longitud total del pilote más largo, mas 4 veces el diámetro del pilote o 2 veces el ancho del grupo de pilotes.
- (e) 2.5 veces el ancho del cabezal de mayor dimensión para grupos de pilotes.
- (f) En el caso de excavaciones, la profundidad de los sondeos debe ser como mínimo 1.5 veces la profundidad de excavación pero debe llegar a 2.0 veces la profundidad de excavación en suelos designados como E y F en el Título A.
- (g) En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos firmes asimilables a rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, el 50% de los sondeos deberán alcanzar las siguientes penetraciones en material firme (material designado como A, B o C en la Tabla A.2.4.4-1 del Título A de este Reglamento), de acuerdo con la categoría de la unidad de construcción:
 - Categoría Baja: los sondeos pueden suspenderse al llegar a estos materiales;
 - Categoría Media, penetrar un mínimo de 2 metros en dichos materiales, o dos veces el diámetro de los pilotes en éstos apoyados;
 - Categoría Alta y Especial, penetrar un mínimo de 4 metros o 2.5 veces el diámetro de pilotes respectivos, siempre y cuando se verifique la continuidad de la capa o la consistencia adecuada de los materiales y su consistencia con el marco geológico local.
- (h) La profundidad de referencia de los sondeos se considerará a partir del nivel inferior de excavación para sótanos o cortes de explanación. Cuando se construyan rellenos, dicha profundidad se considerará a partir del nivel original del terreno.
- (i) Es posible que alguna de las consideraciones precedentes conduzca a sondeos de una profundidad mayor que la dada en la Tabla H.3.2-1. En tal caso, el 20% de las perforaciones debe cumplir con la mayor de las profundidades así establecidas.
- (j) En todo caso primará el concepto del ingeniero geotecnista, quien definirá la exploración necesaria siguiendo los lineamientos ya señalados, y en todos los casos, el 50% de las perforaciones, deberán alcanzar una profundidad por debajo del nivel de apoyo de la cimentación. En algunos casos, a juicio del Ingeniero Geotecnista responsable del estudio, se podrán reemplazar algunos sondeos por apiques ó trincheras

Figura 14. Profundidad de Sondeos

Fuente: NSR-10

Con base en lo anterior se **concluye que la suma de la exploración del subsuelo realizada considerando las 3 campañas para el Proyecto Connecta 80, en cuanto a cantidad de sondeos y profundidad mínima del 50% de los sondeos, no cumple**

con lo estipulado en el Título H de la Norma NSR-10. Esto implica que, al menos, 7.0 m del subsuelo más profundo fue desconocido en toda el área del edificio para las etapas de construcción de los barretes más profundos (de 85.11m), y en buena parte del predio construido donde los pilotes y barretes superaron los 60m de profundidad.

Esta importante limitación de exploración del subsuelo, según Beacher y Christian (2003), genera **incertidumbres aleatorias** (**variabilidad espacial** y/o temporal de los materiales y sus propiedades geotécnicas) e **incertidumbres epistémicas** (conocimiento geotécnico y/o **falta de datos del subsuelo**), lo cual incrementa la probabilidad de que se generen problemas de excavación y/ fundida de la cimentación; además, del desconocimiento real del aporte en la capacidad portante de la cimentación (principalmente por punta) y/o asentamientos a largo plazo (si aparecen más capas de suelos orgánicos compresibles y/o suelos arcillosos).

5.2.2. Caracterización Geotécnica del Subsuelo

La caracterización geomecánica del subsuelo integra mediciones directas in situ con ensayos de laboratorio realizados sobre muestras inalteradas y/o alteradas, dependiendo del tipo de suelo. Este proceso tiene como objetivo definir, en cada perfil geotécnico, los parámetros índice (límites de Atterberg, humedad natural, granulometría, peso unitario, entre otros), los parámetros de resistencia al corte obtenidos en laboratorio (como la compresión inconfiada, corte directo, y veleta de laboratorio), o los resultados de resistencia obtenidos in situ (veleta de campo, penetrómetro de bolsillo, ensayo SPT, etc.), así como la compresibilidad a través de ensayos de consolidación unidimensional.

De las tres campañas del Estudio de Suelos realizadas para el Proyecto Connecta 80, solo se cuenta con la caracterización presentada en la Figura 15. Esta figura muestra la distribución con la profundidad de los límites de Atterberg (líquido y plástico) y la humedad natural (a la izquierda), la resistencia al corte con penetrómetro de bolsillo y compresión inconfiada (en el centro), y el ensayo de resistencia SPT con muestreador de pared gruesa (a la derecha).

Es importante resaltar que las mediciones de resistencia del suelo de materiales arcillosos únicamente con un penetrómetro de bolsillo y SPT, no se consideran adecuadas para la magnitud del proyecto y una buena práctica dentro de la ingeniería geotécnica, dado que para estos materiales de consistencia muy blanda a blanda se pueden realizar otros ensayos in-situ más apropiados, como es el caso de ensayos CPTu, Dilatómetro DMT o veleta de campo, que proporcionan un mejor acercamiento a la resistencia real de los materiales arcillosos presentes en la zona.

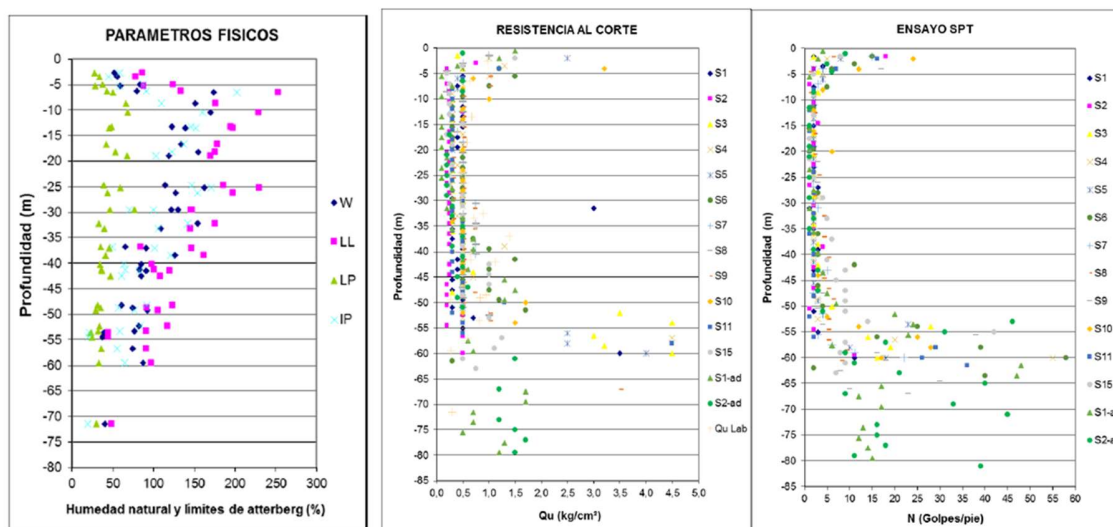


Figura 15. Parámetros geomecánicos empleados para la caracterización del subsuelo del Proyecto Connecta 80
Fuente: EYR-S 12541-6 (2020)

En los anexos de laboratorio del Informe del Estudio de Suelos, se reporta un total de 14 ensayos de compresión inconfiada, 4 ensayos de consolidación, 17 ensayos de límites de Atterberg, 21 determinaciones de peso unitario y 4 análisis granulométricos. Sin embargo, de acuerdo con los parámetros geomecánicos utilizados para la caracterización del subsuelo en el Proyecto Connecta 80, se mencionan un total de 37 ensayos relacionados con parámetros físicos, como la humedad natural y los límites de Atterberg. No obstante, no se cuenta con los resultados ni con los informes correspondientes a los 20 ensayos adicionales que fueron empleados para definir dichos parámetros en el estudio.

Tabla 2. Ensayos Laboratorios campañas de Exploración (2013 y 2018).

SONDEOS TOTALES	
ENSAYO	TOTAL
COMPRESIÓN INCONFINADA	14
CONSOLIDACIÓN	4
LÍMITES	17
PESOS UNITARIOS	21
GRANULOMETRÍA	4

Fuente: Elaboración propia con los Anexos de EYR-S 12541-6 (2020)

Tabla 3. Ensayos de Laboratorio Campaña 2013

CAMPAÑA 2 (2013)		
ENSAYO	CANTIDAD	PROFUNDIDADES (m)
COMPRESIÓN INCONFINADA	6	13.00-13.50 25.00-25.50 33.00-33.50 41.00-41.50 49.00-49.50 53.00-53.50
CONSOLIDACIÓN	1	5.00-5.50
LÍMITES	7	5.00-5.50 13.00-13.50 25.00-25.50 33.00-33.50 41.00-41.50 49.00-49.50 53.00-53.50
PESOS UNITARIOS	7	5.00-5.50 13.00-13.50 25.00-25.50 33.00-33.50 41.00-41.50 49.00-49.50 53.00-53.50

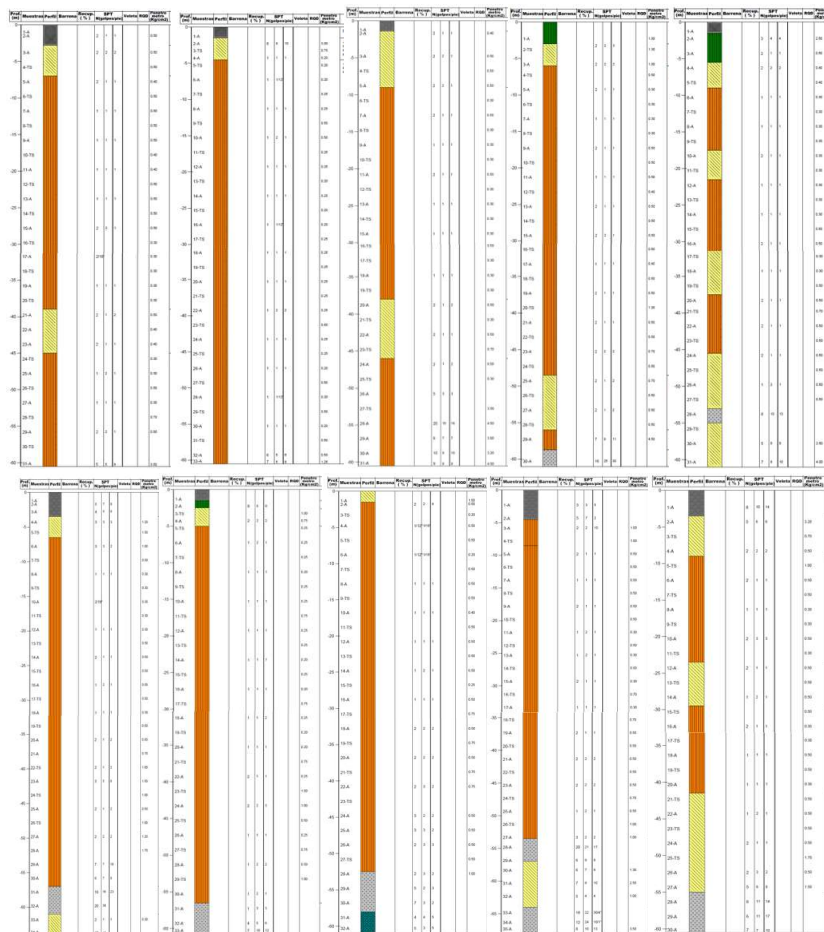
Fuente: Elaboración propia con los Anexos de EYR-S 12541-6 (2020)

Tabla 4. Ensayos de Laboratorio Campaña 2018

CAMPAÑA 3 (2018)						
SONDEO 1			SONDEO 2			TOTAL
ENSAYO	CANTIDAD	PROFUNDIDADES (m)	ENSAYO	CANTIDAD	PROFUNDIDADES (m)	
COMPRESIÓN INCONFINADA	4	29.50-30.00 41.50-43.00 59.50-60.00 71.50-72.00	COMPRESIÓN INCONFINADA	4	6.50-7.00 23.00-23.50 37.00-37.50 49.00-49.50	8
CONSOLIDACIÓN	1	13.50-14.00	CONSOLIDACIÓN	2	23.00-23.50 49.00-49.50	3
LÍMITES	6	3.50-4.00 13.50-14.00 29.50-30.00 41.50-43.00 59.50-60.00 71.50-72.00	LÍMITES	4	6.50-7.00 23.00-23.50 37.00-37.50 49.00-49.50	10
PESOS UNITARIOS	8	3.50-4.00 13.50-14.00 29.50-30.00 41.50-43.00 55.50-56.00 65.50-66.00 59.50-60.00 71.50-72.00	PESOS UNITARIOS	6	6.50-7.00 23.00-23.50 37.00-37.50 49.00-49.50 59.00-59.50 81.00-81.50	14
GRANULOMETRÍA	2	55.50-56.00 65.50-66.00	GRANULOMETRÍA	2	59.00-59.50 81.00-81.50	4

Fuente: Elaboración propia con los Anexos de EYR-S 12541-6 (2020)

En el año 2013 se realizó la segunda campaña de exploración, esta campaña contó con 15 perforaciones (Ver Figura 16), en esta encontramos en color gris oscuro un relleno con gravas, en un color verde oscuro limo orgánico de color negro de consistencia blanda a dura, en amarillo se clasifico arcilla, arcilla limosa o limo arcilloso de color habano a gris verdoso, en naranja se clasificó como arcilla limosa o limo arcilloso de color gris de consistencia blanda a dura y en color gris claro lo clasificaron como arena, arena limosa de color carmelito de densidad compacta.



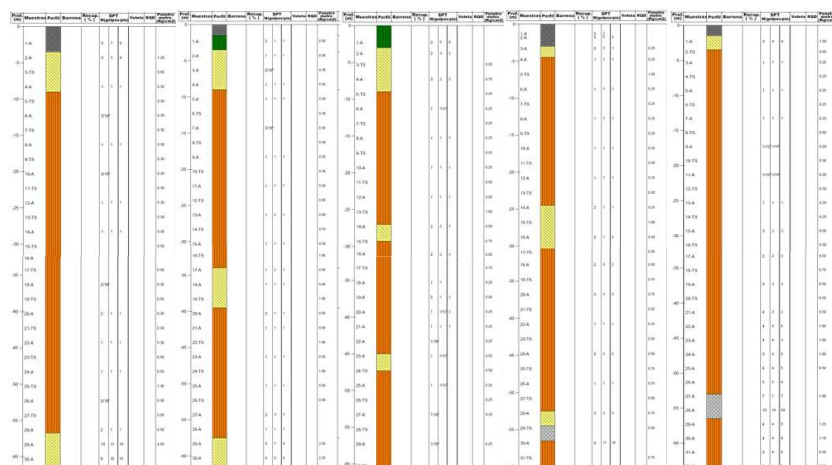


Figura 16. Sondeos del 1 al 15 campaña del 2013

Fuente: EYR-S 12541-6 (2020)

En la revisión del estudio de suelos presentado por EyR, se encuentran los siguientes parámetros geotécnicos del subsuelo definidos en el Informe (Ver Figura 17), en los cuales no se evidencia la presencia de suelos orgánicos o de turba:

Tabla 3 Parámetros geotécnicos de diseño

Estrato	Profundidad (m)	N (golpes/pie)	Qu (kg/cm²)	c (kg/cm²)	ϕ (°)	E (t/m²)
1 – Relleno	0.00 – 0.60/5.50	2 a 24	—	—	25	804
2 – Limo arenoso	0.60/5.50 – 5.50/9.00	1 a 12	0.60	0.30	—	598
3 – Limo arcilloso aren.	5.50/9.00 – 33.50/35.0	1 a 6	0.40	0.20	—	477
4 – Limo y/o arcilla	33.50/35.0 – 52.0/54.0	1 a 14	0.62	0.31	—	607
5	a – Arena limosa	5 a 58	—	—	29	2200
	b – Limo arcilloso	6 a 36	1.50	0.75	—	985
6 – Arcilla arenosa	67.0/72.0 – 80.0	11 a 18	1.00	0.50	—	959

Figura 17. Parámetros geotécnicos de diseño

Fuente: EYR-S 12541-6 (2020)

5.2.3 Presencia de Suelos Orgánicos, Turbas y Cenizas

En la verificación y análisis de la presencia de capas orgánicas y/o turba, IGR (Ingeniería y Georriesgos) tomó una referencia de un estudio en una exploración del subsuelo realizada en el año 2016 (Ver Anexo D), empleando el ensayo CPTu (Ensayo de Penetración con Cono). Lo anterior se hizo como un ejercicio de comparación entre un perfil geotécnico más completo de la zona y los registros de perforación elaborados por EyR, debido a que en estos últimos la descripción del perfil carece de detalle en las descripciones del material en profundidad.

Esta exploración se llevó a cabo en la intersección de la avenida Boyacá con la Calle 80, un punto clave para el proyecto. El ensayo CPTu, que permite obtener información detallada del subsuelo a intervalos de 2 cm por segundo, es ampliamente reconocido en el campo de la ingeniería geotécnica por proporcionar un perfil continuo y preciso de las condiciones del suelo. Esto resulta fundamental para identificar características relevantes en las capas del suelo, como la resistencia del suelo, los cambios en su estratigrafía, y la presencia de materiales orgánicos, como limos y turba.

Durante esta exploración, se identificaron capas de material orgánico a profundidades comprendidas entre los 8.00 y los 11.00 metros (ver Figura 18). Estas capas fueron registradas debido a su importancia, ya que los suelos orgánicos, al ser altamente compresibles y de baja resistencia, pueden generar deformaciones considerables, afectando la estabilidad de las estructuras de cimentación proyectadas en la zona. La detección temprana de estos estratos es vital para implementar soluciones geotécnicas adecuadas que garanticen la seguridad y durabilidad de las cimentaciones en dicha profundidad.

