Una vez revisada la información técnica recibida bajo el documento de Radicado DC 202310501441251 con Referencia: CITACIÓN INICIO DE DECLARATORIA DE SINESTRO DE CALIDAD CONFORME CON EL ARTÍCULO 86 DE LA LEY 1474 DE 2011 POR EL CONTRATO N° IDU-1106-2016 CON PÓLIZA DE CUMPLIMIENTO No. 05 GU132524 EXPEDIDA POR ASEGURADORA DE FIANZAS S.A. – CONFIANZA, Integral S.A. realiza las siguientes apreciaciones:

La documentación técnica no estudia todas las posibles causas que pudieran conducir a que los anclajes construidos bajo el Contrato de Obra 1712 de 2020 no hayan superado las pruebas de carga puesto que los análisis se concentraron en la revisión de la parametrización que el Consultor (Consorcio Troncal Caracas) realizó en su momento para los diseños, dejando de lado los análisis que muestren la forma en que los anclajes fueron construidos. Cuando se hace un análisis científico se formulan las posibles hipótesis y se evalúa cada una para estimar la probabilidad de cada una de las causas probables y en este caso se centró en demostrar sola una posible causa.

De acuerdo con lo indicado en el numeral 10.5 del estudio geotécnico, el Contratista de Obra debió entregar la memoria técnica con la información detallada de los métodos, materiales, los equipos que se propuso utilizar para hacer las perforaciones, para ensamblar, instalar, inyectar, tensionar y probar los anclajes. Este documento no fue analizado y puede contener factores que incidan en los resultados de las pruebas de tensionamiento. Tampoco se presentaron los registros de la verificación de la estanqueidad de los huecos para los tendones, razón por la cual se puede estar obteniendo bulbos deficientes pues el proceso de impermeabilización mejora la consolidación de la perforación en la zona donde irá el bulbo, lo que aumenta la adherencia de este con el suelo que lo rodea. Tampoco se muestra el procedimiento que se llevó a cabo para garantizar la limpieza de la perforación.

No se presenta el procedimiento que se llevó a cabo para realizar el llenado inicial del hueco con lechada ni tampoco el procedimiento que se llevó a cabo para la inyección de lechada a presión. No se muestran los obturadores ni los manguitos que se utilizaron ni se presentan los registros de las presiones y caudales de inyección de lechada, ni el procedimiento que se llevó a cabo para verificar que la zona del bulbo se encuentre completamente llena de lechada y que la presión de inyección se mantuvo hasta el momento en que la lechada hubiera fraguado.

No se analiza el tiempo que trascurre entre el momento en el que los huecos fueron perforados y el momento en que se introdujeron los tendones. Tampoco se analizó los tiempos que transcurren entre la introducción del tendón y la inyección de lechada.

No se analizó el comparativo entre la elongación medida durante la prueba de tensionamiento y la curva teórica de tensión-deformación del anclaje, en búsqueda de posibles desviaciones del comportamiento.

Parte fundamental del éxito de las pruebas de carga en anclajes activos es la correcta inyección de la lechada en el bulbo, de forma que se garantice la formación de este y su fraguado antes del inicio del tensionamiento. Para eso se debieron utilizar métodos de inyección repetitiva selectiva (IRS) o repetitiva (IR) como fue recomendado por el Consultor, pero esto no fue estudiado.

En los planos del Proyecto (Plano 48) se muestra de forma esquemática los elementos que componen el anclaje, ellos incluyen centralizadores y separadores, con sus separaciones máximas; estos sirven para obtener la correcta disposición espacial del anclaje dentro de la perforación. También se muestra el tubo de polipropileno corrugado (membrana de protección) que reviste los elementos del bulbo, las camisas de protección en el tramo libre, entre otros elementos que conforman el anclaje. La información técnica carece de la revisión del cumplimiento de todas estas variables.

