



**PARTICIPACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN PUENTE E INTERCAMBIADOR  
ENLACE TRES ESQUINAS FUNZA, CUNDINAMARCA**

**ANDRÉS FELIPE DUQUE ARANGO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2016**

**APOYO EN LA CONSTRUCCIÓN PUENTE E INTERCAMBIADOR ENLACE  
TRES ESQUINAS FUNZA, CUNDINAMARCA**

**ANDRÉS FELIPE DUQUE ARANGO**

**Trabajo realizado para obtener el título de  
Ingeniería Civil**

**Director de práctica  
Ph.D. NÉSTOR IVÁN PRADO GARCÍA**

**Supervisor de práctica  
Ing. FERNANDO REYES GIRALDO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
SECCIONAL BUCARAMANGA  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2016**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Firma presidente del jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bucaramanga, diciembre de 2016**

## **DEDICATORIA**

A mi mamá Maritza Arango Restrepo por ser esa persona inigualable y mi mayor ejemplo a seguir, a mi esposa Hansely Valentina Takacs Sosa por el apoyo y el amor incondicional en todos los momentos difíciles que pudimos pasar y por ultimo a esa persona que todavía no llega a mi vida, pero seguro colmara de felicidad mis años; a mi Bebé. Mis mayores logros siempre serán dedicados a mis tres grandes  
amores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Reitero mi encarecido agradecimiento, en primera instancia a Dios, por brindarme la posibilidad de cursar y culminar con éxito mi anhelada carrera universitaria, también a la institución Universidad Pontificia Bolivariana, por la enorme enseñanza prestada gracias a su acreditación de alta calidad, especialmente a Néstor Iván Prado García, Ph.D, Director de Práctica.

También agradezco y admiro al Ing. Fernando Reyes Giraldo, Director de Obra del Consorcio Constructor Obras CCFC Consorcio 4C y, al Ing. Melquisedec Moreno Vargas, Jefe de Concretos del Consorcio 4C, quienes han sido un pilar fundamental en mi aprendizaje práctico, al transmitirme su gran experiencia profesional y constante guía.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>13</b>
2.1.	Objetivo General.....	13
2.2.	Objetivos Específicos.....	13
<b>3.</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES.....</b>	<b>14</b>
3.1.	MURO EN TIERRA ARMADA .....	15
<b>3.1.1.</b>	<b>Drenes Verticales .....</b>	<b>18</b>
<b>3.1.2.</b>	<b>Paneles de Concreto .....</b>	<b>24</b>
3.2.	PILOTAJE.....	28
<b>3.2.1.</b>	<b>Armadura .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Procedimiento del Pilotaje .....</b>	<b>30</b>
3.3.	ZAPATAS.....	38
<b>3.3.1.</b>	<b>Zapata Sobre el Eje 4.....</b>	<b>40</b>
<b>3.3.2.</b>	<b>Zapata Sobre el Eje 2 y Eje 3 .....</b>	<b>47</b>
3.4.	PILAS.....	50
<b>3.4.1.</b>	<b>Pilas sobre eje 4 .....</b>	<b>52</b>
<b>3.4.2.</b>	<b>Pilas sobre eje 2 y eje 3.....</b>	<b>52</b>
3.5.	VIGA CABEZAL .....	53
3.6.	VIGAS POSTENSADAS .....	57
<b>3.6.1.</b>	<b>Proceso de Tensionamiento .....</b>	<b>60</b>
<b>4.</b>	<b>APORTE AL CONOCIMIENTO .....</b>	<b>67</b>
<b>5.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>70</b>

## TABLA DE FIGURAS

Figura 1: Render oficial Tres Esquinas .....	10
Figura 2: Localización de muros en tierra armada .....	12
Figura 3: Material seleccionado de tierra armada .....	14
Figura 4: Correas corrugadas en polipropileno .....	14
Figura 5: Demarcación topográfica de drenes verticales sobre el eje 1.....	16
Figura 6: Drenes verticales terminados sobre el eje 1 .....	16
Figura 7: Perforación de drenes verticales sobre el eje 1 .....	17
Figura 8: Tubería en secciones de 3m .....	18
Figura 9: Arena de río, piedra rajón y triturado sobre el eje 5 .....	19
Figura 10: Detalle Viga Solera .....	19
Figura 11: Viga solera muro en tierra armada sobre el eje 5 .....	20
Figura 12: Detalle muro 3 .....	20
Figura 13: Detalle muro 4 .....	21
Figura 14: Nivel freático del muro en tierra armada sobre el eje 1.....	22
Figura 15: Primera línea de paneles del muro en Tierra armada sobre el eje 1 ....	21
Figura 16: Nueva capa de material sobre el eje 1 .....	23
Figura 17: Correas puestas en sitio, muro de tierra armada sobre el eje 1 .....	24
Figura 18: Material compactado y listo para recibir correas muro sobre el eje 1 ...	24
Figura 19: Armadura de pilote mal fabricada .....	26
Figura 20: Armadura de pilote bien fabricada .....	26
Figura 21: Movimiento de redes sobre el eje 2 .....	27
Figura 22: Movimiento de redes sobre el eje 4 .....	28
Figura 23: Máquina Piloteadora .....	29
Figura 24: Balde perteneciente a la piloteadora.....	29
Figura 25: Camisa para la retención de agua con polímero.....	30
Figura 26: Polygel.....	30
Figura 27: Armadura lista para traslapar .....	31
Figura 28: Fabricación de panelas .....	32
Figura 29: Panelas puestas en sitio .....	33