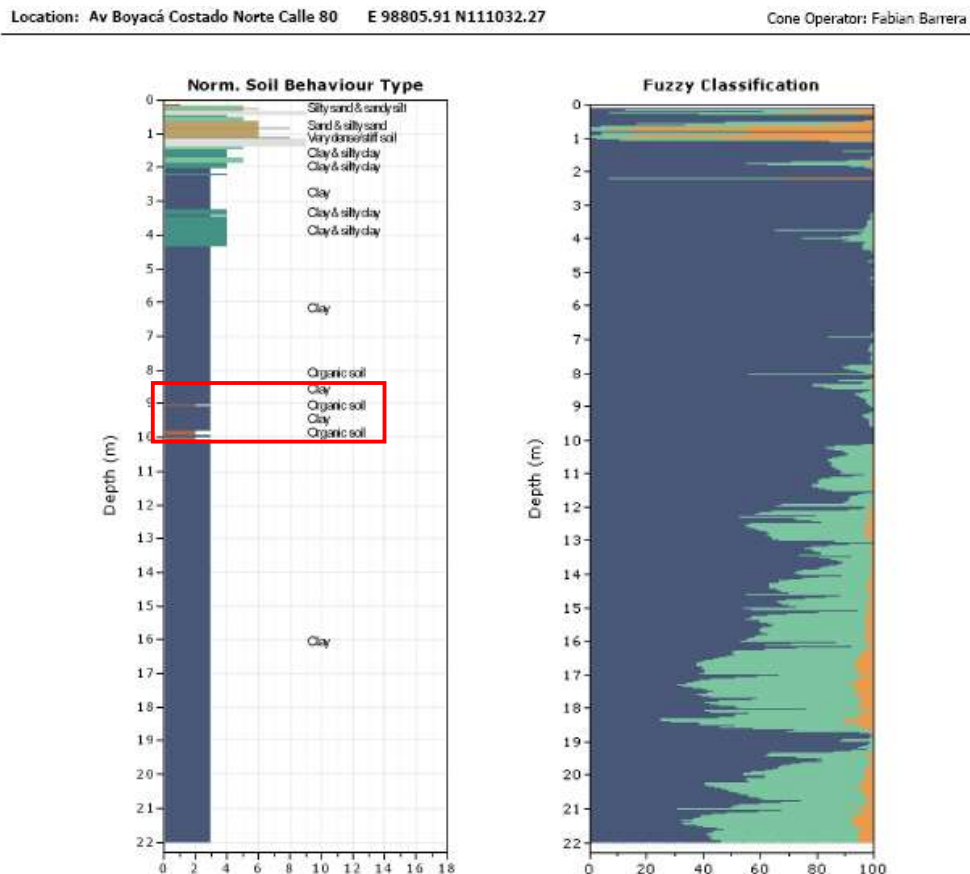


Figura 18. Perfil Geotécnico (Ensayo CPTu-01) realizado por IGR
Fuente: Propia

En la revisión de la información, se observó en los sondeos la presencia de material orgánico y/o turba en los perfiles geotécnicos (recuadros rojos) ha estado presente desde el inicio de las campañas de exploración. Por ejemplo, en el Sondeo 4 (ver figura 19), desde los 0.0m a 3.0m hay presencia de material orgánico; en el Sondeo 5 (ver figura 20), después de la capa de relleno, se presenta una capa de 4.0m de limo orgánico, entre 2.0m y a 6.0m, son capas bastante gruesas que se debe tener en cuenta en la caracterización geotécnica.

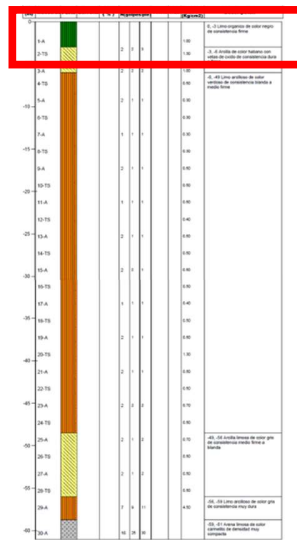


Figura 19. Perfil geotécnico del Sondeo 4 (Campaña 2013)
Fuente: Anexos EYR-S 12541-6 (2020)

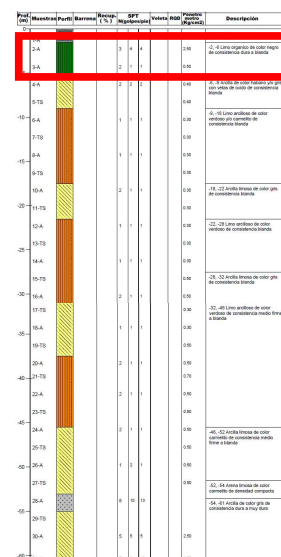


Figura 20. Perfil geotécnico del Sondeo 5 (Campaña 2013)
Fuente: Anexos EYR-S 12541-6 (2020)

También, en el Sondeo 2 de la campaña de 2013 (Ver figura 21), entre los 5.00 y los 61.00 metros, se observó un estrato de limo arcilloso de color carmelito y/o gris con turba, cuya consistencia varía de muy blanda a dura. De manera similar, en el Sondeo 6 (Ver Figura 22), entre los 7.00 y los 57.00 metros, se describe un estrato de limo arcilloso verdoso con turba y arena, de consistencia blanda a firme.

Del mismo modo, en el Sondeo 11 (Ver Figura 23), entre los 9.00 y 57.00 metros, se describe el estrato de suelo como limo arcilloso de color gris con lentes de turba. Como en el Sondeo 13 (Ver figura 24), entre los 29.00 a 45.00 m, se define el estrato como limo arcillo-arenoso de color carmelito y/o gris con turba, de consistencia que varía de muy blanda a dura. Estas descripciones resultan demasiado generales y abarcan intervalos de profundidad muy amplios, lo que impide una identificación precisa de las capas de turba y otros materiales orgánicos. La falta de detalle puede dificultar la evaluación de su impacto en la estabilidad del terreno.

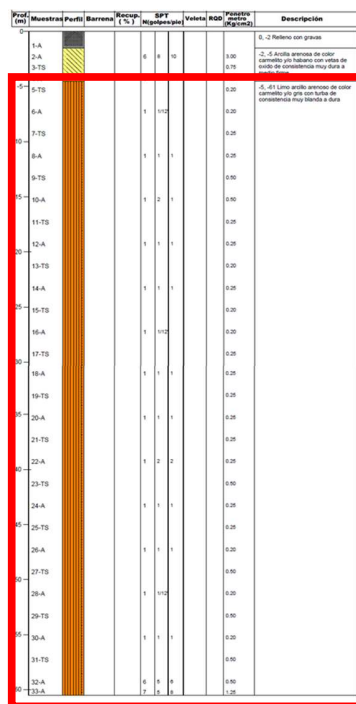


Figura 21. Perfil geotécnico del Sondeo 2 (Campaña 2013)
Fuente: Anexos EYR-S 12541-6 (2020)

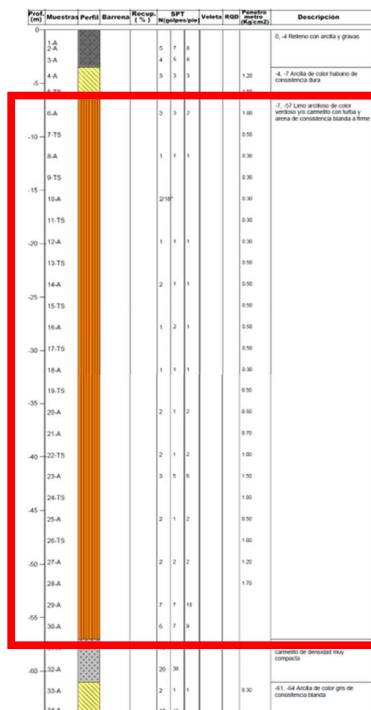


Figura 22. Perfil geotécnico del Sondeo 6 (Campaña 2013)
Fuente: Anexos EYR-S 12541-6 (2020)

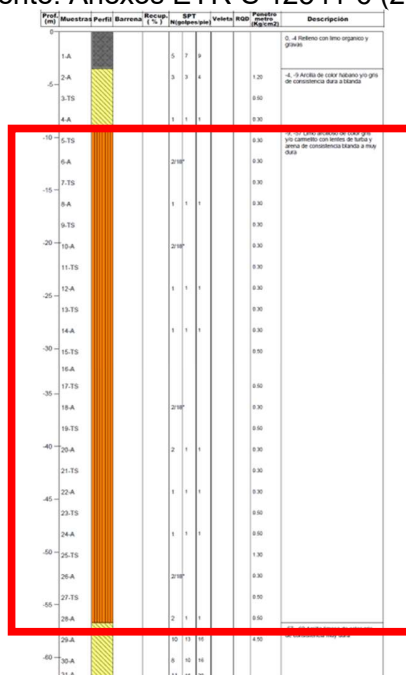


Figura 23. Perfil geotécnico del Sondeo 11 (Campaña 2013)
Fuente: Anexos EYR-S 12541-6 (2020)

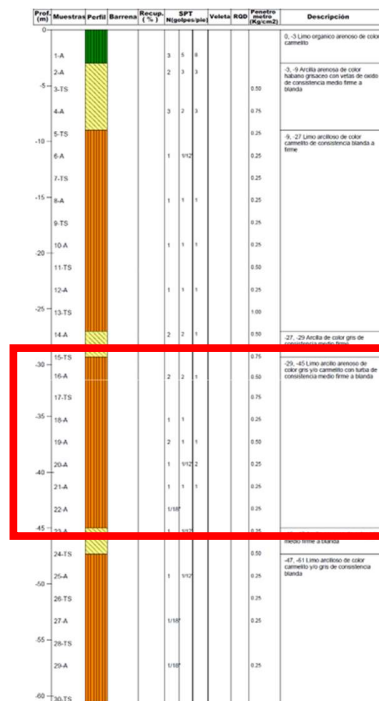


Figura 24. Perfil geotécnico del Sondeo 13 (Campaña 2013)

Fuente: Anexos EYR-S 12541-6 (2020)

Finalmente, el ejemplo más claro se encuentra en el Sondeo S-01 (Ver Figura 25) de la campaña de 2018, la última realizada, donde se observa una capa de limo orgánico arcilloso con lentes de arena de color negro y raíces hasta una profundidad de 5.50 m. Luego, entre los 23.00 y 27.00 m, se vuelve a encontrar limo orgánico arcilloso de color verdoso, de consistencia muy blanda. Además, a una profundidad de 60.00 a 62.50 m, se detecta la presencia de arcilla con lentes de turba. De manera similar, en el Sondeo S-02 de la misma campaña (Ver Figura 26), entre los 3.00 a 5.50 m, se observa limo orgánico arcilloso de consistencia dura. Luego, entre los 57.60 y 60.00 m, también se observa material orgánico o turba, en este caso, limo arcilloso de color verdoso con lentes orgánicos profundos. Adicionalmente, se observa que en ninguno de los sondeos realizados para el proyecto se determinó ni mencionó la presencia de ceniza en los primeros metros (Anexo C). Es fundamental considerar este aspecto, ya que la ceniza es un material altamente inestable y susceptible a derrumbes o socavaciones en las primeras capas de una excavación. Debido a su alta deformabilidad y baja capacidad portante, la ceniza puede comprometer la estabilidad de las paredes de la excavación, especialmente bajo condiciones de carga. Por esta razón, resulta crucial que este material sea adecuadamente identificado y clasificado en el estudio de suelos, con el fin de tomar las medidas preventivas necesarias, como la estabilización de taludes, el uso de refuerzos temporales o alguna medida preventiva, para evitar

fallas geotécnicas durante el proceso de construcción.

Prof. (m)	Muestra No. y Tipo	Penetr.	Recup. (%)	SPT			R.D.D. (%)	Veleta kg/cm ²	Penetró medio kg/cm ²	Descripción
				15 cm	15 cm	15 cm				
1,00	1-A			3	2	3			0,00	Relleno de escombros, arenas, limo orgánico y desechos.
5,50	2-A			3	2	3			0,00	Relleno de limo orgánico arcilloso con lentes de arena color negro y raíces.
	3-A			2	3	3			0,50	
9,00	4-TS			1	1	1			0,50	Arcilla color habano con pintas de óxido, de consistencia medio firme.
	5-A								0,00	
10,00	6-TS								0,00	
	7-A			1	1	0			0,00	
	8-TS								0,00	
	9-A			1	1	0			0,00	Limo arcilloso color negro y/o verdoso, de consistencia muy blanda.
	10-TS								0,20	
20,00	11-A			1	1	0			0,00	
	12-A			1	1	0			0,00	
23,00	13-TS								0,20	Limo orgánico arcilloso color verdoso, de consistencia muy blanda.
	14-A			1	1	0			0,20	
27,00	15-TS								0,20	
	16-A			1	1	0			0,20	Arcilla color gris y/o verdoso, de consistencia muy blanda.
30,00	17-TS								0,30	
	18-A			1	1	1			0,30	Limo arcilloso color verdoso, de consistencia muy blanda a blanda.
35,00	19-A			1	0	1			0,50	
	20-TS								0,50	Arcilla color gris y/o verdoso con lentes de arena de grano fino, de consistencia medio firme.
40,00	21-A			1	1	1			0,30	
	22-TS								0,50	Limo arcilloso color verdoso y/o gris, de consistencia blanda a medio firme.
43,00	23-A			1	1	2			0,50	
	24-TS								0,40	
	25-A			2	1	2			0,60	Arcilla limosa con lentes de arcilla y vetas de limo color gris y/o verdoso, de consistencia medio firme.
50,00	26-TS								0,40	
	27-A			1	2	2			0,50	
53,00	28-A			26	23	23			-	
	29-A			11	13	18			-	Arena limosa con lentes de arcilla y limo color gris, de densidad muy compacta a suelta.
	30-A			8	8	10			-	
60,00	31-A			5	4	5			-	
62,50	32-A			4	5	6			1,50	Arcilla color gris con lentes de turba, de consistencia dura.
	33-A			8	7	14			-	Arena limosa de grano fino color gris, de densidad compacta a muy compacta.
67,00	34-A			9	13	27			-	
68,00	35-A			4	4	5			1,20	Arcilla con lentes de limo color gris, de consistencia dura.
70,00	36-A			8	12	21			-	Arena fina con vetas de limo color gris, de densidad muy compacta.
72,00	37-A			11	20	25			-	
	38-A			10	8	8			1,20	Arcilla arenosa con lentes de arena color gris y/o verdoso, de consistencia dura.
77,00	39-A			7	9	7			1,50	
	40-A			8	8	10			1,70	Limo arcilloso color gris y/o verdoso, de consistencia dura.
80,00	41-A			5	5	6			1,50	Arcilla color gris, de consistencia dura.
81,00	42-A			11	17	22			-	Arena de grano fino color gris, de densidad muy compacta.
81,50										

Figura 25. Sondeo S-01 de la Campaña de exploración (2018)

Fuente: Anexos EYR-S 12541-6 (2020)

Prof. (m)	Mtra No. - Tipo	Perfil	BARRENA	Recup (%)	SPT			RQD (%)	Veleta kg/cm²	Penetro metro kg/cm²	DESCRIPCIÓN
					15 cm	15 cm	15 cm				
0,00	1-A				4	2	2			1,50	relleno de escombros con limo orgánico
3,00	2-A				4	2	1			1,22	Limo orgánico arcilloso con raíces, de consistencia dura.
5,50	3-A									0,70	Arcilla color carneito, de consistencia medio firme.
10,00	4-A				1	1	0			0,10	Limo arcilloso color verdoso y/o gris con lentes de arena al final del estrato, de consistencia muy blanda a medio firme.
	5-A				1	0	0			0,30	
	6-TS									0,10	
	7-A				1	1	1			0,00	
20,00	8-TS									0,10	
	9-A				1	0	0			0,10	
	10-TS									0,00	
	11-A				1	0	0			0,10	
30,00	12-TS									0,20	
	13-A				1	1	0			0,10	
	14-TS									0,10	
	15-A				1	1	1			0,30	
	16-TS									0,30	
	17-A				1	1	0			0,20	
	18-TS									0,50	
	19-A				1	1	1			0,30	
39,50	20-TS									0,70	
40,00	21-A				2	1	2			0,70	Arcilla limosa color verdoso, de consistencia medio firme.
41,50	22-TS									0,50	Limo arcilloso color verdoso, de consistencia medio firme.
43,50	23-A				2	2	2			0,60	Arcilla color gris y/o verdoso con lentes de arena, de consistencia medio firme.
45,50	24-TS									1,30	Limo arcilloso con lentes de arena color verdoso y/o gris, de consistencia dura.
49,50	25-A				2	2	3			1,50	Arcilla limosa con lentes de limo color verdoso y/o gris, de consistencia dura.
50,00	26-A				3	3	4			1,30	
53,50	27-A				4	8	11			-	Limo areno arcilloso con vetas de arena color verdoso y/o gris, de consistencia muy dura.
54,00	28-A				5	8	16			-	Arena de grano fino color gris, de densidad compacta.
57,50	29-A				8	7	16			-	
60,00	30-A				3	3	3			0,60	Limo arcilloso color verdoso con lentes orgánicos, y cambia a una arcilla, de consistencia medio firme.
60,00	31-TS									0,70	
62,50	32-A				15	15	20			-	Arena de grano fino con lentes de limo color gris, de densidad muy compacta a compacta.
67,00	33-A				21	11	6			-	
70,00	34-A				8	6	6			1,70	Limo color gris y/o rojizo con lentes de arena, de consistencia dura a medio firme.
73,50	35-A				7	9	8			0,70	
73,50	36-A										Arcilla color carneito y/o gris con lentes de arena, de consistencia medio firme a dura.
73,50	37-TS										
73,50	38-A				6	6	7			0,70	
73,50	39-A				5	6	6			0,50	
80,00	40-A				6	6	8			1,30	
80,00	41-A				6	7	8			1,20	

Figura 26. Sondeo S-02 de la Campaña de exploración (2018)

Fuente: Anexos EYR-S 12541-6 (2020)

Esto evidencia que, en ambas campañas, se detectaron capas con materiales orgánicos. Sin embargo, en los parámetros geotécnicos y las recomendaciones, no se detalló ni especificó la profundidad ni el grosor de estas capas (Ver figura 17). En donde al observar los perfiles estratigráficos de los sondeos realizados en las campañas de 2013 y 2018, se evidencia la presencia de limos orgánicos y/o turba a diferentes profundidades. Estos materiales se mencionan superficialmente en el

informe, sin definir claramente las capas ni las profundidades respectivas (Ver figura 17). No especificarlos adecuadamente impide la correcta evaluación de las condiciones del suelo. Además, cabe mencionar que esto resulta especialmente relevante, ya que estos suelos, al ser muy blandos y altamente compresibles, pueden provocar deformaciones significativas que comprometen la estabilidad de la cimentación.

Por otro lado, cabe resaltar que la exploración geotécnica realizada para el proyecto Connecta 80, únicamente incluyó ejecución de perforaciones con recuperación de muestra y apiques, es decir, que no se contemplaron otros tipos de exploración como es el caso de la ejecución de ensayos CPTu, que son ideales para las arcillas blandas presentes en Bogotá y que permiten obtener un perfil detallado con información cada 2 cm. También se pudo haber obtenido información a través de otros métodos como la geofísica. Por lo tanto, se considera que la información obtenida en el estudio de suelos de EYR es limitada, más teniendo en cuenta que se hicieron descripciones de los sondeos muy generales que no permitían la identificación de la profundidad y espesor de capas de suelos orgánicos. Debido a lo anterior, en el presente Peritaje, IGR tomo como referencia un sondeo CPTu realizado en una zona cercana con el fin de tener un mayor conocimiento del perfil geotécnico en la zona.