Hasta este momento, se puede concluir que no está probada la falencia de los diseños, puesto que no hubo demostración amplia y suficiente que permitiera descartar errores constructivos o procedimentales para la construcción de los anclajes.

Por otra parte, en el literal IV de la citación (Radicado DG 202310501441251) titulado: INFORME QUE SUSTENTA LAS PRESUNTAS INCONSISTENCIAS DE CALIDAD EN LOS ESTUDIOS Y DISEÑOS, se indica que *““De las 10 afirmaciones en las que se presume la deficiencia de diseño, de acuerdo con el informe de interventoría “Informe técnico de hallazgos de los estudios y diseños proporcionados por el IDU, con relación al muro anclado”, se está de acuerdo con las indicadas en los numerales 6, 7 y 10, en las cuales principalmente, el inadecuado procesamiento del N de campo para la obtención del N60 que posteriormente es utilizado en las diferentes correlaciones con las cuales se obtienen parámetros geotécnicos, la definición de parámetros de resistencia de diseño sobrestimados y la falta de chequeos de la estabilidad interna (interacción bulbo suelo), afectan el diseño del muro anclado propuesto, lo que constituye error técnico de diseño que afecta la estabilidad del corte en el que se planteó el muro anclado.*

*Las sobrestimaciones en los parámetros de resistencia al corte derivados del mal procesamiento de la información de campo y laboratorio, conllevó a que los análisis geotécnicos realizados subestimaran los elementos de contención necesarios para obtener un adecuado comportamiento de las obras.*

*En cuanto la determinación de la resistencia de los anclajes, la sobrestimación de los parámetros geotécnicos del suelo conllevo a asignar fuerzas de tensionamiento que no se pudieron alcanzar como se demostró en las diferentes pruebas de carga, debido que los suelos en realidad presentaban condiciones de resistencias inferiores a las definidas por el consultor”.*” (Subrayado fuera de texto)

**Se resaltan tres presuntas falencias**:

* Deficiencias en la parametrización por presunto inadecuado procesamiento del N de campo,
* Falta de chequeos de la estabilidad interna (interacción bulbo suelo)
* Asignación de fuerzas de tensionamiento que no se pueden alcanzar durante las pruebas de carga.

Al respecto se debe tener en cuenta lo siguiente:

1. Con relación al numeral 6, El Consultor en su informe presentó dentro del numeral 4.1 “Trabajos de Campo y Laboratorio”. el subnumeral 4.1.1 denominado “Ensayos de Penetración Estándar (SPT)”, en el que se presentan los resultados de los ensayos de SPT para todas las perforaciones y profundidades. Es importante notar entonces que, aunque la tabla 4-18 presenta los resultados de corrección SPT de los sondeos preliminares, estos no fueron la única fuente que se utilizó para determinar los parámetros de resistencia para las arcillas en las que quedarían embebidos los bulbos de los anclajes. Esto queda demostrado más adelante en el mismo informe, en el numeral 4.4 “Parámetros Geotécnicos” en donde se indica que “*Los parámetros de resistencia y deformación se determinaron con base en los resultados obtenidos en los ensayos de campo y de laboratorio. Complementariamente, se emplean correlaciones empíricas para verificar y complementar los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio. Estas correlaciones se basan en los resultados de ensayo de penetración estándar (SPT) y en las propiedades índices de los suelos.*” (Subrayado fuera de texto). Es claro entonces que, en el caso de presentarse un error de cálculo en el proceso para corregir el valor de N del ensayo, este no incidiría de forma directa en los resultados puesto que el Consultor utilizó estas correlaciones para verificación y complementación de los resultados de los ensayos de laboratorio.