Figura 30: Ajuste del pinocho.....	33
Figura 31: Tubería tremie.....	33
Figura 32: Ensayo slump .....	34
Figura 33: Detalle zapata sobre el eje 4 .....	38
Figura 34: Detalle zapata sobre el eje 3 .....	38
Figura 35: Mejoramiento de los taludes con box coulvert.....	37
Figura 36: Mejoramiento de los taludes con lámina.....	37
Figura 37: Fundida de solado .....	38
Figura 38: Descabece de los pilotes .....	39
Figura 39: Agregando flejes a los pilotes después del descabece .....	39
Figura 40: Detalle refuerzo inferior zapata sobre el eje 4 .....	40
Figura 41: Amarre de refuerzo inferior zapata sobre el eje 4.....	41
Figura 42: Detalle refuerzo superior zapata sobre el eje 4 .....	42
Figura 43: Amarre refuerzo superior zapata sobre el eje 4.....	42
Figura 44: Puesto en sitio acero pilas sobre el eje 4 .....	43
Figura 45: Zapata fundida sobre el eje 4 .....	43
Figura 46: Nivelación de cota de solado.....	44
Figura 47: Solado zapata sobre el eje 2 y 3.....	45
Figura 48: Detalle refuerzo superior zapata sobre el eje 2 y 3 .....	48
Figura 49: Detalle refuerzo inferior zapata sobre el eje 2 y 3 .....	48
Figura 50: Detalle pila sobre el eje 4.....	48
Figura 51: Detalle pila sobre el eje 2 y 3.....	48
Figura 52: Detalle refuerzo pilas .....	49
Figura 53: Pilas fundidas.....	50
Figura 54: Izaje estructura formaleta para viga cabezal.....	51
Figura 55: Detalle refuerzo viga cabezal sobre el eje 2 y 3 .....	52
Figura 56: Refuerzo viga cabezal sobre el eje 2 y 3.....	53
Figura 57: Vaciado concreto con autobomba .....	54
Figura 58: Pistas para refuerzo viga postensada 19.2 m.....	55
Figura 59: Posición de ductos que confinan los cables de tensionamiento.....	55
Figura 60: Vigas postensadas de 19.2 m listas para izar .....	56

Figura 61: Ductos y acoples de fleje de acero galvanizado .....	57
Figura 62: Ductos posicionados con taches.....	58
Figura 63: Refuerzo helicoidal o espiral .....	58
Figura 64: Cables de tensionamiento almacenados .....	59
Figura 65: Torones y cuñas enhebradas en el bloque de anclaje.....	60
Figura 66: Gato utilizado para tensionamiento.....	61
Figura 67: Elongación.....	61
Figura 68: Tensión aplicada .....	61
Figura 69: Cables cortados listos para sellar .....	62
Figura 70: Manguera de polipropileno para inyección de lechada.....	62

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** PARTICIPACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN PUENTE E INTERCAMBIADOR ENLACE TRES ESQUINAS FUNZA, CUNDINAMARCA

**AUTOR(ES):** Andrés Felipe Duque Arango

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Néstor Iván Prado García

### RESUMEN

El Presente trabajo de grado se realizó con el objetivo de identificar los procesos constructivos utilizados al momento de realizar la construcción de un puente utilizando vigas postensadas en I. Mediante la construcción se pudo observar como es de impredecible una obra, con muchos imprevistos mostrados a lo largo del proyecto, siendo el más riesgoso el nivel freático presente gracias a la cercanía del humedal Gualí. Para contribuir con el desarrollo satisfactorio del proyecto, se hizo un acompañamiento y un control directo sobre los contratistas que cumplían con la labor constructiva. Este control de calidad que se hizo de manera minuciosa era de suma importancia, pues esto era la única garantía de que las actividades a realizar se cumplieran de acuerdo a como están los diseños; pasando por pilotajes, zapatas, pilas, vigas cabezales, vigas postensadas y finalmente el tablero vehicular. Pues bien, a continuación, se mostrará la labor hecha durante este proyecto y las actividades específicas que permitieron lograr avances en la construcción del puente e intercambiador del enlace Tres Esquinas en Funza, Cundinamarca.