En el informe elaborado por EyR, solo se menciona superficialmente en el Capítulo 7 del Estudio de Suelos en el numeral 7.1 y 7.2 en un solo párrafo: *“Es importante tener en cuenta que el depósito de suelo presenta contenido de turba, lo que podría generar presencia de gases durante la fundida de los barretes, condición que deberá ser tomada en cuenta por el contratista para garantizar la integridad del concreto en su proceso de fraguado.”*

Esta mención es insuficiente, ya que un estudio de suelos debe identificar y analizar todos los estratos y profundidades que puedan afectar la integridad de la cimentación, garantizando así un proceso adecuado de excavación y fraguado. Esto es crucial para asegurar la estabilidad de la zona y, en caso de presentarse algún inconveniente, saber a qué profundidad podría ocurrir, permitiendo elaborar estrategias y soluciones que garanticen la calidad del elemento en áreas donde el suelo es fácilmente deformable y cuente con una baja resistencia. Lo cual significa que estas capas son importantes, pues como ya se mencionó, al corresponder a materiales muy blandos y bastante compresibles, permiten una mayor deformación del suelo, ocasionando problemas en el fraguado del concreto..

Se aclara que esta afectación en el proceso de fraguado debido a la presencia de turba o suelos orgánicos, depende únicamente de la mezcla de concreto suministrado, y no del proceso constructivo que corresponde a las excavaciones de los elementos y el vaciado de este.

Continuando con la verificación de estas capas y/o estratos del suelo. IGR redefinió las siguientes capas o estratos para elaborar un perfil geotécnico. Este perfil tiene en cuenta, las capas en donde posiblemente hay presencia turbas que no se tuvieron presente en el análisis geotécnico, los sondeos de la campaña del 2013 - 2018 y los resultados de los ensayos de laboratorio realizados para el estudio de Suelos de EyR. El perfil mostrado en la Figura 27, da una noción de las profundidades en el perfil estratigráfico que pueden estar relacionadas con la aparición de anomalías presentadas en algunos de los elementos de cimentación profunda, debido a la presencia de suelos orgánicos blandos.

Profundidad Inicial (m)	Profundidad Final (m)	Descripcion
0.00	1.00	Relleno (Material de Construccion, gravas y arena)
1.00	4.00	Limo orgánico arcilloso con algunos lentes de arenas de color negro y consistencia media a dura.
4.00	7.00	Arcilla color habano con pintas de oxido de consistencia media a firme
7.00	11.00	Limo arcilloso de color negro verdoso con lentes de arena de consistencia muy blanda a firme
11.00	21.00	Limo orgánico arcilloso de color verdoso de consistencia muy blanda con presencia de arcilla de color gris de consistencia muy blanda a dura.
21.00	29.00	Arcilla color gris verdoso de consistencia muy blanda a blanda.
29.00	40.00	Limo arcilloso con lentes de arena de color verdoso y/o gris de consistencia blanda a dura.
40.00	51.00	Arcilla limosa con lentes de arena de color verdoso de consistencia dura
51.00	56.00	Arena limosa de grano fino de color gris con lentes de arcilla de compacidad suelta a compacta
56.00	62.50	Limo arcilloso con lentes de turba , de consistencia dura con lentes de arena.
62.50	72.50	Arena limosa con lentes de arcilla de color gris verdoso, de consistencia dura a media.
72.50	80.00	Arcilla limosa de color gris de consistencia media a firme

Figura 27. Perfil Geotécnico realizado por IGR con la información de ensayos y sondeos del Informe de EyR

Fuente: Elaboración propia

5.3. INCIDENCIA DEL ESTUDIO DE SUELOS EN LAS AFECTACIONES PRESENTADAS EN LOS ELEMENTOS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA

En el informe EYR-ST-439 del 2023 donde se hace un acompañamiento por parte de EyR a la obra, mencionan y corroboran que la estratigrafía del Estudio de Suelos inicial es acorde al estudio inicial. Sin embargo, es claro que la definición del perfil estratigráfico promedio de EyR es muy general, mezcla clasificaciones extremas de resistencia y deformabilidad en un mismo estrato, lo cual es erróneo, y no especifica las profundidades exactas donde aparecen los lentes orgánicos y la turba. Por otro lado, la descripción realizada en obra durante el proceso de excavación de los elementos elaborada por EyT para realizar la cimentación, no se constituye en un perfil geotécnico comparativo, dado que no incluyó acompañamiento de un ingeniero geotecnista o geólogo, pues como menciona en el informe los registros son encargados por el piloteador y no un ingeniero geólogo o geotecnista.

Por otro lado, en el informe de los resultados de la prueba de integralidad realizada al pilote 4801 del 17 de junio de 2022, EYR concluye lo siguiente:

“Pilote con un daño probable a una profundidad de 10.0 metros. Los registros presentan una fuerte señal que corresponde a una disminución considerable de sección o calidad de material. Se revisa el registro de fundida del pilote y no se evidencian anomalías en el proceso constructivo; sin embargo, esta consultoría no descarta que se halla presentado algún material distinto a lo reportado (turba) en esta profundidad, lo que afecto el correcto fraguado del concreto.”

En donde se indica que no descarta que la presencia de turba sea la que haya afectado el correcto fraguado del concreto, por lo tanto, si se tenía presente que la presencia de este tipo de suelos podía afectar el proceso de fraguado del concreto y no atribuible al proceso constructivo. Dicha declaración también se da en el informe de los resultados de la prueba de integralidad realizada a los pilotes 4802, 5801 y 4702, del 28 de junio de 2022, donde para los pilotes 4802 y 5801, EYR da la siguiente conclusión:

“Pilote con un daño probable entre los 13.0 y 14.0 m de profundidad. Los registros presentan una fuerte señal que corresponde a una disminución considerable de sección o calidad de material. Se revisa el registro de fundida del pilote y no se evidencian anomalías en el proceso constructivo; sin embargo, esta consultoría no descarta que se halla presentado algún material distinto a lo reportado (turba) en esta profundidad, lo que afecto el correcto fraguado del concreto.”

Adicionalmente, la profundidad de los probables daños detectados con las pruebas de integridad en los pilotes se encuentra entre los 10 y 14m, lo cual, estaría coincidiendo con la presencia de suelos orgánicos según el perfil definido en la Figura 27

No obstante, en el Informe del 1 de diciembre de 2023 se concluye que las condiciones presentadas en los elementos, no obedece a presencia de lentes orgánicos:

*“Del acompañamiento realizado por esta consultoría, se evidencia que las condiciones presentadas en los elementos no obedecen a condiciones particulares del terreno, dado los registros presentados **por el pilotoador** (negrilla fuera de texto), donde se corrobora la estratigrafía descrita por el estudio de suelos.*

Teniendo en cuenta lo anterior, no se establece una relación de las condiciones de contaminación de los elementos con lentes orgánicos y/o arenosos, permitiendo atribuir las anomalías al proceso constructivo.”

Dicha conclusión EYR la atribuye a que, en las hojas de vida de los elementos, no se reportan particularidades en el avance de la excavación con respecto a la estratigrafía del estudio de suelos, sin embargo, como ya se mencionó dado que no se incluyó acompañamiento de un ingeniero geotecnista o geólogo, pues como menciona EYR en el informe los registros son encargados por el pilotoador, o según lo informado EYT por un ingeniero residente de cimentaciones (sin especialización geotécnica) no se considera un perfil geotécnico comparativo.

Es decir que el proceso de seguimiento a los materiales que se encuentra durante la excavación de los elementos, y que se registra en las hojas de vida de estos, si bien constituye a un método de control en obra para identificar cambios abruptos en el perfil de suelo, como capas de gravas o arenas, no es comparable con un perfil geotécnico o estratigráfico detallado elaborado por un geotecnista en una exploración del subsuelo.

Lo anterior, debido a que, en la excavación, al ser un proceso destructivo, se extrae material mezclado de diferentes capas, en el cual no es posible diferenciar estratos delgados de otros materiales, como es el caso de turbas, suelos orgánicos y cenizas. Por el contrario, en una perforación, se realiza la extracción de muestras alteradas e inalteradas con muestreadores estandarizadas, de profundidades conocidas, con las cuales es posible realizar ensayos que permiten realizar una clasificación y descripción adecuada del material.

Finalmente se evidencia la clara contradicción entre los diferentes informes emitidos por EYR, en donde al principio se planteó que la causa de los daños en los elementos fue debido a la presencia de lentes de turba y posteriormente se descarta este

argumento y se atribuye al proceso constructivo únicamente, sin haber realizado exploraciones adicionales o una revisión de la información detallada, más aun teniendo en cuenta que se tenían sondeos de referencia, donde se había detectado la presencia de suelos orgánicos.

6. REVISIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LOS ELEMENTOS DE LA CIMENTACIÓN PROFUNDA

6.1. ALCANCE DE LA REVISIÓN DEL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN

Para llevar a cabo el análisis del proceso constructivo de la cimentación profunda, se realizó una revisión de la documentación técnica suministrada por EYT, la cual detalla las especificaciones generales y los alcances técnicos del Procedimiento Constructivo empleados para la cimentación profunda del Proyecto. Este proceso incluyó la construcción de diversos elementos preexcavados de cimentación profunda, tales como pantallas, pantalones en la alineación de las pantallas, barretes y pilotes. Cada uno de estos elementos constructivos, dependiendo de sus dimensiones, volúmenes de concreto y profundidades de excavación, requirió la implementación de procedimientos técnicos específicos para garantizar su calidad (proceso y control de construcción documentado).

Para este peritaje, con base en la información suministrada por Equipos y Terratest (EYT), se revisaron todos los procesos involucrados en la construcción y las variables críticas que se podrían presentar en obra; tales como la selección de los tipos de concreto de acuerdo con las especificaciones de resistencia y trabajabilidad, los tiempos máximos de manejabilidad de la mezcla, los tiempos de espera entre camiones mezcladores (mixers), la tasa mínima de suministro continuo del concreto y el control del asentamiento de la mezcla. Estas variables debían ser monitoreadas en tiempo real para asegurar la correcta ejecución y calidad de los elementos estructurales, debido a las características especiales del proyecto por la gran profundidad de las excavaciones y los exigentes requisitos de fundida de concretos especificados para lograr elementos de cimentación de alta calidad.

Por lo tanto, el enfoque de esta revisión pericial fue avalar las condiciones de construcción de los diferentes elementos conforme a los parámetros técnicos estipulados en los términos contractuales y el correcto proceso constructivo. Además, se revisó el tipo de seguimiento usado de las normas vigentes y los criterios técnicos necesarios para este tipo de obras de cimentación profunda, asegurando que cada fase del proceso de construcción cumpliera con los estándares de calidad exigidos.

6.2. ASPECTOS NORMATIVOS Y ESPECIFICACIONES CONTRACTUALES

La revisión se estableció en los términos estipulados en el **Contrato CT 2100009** y en la **Oferta Técnica** que se aceptó entre Equipos y Terratest EYT (CONTRATISTA) y ARPRO (CONTRATANTE) los cuales se encuentran en el ANEXO B. Uno de los aspectos contractuales que se consideran para la revisión se encuentra en el Anexo 2 que hace parte del Contrato firmado, donde se estipulan las generalidades del alcance que comprende los requisitos para los trabajos y rubros necesarios para la construcción de la cimentación profunda del Proyecto Connecta 80.

La revisión y los análisis del contrato CT 2100009 y los documentos asociados al mismo no puede interpretarse como una opinión sobre los aspectos legales o jurídicos; sino que, corresponde a un estudio de las estipulaciones contractuales desde una perspectiva técnica y exclusivamente referida al alcance de este dictamen pericial.

6.2.1. Estándares para asegurar la Construcción de los elementos de la cimentación Profunda

En el numeral 2 del Anexo 2 del Contrato **CT2100009** se menciona que: *“El CONTRATISTA deberá ejecutar las obras y demás trabajos con materiales nuevos, sin uso ni deterioro alguno. El CONTRATISTA debe ejecutar todos los trabajos y proveer todos los materiales (salvo el concreto y acero de refuerzo) y personal necesario para la completa, oportuna y debida ejecución de la obra, según lo expresado en la oferta No 2013”* (negrilla fuera de texto). Con base en lo anterior se tomó la oferta No 20137 también como consideraciones necesarias y estándares para la correcta ejecución del proceso constructivo, así mismo como las notas técnicas que se presentan en dicha oferta.

Adicionalmente se menciona en el numeral 3.3 del mismo Anexo que: *“El CONTRATISTA debe garantizar que no se presente discontinuidad alguna por efecto de intermitencia en el vaciado del concreto o por efecto de erosión del terreno que no permita el vaciado continuo de este material (hormigueros, juntas frías), así como también deberá evitar el desplome de estos elementos y que no se presenten fallas en los niveles de los pilotes. Con el fin de cumplir este aparte, será indispensable el suministro de concreto (rata 35m3/h) idóneo y continuo con la manejabilidad y propiedades requeridas.”* (negrilla fuera de texto)

6.2.2. Características y generalidades de la cimentación Profunda

Con respecto a las características y generalidad de la cimentación profunda del proyecto se tuvo en cuenta como referencia el alcance de los trabajos ofertados por EyT en la propuesta técnica aceptada por el Contratante, en este caso ARPRO, los cuales son:

- PILOTES TIPO KELLY: “Perforación y hormigonado de pilotes in situ en diámetro de 0.8, 0.9 y 1.0m para la conformación de la cimentación profunda del proyecto del asunto, mediante la metodología de excavación tipo Kelly, con la ayuda de lodos de perforación de tipo poliméricos de cuarta generación y sin uso de camisa recuperable, condición que será evaluada teniendo en cuenta el comportamiento de terreno en obra.”
- EJECUCIÓN DE VIGA GUÍA: “Excavación, armado y conformación de viga guía doble para posterior ejecución de los módulos de pantalla y barretes en espesores de 0.60, 0.70 y 0.80m.”
- PANTALLA Y BARRETES PRE-EXCAVADOS: “Perforación y hormigonado de módulos de pantalla y barretes in situ en espesor de 0.60, 0.70 y 0.80m para la conformación de la cimentación profunda del proyecto en mención, mediante uso de valvas, con la ayuda de lodos de perforación de tipo poliméricos de cuarta generación.”

6.2.3. Suministro de Concreto y Acero

Para cumplir con las exigencias y estándares del Proyecto, **el contrato CT2100009** especifica la necesidad de suministrar concreto de manera continua, con una tasa de 35 m³/hora/frente, asegurando además que el concreto tenga las propiedades de manejabilidad y resistencia requeridas para este tipo de obras. Este mismo criterio se reafirma en el numeral 10.16 de dicho contrato, donde se indica que **“El CONTRATANTE suministrará en el sitio acordado con el CONTRATISTA, el concreto según el ANEXO7 planos y especificaciones necesario para la debida ejecución de los trabajos, el cual deberá contar con las siguientes características: 1) Rata de suministro promedio no inferior a 35m³/hora. 2) Asentamiento de la mezcla, medida en cono abrams de 8 +/-1” y/o manejabilidad de la mezcla por todo el tiempo de hormigonado del elemento. 3) tamaño máximo del agregado adecuado.”** (negrilla fuera de texto). Dicho esto, se tiene los siguientes requisitos que se deben cumplir durante la ejecución (excavación, fundida) de cada elemento que haga parte de la cimentación profunda:

1. “Una tasa de suministro promedio no inferior a 35 m³/hora/frente.”
2. “Un asentamiento de la mezcla adecuado, medido mediante el cono de Abrams, de 8 +/- 1 pulgadas, garantizando la manejabilidad adecuada durante todo el proceso de vaciado del hormigón.”

3. *“El tamaño máximo del agregado debe ser el adecuado para las características particulares de los elementos constructivos.”*

Respecto al suministro de concreto y acero se menciona también en el Anexo 2 del Contrato que ***“El concreto y el acero de refuerzo serán suministrados por el CONTRATANTE de acuerdo a ANEXO 7. planos y especificaciones. El CONTRATISTA suministrará el agua que requiere para la mezcla de sus polímeros, la cual se almacenará en contenedores suministrados por el CONTRATISTA para ser reutilizada.”*** (negrilla fuera de texto).

Cabe aclarar que, aunque se menciona en el contrato que la programación del concreto es responsabilidad del EYT (CONTRATISTA), tanto en cantidad (Volumen) como en tiempo (inicio del hormigonado), ARPRO (CONTRATANTE) mismo con base en las instrucciones de EYT se encargará de programarlo como se menciona en el numeral 6.12 del Anexo 2 ***“La programación del concreto es responsabilidad del CONTRATISTA, tanto en cantidad como en tiempos, los cuales deben ser informados al CONTRATANTE para que el mismo con base en dichas instrucciones lo programe.”*** (negrilla fuera de texto).

En la oferta técnica se expresa que: *“El Concreto será entregado a boca de embudo (incluida la expansión que se genere) para su colocación a través de la tubería Tremie, así como el suministro constante (mínimo 35m3/hora/frente) y adecuado durante el proceso de la fundida del elemento y en la cantidad necesaria para garantizar la correcta ejecución y el rendimiento ofrecido. **Aclaremos que de presentarse demoras en el suministro del concreto o el no cumplimiento de las especificaciones por parte de la Concretera, las consecuencias que esto impliquen, serán responsabilidad del Contratante**”.* (negrilla fuera de texto). Por lo tanto, durante todo el proyecto se deberá contar con un suministro constante para una construcción óptima y adecuada de los elementos.

Adicionalmente, en el apartado de condiciones técnicas de la Oferta Técnica-Económica se dejó expresado que *“Dada la magnitud de algunos de los elementos a ejecutar, en donde posiblemente el hormigonado de un elemento tarde una **jornada continua (aproximadamente 7 horas)**, el Cliente deberá suministrar un concreto idóneo con manejabilidad y propiedades óptimas que permitan el correcto hormigonado de estos elementos con el fin de evitar juntas frías y afectaciones de calidad en los mismos.”* (negrilla fuera de texto). Por lo tanto, es esencial que no haya interrupciones prolongadas durante el vaciado del concreto, especialmente para evitar endurecimientos dentro de la tubería tremie que podrían dificultar su elevación. En este sentido, se recomienda que las interrupciones entre descargas no excedan los 30 minutos, con el fin de mantener un flujo continuo y evitar problemas de calidad durante el vaciado y terminado final del elemento.

Conocer los requisitos técnicos contractuales resulta importante para asegurar que las condiciones técnicas y operativas se cumplieron durante la ejecución del proyecto, evitando problemas estructurales derivados de una ejecución incorrecta o de materiales inadecuados, que podrían comprometer la estabilidad de la cimentación profunda y, en consecuencia, del proyecto en su conjunto.