En el requerimiento 6 se puede leer que: “*(…) sin embargo, se observa un error sistemático en el cálculo del N60, el cual resulta mayor que el valor de N45 (lo cual es ilógico), generando una sobre-estimación del valor de N60 del orden del 78%.(…)*” frente a esto, Integral S.A. indica que la correlación empleada por el Consultor no es la única que se puede usar para este tipo de análisis, sino que, por el contrario, varios autores presentan correlaciones igualmente válidas, con amplia diferencia en sus resultados como se puede apreciar en la Figura 1. Por ejemplo, en el mismo artículo de González (1999)[[1]](#footnote-2) se aprecian varias fórmulas para determinar Cn; en especial se resaltan dos: Seed-Idriss Cn=1-K\*log(Rs) el cual utiliza las recomendaciones de Marcuson para K (1.41 para Rs<1 y 0.92 para el resto), pero también se observa que para K=1.25 la ecuación de Seed-Idriss se convierte en la propuesta por Seed (ecuación 5b del mismo artículo) que también puede ser aplicable para obtener Cn. Es por esto, y por otros varios motivos que el ensayo SPT presenta amplia variabilidad en sus resultados, lo cual es natural, razón por la que no se debe tomar sus resultados como deterministas, lo que justifica la forma en que el Consultor procedió en su diseño, llevándolo a subsanar el error involuntario de digitación del valor que aplicaba para K, en algunos de sus resultados.



Figura 1: Correlación presión de confinamiento y esfuerzos admisibles

Fuente: Recortado de Ruge (2014)[[2]](#footnote-3)

Las correlaciones con el número de golpes del ensayo de penetración estándar dan valores conservadores de resistencia en suelos finos de alta plasticidad como es este caso, por lo tanto, se recomienda utilizar esta metodología como herramienta guía o complementaria para calcular los parámetros de resistencia de los suelos. Cuando no se cuenta con información de **ensayos directos** se debe tener en cuenta que los resultados del ensayo del SPT inducen a tener valores conservadores de la cohesión. González, (2014)[[3]](#footnote-4).

2. Con respecto al numeral 7, hay que tener en cuenta que el comportamiento de los suelos que componen los taludes del Patio Taller es de naturaleza cohesiva. Para este tipo de suelos, el parámetro que mejor representa su resistencia al corte es la cohesión. Una buena medida para determinar esta resistencia en suelos cohesivos es el ensayo de compresión inconfinada, ya que es relativamente fácil de ejecutar y arroja información real de la resistencia lo que permite hacer un adecuado uso de sus resultados.

A continuación, se presenta un análisis profundo de los resultados de los ensayos de compresión simple reportados por el Consultor en la tabla 4.34 de su informe, para posteriormente realizar una comparación entre estos y los parámetros que utilizó el Consultor para los análisis de estabilidad.

En primer lugar, se tomó cada resultado del ensayo de compresión inconfinada, se supuso un valor para el ángulo de fricción y con estos dos valores se despeja la cohesión c’ de la ecuación del criterio de ruptura de Mohr – Coulomb. De esta forma se obtuvo la Tabla 1:

Tabla 1: Estimación de los parámetros de resistencia al corte a partir de los ensayos de compresión inconfinada.