### PALABRAS CLAVES:

Vigas Postensadas, Pilotes, Zapatas, Vigas Cabezales, Nivel Freático, Control.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** PARTICIPATION IN THE CONSTRUCTION BRIDGE AND EXCHANGER TRES ESQUINAS, FUNZA, CUNDINAMARCA

**AUTHOR(S):** Andrés Felipe Duque Arango

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Néstor Iván Prado García

### **ABSTRACT**

The present work of degree was realized with the objective to identify the constructive processes used at the moment of the construction of a bridge using post-tensioned beams. Through the construction could be observed as it is of unpredictable a work, with many unforeseen showing all the project live, being the most dangerous the phreatic level present thanks to the proximity of the wetland Gualí. To contribute to the satisfactory development of the project, there was an accompaniment and direct control on the contractors who fulfilled the constructive work. This quality control, which was done in a thorough manner, was of the utmost importance, as this was the only guarantee that the activities to be carried out would be carried out according to the designs; Passing piles, foundation slab, columns, head beams, post-tensioned beams and finally the vehicle dashboard. Then, the work done during this project and the specific activities that allowed progress in the construction of the Tres Esquinas bridge and exchanger in Funza, Cundinamarca, will be shown below.

### **KEYWORDS:**

Post-tensioned beams, Piles, Foundation Slab, Head Beams, Phreatic Level, Control.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## 1. INTRODUCCIÓN

Toda obra civil nace de una necesidad en nuestra comunidad; si dicha necesidad goza de los recursos necesarios para afrontarla, la idea se plasma en la realidad y esta soluciona los problemas de miles de personas.

En este caso particular la necesidad nace en la población de Funza, Cundinamarca. Necesidad por cual se ha venido luchando desde el año 1995 y por la cual varias alcaldías buscaron los recursos necesarios para ejecutarla. Finalmente, con la adjudicación por parte del estado a la Concesionaria Concesiones Corficolombiana CCFC esta necesidad, después de 21 años se está volviendo una realidad.

El proyecto consta de la construcción de un puente vehicular a 4 luces con un total de 137,85 m de largo, que conectará a Funza con el eje vial Bogotá (Fontibón) – Facatativá por la zona denominada tres esquinas.

El trabajo consistió en la supervisión y control de la construcción de pilotaje de 30 m de profundidad, tres (3) zapatas, dos (2) estructuras de muros en tierra armada para los estribos del puente, construcción de vigas cabezales, dieciséis (16) vigas postensadas y finalmente la construcción de la losa donde transitan los vehículos.

El puente, está pronosticado para ser terminado en enero del 2018 y por fin los funzanos y la comunidad circundante pueda mejorar su movilidad para reducir el riesgo que implica el tránsito sobre una vía de tal importancia.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General.**

- Aplicar el método científico y constructivo, que, mediante parámetros establecidos en la Norma NSR-10 y la Norma Colombiana de Diseño de Puentes del Invia, permiten la construcción de un Puente en Vigas Postensadas.

### **2.2. Objetivos Específicos.**

- ✓ Aplicar conocimiento basado en la interacción del equipo que conforma todo el personal del consorcio, e incluso los contratistas.
- ✓ Planificar todas las etapas que forman parte del proceso de construcción para que se obtengan resultados óptimos y oportunos, evitando imprevistos, problemas o demoras posteriores.
- ✓ Supervisar y controlar que el avance de obra correspondiente al contratista esté acorde a los diseños aprobados por la Agencia Nacional de Infraestructura ANI.
- ✓ Alimentar la experiencia profesional progresivamente mediante los conocimientos adquiridos durante las jornadas en campo.

### 3. DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

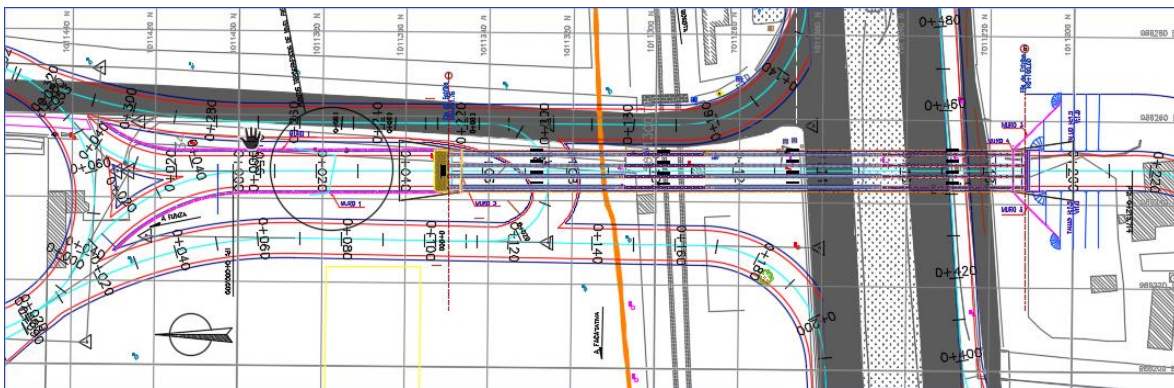
El conjunto de actividades realizadas bajo la estadía en el Consorcio Constructor Obras CCFC Consorcio 4C, consistió en dar apoyo al grupo de profesionales que lo integraban, servir como enlace directo con los contratistas y de ese modo, garantizar que la construcción sea acorde a los diseños estructurales y geotécnicos planteados.