6.3. AFECTACIONES EN LOS ELEMENTOS DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA CIMENTACIÓN

Cabe resaltar que las imágenes de los elementos que se presentan en este informe y que también fueron utilizadas para el análisis respectivo se tomaron de los Anexos 2.6 – Registro fotográfico de los elementos, que hace parte del Comunicado que envió ARPRO a la aseguradora JMALUCELLI el día 09 de octubre de 2023. Por lo tanto, se llevó a cabo un seguimiento de los elementos que presentaron anomalías, (observaciones y/o afectaciones en los recorridos realizado por ARPRO de los sótanos de la construcción, los cuales se realizaron los días 21 de julio de 2022, 3 de agosto de 2022, 31 de agosto de 2022 y el 13 de septiembre de 2022). El soporte fotográfico de dichos recorridos se encuentra en el Anexo G, los cuales se encuentran clasificados por elemento afectado. Dicho esto, estas imágenes fueron utilizadas para identificar las condiciones de los elementos con alguna anomalía y evaluar las posibles implicaciones estructurales derivadas de las afectaciones que se presentaron en el elemento.

6.3.1. Taponamiento de tubería

En el ANEXO E, se presenta un control detallado del proceso constructivo realizado por EyT, el cual incluye las Hojas de Vida de los elementos de cimentación, el control de hormigonado y la tabla de refuerzo de cada uno de los elementos ejecutados. Durante la construcción, se evidenciaron algunas afectaciones en ciertos elementos de cimentación, principalmente relacionadas con la segregación en la mezcla de concreto y el taponamiento de la tubería Tremie. Estas afectaciones se identificaron en varios pilotes, como los casos del PL-64-02, MP-01, MP-96, entre otros.

- Uno de los elementos que presentó observaciones durante el recorrido fue el Muro Pantalla 40, con una profundidad de 30.35 m. Según la hoja de vida del elemento, se evidenció que la mezcla de concreto presentó segregación, lo que ocasionó el taponamiento de la tubería Tremie. Este problema obligó a retirar completamente la tubería, un proceso que aumenta el tiempo de fundida y la posibilidad de que los primeros metros del elemento presenten anomalías. Durante los recorridos realizados, se encontró que en el Sótano 1, en la parte superior del Muro Pantalla 40, la anomalía observada fue un mal hormigonado

de la superficie superior del muro (ver Figura 28). A partir de lo anterior, se considera que el taponamiento de la tubería, causado por la segregación de la mezcla al inicio de la fundida, afectó la calidad de la superficie superior del muro. Este problema parece estar relacionado con la presencia de una capa de ceniza y/o suelo orgánico en los primeros metros, combinada con la segregación del concreto, lo que coincide con lo reportado en la hoja de vida del elemento y con las capas de materia orgánica identificadas en algunos de los perfiles estratigráficos del proyecto. Por lo tanto, una manejabilidad inadecuada del concreto junto con la segregación de la mezcla y presencia de material orgánico, genera las anomalías como la que se observa en la Figura 28.

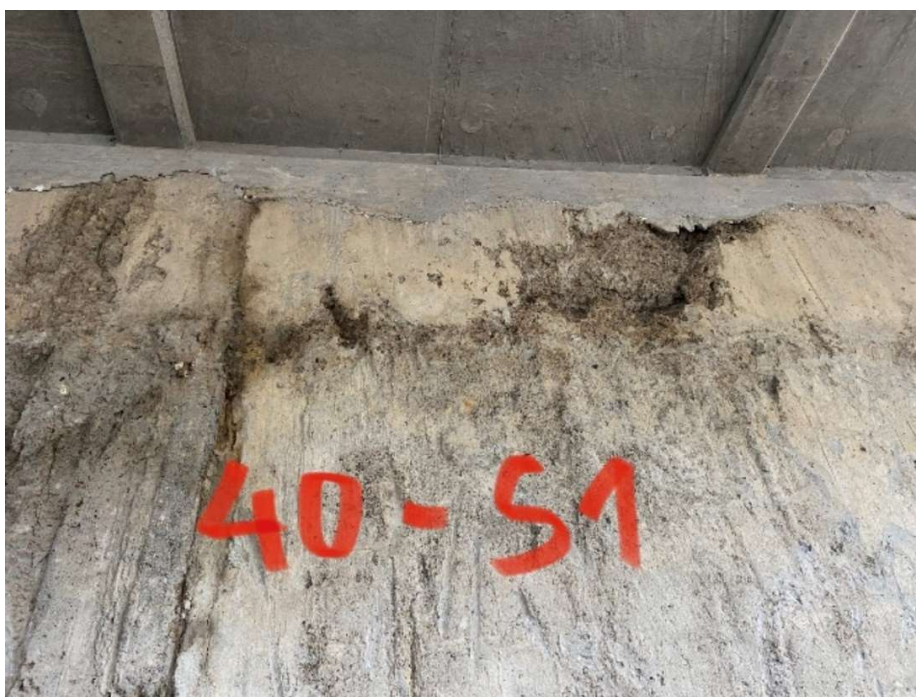


Figura 28. Foto del Muro Pantalla 40 (Sótano 1). Presencia de material orgánico

Fuente: Imágenes tomadas del Anexo fotográfico del Comunicado del 09 de octubre del 2023, el cual envió ARPRO a la aseguradora JMALUCELLI. Estos registros se encuentran en el Anexo G

Continuando con el análisis y revisión del proceso de construcción, se identificó otro elemento que presentó observaciones tanto en la hoja de vida durante la etapa de construcción, como anomalías en los recorridos realizados en los sótanos. En la revisión de la hoja de vida del Pantallón 45B, se evidenció que la excavación del elemento estuvo suspendida durante 4 días debido a trabajos relacionados con la instalación de la protección eléctrica del transformador, una actividad a cargo de ARPRO. Durante el proceso de fundida del Pantallón 45B,

se presentaron retrasos significativos en el suministro de concreto, además de taponamientos en la tubería Tremie durante la descarga de dos mixers, lo cual se atribuyó a la calidad del concreto.

En los recorridos realizados en el sótano 1 del Pantalón 45B se observaron anomalías, como la contaminación del elemento, evidenciadas en la Figura 29. Es importante destacar que la excavación estuvo suspendida por 4 días, lo que, al observar la imagen, sugiere que el problema pudo haber sido causado por el desprendimiento de las paredes laterales de la excavación, probablemente debido a la capa de suelo orgánico presente en los primeros metros. El sobreconsumo de concreto durante la fundida puede atribuirse a este desprendimiento de material, que ocurrió mientras la estructura no fue fundida. Estas anomalías coinciden con las capas de material orgánico identificadas en el perfil estratigráfico, lo que señala una problemática relacionada con la sobreexposición de la excavación durante el tiempo en que estuvo suspendida.



Figura 29. Pantalón 45B (Sótano 1)

Fuente:

Fuente: Imágenes tomadas del Anexo fotográfico del Comunicado del 09 de octubre del 2023, el cual envió ARPRO a la aseguradora JMALUCELLI. Estos registros se encuentran en el Anexo G

Conforme a lo anterior, se puede evidenciar que las afectaciones de estos elementos no están directamente relacionadas con los taponamientos en las tuberías Tremie. Sino que estas afectaciones están directamente relacionadas a la segregación del concreto, ya que, en estas profundidades, se debería garantizar una mezcla con buena trabajabilidad y cohesión adecuada para evitar la segregación. Sin embargo, es importante destacar que otros factores como los retrasos en el suministro de concreto, la exposición prolongada de la excavación, o la presencia de suelos orgánicos y/o cenizas en los primeros metros podrían haber influido negativamente en la calidad de los elementos estructurales. Estos factores pueden haber ocasionado desprendimientos de las paredes laterales de las excavaciones, lo que afectó la integridad del concreto durante la fundida, generando vacíos o irregularidades en el hormigonado.

Por lo tanto, resulta difícil atribuir que la posibilidad de los taponamientos en la tubería Tremie hayan contribuido a las anomalías observadas en algunos de los elementos. Como se menciona en las hojas de vida de los elementos y en los recorridos realizados, hubo evidencia de problemas de segregación en la mezcla de concreto, lo que ocasionó taponamientos en la tubería durante el proceso de fundida. Aunque se exige una mezcla con alta manejabilidad a esas profundidades, los problemas de suministro y los tiempos prolongados de espera entre mixers pueden haber provocado la pérdida de cohesión en el concreto, lo que favorece la segregación. Esta segregación puede haber afectado negativamente el llenado de los elementos, especialmente en las capas superficiales, donde se observaron defectos en la calidad del hormigonado.

Aunque se esperaría que una mezcla adecuadamente diseñada y bien manejada no presentara problemas de segregación, las condiciones específicas del proyecto, como los retrasos en el suministro de concreto, la exposición prolongada de las excavaciones, y la presencia de suelos orgánicos, sugieren que la calidad de la mezcla de concreto sí podría haber influido en las afectaciones observadas en los elementos estructurales. Adicionalmente, se resalta que conforme al control del proceso constructivo (hojas de vida de los elementos ejecutados y tablas de Control del Hormigonado), este fue avalado por el Contratante y la firma de Interventoría. Por esta razón, al no haberse presentado o reportado una inadecuada ejecución en el proceso de construcción de los elementos, no deja de ser una presunción atribuir los daños en los elementos al proceso constructivo, ya que el control y los registros realizados contaron con la aprobación formal de las entidades responsables, lo que sugiere que las afectaciones observadas se relacionaban con factores adicionales (rata de suministro de concreto y manejabilidad) que no fueron atendidos a tiempo.

6.3.2. Falta de continuidad del concreto en los elementos fundidos, suministro de Concreto e influencia de las capas de Turba en la construcción

Durante la revisión y verificación de las afectaciones en los elementos estructurales, se identificaron discontinuidades en el concreto de algunos elementos. Estas observaciones fueron realizadas principalmente tras la excavación de los tres sótanos, y se validaron mediante una revisión exhaustiva de los elementos reportados en el *“Informe de Trazabilidad de Construcción de Elementos de Cimentación – Centro Empresarial Connecta 80”*, que se incluye en el ANEXO J del presente informe pericial. Este informe, elaborado por la firma interventora PAYC, proporciona un análisis de la trazabilidad en la construcción de los elementos de cimentación del proyecto.

En particular, en el numeral 5.2 del informe se menciona que se validaron tanto la resistencia como la manejabilidad del concreto, indicando que: *“Para los ensayos de manejabilidad el criterio que se manejó fue tener 2 mezclas de cada especificación cumpliendo el tiempo establecido. Para el concreto de 3500 psi se realizaron validaciones durante el mes de marzo y abril de 2021, se validan resistencia y manejabilidad para las condiciones de **0 a 2 horas, 2 a 4 horas y 4 a 6 horas.**”* (negrilla fuera de texto).

Es importante destacar que en los aspectos técnicos del contrato CT2100009, junto con la oferta técnica-económica presentada por EYT y las órdenes de compra de concreto entre ARPRO y ARGOS, que en el apartado de condiciones técnicas de la Oferta Técnica-Económica especifica claramente que *“Dada la magnitud de algunos de los elementos a ejecutar, en donde posiblemente el hormigonado de un elemento tarde una **jornada continua (aproximadamente 7 horas), el Cliente deberá suministrar un concreto idóneo con manejabilidad y propiedades óptimas que permitan el correcto hormigonado de estos elementos con el fin de evitar juntas frías y afectaciones de calidad en los mismos.**”* (negrilla fuera de texto). El tiempo de manejabilidad del concreto para el hormigonado que se menciona es crítico, ya que, en algunos casos, la fundida de un elemento podía tardar hasta 7 horas o más. Sin embargo, estos tiempos no se consideraron adecuadamente en las actas u órdenes de compra entre ARPRO y ARGOS, documentos que se incluyen en el ANEXO B de este informe pericial. Dicho esto, cabe resaltar que no se evidencia interés en la ejecución de ensayos de manejabilidad para concretos con tiempos mayores de 6 horas, ya que teniendo en cuenta lo citado anteriormente, cabía la posibilidad de que algunos de los elementos duraran más de 6 horas en el proceso de hormigonado.

Adicionalmente, en el Informe de *“Trazabilidad del Concreto suministrado para la cimentación profunda del Proyecto “Complejo empresarial Connecta 80 en Bogotá D.C.”* realizado por ARGOS. En el numeral 2.6. Trazabilidad de tiempos de mezclado y transporte del concreto, se menciona que *“El estudio de la calidad del suministro*

permite evidenciar que en ningún caso el tiempo total que el concreto permaneció en la olla del camión mezclador (producción y transporte + espera + tiempo de descarga) fue superior a 6 horas. En el peor de los casos este tiempo fue de 3:20 horas. Al tratarse de una mezcla estabilizada de 4 a 6 horas, se puede afirmar que, en todas las situaciones, la mezcla contaba con la consistencia adecuada para el vaciado de los elementos y se puede descartar el fenómeno de retemplado del concreto”.

A pesar de que, entre la producción, transporte, espera y tiempo de descarga no se superó las 6 horas de manejabilidad cabe resaltar que el tiempo de manejabilidad debía ser **durante todo el tiempo de hormigonado del elemento según las especificaciones contractuales** “El CONTRATANTE suministrará en el sitio acordado con el CONTRATISTA, el concreto según el ANEXO7 planos y especificaciones necesario para la debida ejecución de los trabajos, el cual deberá contar con las siguientes características: 1) Rata de suministro promedio no inferior a 35m3/hora. 2) Asentamiento de la mezcla, medida en cono abrams de 8 +/-1” **y/o manejabilidad de la mezcla por todo el tiempo de hormigonado del elemento.** 3) **tamaño máximo del agregado adecuado.**” (negrilla fuera de texto).

Por lo tanto, aunque no se superó el tiempo de manejabilidad total entre carga y descarga de las Mixer el tiempo de manejabilidad durante toda la fundida del elemento si se superó. Pues se recalca nuevamente que en las condiciones técnicas de la Oferta Técnica-Económica especifica claramente que “**Dada la magnitud de algunos de los elementos a ejecutar, en donde posiblemente el hormigonado de un elemento tarde una jornada continua (aproximadamente 7 horas), el Cliente deberá suministrar un concreto idóneo con manejabilidad y propiedades óptimas que permitan el correcto hormigonado de estos elementos con el fin de evitar juntas frías y afectaciones de calidad en los mismos.**” (negrilla fuera de texto), condición crítica y que debía ser tomada en cuenta desde un inicio dada la magnitud de los elementos a construir.

En la Figura 30, se detallan las especificaciones del concreto, incluyendo el tamaño del agregado y los tiempos de manejabilidad. A partir de esta información, **se observa que un gran porcentaje del concreto solicitado correspondió a tiempos de manejabilidad de entre 2 y 4 horas, mientras que el restante tenía manejabilidad de 4 a 6 horas.** Estos tiempos no cumplieron con las especificaciones técnicas establecidas para los elementos que requerían un concreto con manejabilidad de mayor tiempo (6 a 8 horas) y que en todo caso la manejabilidad del hormigón debía mantenerse durante todo el tiempo de fundida del elemento, con el fin de garantizar una mezcla homogénea a lo largo de todo el elemento estructural. Esta reducción del tiempo de manejabilidad del concreto contribuyó a la generación de problemas constructivos, dado que muchos de los elementos por su complejidad y gran tamaño

(en profundidad y volúmenes), requerían un hormigonado continuo que podía prolongarse por más de 7 horas. La falta de un concreto con propiedades adecuadas para estos tiempos de fundida incrementó el riesgo para la formación de juntas frías y otras afectaciones que comprometían la calidad estructural de los elementos fundidos.

Cód.	Descripción	UND	Cant.	Vr. Unitario	% Desc.	% IVA	Total
	Concreto tremie 3500 psi Asent. (8" +/- 1") Grava Común	M3	29,828.40	312,683.70		19	9,326,854,477.08
	Concreto tremie 5000 psi Asent. (8" +/- 1") Grava Común	M3	1,930.80	345,842.00		19	667,751,733.60
	Concreto tremie 6000 psi Asent. (8" +/- 1") Grava Común	M3	3,846.00	367,558.80		19	1,413,631,144.80
	Concreto 3000 Asent. (6" +/- 1") Grava común	M3	850.00	291,550.00		19	247,817,500.00
	Mortero Fluido 850 PSI	M3	2,658.48	254,898.00		19	677,641,235.04
	Manejabilidad extendida 4-6 horas	M3	14,324.40	11,515.00		19	164,945,466.00
	Manejabilidad extendida 2-4 horas	M3	21,280.80	10,000.00		19	212,808,000.00
74 718 RR							
Cód.	Descripción	UND	Cant.	Vr. Unitario	% Desc.	% IVA	Total
	C. TREMIE 3500PSI TM 1"	M3	1.279,00	333.008,00		19	425.917.232,00
	C. TREMIE 5000PSI TM 1"	M3	2.770,00	368.322,00		19	1.020.251.940,00
	C. TREMIE 6000PSI TM 1"	M3	512,00	393.450,00		19	200.422.400,00
	MANEJABILIDAD DE 4-6 HORAS	M3	4.859,97	12.275,00		19	59.656.097,75

Figura 30. Descripción en Actas de Servicio de ARGOS y ARPRO

Fuente: Órdenes de Compra Argos y ARPRO

Con base en la revisión de los tiempos máximos de manejabilidad establecidos en las órdenes de compra, la rata de suministro y su impacto en algunos de los elementos de cimentación profunda, como barretes y pantalones, se realizó un análisis detallado para evaluar la relación entre las afectaciones ocurridas en esos elementos y el cumplimiento o incumplimiento de las especificaciones técnicas requeridas para los concretos empleados en su construcción. Este análisis se sustentó en los resultados de los ensayos Cross Hole incluidos en el numeral 7.2 del "Informe de Trazabilidad de Construcción de Elementos de Cimentación – Centro Empresarial Connecta 80", elaborado por la interventoría PAYC.

Con base en dicho informe, se evaluaron 12 elementos clave, cuyas características se resumen en la Tabla 5. En esta tabla, se detalla la longitud, espesor, profundidad y volumen de cada elemento, junto con las expansiones de concreto medidas en obra. El análisis se centró en identificar cómo las variables mencionadas, en conjunto con las condiciones del terreno (presencia de cenizas, capas de suelos orgánicos y/o turbas), pudieron influir en la calidad de los elementos construidos. Específicamente, se observó que la rata de suministro de concreto no fue constante en algunos casos, lo que, sumado a los tiempos de manejabilidad menores a los requeridos para elementos de gran volumen y profundidad, pudo haber ocasionado juntas frías y discontinuidades en el concreto. Adicionalmente, se observó que en 2 elementos se

tuvieron expansiones muy altas (31.8% y 53.8%) y en otros 5 elementos las expansiones estuvieron entre 20% y 30% de su volumen teórico.