| **Sondeo** | **Referencia** | **Prof. (m)** | **qu(T4-34)** | **f=0°** | **f=10°** | **f=20°** | **f=30°** | **f=40°** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Inicio** | **Fin** | **(kPa)** | **c' (kPa)** | **c' (kPa)** | **c' (kPa)** | **c' (kPa)** | **c' (kPa)** |
| SP-1 | SP-1 | 11,55 | 12,00 | 160 | 80 | 67 | 56 | 46 | 37 |
| SP-2 | SPT-5 | 6,05 | 6,50 | 190 | 95 | 80 | 67 | 55 | 44 |
| SP-2 | SPT-9 | 11,55 | 12,00 | 340 | 170 | 143 | 119 | 98 | 79 |
| SP-3 | M5 | 6,05 | 6,50 | 240 | 120 | 101 | 84 | 69 | 56 |
| SP-3 | M8 | 9,50 | 11,00 | 350 | 175 | 147 | 123 | 101 | 82 |
| SP-4 | NQ | 5,00 | 6,50 | 100 | 50 | 42 | 35 | 29 | 23 |
| SP-4 | SPT-8 | 10,55 | 11,00 | 170 | 85 | 71 | 60 | 49 | 40 |
| SP-5 | NQ | 9,00 | 10,50 | 120 | 60 | 50 | 42 | 35 | 28 |
| SP-5 | NQ | 10,50 | 12,00 | 90 | 45 | 38 | 32 | 26 | 21 |
| SP-6 | SP-6 | 6,00 | 7,50 | 340 | 170 | 143 | 119 | 98 | 79 |
| SP-6 | SP-6 | 11,55 | 12,00 | 180 | 90 | 76 | 63 | 52 | 42 |
| SP-7 | SP-7 | 5,55 | 6,00 | 170 | 85 | 71 | 60 | 49 | 40 |
| SP-7 | SP-7 | 10,80 | 12,30 | 340 | 170 | 143 | 119 | 98 | 79 |
| SP-8 | SPT-3 | 3,00 | 3,50 | 150 | 75 | 63 | 53 | 43 | 35 |
| SP-8 | NQ | 9,00 | 10,50 | 100 | 50 | 42 | 35 | 29 | 23 |
| SP-9 | M3 | 2,05 | 2,50 | 210 | 105 | 88 | 74 | 61 | 49 |
| SP-9 | M6 | 6,05 | 6,50 | 280 | 140 | 117 | 98 | 81 | 65 |
| SP-9 | M9 | 9,50 | 11,00 | 60 | 30 | 25 | 21 | 17 | 14 |
| SP-10 | SPT-3 | 3,05 | 3,50 | 310 | 155 | 130 | 109 | 89 | 72 |
| SP-10 | NQ | 23,00 | 24,00 | 60 | 30 | 25 | 21 | 17 | 14 |
| SP-11 | SPT-2 | 1,55 | 2,00 | 80 | 40 | 34 | 28 | 23 | 19 |
| SP-11 | SPT | 10,55 | 11,00 | 140 | 70 | 59 | 49 | 40 | 33 |
| SP-15 | M2 | 1,55 | 2,00 | 350 | 175 | 147 | 123 | 101 | 82 |
| SP-15 | M4 | 4,55 | 5,00 | 370 | 185 | 155 | 130 | 107 | 86 |
| SP-15 | M7 | 8,00 | 9,50 | 160 | 80 | 67 | 56 | 46 | 37 |
| SP-16 | SPT-3 | 3,05 | 3,50 | 210 | 105 | 88 | 74 | 61 | 49 |
| SP-16 | NQ | 5,00 | 6,50 | 80 | 40 | 34 | 28 | 23 | 19 |
| SP-16 | NQ | 9,50 | 11,00 | 110 | 55 | 46 | 39 | 32 | 26 |
| SP-17 | SPT-8 | 9,50 | 11,00 | 290 | 145 | 122 | 102 | 84 | 68 |
| **Promedio** | **198** | **99** | **83** | **69** | **57** | **46** |

Procediendo de la forma indicada en el párrafo anterior, y graficando los promedios de la cohesión c’ obtenidos para cada ángulo de fricción efectiva, se tiene la Figura 2:



Figura 2: Comparativo entre parámetros de resistencia al corte obtenidos a partir de de los ensayos de compresión inconfinada vs los parámetros utilizados por el Consultor para el diseño.

Cómo se puede observar en la Figura 2, el Consultor fue conservador al definir los parámetros del criterio de ruptura puesto que en cualquier caso se encuentra por debajo de la resistencia medida de los **ensayos directos** de compresión inconfinada que son representativos de los suelos cohesivos y además, representan la condición más extrema a la que puede estar sometida una arcilla pues carece de confinamiento lateral pudiendo también desarrollar presión intersticial que no es medida en el ensayo mientras que en el ejercicio arriba realizado esto no se tuvo en cuenta lo que hace que este análisis esté del lado conservador.