Figura 1: Render Oficial Tres Esquinas

### 3.1. MURO EN TIERRA ARMADA

Un muro en tierra armada es un elemento estructural hecho completamente en material seleccionado compactada por capas, encofradas en paneles de concreto de diferentes medidas, conocidos coloquialmente como escamas y correas corrugadas que le aporta estabilidad a la estructura. Su principal función es servir de apoyo a los estribos del puente en donde empieza y termina el tablero del mismo.



**Figura 2: Localización de muros en tierra armada. (Dis Diseñadores)**

Están especificadas en el diseño las indicaciones para la construcción de los muros en tierra armada, de acuerdo con las cuales hay que cumplir con los siguientes requerimientos:

- El suelo de cimentación de la estructura debe ser nivelado en un ancho igual o mayor a la longitud del refuerzo (correas), mostrado en los planos y debe tener la capacidad de soportar el relleno.
- La ubicación de los filtros fue sugerida por el contratante y dependió de la cantidad de agua en la zona, así como el tipo de suelo y las recomendaciones del estudio geotécnico e hidrológico del sitio.
- Anterior a la construcción de los muros, la fundación, si no es roca debe compactarse de acuerdo a las indicaciones del ingeniero de suelos. Cualquier suelo que se encontró inapropiado debió moverse y remplazarse

de acuerdo a lo especificado por el ingeniero de suelos.

- La estabilidad externa, incluyendo la fundación y estabilidad de los taludes fue responsabilidad del propietario.
- Los niveles de cimentación y remates del muro deberán ser verificados por el constructor y aprobadas por la interventoría.
- El diseño contenido en estos dibujos se basó en la información suministrada por el contratante (Consortio 4c). Sobre la base de información Stup Latinoamérica ha diseñado y es responsable por la estabilidad interna de la estructura solamente.

### **Material de Relleno**

- Se requirió que la cantidad de material que pase por el tamiz 15 micros, no exceda del 15% (esto es para limitar la cantidad de finos).

El material de relleno no debe contener ninguna piedra que tenga un tamaño superior a 35 cm y a la vez se pide que el relleno no tenga más de 25% en tamaños superior a 15 cm. El material deberá tener un  $\phi = 35$ , una densidad de Ton/m<sup>3</sup> una vez compactado, índice de plasticidad menor de 6 y no es necesario que sea en su totalidad pedregoso, puede ser totalmente arena. (Ver figura 3)

### **Armadura**

- Fueron correas corrugadas de sección variable de acuerdo con la fuerza requerida (Ver figura 4).



**Figura 3: Material seleccionado para tierra armada. (Autor)**



**Figura 4: Correas corrugadas de polipropileno. (Autor)**

En este caso específico el proceso de construcción consistió en las siguientes tres fases:

### 3.1.1. Drenes Verticales

Los drenes verticales son utilizados, junto con la precarga, para acelerar el proceso de consolidación de un estrato poco permeable, de forma que al drenaje vertical existente se suma el drenaje horizontal o radial que crea el dren vertical, favoreciendo más direcciones para el flujo del agua y evacuando ésta más rápidamente.

Los fines buscados con este método son alcanzar un grado de consolidación suficiente dentro de un plazo aceptable en el proyecto, modificando los variables consolidación y tiempo.

El terreno, por estar al lado del humedal Gualí, es un terreno arcilloso completamente saturado con un nivel freático alto, encontrándose a 1.5 m de profundidad. Para evitar posibles hundimientos del material utilizado en la creación del muro en tierra armada, fue necesario crear drenes verticales rellenos de gravilla con dimensiones de 1" a 1 1/2" que sirvan como filtros del agua que se encuentre en el material compactado y del mismo terreno.

En el primer muro de tierra armada por diseño estructural se definieron 59 drenes a tres bolillos, los cuales representan la ubicación en el campo denotado en puntos paralelos que corresponden al medio de los huecos de la fila inmediata para formar triángulos equiláteros. Los drenes a tres bolillos están separados entre ellos cada 1.5m, con una profundidad de 15 m y un diámetro de 30 cm (Ver figuras 5 y 6). En este caso el contratista escogido para llevar las excavaciones fue Hugo López Fundaciones, comenzando el 23 de agosto de 2016 y terminando el 16 de septiembre de 2016 teniendo un rendimiento aproximado de dos drenes verticales diarios.



**Figura 5: Demarcación topográfica de drenes verticales sobre el eje 1. (Autor)**



**Figura 6: Drenes verticales terminados sobre el eje 1. (Autor)**



**Figura 5:Perforación de drenes verticales sobre el eje 1. (Autor)**

El proceso utilizado por el contratista fue más rudimental y no tan sofisticado. Se utilizaron máquinas perforadoras con tuberías de 3m que se iban anexando constantemente una vez cumplieran con la longitud de los 15m requeridos (ver figura 7 y 8). Para evitar socavaciones el contratista utilizó simplemente agua para ejercer un empuje al terreno y evitar expansiones. Es por eso que se dice que el proceso fue rudimental, ya que no había un control sobre el material extraído, provocando una plataforma inestable y muy lodosa.