Tabla 5 . Dimensiones de algunos elementos escogidos

Elemento	DATOS HOJAS DE VIDA						
	Longitud (m)	Espesor (m)	Long. Excavación (m)	Long. Hormigonada (m)	Vol. Teórico (m3)	Vol. Real	% expansión
BC-74-C1	2.50	0.60	82.93	82.93	124.40	136.00	9.3%
BC-77-C1	2.50	0.60	82.97	82.97	124.46	142.00	14.1%
BC-78-C1	2.50	0.60	81.47	81.47	122.21	150.00	22.7%
BC-84-C1	2.50	0.60	82.95	82.95	124.43	142.00	14.1%
BC-92-C1	3.40	1.00	79.10	79.10	251.93	332.00	31.8%
BC-93-C2	3.00	0.60	81.67	81.67	147.01	171.00	16.3%
BC-93-C5	3.00	0.60	81.67	81.67	147.01	176.50	20.1%
BC-93-C6	3.00	0.60	81.63	81.63	146.93	226.00	53.8%
BC-94-C1	3.00	0.60	81.63	81.63	146.93	186.00	26.6%
BC-95-C2	2.80	0.80	81.68	81.68	182.96	222.50	21.6%
Pant 112	3.00	0.60	81.34	81.34	146.40	181.00	23.6%
Pant 115	3.00	0.60	81.34	81.34	149.33	176.00	17.9%

Fuente: Elaborado con la Información de las Hojas de Vida, ANEXO E

En la Tabla 6 se presentan los tiempos de hormigonado correspondientes a los mismos 12 elementos seleccionados. Las horas resaltadas en rojo indican los tiempos en los que no se registró remisión por parte de ARGOS, por lo cual el tiempo de salida de la planta se estimó con base en el promedio de tiempo transcurrido entre la Planta de ARGOS y la obra Connecta 80. Al analizar los datos, se observa en color amarillo que el tiempo total de hormigonado (inicio – fin de descarga en obra y entre salida de planta y fin de descarga en obra) superó el límite de manejabilidad del concreto especificado en las órdenes de compra. Se observa que en todos los casos el tiempo de hormigonado utilizado superó el tiempo máximo de manejabilidad del concreto usado (de 4 a 6 horas) y en algunos elementos casi lo duplicó (BC-92-C1, BC-92-C2, BC-92-C6, BC-94-C1 y BC-95-C2); por lo tanto, estas excesivas demoras en la fundida de los elementos originó reducciones de manejabilidad, trabajabilidad y de la fluidez que debe tener el concreto para acomodarse sin inconvenientes en toda la sección del elemento, lo cual afecta la continuidad, formación de oquedades y la calidad final, principalmente, en el tramo final (más superficial) del elemento afectado. Dichos

problemas pueden traducirse en deficiencias estructurales y afectar la integridad y desempeño de los elementos, comprometiendo la durabilidad y la resistencia requerida.

Además, se llevó a cabo un análisis detallado de la Rata de Suministro del Concreto en los elementos seleccionados, y los resultados en color amarillo muestran que, en ningún caso, la tasa de suministro aproximada para la fundida del elemento cumple con lo estipulado en las especificaciones contractuales. Este incumplimiento en la tasa de suministro puede haber afectado significativamente la continuidad y calidad del hormigonado. Igualmente, para estos mismos elementos se realizó el análisis de la Rata de Suministro del Concreto, dado que contractualmente se requería de mínimo 35 m³/hora. Sin embargo, en la Tabla 6 se presenta la rata de suministro empleada en obra, la cual varió entre 17.84 y 28.92 m³/hora, valores muy inferiores al requerimiento contractual. Por lo tanto, al comprobarse que ninguno de los elementos analizados cumplió la rata de suministro de concreto solicitada para este tipo de elementos de gran profundidad y volumen, resulta factible que estas bajas ratas de suministro contribuyeran a los aumentos de tiempos de fundida de los concretos, con las consecuentes pérdida de trabajabilidad, fluidez y la generación de oquedades o llenados incompletos de estos elementos.

Tabla 6. Tiempos de Hormigonado y rata de suministro

Elemento	Tiempos de hormigonado					Rata de suministro aproximada (m3/hr)
	Salida planta de ARGOS (hh:mm:ss)	Hora inicial de Hormigonado en obra (hh:mm:ss)	Hora final de hormigonado en obra (hh:mm:ss)	Tiempo estimado de hormigonado en obra (hh:mm)	Tiempo estimado de hormigonado desde la planta (hh:mm)	
BC-74-C1	4:03:00 p. m.	4:12:00 p. m.	11:10:00 p. m.	06:58	07:07	21.62
BC-77-C1	12:35:00 p. m.	2:00:00 p. m.	9:22:00 p. m.	07:22	08:47	19.43
BC-78-C1	3:48:00 p. m.	4:33:00 p. m.	12:15:00 a. m.	07:42	08:27	20.49
BC-84-C1	12:43:00 p. m.	2:50:00 p. m.	9:20:00 p. m.	06:30	08:37	22.64
BC-92-C1	9:29:00 a. m.	10:36:00 a. m.	10:07:00 p. m.	11:31	12:38	28.92
BC-93-C2	1:30:00 p. m.	2:15:00 p. m.	1:33:00 a. m.	11:18	12:03	14.91
BC-93-C5	12:30:00 p. m.	1:15:00 p. m.	10:30:00 p. m.	09:15	10:00	18.81
BC-93-C6	12:29:00 p. m.	1:14:00 p. m.	12:15:00 a. m.	11:01	11:46	19.72
BC-94-C1	2:25:00 p. m.	3:10:00 p. m.	1:26:00 a. m.	10:16	11:01	17.84
BC-95-C2	12:05:00 p. m.	12:50:00 p. m.	12:00:00 a. m.	11:10	11:55	19.41
Pant 112	1:25:00 p. m.	2:10:00 p. m.	10:48:00 p. m.	08:38	09:23	21.65
Pant 115	12:55:00 p. m.	1:40:00 p. m.	10:20:00 p. m.	08:40	09:25	21.05

Fuente: Elaborado con la Información de las Hojas de Vida

Por otro lado, se llevó a cabo un análisis integral de los mismos elementos para determinar la longitud alcanzada durante la fundida, tomando como límite el tiempo de manejabilidad del concreto suministrado (4 a 6 horas) por ARGOS, según las órdenes de compra. Los resultados indicados en la Tabla 7 muestran que en ninguno de los elementos evaluados se logró completar la longitud total de fundida de manera óptima. La pérdida de fluidez observada en los últimos metros (superficiales), una vez superado el tiempo máximo de manejabilidad, no podía garantizar que el elemento quedara libre de irregularidades. Esto se debe a que, una vez terminado el tiempo de manejabilidad inicial, el concreto comienza a fraguarse, lo que impide que ascienda de manera uniforme y homogénea dentro de toda la sección del elemento. Es importante destacar que los valores resaltados en rojo corresponden a datos obtenidos a partir de la hoja de vida de cada elemento analizado, reflejando condiciones críticas que debieron afectar la calidad estructural de los elementos construidos.

Tabla 7. Tiempo de manejabilidad del Concreto

Elemento	Tiempo estimado de hormigonado en obra (hh:mm)	Volumen vaciado (m3)	LONGITUDES HORMIGONADO		
			Long. Hormigonada (m)	Longitud de Hormigonado alcanzado con el tiempo de manejabilidad de 6:00 horas (m)	Longitud que superó tiempo de manejabilidad de 6:00 horas (m) - Posible afectación
BC-74-C1	06:58	136.00	82.93	76.9	6.0
BC-77-C1	07:22	142.00	82.97	68.5	14.5
BC-78-C1	07:42	150.00	81.47	77.5	4.0
BC-84-C1	06:30	142.00	82.95	58.0	25.0
BC-92-C1	11:31	332.00	79.10	42.1	37.0
BC-93-C2	11:18	171.00	81.67	39.7	42.0
BC-93-C5	09:15	176.50	81.67	57.7	24.0
BC-93-C6	11:01	226.00	81.63	41.6	40.0
BC-94-C1	10:16	186.00	81.63	41.6	40.0
BC-95-C2	11:10	222.50	81.68	39.7	42.0
Pant 112	08:38	181.00	81.34	60.3	21.0
Pant 115	08:40	176.00	81.34	61.8	19.5

Fuente: Elaborado con la Información de las Hojas de Vida

Concluyendo el análisis de los 12 elementos, se confirma que los tiempos de manejabilidad y la rata de suministro de concreto fueron factores críticos que contribuyeron a la afectación de muchos de los elementos estructurales de cimentación, particularmente en los casos de barretes y pantalones, donde el hormigonado continuo requería de un estricto cumplimiento de tiempos y volúmenes

de concreto, para garantizar la homogeneidad y calidad del concreto a lo largo de toda la profundidad de los elementos. En la Figura 31, Figura 32 y Figura 33 se muestran los elementos analizados anteriormente.



Figura 31 . Elementos analizados

Fuente: Imágenes tomadas del Anexo fotográfico del Comunicado del 09 de octubre del 2023, el cual envió ARPRO a la aseguradora JMALUCELLI. Estos registros se encuentran en el Anexo G

En la Figura 31 se observan los elementos, **BC-74-C1** con afectaciones en el sótano 1 y **BC-77** con afectaciones en sótano 2 y sótano 1.



Figura 32. Elementos analizados

Fuente: Imágenes tomadas del Anexo fotográfico del Comunicado del 09 de octubre del 2023, el cual envió ARPRO a la aseguradora JMALUCELLI. Estos registros se encuentran en el Anexo G

En la Figura 32 se observa el elemento **BC-78-C1** con afectaciones en el sótano 1, el elemento **BC-84-C1** con afectaciones en el sótano 2, el elemento **BC-95-C2** con afectaciones en el sótano 1 y el **Pantalón 112** con afectaciones en el sótano 1.



Figura 33. Elementos analizados

Fuente: Imágenes tomadas del Anexo fotográfico del Comunicado del 09 de octubre del 2023, el cual envió ARPRO a la aseguradora JMALUCELLI. Estos registros se encuentran en el Anexo G

En la **Figura 32**, se observa el elemento **Pantalón 115** con afectaciones en el sótano y el elemento **BC-92-C1** con afectaciones en el sótano 1.

A partir del análisis realizado, apoyado por las imágenes mostradas en la Figura 31, Figura 32 y Figura 33 se confirmó que la falta de manejabilidad del concreto en las últimas longitudes de fundida ha ocasionado afectaciones significativas en la calidad de los elementos, tales como discontinuidades y contaminaciones. Además, la presencia de **turbas y suelos orgánicos** en los primeros metros de excavación, que corresponden a capas que no fueron debidamente identificadas en el estudio de suelos, contribuyó de manera directa a las deformaciones observadas.

Estas capas, debido a su alta deformabilidad, influyeron negativamente en el concreto durante su proceso de endurecimiento. Lo que conllevó a las contaminaciones y discontinuidades en el concreto, que afectan de forma crítica la calidad del elemento, (los cuales se localizaron principalmente en los niveles superiores del elemento es decir los sótanos 1, 2 y 3). Esto se debe a la insuficiente fluidez y manejabilidad del concreto, especialmente en las últimas fases de fundida.

El análisis de la mayoría de los elementos revisados indica que el tiempo de manejabilidad proporcionada por ARPRO (el contratante) fue inadecuado para garantizar una correcta fundida a lo largo de toda la longitud del elemento, lo que resultó en una calidad estructural deficiente en diversas zonas clave. Es decir que de acuerdo a las especificaciones contractuales, la tasa de suministro de concreto de 35 m³/h, no se cumplió en ninguno de los doce elementos evaluados.

6.4. INVENTARIO DE ELEMENTOS AFECTADOS (ASPECTOS CONTRACTUALES Y LA RELACIÓN)

Dada la gran cantidad de información suministrada de las hojas de vida de los elementos del Proyecto Connecta 80, se tomó una muestra representativa entre Pantalones, Muros Pantalla, Barretes y Pilotes, para realizar un análisis integral del proceso constructivo y el control de los elementos de construcción, los cuales fueron documentados en sus respectivas hojas de vida, adjuntas en el ANEXO E. Con esta información se elaboraron tablas de control del hormigonado general. Cada elemento analizado cuenta con su Control Constructivo (Hoja de vida y Control de Hormigonado) realizado en obra.

La muestra de elementos escogidos para esta revisión se separó por tipo de elemento (Barretes, Pantalones, Muros pantalla y Pilotes). Se construyó una Tabla resumen de Control de Hormigonado, para cada tipología de elemento de cimentación, que incluyó las diferentes variables de análisis existentes en la hoja de vida de cada elemento.

Además, se resalta los elementos que presentaron algún incumplimiento con base en los requisitos y especificaciones técnicas y contractuales que se establecieron para garantizar la calidad de la fundida y comportamiento de los diferentes elementos construidos.

En la Tabla 8 se muestran los resultados de Control de Hormigonado para 24 Barretes evaluados. Del Acta y Orden de Servicio de ARGOS y ARPRO, se encontró que el tiempo de manejabilidad del concreto (máximo 6 horas) establecido en el Contrato, en 22 de los elementos no se cumple, porque supera el tiempo máximo establecido (color magenta). También, los tiempos máximos de espera entre mixers (30 minutos) establecidos en los procedimientos técnicos de EYT, no se cumplen en 23 elementos (color rojo) porque se supera el máximo establecido. Por otro lado, al evaluar la rata de suministro mínima de concreto (35 m³/hr/frente) establecido en el Contrato, tampoco se cumple en todos los 24 elementos evaluados (color morado). Finalmente, al evaluar el asentamiento obtenido del ensayo Slump (8" +- 1") establecido en el Contrato, se cumple en todos los 24 elementos.

Tabla 8. Control de Hormigonado (Barretes)

TIPO DE ELEMENTO	ELEMENTO	ZONA DE AFECTACION (RECORRIDOS REALIZADOS)	TIEMPO PARCIAL DE SALIDA FABRICA - OBRA (hh:mm)	TIEMPO TOTAL VERTIMIENTO OBRA (hh:mm)	TIEMPO TOTAL FABRICA Y FUNDIDA (hh:mm)	VOLUMEN TOTAL CONCRETO (m3)	SLUMP PROMEDIO (in)	RATA DE SUMINISTRO (m3/h)	N° MIXERS	TIEMPO MAX ENTRE MIXER (hh:mm)	MIXERS	LAPSO DE TIEMPO
BARRETE	BC-75-C1	S1	0:33	7:23	7:56	148	8.76	20.05	20	0:47	19 y 20	(19:25-20:12)
BARRETE	BC-76-C1	S2	0:35	14:50	15:25	348	8.81	23.46	45	0:56	18 y 19	(15:53-16:49)
BARRETE	BC-77-C1	S1 y S2	0:46	7:22	8:08	142	9.13	19.28	18	0:54	14 y 15	(18:21-19:15)
BARRETE	BC-78-C1	S1	0:43	7:42	8:25	150	8.73	19.48	20	1:22	19 y 20	(22:39-00:01)
BARRETE	BC-86-C1	S1	0:46	7:58	8:44	169	8.65	21.21	22	0:51	5 y 6	(07:59-08:50)
BARRETE	BC-93-C6	S1 y S2	0:43	9:53	10:36	172	8.58	17.40	22	1:48	3 y 4	(15:49-17:37)
BARRETE	BC-94-C1	S1	0:29	7:20	7:49	176	8.49	24.00	23	1:00	22 y 23	(19:40-20:40)
BARRETE	BC-95-C2	S1	0:28	11:10	11:38	223	8.65	19.93	28	0:39	11 y 12	(17:00-17:39)
BARRETE	BC-93-13		0:45	6:21	7:06	144	8.59	22.68	19	0:53	18 y 19	(10:52-11:45)
BARRETE	BC-93-C3		0:45	5:59	6:44	170	8.57	28.41	22	0:22	6 y 7	(07:00-07:22)
BARRETE	BC-86-02		0:45	5:00	5:45	119	8.56	23.80	16	0:46	13 y 14	(18:43-16:29)
BARRETE	BC-80-02		0:47	5:33	6:30	125	8.41	22.52	16	1:19	15 y 16	(21:01-22:20)
BARRETE	BC-88-C1		0:42	8:42	9:24	158	9.10	18.16	21	1:08	19 y 20	(21:02-22:10)
BARRETE	BC-85-02		1:04	7:00	8:04	117	8.57	16.71	15	0:49	8 y 9	(17:14-18:03)
BARRETE	BC-80-01		0:47	7:35	8:22	138	8.68	18.20	18	0:44	15 y 16	(17:06-17:50)
BARRETE	BC-93-C4		0:45	9:10	9:55	160	8.55	17.45	22	1:28	7 y 8	(15:42-17:10)
BARRETE	BC-90-01		0:38	5:52	6:30	120	8.69	20.45	16	0:46	6 y 7	(15:40-16:26)
BARRETE	BC-93-09		0:45	8:17	9:02	138	8.68	16.66	18	2:26	7 y 8	(15:56-18:22)
BARRETE	BC-91-01		0:37	6:46	7:23	120	8.61	17.73	16	1:21	3 y 4	(14:43-16:04)
BARRETE	BC-93-C7		0:48	9:27	10:15	192	8.64	20.32	26	0:50	20 y 21	(18:40-19:30)
BARRETE	BC-93-C6		0:44	4:26	5:10	139	8.67	31.24	19	0:39	6 y 7	(21:20-21:59)
BARRETE	BC-94-06		0:42	6:10	6:52	149	8.61	24.14	20	0:47	18 y 19	(18:31-19:18)
BARRETE	BC-93-C2		0:59	11:18	12:17	171	8.63	15.13	22	1:33	6 y 7	(15:45-17:18)
BARRETE	BC-93-C5		0:56	9:15	10:11	178	8.70	19.24	22	1:16	21 y 22	(20:54-22:10)

Fuente: Elaborado con la Información de las Hojas de Vida

En la Tabla 9 se muestran los resultados de Control de Hormigonado para 13 Pantalones evaluados. Del Acta y Orden de Servicio de ARGOS y ARPRO, se encontró que los tiempos de manejabilidad del concreto (máximo 6 horas) establecidos en el Contrato, en 12 de los elementos no se cumplen, porque superan el tiempo máximo establecido (color magenta). También, el tiempo máximo de espera entre mixers (30 minutos)

minutos) establecido en los procedimientos técnicos de EYT, no se cumple en todos los 13 elementos (color rojo) porque se supera el máximo establecido. Por otro lado, al evaluar la rata de suministro mínima de concreto (35 m³/hr/frente) establecido en el Contrato, tampoco se cumple en todos los 13 elementos evaluados (color morado). Finalmente, al evaluar el asentamiento obtenido del ensayo Slump (8" +- 1") establecido en el Contrato, se cumple en todos los 13 elementos.