En conclusión, el Consultor estima los parámetros de resistencia de forma indirecta del SPT lo que lleva a tomar valores más conservadores de lo medido directamente con el ensayo de compresión inconfinada.

Esta es una de las limitaciones del SPT en suelos finos, sobre todo cuando cuentan con alta plasticidad como en este caso, y teniendo en cuenta que la resistencia al corte de los suelos está definida por pares de cohesión y ángulos de fricción (c’-f’) que deben ir en conjunto **y no por separado** como lo presenta la DTP; se puede concluir que los diseños del Consultor son confiables.

3. Frente a lo indicado en el numeral 10 relacionado con el cálculo de la adherencia entre el terreno natural y el bulbo de los anclajes, Integral S.A. remitió al Instituto de Desarrollo Urbano IDU, comunicación con fecha 13 de julio de 2021 con consecutivo TR-TM-6593-21 (documento 17.1 20215261137792 comunicado TR-TM-6593-21 relacionado en la citación PAS). En dicha comunicación, se da respuesta a los correos electrónicos del IDU del 09/06/2021 y 16/06/2021, a los comentarios del contratista de obra del Patio la reforma al componente de Geotecnia del tramo 3 y al comunicado E-IDU-1712-0376-21. En ese comunicado se puede leer en la respuesta de la Observación 5, que el Consultor emitió un oficio aclaratorio con consecutivo 4460-CTC-IDUTC-2171-2021 el cual se entregó anexo a esa comunicación (ver documento 17.1 de los anexos a la citación del PAS).

El documento tiene por Asunto: “Nota aclaratoria anclajes, según mesa de trabajo del día 25 de mayo de 2021” y contiene el cálculo de la adherencia admisible para todas las configuraciones de anclajes propuestas en el diseño. Si bien se realizó la nota aclaratoria posterior al informe de diseño, estos resultados sí fueron tenidos en cuenta de forma implícita para la definición de las longitudes del bulbo, tampoco se puede afirmar que no se entregó dicha información después de haber sido solicitada pues en el documento 17.1 de los anexos de la citación se demuestra que sí fueron entregados.

Agregando a lo anterior, procedemos a demostrar que con los parámetros del terreno se podían alcanzar las cargas de diseño (con 222 kN de carga máxima), inclusive con los parámetros supuestos por la Dirección Técnica de Proyectos (DTP) del IDU.

El siguiente cuadro (Tabla 2) muestra la carga última de un tensor empleando los parámetros de la DTP, del Consultor y de los ensayos de compresión inconfinada :

Tabla 2: Carga última de un tensor para diferentes parámetros de resistencia al corte.



El cuadro anterior (Tabla 2) se compone de tres conjuntos de parámetros. Los primeros son los que utiliza la DTP para cada uno de los estratos. Los segundos son todas las combinaciones posibles de c’ y f’ utilizados por el Consultor en el diseño original y por último los terceros corresponden a la resistencia al corte inconfinada Su, definida por la DTP en la tabla 6 del Documento Tecnico de Soporte (DTS).

Nótese que todos los conjuntos de parámetros arrojan capacidades últimas para los anclajes superiores a los 250 kN, a excepción de la columna 1 del tercer grupo, que, sin embargo, está por encima de los 222 kN que corresponde a la carga de diseño más alta.

Así mismo, los resultados son conservadores si se comparan con los resultados de la compresión inconfinada, y a pesar de ello, se observa que los tensores fallan para cargas de 80 kN, 180 kN y 230 kN. En cualquiera de los casos, los tensores soportaban la tensión de diseño, de modo que no debieron haber fallado los tensores antes de alcanzar estas cargas.