**Figura 6: Tubería en secciones de 3 m. (Autor)**

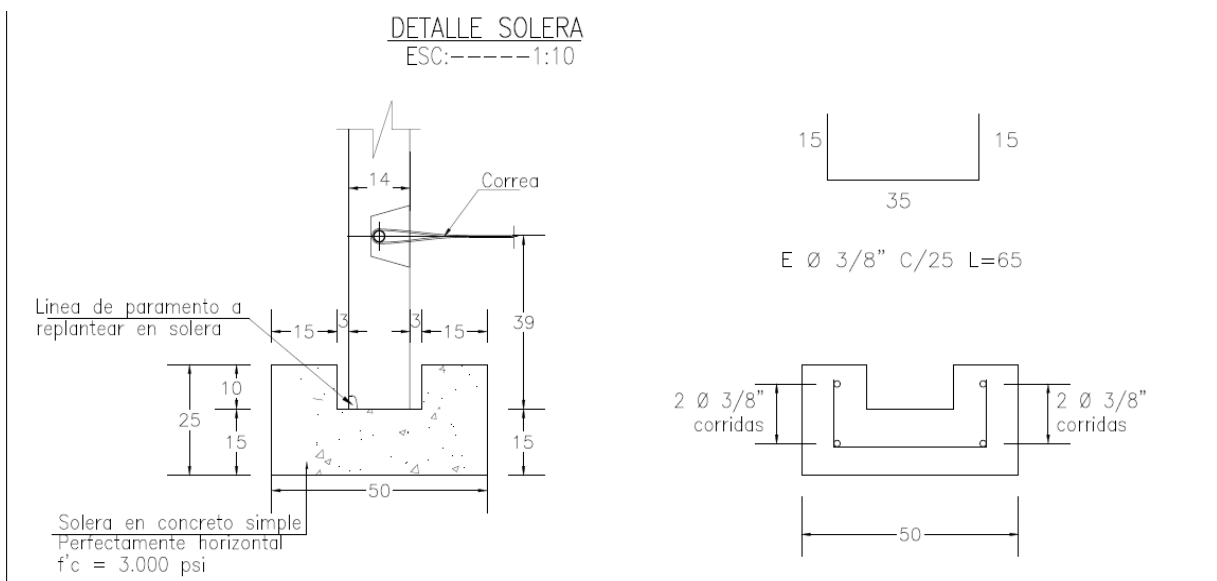
En el segundo muro se definió en diseños que constaría de 108 drenes verticales a tres bolillos que se distribuirían en el total del área del muro en tierra armada. El contratista para este caso utilizó una máquina piloteadora que realizó los 108 drenes a lo largo de 20 días.

Después de terminado los drenes se procede a excavar el área del muro en tierra armada para poder hacer el mejoramiento en piedra rajón y añadir material mixto de arena de río con triturado (grava), esto para ayudar a filtrar toda el agua que se encuentra en el terreno. (ver figura 9).



**Figura 7: Arena de río, piedra rajón y triturado sobre el eje 5. (Autor)**

Una vez realizada la mezcla se procede con la viga solera. La viga solera lleva un acero figurado de diámetro 3/8 pulg y sirve para sostener de manera horizontal los paneles de concreto (ver figura 10). Esta viga solera tiene una longitud de 43 m. (ver figura 11)