Tabla 9. Tabla de control de Hormigonado (Pantalones)

TIPO DE ELEMENTO	ELEMENTO	ZONA DE AFECTACION (RECORRIDOS REALIZADOS)	TIEMPO PARCIAL DE SALIDA FABRICA -OBRA (hh:mm)	TIEMPO TOTAL VERTIMIENTO OBRA (hh:mm)	TIEMPO TOTAL FABRICA Y FUNDIDA (hh:mm)	VOLUMEN TOTAL CONCRETO (m3)	SLUMP PROMEDIO (in)	RATA DE SUMINISTRO (m3/h)	N° MIXERS	TIEMPO MAX ENTRE MIXER (hh:mm)	MIXERS	LAPSO DE TIEMPO
PANTALON	112	S1	0:46	8:38	9:24	181	8.79	20.97	23	1:05	22 y 23	(21:15-22:20)
PANTALON	115	S1	0:31	8:40	9:11	176	8.68	20.31	23	1:07	22 y 23	(20:53-22:00)
PANTALON	94-T3	S3	0:42	14:45	15:27	270	8.56	18.31	35	1:17	31 y 32	(00:58-02:15)
PANTALON	128-T13	S1 y S2	1:01	6:33	7:34	142	8.72	21.68	18	0:25	6 y 7 17 y 18	(13:35-14:00) (18:15-18:40)
PANTALON	100-T2	S2	0:45	10:40	11:25	240	8.58	22.50	31	1:08	24 y 25	(13:04-14:12)
PANTALON	29-T1	S1	0:44	9:30	10:14	146	8.32	15.37	19	0:59	10 y 11	(12:06-13:05)
PANTALON	13-T3	S2 y S3	0:47	7:51	8:38	147	8.86	18.73	20	0:28	8 y 9	(16:57-17:25)
PANTALON	132-T13	S1 - S2 y S3	0:45	7:45	8:30	177	8.46	22.84	24	0:41	17 y 18	(21:59-22:40)
PANTALON	71-T4	S1	0:45	4:57	5:42	61	8.18	12.32	10	1:28	7 y 8	(18:40-20:08)
PANTALON	134-T13	S2 y S3	0:39	9:21	10:00	190	8.82	20.32	25	1:00	7 y 8	(14:20-15:20)
PANTALON	126-T13	S2	0:47	9:13	10:00	170	8.81	18.44	22	0:55	13 y 14	(16:35-17:30)
PANTALON	06-T2	S2	0:45	7:41	8:26	178	8.49	23.17	23	1:00	15 y 16	(22:34-23:34)
PANTALON	09-T2	S3	0:45	7:13	7:58	176	8.35	24.39	24	0:45	23 y 24	(00:30-01:15)

Fuente: Elaborado con la Información de las Hojas de Vida

En la Tabla 10 se muestran los resultados de Control de Hormigonado para 13 Muros Pantalla evaluados. Del Acta y Orden de Servicio de ARGOS y ARPRO, se encontró que los tiempos de manejabilidad del concreto (máximo 6 horas) establecidos en el Contrato, en 7 de los elementos no se cumplen, porque superan el tiempo máximo establecido (color magenta). También, el tiempo máximo de espera entre mixers (30 minutos) establecido en los procedimientos técnicos de EYT, no se cumple en todos los 12 elementos (color rojo) porque se supera el máximo establecido. Por otro lado, al evaluar la rata de suministro mínima de concreto (35 m³/hr/frente) establecido en el Contrato, no se cumple en todos los 13 elementos evaluados (color morado). Finalmente, al evaluar el asentamiento obtenido del ensayo Slump (8" +- 1") establecido en el Contrato, se cumple en todos los 13 elementos.

Tabla 10. Tabla de control de Hormigonado (Muros Pantalla)

TIPO DE ELEMENTO	ELEMENTO	ZONA DE AFECTACION (RECORRIDOS REALIZADOS)	TIEMPO PARCIAL DE SALIDA FABRICA - OBRA (hh:mm)	TIEMPO TOTAL VERTIMIENTO OBRA (hh:mm)	TIEMPO TOTAL FABRICA Y FUNDIDA (hh:mm)	VOLUMEN TOTAL CONCRETO (m3)	SLUMP PROMEDIO (in)	RATA DE SUMINISTRO (m3/h)	N° MIXERS	TIEMPO MAX ENTRE MIXER (hh:mm)	MIXERS	LAPSO DE TIEMPO
MURO PANTALLA	MP-129-T2	S2 y S3	0:36	5:46	6:22	86	8.14	14.91	11	1:25	10 y 11	(21:51-23:16)
MURO PANTALLA	MP-93-T1	S1 y S3	0:45	14:45	15:30	270	8.56	18.31	35	1:17	31 y 32	(00:58-02:15)
MURO PANTALLA	MP-67-T1	S1	0:45	4:21	5:06	60	8.72	13.79	8	0:52	5 y 6	(16:17-17:09)
MURO PANTALLA	MP-73-T1	S1	0:33	4:10	4:43	64	8.58	15.36	9	0:34	5 y 6	(14:57-15:31)
MURO PANTALLA	MP-61-T4	S1 y S2	0:45	7:03	7:48	63	8.56	8.94	8	3:11	7 y 8	(15:30-18:41)
MURO PANTALLA	MP-123-T2	S2	0:45	3:55	4:40	52	8.63	13.28	7	2:02	6 y 7	(14:13-16:15)
MURO PANTALLA	MP-36-T5	S1 y S2	1:06	4:00	5:06	74	8.53	18.50	10	0:10	4 y 5 9 y 10	(18:48-18:58) (21:10-21:20)
MURO PANTALLA	MP-28-T5	S1	0:44	7:24	8:08	93	8.15	12.57	12	1:15	2 y 3	(12:42-13:57)
MURO PANTALLA	MP-55-T4	S1	0:41	7:38	8:19	127	8.50	16.64	17	1:03	6 y 7	(12:33-13:36)
MURO PANTALLA	MP-125-T2	S2	0:47	3:28	4:15	52	8.71	14.86	7	0:50	5 y 6	(06:25-07:15)
MURO PANTALLA	MP-57-T4	S1	0:34	6:35	7:09	105	8.54	15.91	14	1:26	5 y 6	(13:43-15:09)
MURO PANTALLA	MP-98-T4	S3	0:41	7:56	8:37	99	8.69	12.48	13	1:09	9 y 10	(17:35-18:44)
MURO PANTALLA	MP-108-T2	S2	0:45	3:04	3:49	52	8.54	16.79	7	0:40	3 y 4	(15:18-15:58)

Fuente: Elaborado con la Información de las Hojas de Vida

En la Tabla 11 se muestran los resultados de Control de Hormigonado para 10 Pilotes evaluados. Del Acta y Orden de Servicio de ARGOS y ARPRO, se encontró que los tiempos de manejabilidad del concreto (máximo 4 horas) establecidos en el Contrato, en 3 de los elementos no se cumplen, porque superan el tiempo máximo establecido (color azul). También, el tiempo máximo de espera entre mixers (30 minutos) establecido en los procedimientos técnicos de EYT, no se cumple en 6 elementos (color rojo) porque se supera el máximo establecido. Por otro lado, al evaluar la rata de suministro mínima de concreto (35 m³/hr/frente) establecido en el Contrato, tampoco se cumple en todos los 10 elementos evaluados (color morado). Finalmente, al evaluar el asentamiento obtenido del ensayo Slump (8" +- 1") establecido en el Contrato, se cumple en todos los 10 elementos.

Tabla 11. Tabla de control de Hormigonado (Pilotes)

TIPO DE ELEMENTO	ELEMENTO	ZONA DE AFECTACION (RECORRIDOS REALIZADOS)	TIEMPO PARCIAL DE SALIDA FABRICA - OBRA (hh:mm)	TIEMPO TOTAL VERTIMIENTO OBRA (hh:mm)	TIEMPO TOTAL FABRICA Y FUNDIDA (hh:mm)	VOLUMEN TOTAL CONCRETO (m3)	SLUMP PROMEDIO (in)	RATA DE SUMINISTRO (m3/h)	N° MIXERS	TIEMPO MAX ENTRE MIXER (hh:mm)	MIXERS	LAPSO DE TIEMPO
PILOTE	PL-20-01		0:45	1:30	2:15	39	8.55	26.00	5	0:16	3 y 4	(14:03-14:19)
PILOTE	PL-20-C2	S2	0:45	4:05	4:50	52	8.29	12.73	7	1:00	3 y 4	(14:40-15:40)
PILOTE	PL-24-C1	S3	0:45	4:07	4:52	39	8.20	9.47	5	1:37	4 y 5	(12:10-13:47)
PILOTE	PL-25-C1	S3	0:45	4:28	5:13	47	8.18	10.52	7	1:22	6 y 7	(19:40-21:02)
PILOTE	PL-25-C2	S3	0:45	2:05	2:50	37	8.80	17.76	5	0:20	3 y 4	(16:20-16:40)
PILOTE	PL-36-02	S3	0:45	1:07	1:52	23	8.33	10.80	3	0:28	2 y 3	(11:40-12:08)
PILOTE	PL-36-C1	S3	0:45	1:55	2:40	32	8.13	16.43	4	0:25	3 y 4	(19:35-20:00)
PILOTE	PL-40-02	S3	0:45	2:10	2:55	37	8.15	17.08	5	0:35	4 y 5	(16:17-16:52)
PILOTE	PL-48-01	S3	0:45	1:00	1:45	23	9.00	23.00	3	0:10	1 y 2 2 y 3	(14:40-14:50) (15:05-15:15)
PILOTE	PL-48-02	S3	0:45	1:15	2:00	24	8.00	19.20	3	0:10	2 y 3	(16:40-16:50)

Fuente: Elaborado con la Información de las Hojas de Vida

El anterior análisis detallado para diferentes elementos que conforman la cimentación profunda (barretes, pantalones, muros pantalla y pilotes), considero como variables la

duración total de fundida de los elementos (tiempo transcurrido desde el cargue en planta hasta el tiempo de duración de la fundida), el tiempo de espera transcurrido entre mixers y la rata de suministro del concreto. Con base en los resultados antes presentados en la Tabla 8 a Tabla 11, se lograron definir los principales aspectos que incidieron en los problemas ocurridos durante los procesos constructivos y las limitaciones de calidad de varios de los elementos.

- La demora en el suministro del concreto generó que los tiempos de fundida se sobrepasaran, llegando hasta cerca de 16 horas, especialmente en barretes, pantalones y muros pantalla; este lapso de tiempo tan largo acarreó problemas de calidad en los elementos. Además, al superar el tiempo límite del concreto se sobrepasa el tiempo de manejabilidad, lo cual causa pérdida de fluidez y por tal motivo el desplazamiento del concreto no es óptimo para rellenar todos los espacios del elemento, debido al endurecimiento del mismo. Hay que considerar que la manejabilidad más alta es de 4 a 6 horas, y debido a estos atrasos se superó la manejabilidad hasta en el doble del tiempo.
- La rata de suministro del concreto establecida en el Contrato, de 35 m³/hora/frente, nunca se cumplió. Esto generó interrupciones en el proceso y extendió el tiempo de fundida, lo cual derivó en la pérdida de manejabilidad del concreto a lo largo de la operación. Las principales causas de este incumplimiento fueron:
 - Demoras en la llegada del concreto a la obra.
 - Intervalos prolongados entre la llegada de camiones mixers de hasta 3:11 horas.
 - Deficiencia en la especificación de la mezcla utilizada, que provocó taponamientos en la tubería tremie.

Es fundamental resaltar la importancia que tiene para la calidad de los elementos fundidos con sistema Tremie, la continuidad y el ritmo del hormigonado, por lo cual se estipulan consideraciones límites que garantizan que el proceso constructivo resulte acertado y se eviten problemas constructivos.

- Durante la excavación, especialmente en el costado norte del lote, se encontró un estrato de ceniza entre 1.40 m y 2.00 m de profundidad, no contemplado en el Estudio de Suelos realizado por Espinosa y Restrepo. Este estrato causó socavaciones, derrumbes y contaminación en la parte superior del concreto durante la fundición. Además, se descubrió la presencia de un estrato filtrante,

también no contemplado, que comprometió la estabilidad de las excavaciones debido a la pérdida de lodo polimérico a través de dicha capa.

6.5. PRUEBAS DE CALIDAD (PIT,CROSS HOLE Y KODEN)

6.5.1. Pruebas PIT

Durante la ejecución del proyecto, se llevaron a cabo ensayos de control de calidad en los elementos de la cimentación profunda (barretes, pantalones y pilotes). Estos ensayos fueron realizados por las empresas **Espinosa y Restrepo (EyR)**, responsables del estudio de suelos del proyecto, y **P&P Proyectos** el diseñador del proyecto. Uno de los ensayos más relevantes fue la **Prueba de Integridad de Pilotes (PIT)**, también conocida como Prueba de Continuidad. De acuerdo con el **Informe EYR-P.2626** del 17 de junio de 2022, emitido por Espinosa y Restrepo (EyR) y que se encuentra adjunto en el **ANEXO H** de este informe pericial, la prueba PIT es descrita como un ensayo no destructivo basado en la técnica **eco-sónica** o **prueba dinámica de baja deformación**. Este método se utiliza para evaluar la integridad de los elementos a través de la aceleración registrada, permitiendo identificar variaciones significativas en la sección transversal a lo largo de la profundidad del elemento.

Los resultados obtenidos en las pruebas PIT son clasificados bajo los siguientes criterios:

- **AA:** Pilote sin indicaciones de problemas estructurales.
- **AB:** Pilote sin indicaciones de defectos mayores.
- **ABx:** No se identifican defectos mayores hasta una profundidad de x metros.
- **PFx:** Pilote con una falla probable a una profundidad de x metros.
- **PDx:** Pilote con daño probable a una profundidad de x metros.
- **IVx:** Registro inconcluso hasta una profundidad de x metros.
- **IR:** Registro inconcluso debido a posibles factores como baja calidad del concreto en la cabeza del pilote, cambios de impedancia planeados o la presencia de uniones que dificultan la interpretación de los registros.

En la Figura 34 se muestran algunas de las ubicaciones de las pruebas PIT realizadas en los pilotes del proyecto. No obstante, es importante señalar que no todas las pruebas ejecutadas en los elementos de cimentación profunda están representadas en dicha figura.

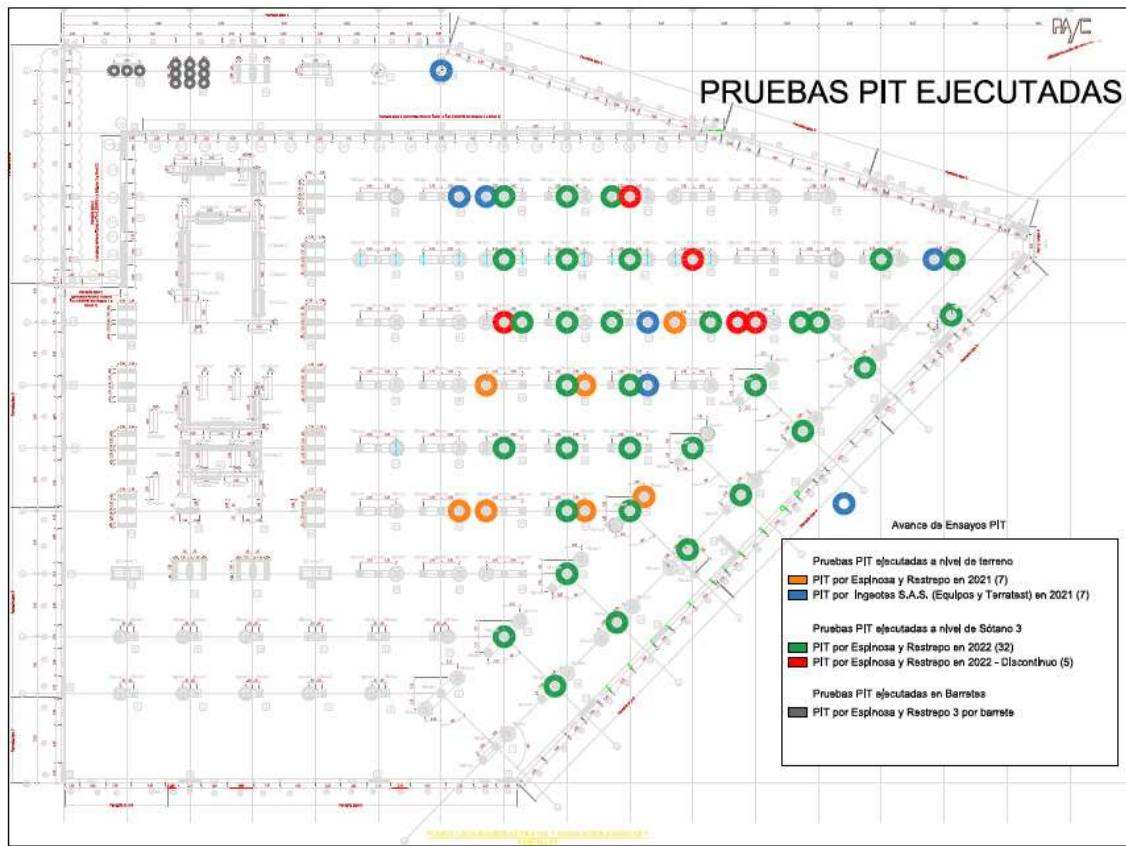


Figura 34. Pruebas PIT ejecutadas

Fuente: Tomado del Anexo 6 del Informe realizado por PAYC “Informe trazabilidad construcción elementos de cimentación – Centro Empresarial Connecta 80”

Con base en los resultados obtenidos y presentados en las Tablas 12, 13 y 14, se puede apreciar que la mayoría de los elementos de cimentación profunda sometidos a las pruebas PIT no presentan indicaciones de problemas estructurales o de discontinuidad significativa. Los resultados obtenidos para estos elementos se encuentran dentro de los parámetros considerados aceptables para este tipo de ensayos, lo que sugiere una adecuada continuidad e integridad estructural. El análisis de los registros eco-sónicos muestra que los elementos evaluados cumplen con los criterios establecidos para la aceptación del ensayo, indicando que las secciones transversales evaluadas no exhiben defectos mayores que comprometan su estabilidad o funcionalidad. Sin embargo, como se señala en la Tabla 12, 5 elementos dieron como resultado: “Pilote con daño probable a una profundidad de x metros.”. De estos 5 elementos EYR conceptuó sobre los pilotes I4801 y I5801, como se mencionó en el capítulo 5.3 del presente informe pericial, en donde indicaron que no descartaban que la presencia de turba sea la que haya afectado el correcto fraguado del concreto.