Por todo lo anterior, Integral S.A. considera que no hay deficiencias en el estudio que realizó el Consultor y que sus hipótesis de diseño son alcanzables en obra; para esto, se debe adaptar el procedimiento, los materiales y los equipos utilizados durante construcción. Si por alguna razón el constructor no logra alcanzar las cargas de diseño, se debe solicitar el rediseño de los anclajes al Consultor, para que sea este el que se ajuste al procedimiento constructivo aprobado por el Interventor de Obra.

En conclusión, con cualquier combinación de parámetros aun con los estimados en forma indirecta por DTP se debieron alcanzar, al menos, las cargas de diseño de (222 kN) y con los valores de diseño que se ajustan a los **ensayos directos** de laboratorio se obtienen las cargas con factor de seguridad apropiado.

**CONCLUSIONES**

1. El estudio técnico que revisa los motivos de la falla en los anclajes no abordó de manera exhaustiva todas las posibles causas que podrían haber llevado a que los anclajes construidos no superaran las pruebas de carga. El análisis se centró en la revisión de la parametrización utilizada en por el Consultor en el diseño, pero no se consideraron aspectos cruciales relacionados con la construcción de los anclajes, como el proceso de perforación, estanqueidad del barreno, inyección de lechada, limpieza de perforaciones, entre otros, por lo tanto, no hay claridad suficiente para determinar lo realmente ocurrido.
2. El Consultor utilizó correlaciones empíricas basadas en los resultados del ensayo de penetración estándar (SPT) para verificar los parámetros de resistencia adoptados para diseño. Esta verificación fue realizada del lado de la seguridad pues, de acuerdo con González, (2014)[[4]](#footnote-5), las correlaciones con el número de golpes del ensayo de penetración estándar dan valores conservadores de resistencia en suelos finos de alta plasticidad, como es este caso. Por lo tanto, se recomienda utilizar esta metodología como herramienta guía o complementaria para calcular los parámetros de resistencia de los suelos y de esta forma actuó el Consultor en su diseño.
3. Incluso con diversos conjuntos de parámetros de resistencia, se demostró que los anclajes deberían haber sido capaces de alcanzar o superar las cargas de diseño especificadas (222 kN). Esto sugiere según los diseños, los anclajes debían haber funcionado correctamente si se hubieran seguido los procedimientos y se hubieran utilizado los materiales y equipos adecuados durante la construcción.
4. Integral S.A. remitió al IDU comunicación con fecha 13 de julio de 2021 con consecutivo TR-TM-6593-21 el cual en sus anexos contiene el oficio aclaratorio que el Consultor emitió (consecutivo 4460-CTC-IDUTC-2171-2021) y que tiene por Asunto: “Nota aclaratoria anclajes, según mesa de trabajo del día 25 de mayo de 2021” el cual contiene el cálculo de la adherencia admisible para todas las configuraciones de anclajes propuestas en el diseño y explica la forma en que se diseñó el componente geotécnico del bulbo de los anclajes. Por lo tanto, este requerimiento quedó atendido en esa fecha.
1. González (1999)."*Estimativo de parámetros efectivos de resistencia con el SPT*". X Jornadas geotécnicas a la ingeniería Colombiana –SCI-SGC. 1999 [↑](#footnote-ref-2)
2. Ruge (2014). "*Estudio de resultados ensayos de penetración estándar (SPT) para el factor de corrección (Cn) y el ángulo de fricción (f) del suelo usando diferentes tipos de correlaciones*". Trabajo de Grado, Universidad Católica de Colombia, Bogotá, 2014. [↑](#footnote-ref-3)
3. González (2014). “*Calibración de método de parámetros de resistencia con SPT en suelos de la región llanera Colombiana*”. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2014. [↑](#footnote-ref-4)
4. González (2014). “*Calibración de método de parámetros de resistencia con SPT en suelos de la región llanera Colombiana*”. Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2014. [↑](#footnote-ref-5)