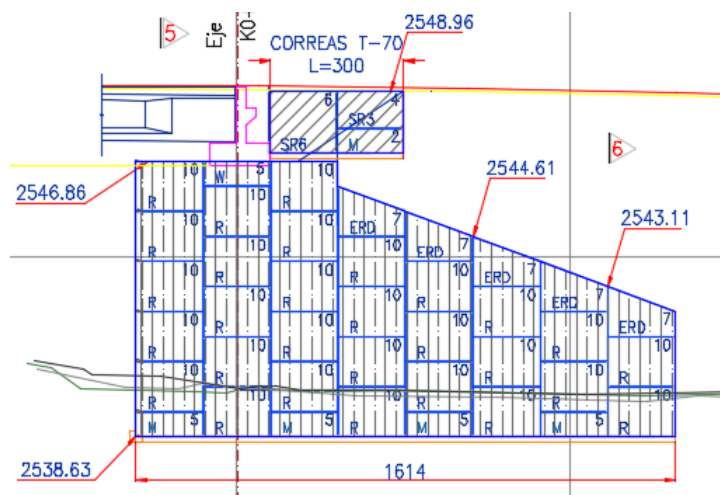


**Figura 8: Detalle viga solera. (Stup Latinoamérica)**

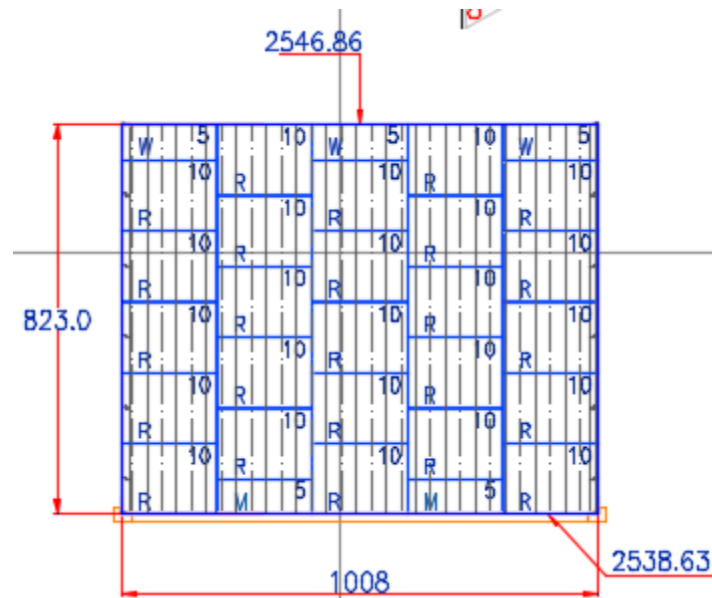


**Figura 9: Viga solera muro en tierra armada sobre el eje 5. (Autor)**

Este muro diseñado por Stup Latinoamérica tiene una longitud de 10 m correspondientes al muro 3 y 16 m en los laterales correspondientes al muro 4 (ver figura 12).



**Figura 10: Detalle muro 3. (Stup Latinoamérica)**



**Figura 11: Detalle muro 4. (Stup Latinoamérica)**

### 3.1.2. Paneles de Concreto

Estos paneles de concreto fueron fabricados diariamente y se utilizaron como paredes laterales que finalmente contienen todo el material seleccionado de relleno del muro en tierra armada. Para la construcción de este muro en especial, el nivel freático fue un problema; como se advirtió anteriormente la cercanía del humedal Gualí hace que el nivel freático se encuentre a 1,5 m del nivel de terreno (ver figura 14). Debido a este problema, se elevó una petición al diseñador que finalmente subió el muro 35 cm. Constructivamente se empezó por realizar un mejoramiento del terreno con una capa de piedra rajón (70cm) para terminar con un sello en recebo. Una vez estuvo el mejoramiento realizado, se procedió con topografía a demarcar la línea de la viga solera cuya función principal fue soportar las escamas y evitar que se ensuciaran o que el nivel freático las toque. Una a una se fueron colocando las escamas o paneles de concreto de acuerdo al diseño suministrado por Stup Latinoamérica.



**Figura 12: Nivel freático muro en tierra armada sobre el eje 1. (Autor)**



**Figura 13: Primera línea de paneles del muro en tierra armada sobre el eje 1. (Autor)**

Debido a la constante filtración de agua se hizo imposible seguir colocando paneles de concreto, se necesitaba hacer una estabilización al suelo para poder seguir elevando la estructura; para ello fue necesario realizar un suelo cemento; el cual consiste en mezclar cemento con el material de la tierra armada que

permitiera sellar y evitar que el nivel freático siguiera ganando altura. Una vez este problema fue resuelto, con un suelo firme y capaz de soportar carga, se continuó extendiendo una capa de 30 cm de material seleccionado para luego ser compactado y pudiendo ser liberada por densidades para repetir este proceso (ver figura 16). A medida que se avanzó en acumular capa tras capa, se fueron colocando las correas corrugadas en polipropileno, las cuales se colocó en los pines de cada panel de concreto; estas correas son necesarias y fundamentales en la estructura, siendo las responsables de trabajar a esfuerzos de tracción y soportar las cargas. (ver figura 17 y 18).



**Figura 14: Nueva capa de material sobre el eje 1. (Autor)**



**Figura 15: Correas puestas en sitio, muro de tierra armada sobre el eje 1. (Autor)**



**Figura 16: Material compactado y listo para recibir correas en muro sobre el eje 1.**

(Autor)

## **3.2. PILOTAJE**

El contratista escogido para realizar el trabajo de Pilotajes fue Geofundaciones S.A.S, una empresa del grupo colombiano CONCONCRETO y del grupo francés SOLETANCHE BACHY; fundada en 1984 y adquirida por estos grupos en el 2012. La mano de obra fue aportada por el contratista PRODINCA S A S, una empresa colombiana con sede en la ciudad de Manizales.

### **3.2.1. Armadura**

El procedimiento utilizado para realizar el pilotaje fue el método tradicional. Se comenzó con la fabricación de la armadura, comúnmente conocido como canastas. El primer día en el trabajo realizado en el consorcio se presentó algo particular, ya que cuando se llegó al frente de obra a realizar el control sobre la fabricación de canastas se encontró con unas canastas mal fabricadas. Se observó que las cabezas de la armadura estaban cerradas, por lo que no permitiría la entrada de la tubería tremie al momento de verter el concreto (ver figura 19). Por esta razón, se realizó la respectiva inspección e inmediatamente se indicó al personal mover las varillas de forma diagonal para crear una entrada (ver figura 20). Finalmente, después de dos semanas se terminó la fabricación de la armadura para los pilotes. En total se realizaron armaduras para 32 pilotes, siendo 22 pilotes de 28m y 10 pilotes de 30m respectivamente, cada uno con una sección dividida en 3 partes para realizar los traslapos (cada traslapo de 1,6m) en sitio.