Tabla 12. Pruebas PIT en pilotes

#Pilote	Longitud teórica(m)	Velocidad de onda	Clasificación	#Pilote	Longitud teórica(m)	Velocidad de onda	Clasificación
24C1	56	3589	AA	I3801	44	4052	AA
37C1	56	3623	AA	I6501	50,26	3587	AA
47C1	56	3784	AA	I1401	50,32	3408	AA
36C1	57	2996	AA	I1501	47,23	3717	AA
35C1	55,71	3500	AA	I1901	43,9	3796	AA
22C1	32,5	3640	AA	I0301	46,68	3340	AA
23C1	57,18	3948	AA	I0401	46,6	3758	AA
24C1	57,18	3451	AA	I6301	52,27	3645	AA
I4902	56,66	3500	AA	I6401	50,25	3466	AA
I5202	56,95	3081	AA	I6402	50,13	3500	AA
I6101	65	2888	AA	I1801	46,21	3254	AA
I4101	58,11	3507	AA	I2302	44,24	3227	AA
I5101	56,7	3336	AA	I1001	46,68	3811	AA
I4001	55,7	3418	AA	I1101	46,43	3438	AA
I4001	55,66	3150	AA	I1102	46,43	3940	AA
I4801	42,6	3097	PD	I5301	52,67	3673	AA
I4802	44,66	3500	PD	I5401	50,58	3592	AA
I5801	50,28	3500	PD	I4201	47,11	3732	AA
I4702	44,45	3823	AA	I4301	46,25	3593	AA
32	58,14	3075	AA	I0501	46,18	3781	AA
33	55,57	3377	AA	I1201	47,68	3696	AA
I6601	51,3	3529	AA	I1202	48,18	3715	AA
I6201	44,69	3564	AA	I1301	47,18	3624	AA
I6702	51,25	3379	AA	I1701	46,25	3278	AA
I6701	51,6	3500	PD	I3401	46,88	3686	AA
I4501	43,67	3608	AA	I3501	45,7	3679	AA
I4602	47,8	4076	AA	I1601	46,18	3216	AA
I5601	47,8	3468	AA	I2201	46,18	3942	AA
I5701	50,23	3607	AA	I0601	46,82	3309	AA
I2501	43,7	3678	AA	I2101	46,28	3903	AA
I2602	43,73	3704	AA	I2102	47,2	3784	AA
I3001	43,99	3908	AA	I2702	46,88	3173	AA
I3101	43,94	3534	AA	I2801			INCONCLUSA
I2401	43,6	3035	AA	I0701	46,32	3636	AA
I4401	43,72	3500	PD	I0201	46,68	3112	AA
I4402	44,01	3060	AA	I0901	45,68	3948	AA
I5501	50,23	3221	AA	I0101	46,68	3643	AA
I2001	46,57	3598	AA	I0801	46,68	2879	AA
I2901	43,68	3432	AA	I3502	44,18	3387	AA
I3601	43,73	3775	AA	I28C1	55,67	3009	AA
I3701	43,74	3345	AA	I2802	44,16	3118	AA

Fuente: Tomado del informe EYR-ST-439 del 2023

Tabla 13. Ensayo PIT para Barretes (1 página)

#Barrete	Ubicación	Longitud teórica(m)	Velocidad de onda	Clasificación	#Barrete	Ubicación	Longitud teórica(m)	Velocidad de onda	Clasificación
BC90C1	Centro	75,3	3530	AA	BC83C1	Oriente	82,98	3898	AA
BC90C1	Norte	75,3	3646	AA	BC8301	Centro	72,91	3190	AA
BC90C1	Sur	75,3	3158	AA	BC8301	Occidente	72,91	3252	AA
BC9001	Centro	75,2	3974	AA	BC8301	Oriente	72,91	3214	AA
BC9001	Norte	75,2	3974	AA	BC8302	Centro	71,91	3832	AA
BC9001	Sur	75,2	4034	AA	BC8302	Occidente	71,91	3874	AA
BC9002	Centro	64,49	3536	AA	BC8302	Oriente	71,91	4148	AA
BC9002	Norte	64,49	3284	AA	BC9303	Centro	70	3271	AA
BC9002	Sur	64,49	3458	AA	BC9303	Occidente	70	3399	AA
BC89C1	Occidente	79,1	4176	AA	BC9303	Oriente	70	3532	AA
BC9406	Centro	72,63	3974	AA	BC9304	Centro	70	3180	AA
BC9406	Derecha	72,63	3437	AA	BC9304	Norte	70	3143	AA
BC9406	Izquierda	72,63	3681	AA	BC9304	Sur	70	3261	AA
BC9407	Centro	72,63	3572	AA	BC9306	Centro	70	3105	AA
BC9407	Derecha	72,63	3402	AA	BC9306	Norte	70	3088	AA
BC9407	Izquierda	72,63	3500	AA	BC9306	Sur	70	3439	AA
BC9405	Centro	71,63	3697	AA	BC9309	Centro	70	3697	AA
BC9405	Derecha	71,63	3773	AA	BC9309	Occidente	70	3500	AA
BC9405	Izquierda	71,63	3798	AA	BC9309	Oriente	70	3254	AA
BC9404	Centro	71,63	3756	AA	BC9313	Centro	70	3007	AA
BC9404	Derecha	71,63	3246	AA	BC9313	Norte	70	3150	AA
BC9404	Izquierda	71,63	3468	AA	BC9313	Sur	70	3139	AA
BC9501	Centro	71,18	3500	AA	BC9314	Centro	70	3444	AA
BC9501	Derecha	71,18	3179	AA	BC9314	Norte	70	3087	AA
BC9501	Izquierda	71,18	3385	AA	BC9314	Sur	70	3214	AA
BC7501	Centro	72,98	3740	AA	BC78C1	Occidente	72	3113	AA
BC7501	Derecha	72,98	4040	AA	BC9302	Centro	70	3153	AA
BC7501	Izquierda	72,98	3943	AA	BC9302	Norte	70	3175	AA
BC8001	Centro	72,98	3374	AA	BC9302	Sur	70	2995	AA
BC8001	Derecha	72,98	3660	AA	BC9307	Centro	72	3500	AA
BC8001	Izquierda	72,98	3717	AA	BC9307	Norte	72	3537	AA
BC8002	Centro	72,91	3593	AA	BC9307	Sur	72	3709	AA
BC8002	Derecha	72,91	3593	AA	BC79	Centro	70	3500	AA
BC8002	Izquierda	72,91	3709	AA	BC9305	Centro	71	3729	AA
BC76C1	Occidente	81,47	3439	AA	BC9305	Occidente	71	3441	AA
BC76C1	Oriente	81,47	3416	AA	BC9305	Oriente	71	3218	AA
BC79C1	Occidente	81,47	3500	AA	BC93C1	Occidente	72	4161	AA
BC79C1	Oriente	81,47	3304	AA	BC93C1	Centro	72	3935	AA
BC75C1	Norte	68,86	3145	AA	BC93C1	Oriente	72	4308	AA
BC76C1	Centro	67,84	3047	AA	BC78C1	Centro	81,47	3701	AA
BC80C1	Centro	68,85	3500	AA	BC78C1	Oriente	81,47	3500	AA
BC80C1	Norte	68,85	3775	AA	BC81C1	Occidente	82,88	3500	AA
BC80C1	Occidente	68,85	3364	AA	BC81C1	Oriente	82,88	3724	AA
BC7502	Centro	71,88	3097	AA	BC8101	Centro	72,41	3252	AA
BC7502	Norte	71,88	3097	AA	BC8101	Occidente	72,41	3412	AA
BC7502	Sur	71,88	3532	AA	BC8102	Oriente	72,88	3247	AA
BC75C1	Sur	82,97	3388	AA	BC73C1	Centro	81,41	4040	AA
BC88C1	Occidente	82,98	2983	AA	BC75C1	Centro	86	3630	AA
BC88C1	Centro	82,98	3788	AA	BC89C1	Centro	79,1	3179	AA
BC88C1	Oriente	82,98	3449	AA	BC89C1	Oriente	79,1	3355	AA

Fuente: Tomado del informe EYR-ST-439 del 2023

Tabla 14. Ensayos PIT barretes (2 página)

#Barrete	Ubicación	Longitud teórica(m)	Velocidad de onda	Clasificación	#Barrete	Ubicación	Longitud teórica(m)	Velocidad de onda	Clasificación
BC8302	Oriente	71,91	3964	AA	BC8801	Centro	71,41	2482	AA
BC8501	Centro	70,11	3776	AA	BC8801	Occidente	71,41	3338	AA
BC8501	Occidente	70,11	3709	AA	BC8801	Oriente	71,41	3157	AA
BC8501	Oriente	70,11	3776	AA	BC8802	Centro	71,34	2518	AA
BC85C1	Centro	82,98	3401	AA	BC8802	Occidente	71,34	2627	AA
BC85C1	Occidente	82,98	3312	AA	BC8802	Oriente	71,34	2536	AA
BC85C1	Oriente	82,98	3763	AA	BC87C1	Centro	82,98	3444	AA
BC8502	Centro	82,98	3932	AA	BC87C1	Oriente	82,98	3528	AA
BC8502	Occidente	82,98	3445	AA	BC87C1	Occidente	82,98	3729	AA
BC8502	Oriente	82,98	3678	AA	BC8701	Centro	69,91	3653	AA
BC8201	Centro	72,11	3810	AA	BC8701	Oriente	69,91	3739	AA
BC8201	Occidente	72,11	3814	AA	BC8701	Occidente	69,91	3766	AA
BC8201	Oriente	72,11	3628	AA	BC8702	Centro	69,91	3746	AA
BC8202	Centro	72,41	3811	AA	BC8702	Occidente	69,91	3871	AA
BC8202	Occidente	72,41	3717	AA	BC8702	Oriente	69,91	4006	AA
BC8202	Oriente	72,41	3638	AA	BC8402	Centro	72,45	3250	AA
BC8401	Centro	69,91	3377	AA	BC8402	Occidente	72,45	3070	AA
BC8401	Occidente	69,91	3441	AA	BC8402	Oriente	72,45	3045	AA
BC8401	Oriente	69,91	3374	AA	BC8601	Centro	72,41	3283	AA
BC8402	Centro	72,45	3967	AA	BC8601	Occidente	72,41	3727	AA
BC8402	Occidente	72,45	4173	AA	BC8601	Oriente	72,41	3842	AA
BC8402	Oriente	72,45	4106	AA	BC8502	Centro	72,91	4251	AA
BC84C1	Centro	82,95	3246	AA	BC8502	Occidente	72,91	4579	AA
BC84C1	Occidente	82,95	3449	AA	BC8502	Oriente	72,91	4239	AA
BC84C1	Oriente	82,95	3308	AA	BC9402	Centro	73,63	3212	AA
BC77C1	Occidente	70	4029	AA	BC9402	Occidente	73,63	3340	AA
BC7701	Centro	70	3910	AA	BC9402	Oriente	73,63	3531	AA
BC7701	Occidente	70	3951	AA	BC9403	Occidente	73,63	3345	AA
BC7701	Oriente	70	3908	AA	BC86C1	Centro	82,91	3500	AA
BC7702	Centro	70	4075	AA	BC86C1	Occidente	82,91	3411	AA
BC7702	Occidente	70	4034	AA	BC86C1	Oriente	82,91	3273	AA
BC7702	Oriente	70	3977	AA	BC8602	Centro	70,41	3153	AA
BC8101	Oriente	70	4099	AA	BC8602	Occidente	70,41	2957	AA
BC8102	Centro	70	3660	AA	BC8602	Oriente	70,41	3047	AA
BC8102	Occidente	70	3813	AA	PANT17	Centro	73,4	3304	AA
BCB1C1	Centro	70	4110	AA	PANT17	Occidente	73,4	3047	AA
BC73C1	Occidente	81,48	4068	AA	PANT17	Oriente	73,4	3012	AA
BC73C1	Oriente	81,48	3940	AA	BC9401	Centro	70,81	3106	AA
BC74C1	Centro	72,43	3264	AA	BC9401	Norte	70,81	3362	AA
BC74C1	Norte	72,43	3047	AA	BC9401	Sur	70,81	3084	AA
BC74C1	Sur	72,43	3032	AA	BC9403	Centro	71,13	3385	AA
BC77C1	Oriente	70,79	3713	AA	BC9403	Oriente	71,13	3303	AA
BC7401	Centro	72,43	3691	AA	BC8302	Centro	71,91	4143	AA
BC7401	Norte	72,43	3679	AA	BC8302	Occidente	71,91	4077	AA
BC7401	Sur	72,43	3113	AA	BC7402	Sur	72,43	3398	AA
BC7402	Centro	72,43	3407	AA	BC83C1	Centro	82,98	3811	AA
BC7402	Norte	72,43	3417	AA	BC83C1	Occidente	82,98	3784	AA

Fuente: Tomado del informe EYR-ST-439 del 2023

6.5.2. Pruebas Cross Hole

Los elementos mostrados en la Figura 35 corresponden a los analizados en el numeral 6.3.2 del presente informe pericial. Esta figura ha sido extraída del ANEXO 6 de "Informe de Trazabilidad en la Construcción de los Elementos de Cimentación – Centro Empresarial Connecta 80" elaborado por la interventoría PAYC, y se encuentra adjunta en el ANEXO J de este informe.

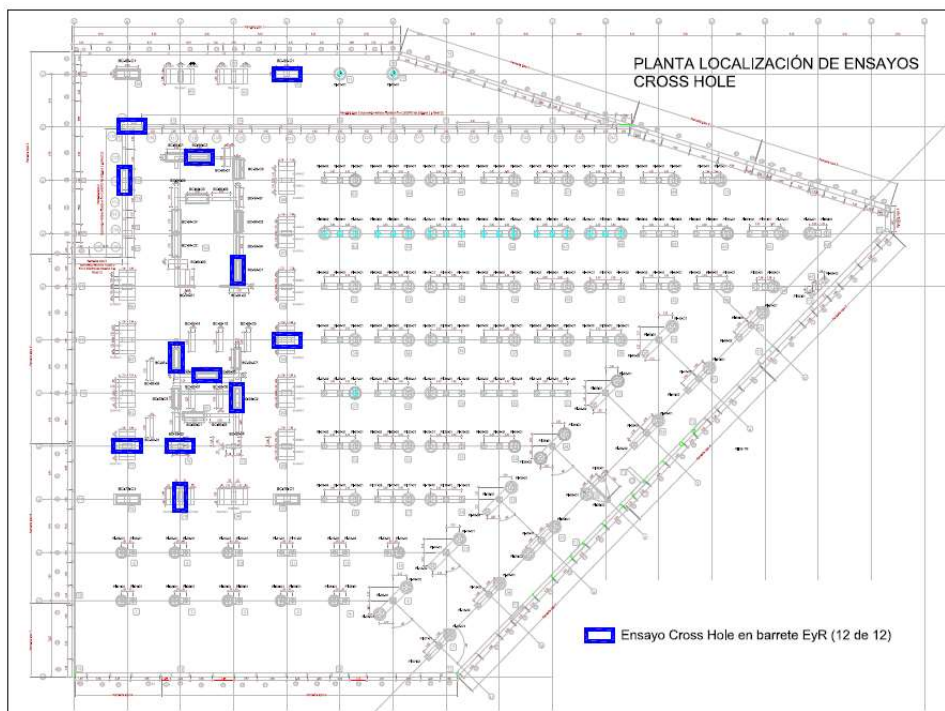


Figura 35. Planta de Localización de Ensayos Cross Hole

Fuente: Tomado del Anexo 7 del Informe realizado por PAYC “Informe trazabilidad construcción elementos de cimentación – Centro Empresarial Connecta 80”

Como se menciona en el informe “Ensayo de Integridad CrossHole (CSL)” del 25 de marzo del 2022 realizado por EYR, el Método Cross Hole, permite la identificación de defectos con base en los retrasos en el tiempo de llegada de la primera onda y en la disminución de la energía. Esto se realiza calculando el tiempo estimado de viaje de la onda con un emisor (Tx) hasta un receptor (Rx) que fueron instalados en tubos de acceso en algunos elementos de la cimentación profunda, esto se realiza para conocer la velocidad media de las ondas en el hormigón y la cantidad de energía que llega al receptor (Rx) para cada pulso transmitido desde el emisor (Tx).

Si la energía de las señales transmitidas es más o menos constante, la energía que llega al receptor también deber ser más o menos constante, lo que implica que entre la distancia del receptor y emisor no hay existencia de alguna anomalía. Sin embargo, cuando aparece un obstáculo la señal en el recorrido del perfil ensayado se ve afectada, pues este obstáculo puede absorber parte o toda de la energía transmitida, y por lo tanto tener un menor valor de la energía en el receptor, lo que ocasiona o genera problemas en la continuidad del elemento. Es así como los ensayos Cross Hole en estos elementos permite evaluar con mayor precisión las posibles

discontinuidades o defectos en la estructura, proporcionando un análisis integral que complementa los resultados de las pruebas PIT mencionadas anteriormente.

Los ensayos Cross Hole permiten detectar cambios en la calidad del concreto a diferentes profundidades, lo cual permite la evaluación de la integridad de los elementos de cimentación profunda. Estos ensayos, junto con los análisis de manejabilidad del concreto que se realizaron y los tiempos de hormigonado mostrados anteriormente, ayudan a verificar las afectaciones en la continuidad del elemento en los últimos metros de fundida, donde la fluidez del concreto se vio afectada.

Continuando con la revisión y verificación de las pruebas Cross Hole de los elementos, en la Figura 36 se presenta el perfil de los resultados de estos ensayos, donde en color gris se evidencia el posible tramo con defectos, en letra morada se indica la profundidad que se alcanzó después de las 6:00 horas de manejabilidad, las cuales se contabilizan desde la salida de la mixer de la planta de ARGOS y finalmente las horas que se encuentran en color rojo, muestran la profundidad en la que se presentó alguna observación en los ensayos Cross-Hole.

Se puede observar que el único elemento que presento posibles afectaciones en una profundidad de 12.00 m y que cumplía con la manejabilidad del concreto fue el elemento BC-74-C1. Sin embargo, como pudimos observar en la Figura 36, las afectaciones se dan entre la profundidad de 0.00m y 10.00m y luego a 12.00m, lo que concuerda con la presencia de material orgánico en la zona.

Adicionalmente, se observó que los elementos que presentan posibles afectaciones a mayor profundidad, pueden estar directamente relacionados al endurecimiento del concreto, puesto que, en la mayoría de elementos los problemas se evidencian después de terminado el tiempo de manejabilidad del concreto. En la Tabla 15 se muestran los análisis de estos ensayos y el fallo más profundo de los elementos con respecto al tiempo de manejabilidad del concreto, además se detalla la hora aproximada en que se alcanzó la profundidad afectada y el tiempo transcurrido desde la salida de la planta del primer mixer.