**Figura 19: Armadura de pilote mal fabricada. (Autor)**



**Figura 20: Armadura de pilote bien fabricada. (Autor)**

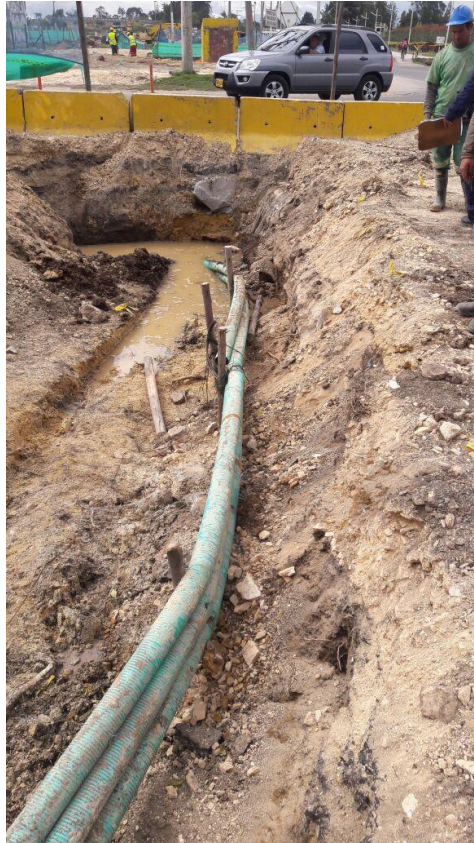
### 3.2.2. Procedimiento del Pilotaje

Antes de iniciar cualquier actividad se requiere que el suelo este completamente libre de redes (fibra óptica, eléctrica, teléfono, etc.). Simultáneo al tiempo de fabricación de encofrados, participaron empresas como ETB, MOVISTAR y CLARO para mover satisfactoriamente todas las redes que pasaban sobre el eje de las zapatas y así realizar el pilotaje sin ningún accidente lamentable. (ver figura 21 y 22)

Una vez quedó todo el espacio de la zapata libre de redes y la armadura de los pilotes estuvo terminada, se dio inicio formal al proceso de pilotaje.



**Figura 17: Movimiento de redes sobre el eje 2. (Autor)**



**Figura 18: Movimiento de redes sobre el eje 4. (Autor)**

El sitio de pilotaje está situado exactamente bajo una red eléctrica nacional manejada por CODENSA. Frente a esta situación se dictaminó que la empresa eléctrica debía desenergizar la línea en horarios nocturnos desde las 22:00 horas hasta las 5:00 horas por una semana completa para la realización del trabajo requerido; estando presente la directora de seguridad industrial y salud ocupacional (SISO) por parte del consorcio, contratista y codensa; tanto al inicio del turno de trabajo como tanto al cierre del mismo.

El proceso técnico empezó con la demarcación topográfica de los puntos de los pilotes para que la piloteadora (ver figura 23) pueda hacer su trabajo. Al Kelly (es la tubería que se encuentra en la punta de la piloteadora) se le anexó un balde perforador (ver figura 24), que con un sistema de rotación empezó a recolectar el material en el subsuelo que en este caso específico fue arcilla.

Inicialmente la piloteadora realizó un pre hueco de 2 m aproximadamente con la intención de introducir una tubería hueca de 1,5 m de largo con paredes de grosor de 2 cm la cual denominan coloquialmente como camisa. (ver figura 25)



**Figura 19: Máquina Piloteadora. (Autor)**



**Figura 20: Balde perteneciente a la piloteadora. (Autor)**



**Figura 25: Camisa para la retención de agua con polimero. (Autor)**



**Figura 26: Polygel. (Autor)**

Esta camisa cumplió dos funciones específicas: 1) Prevenir que el agua con polygel (ver figura 26) que se agregó a la perforación para evitar socavaciones se salga y se riegue por toda la plataforma previamente rellena con recebo y compactada para una mejor funcionalidad de las máquinas, las mixers y los

obreros. Con el fin de tener un terreno (plataforma) estable, limpio y completamente manejable y, 2) Cuando se realice el izaje de las canastas estas se puedan bloquear y realizar los respectivos traslajos.

Es precisamente el proceso de llenar el hueco con agua y polímero, que permitió que este modelo de pilotaje fuera confiable. El polímero utilizado por la empresa contratista se denomina POLYGEL (ver figura 26), el cual al reaccionar con el agua forma un gel que sirve para crear una pantalla en el terreno y evitar que el agua se filtre por los poros del suelo y prevenir un posible socavamiento y/o expansión del subsuelo. Esta agua con polygel se anexó al terreno por medio de una manguera conectado a unos tanques de almacenamiento que la bombean constantemente.