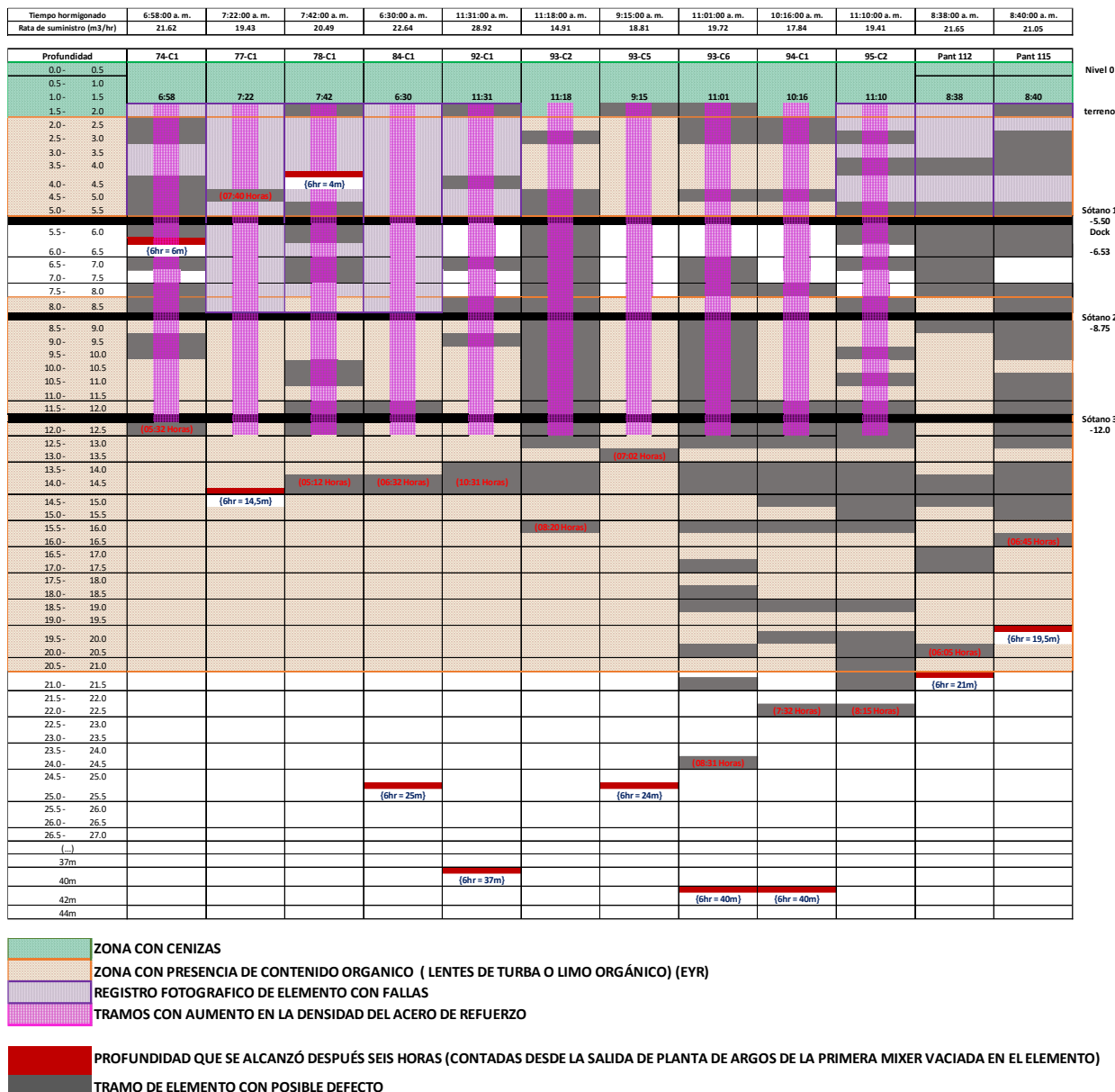


Figura 36. Perfil de resultados ensayos Cross Hole

Fuente: Modificado de la figura extradida del Informe realizado por PAYC “Informe trazabilidad construcción elementos de cimentación – Centro Empresarial Connecta 80”

Se evidencia una relación clara entre los daños observados en los registros fotográficos de los recorridos realizados por ARPRO y las zonas con presencia de material orgánico, como lentes de turba o limo orgánico, identificadas a partir de la revisión del Estudio de Suelos elaborado por EyR. Adicionalmente, se observa el aumento en la densidad del acero de refuerzo que están presente en los tres sótanos contribuye a que los daños sean más visibles en estas profundidades. Estos defectos aumentan por la superación del tiempo de fraguado o manejabilidad del concreto, que

fue de 6 horas, en las profundidades indicadas en la Figura 36. La combinación de estos factores, la presencia de suelos orgánicos y el tiempo de manejabilidad excedido) influyó directamente en la calidad y continuidad del concreto en los elementos estructurales.

Tabla 15. Análisis del ensayo Cross Hole con el fallo más profundo en los elementos.

Elemento	Análisis del fallo más profundo en ensayo de Cross Hole		
	Long. del fallo más profundo (m)	Hora a la que se alcanzó la profundidad (hh:mm)	No. horas desde salida de primer mixer hasta longitud de fallo más profundo (hh:mm)
BC-74-C1	12.50	9:35:00 p. m.	5:32
BC-77-C1	4.50	8:15:00 p. m.	7:40
BC-78-C1	14.50	9:00:00 p. m.	5:12
BC-84-C1	14.50	7:15:00 p. m.	6:32
BC-92-C1	14.50	8:00:00 p. m.	10:31
BC-93-C2	16.00	9:50:00 p. m.	8:20
BC-93-C5	13.50	7:32:00 p. m.	7:02
BC-93-C6	24.50	9:00:00 p. m.	8:31
BC-94-C1	22.50	9:57:00 p. m.	7:32
BC-95-C2	22.50	8:20:00 p. m.	8:15
Pant 112	20.50	7:30:00 p. m.	6:05
Pant 115	16.50	7:40:00 p. m.	6:45

Fuente: Elaboración Propia con la información de las remisiones de Argos

Estos ensayos **Cross Hole** revelaron variaciones en la integridad de algunos elementos, principalmente en aquellos que requirieron tiempos prolongados de fundida. Los tramos afectados coinciden con las observaciones realizadas durante los recorridos de inspección llevados a cabo por ARPRO, donde se registraron anomalías en la calidad del concreto, particularmente en las zonas cercanas a las capas de turba.

La falta de fluidez en el concreto durante las últimas etapas de fundida, como se explicó previamente, junto con los materiales orgánicos y su fácil deformación, contribuyeron significativamente a las discontinuidades detectadas. Las capas de turba, debido a su baja capacidad portante y comportamiento heterogéneo, influyeron en la calidad final de los elementos de cimentación en las zonas más afectadas, tal como se refleja en los resultados de los ensayos Cross Hole.

Como se ha analizado a lo largo del presente informe Técnico de Peritaje, se evidencia una localización inadecuada y poco precisa de las capas de turba en el estudio de suelos entregado por ARPRO al contratista de cimentación (Ver Figura 36). Esta deficiencia en la identificación de suelos orgánicos, turbas y cenizas contribuyó a la

generación de problemas durante la fundida de los elementos de cimentación. Por lo cual, no se considera que los defectos observados fueron consecuencia de un error de control por parte del contratista, sino más bien, de una deficiente caracterización geotécnica inicial que no contempló adecuadamente la presencia y distribución de materiales orgánicos, turbas y cenizas altamente deformables, las cuales afectaron la estabilidad de la excavación y la calidad del concreto en las profundidades correspondientes.

6.5.3. Pruebas KODEN

Como parte del proceso de excavación de los elementos, EYT realizó pruebas Koden, las cuales corresponden a un sistema basado en la medición ultrasónica de la distancia y se utiliza para medir la forma y las desviaciones de pozos excavados de pilotes. Se encontraron en las hojas de vida de los elementos los resultados de pruebas realizadas a 76 de los 82 barretes construidos para el proyecto, cuyos resultados se presentan en la Tabla 16 y Tabla 17. Se observa que todos los valores de desviación de la verticalidad son inferiores al 1% establecido como límite permitido para las excavaciones. Es decir, que el 100% de los ensayos realizados indican que las excavaciones realizadas por EYT para los barretes cumplieron con el estándar de verticalidad establecido.

Tabla 16. Resultados pruebas de verticalidad Koden excavaciones realizadas para los barretes.

TIPO DE ELEMENTO	ELEMENTO	DESVIACIÓN PROMEDIO DE VERTICALIDAD (PRUEBA KODEN)
BARRETE	BC-73-C1	0,06%
BARRETE	BC-74-01	0,04%
BARRETE	BC-74-02	-0,14%
BARRETE	BC-74-C1	-0,12%
BARRETE	BC-75-01	0,03%
BARRETE	BC-75-02	-0,10%
BARRETE	BC-75-C1	0,03%
BARRETE	BC-77-01	0,04%
BARRETE	BC-77-02	0,00%
BARRETE	BC-77-C1	-0,11%
BARRETE	BC-78-C1	-0,11%
BARRETE	BC-79-C1	0,05%
BARRETE	BC-80-01	0,13%
BARRETE	BC-80-02	0,018%
BARRETE	BC-80-C1	0,19%
BARRETE	BC-81-01	-0,05%
BARRETE	BC-81-02	-0,18%
BARRETE	BC-81-C1	0,12%
BARRETE	BC-82-01	-0,10%
BARRETE	BC-82-02	-0,11%
BARRETE	BC-82-C1	-0,29%
BARRETE	BC-83-01	0,18%
BARRETE	BC-83-02	-0,11%
BARRETE	BC-83-C1	0,15%
BARRETE	BC-84-01	0,42%
BARRETE	BC-84-02	-0,10%
BARRETE	BC-84-C1	0,00%
BARRETE	BC-85-01	0,50%
BARRETE	BC-85-02	-0,06%
BARRETE	BC-85-C1	0,07%
BARRETE	BC-86-01	-0,10%
BARRETE	BC-86-02	0,04%
BARRETE	BC-86-C1	-0,15%
BARRETE	BC-87-01	-0,05%
BARRETE	BC-87-02	0,20%
BARRETE	BC-87-C1	0,14%
BARRETE	BC-88-01	0,00%
BARRETE	BC-88-02	-0,04%
BARRETE	BC-88-C1	-0,03%
BARRETE	BC-89-C1	-0,23%
BARRETE	BC-90-01	-0,15%

Fuente: Elaboración Propia con la información de hojas de vida de los elementos

Tabla 17. Resultados pruebas de verticalidad Koden excavaciones realizadas para los barretes.

TIPO DE ELEMENTO	ELEMENTO	DESVIACIÓN PROMEDIO DE VERTICALIDAD (PRUEBA KODEN)
BARRETE	BC-90-02	-0,06%
BARRETE	BC-90-C1	0,11%
BARRETE	BC-91-01	0,08%
BARRETE	BC-91-02	0,10%
BARRETE	BC-91-C1	0,03%
BARRETE	BC-92-C1	0,22%
BARRETE	BC-93-01	0,13%
BARRETE	BC-93-02	0,02%
BARRETE	BC-93-03	0,15%
BARRETE	BC-93-04	0,21%
BARRETE	BC-93-05	-0,19%
BARRETE	BC-93-06	-0,16%
BARRETE	BC-93-07	0,27%
BARRETE	BC-93-08	-0,01%
BARRETE	BC-93-09	-0,02%
BARRETE	BC-93-13	-0,03%
BARRETE	BC-93-14	-0,22%
BARRETE	BC-93-C1	0,16%
BARRETE	BC-93-C2	0,35%
BARRETE	BC-93-C3	-0,07%
BARRETE	BC-93-C4	0,00%
BARRETE	BC-93-C6	0,06%
BARRETE	BC-94-01	0,29%
BARRETE	BC-94-02	-0,09%
BARRETE	BC-94-04	-0,12%
BARRETE	BC-94-05	0,12%
BARRETE	BC-94-06	0,07%
BARRETE	BC-94-07	0,18%
BARRETE	BC-94-C1	0,18%
BARRETE	BC-94-C2	-0,09%
BARRETE	BC-94-C4	-0,19%
BARRETE	BC-94-C5	0,06%
BARRETE	BC-95-01	-0,06%
BARRETE	BC-95-C1	-0,27%
BARRETE	BC-95-C2	0,00%

Fuente: Elaboración Propia con la información de hojas de vida de los elementos

7. CONCLUSIONES DEL PERITAJE

7.1. INFLUENCIA DEL SUELO EN EL PROCESO CONSTRUCTIVO:

- A pesar de que se realizaron 21 sondeos, los requerimientos normativos para el tipo de construcción y las especificaciones de la NSR-10 no se cumplieron en su totalidad. Las deficiencias en el número de sondeos y su distribución geográfica han comprometido la evaluación precisa de las condiciones del subsuelo, lo que afectaron la calidad de las estructuras construidas.
- La suma de la exploración del subsuelo realizada considerando las 3 campañas para el Proyecto Connecta 80, en cuanto a cantidad de sondeos y profundidad mínima del 50% de los sondeos, no cumple con lo estipulado en el Título H de la Norma NSR-10. Esto implica que, al menos, 7.0 m del subsuelo más profundo fue desconocido en toda el área del edificio para las etapas de construcción de los barretes más profundos (de 85.11m), y en buena parte del predio construido donde los pilotes y barretes superaron los 60m de profundidad.
- La descripción de los materiales en los registros de perforación disponibles, resultan demasiado generales y abarcan intervalos de profundidad muy amplios, lo que impide una identificación precisa de las capas de turba y otros materiales orgánicos. La falta de detalle puede dificultar la evaluación de su impacto en la estabilidad del terreno.
- En las dos campañas de exploración de las que se tienen registros de perforación, se detectaron capas con materiales orgánicos. Sin embargo, en los parámetros geotécnicos y las recomendaciones del estudio de suelos, no se detalló ni especificó la profundidad ni el grosor de estas capas
- Es importante mencionar que la influencia de las capas de turba presentes en el terreno, pudieron haber agravado los problemas de discontinuidad del concreto. Las características inestables de estas capas, junto con un concreto no adecuado para tiempos prolongados de fundida, probablemente contribuyeron a la aparición de defectos en los elementos, como vacíos, segregación y mala adherencia, observados en los recorridos posteriores a la excavación.

7.2. PROCESO DE FUNDICIÓN DE CONCRETO:

7.1.1 Manejabilidad del concreto insuficiente con respecto al tiempo de vaciado de hormigón en los elementos:

El proceso de fundición superó el tiempo de manejabilidad establecido en el diseño (2 a 4 horas o 4 a 6 horas), lo que provocó la pérdida de fluidez y el inicio del fraguado. Como resultado, el concreto no se desplazó adecuadamente para llenar todos los espacios del elemento.

7.1.2 Incumplimiento de la tasa de suministro de concreto:

La tasa de suministro de concreto raramente alcanzó el valor pactado en el contrato (35 m³/h), lo que generó interrupciones en el proceso y extendió el tiempo de fundición. Esto derivó en la pérdida de manejabilidad del concreto a lo largo de la operación. Las principales causas de este incumplimiento fueron:

- Demoras en la llegada del concreto a la obra.
- Intervalos prolongados entre la llegada de camiones mixers.
- Deficiencia en la especificación de la mezcla utilizada, que provocó taponamientos en la tubería tremie.

7.1.3 Condiciones no previstas en el estudio de suelos:

Durante la excavación, especialmente en el costado norte del lote, se encontró un estrato de ceniza entre 1.40 m y 2.00 m de profundidad, no contemplado en el Estudio de Suelos realizado por Espinosa y Restrepo. Este estrato causó socavaciones, derrumbes y contaminación en la parte superior del concreto durante la fundición. Además, se descubrió la presencia de un estrato filtrante, también no contemplado, que comprometió la estabilidad de las excavaciones debido a la pérdida de lodo polimérico a través de dicha capa.

8. REFERENCIAS

- ARPRO. (05 de junio de 2023). CONN-712-2023 Reparación de elementos de cimentación profunda en sótanos.
- ARPRO. (10 de junio de 2021). Comunicacion CON-104 Connecta80 - rendimientos y ejecución de la cimentación profunda.
- ARPRO. (01 de julio de 2021). CON-1119 - Connecta80 - rendimientos y ejecución de la cimentación profunda.
- ARPRO. (29 de septiembre de 2021). CON-80-184-2021 - Connecta80 - incumplimientos tareas semanales y mal manejo logístico de obra.
- ARPRO. (2021 de octubre de 2021). CONN-200-2021 - Referencia a comunicación 717-PR-20137-2021.
- ARPRO. (22 de marzo de 2023). CONN-597-2023 Micropilotes y obras en Sótano 3 .
- ARPRO. (24 de febrero de 2022). CNN-80 - Reparacion Barretes y pantalones.
- ARPRO ARQUITECTOS INGENIEROS S.A. (05 de abril de 2021). CONTRATO CIVIL DE OBRA CIVIL POR PRECIO UNITARIO FIJO SUSCRITO ENTRE EQUIPOS Y TERRATEST S.A.S Y ARPRO ARQUITECTOS INGENIEROS S.A. PROYECTO COMPLEJO EMPRESARIAL CONNECTA 80. Bogotá.
- E y R ESPINOSA Y RESTREPO S.A. (29 de septiembre de 2020). Estudio de Suelos Edificio Connecta 80.
- Equipos y Terratest. (01 de febrero de 2021). Proyecto CONNECTA 80 - Oferta Técnico-Económica.
- Equipos y terratest. (10 de abril de 2023). 046-GE-20137-2023 Respuesta comunicado CONN-597-2023.
- Equipos y Terratest. (13 de agosto de 2021). 708-PR-20137-2021 Reprogramación de Obra y Plazo Contractual.
- Equipos y Terratest. (2023). Consolidado de Informes de Elementos Afectados.
- Equipos y Terratest. (12 de agosto de 2022). Remisión Informe de Mixer y solicitud de respuesta reclamación por mayor permanencia en obra.

- Equipos y Terratest. (17 de diciembre de 2021). Alerta Calidad Concreto de Elementos.
- Equipos y Terratest. (20 de junio de 2023). 033-GE-20137-2023 Respuesta comunicado CONN-712-2023.
- Equipos Y Terratest. (30 de abril de 2021). Propuesta Excavación en Viga Guía.
- Equipos y Terratest. (01 de febrero de 2021). Proyecto CONNECTA 80 - Oferta Técnico-Económica.
- Equipos y Terratest. (16 de junio de 2021). Respuesta Comunicado CON - 104.
- Espinosa y Restrepo. (17 de junio de 2022). EYR-P-2624 Pruebas de Integridad.
- Espinosa y Restrepo. (2023). EYR-ST 439 Concepto EyR.
- Gregory Baecher y John Christian. (2003). Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering.
- Ing. Armando Palomino & Ing. Jhon Manosalva. (17 de septiembre de 2021). PLANTA LOCALIZACIÓN DE PILOTES, BARRETES Y PANTALLAS.
- MAKRO DE COLOMBIA S.A. (s.f.). Plano - Localización General.

9. ANEXOS

- ANEXO A. Información del Perito.
- ANEXO B. Información contractual, Oferta Técnica- económica del Proyecto y órdenes de compra.
- ANEXO C. Estudios de Suelos realizados por EyR
- ANEXO D. Exploración de Referencia realizada por IGR.
- ANEXO E. Hojas de Vida y Control de Hormigonado de los Elementos construidos
- ANEXO F. Correspondencia entre ARPRO, Equipos y Terratest (EyT) y la aseguradora JMALUCCELLI

- ANEXO G. Registro fotográfico de los elementos con afectaciones según recorrido de ARPRO.
- ANEXO H. Informes de Integralidad.
- ANEXO I. Informes de Trazabilidad