Una vez perforada la totalidad de la longitud del pilote más un margen de 2 m por si hay socavación, se dió el inicio al izaje de canastas y colocación de las mismas dentro del terreno. (ver figura 27)



**Figura 21: Armadura lista para traslajar. (Autor)**

Es valioso recordar que cada pilote cuenta con 3 secciones; cada una de una longitud de 12 m, para traslaparlas a 1,60 m. La grúa fue la máquina utilizada para hacer este proceso, comenzando siempre por la sección inferior, introduciéndola por la camisa, para posteriormente realizar un bloqueo y poder continuar con la siguiente.

Al momento de realizar el traslapo fue de suma importancia la constante vigilancia y control sobre el proceso acontecido para asegurar que los traslapos estén de acuerdo a lo que plasma el plano. Para asegurar las varillas fue indispensable el uso del alambre y un perno (denominado coloquialmente “perro”).

Para asegurar que las canastas de los pilotes estuvieran en perfecta simetría con su eje fue importante fundir previamente bloques en concreto colocados hacia afuera del acero, denominadas panelas. (ver figura 28 y 29)

Después que las tres secciones de las canastas del pilote estuvieran introducidas, el personal amarró el pilote con una tubería denominada pinocho (ver figura 30), la cual garantizó la altura; proporcionada previamente por topografía para asegurar que todos los pilotes queden en la misma cota.



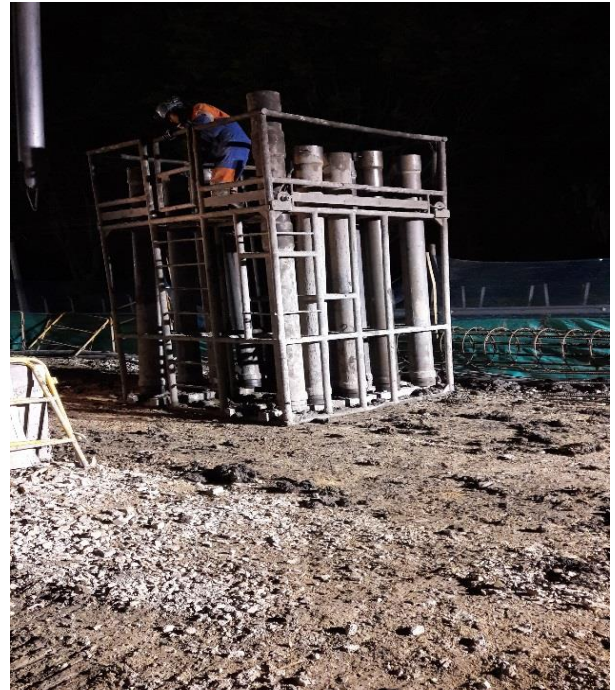
**Figura 28: Fabricación de panelas. (Autor)**



**Figura 29: Pannels puestas en sitio. (Autor)**



**Figura 22: Ajuste del pinocho. (Autor)**



**Figura 23: Tubería Tremie. (Autor)**

Estando el pilote en su altura adecuada se procedió con la grúa al levantamiento de la tubería tremie (ver figura 31), para posteriormente verter el concreto y proceder con el siguiente.

En promedio, en cada pilote se realizó una excavación de 32 m, requiriendo una cubicación de concreto de 16 m<sup>3</sup> (5000 psi). El concreto va desplazando por densidades al agua con polygel asegurando que al finalizar la fundida haya un concreto sucio de 1 m desde la cota 0 y concreto sano en el resto del pilote; sabiendo que la longitud de descabece era de 1,30 m. En el proceso se disponía de 2 mixer con capacidades de 8 y 6 m<sup>3</sup>, por lo que se necesitaban de tres viajes para poder fundir un solo pilote.

Es importante recalcar que el asentamiento del concreto tenía que estar en 8 pulg +/- 1, para asegurar que cumpliera con el requerimiento del contratista. A este tipo de concreto se lo denomina concreto tremie; es un tipo de concreto muy fluido y especial para cimentaciones profundas que reacciona muy bien con el nivel freático del suelo. En todo momento estuvo presente el laboratorista realizando el ensayo Slump (ver figura 32) y probetas de concreto para probar la resistencia del concreto.



**Figura 24: Ensayo slump.** (Autor)

La duración de todo el proceso de pilotaje fue de un total de 15 días, distribuidos en una duración de una semana para 12 pilotes correspondientes a la zapata eje 4 trabajados durante la noche (10pm a 5am), otra semana para 20 pilotes correspondientes a la zapata eje 3 y zapata eje 2, trabajados en horario regular (7 am a 5 pm).

### **3.3. ZAPATAS**

En total fueron 3 zapatas; la zapata sobre el eje 4 (ver figura 33) fue la más grande con unas dimensiones de 6,4m de ancho x 8,8 m de largo x 1,3 de profundidad, siendo la que más pilotes requirió (12 pilotes). Siguiendo, se encontró con dos zapatas denominadas zapata sobre el eje 2 y eje 3 respectivamente (ver figura 34); estas zapatas tienen unas dimensiones exactamente iguales de 11m de largo x 3,8 m de ancho x 1,5 m de profundidad, teniendo 10 pilotes cada una.

Una vez terminada la etapa de pilotaje se procedió a descapotar la zapata sobre el eje 4, siendo ésta la más crítica.

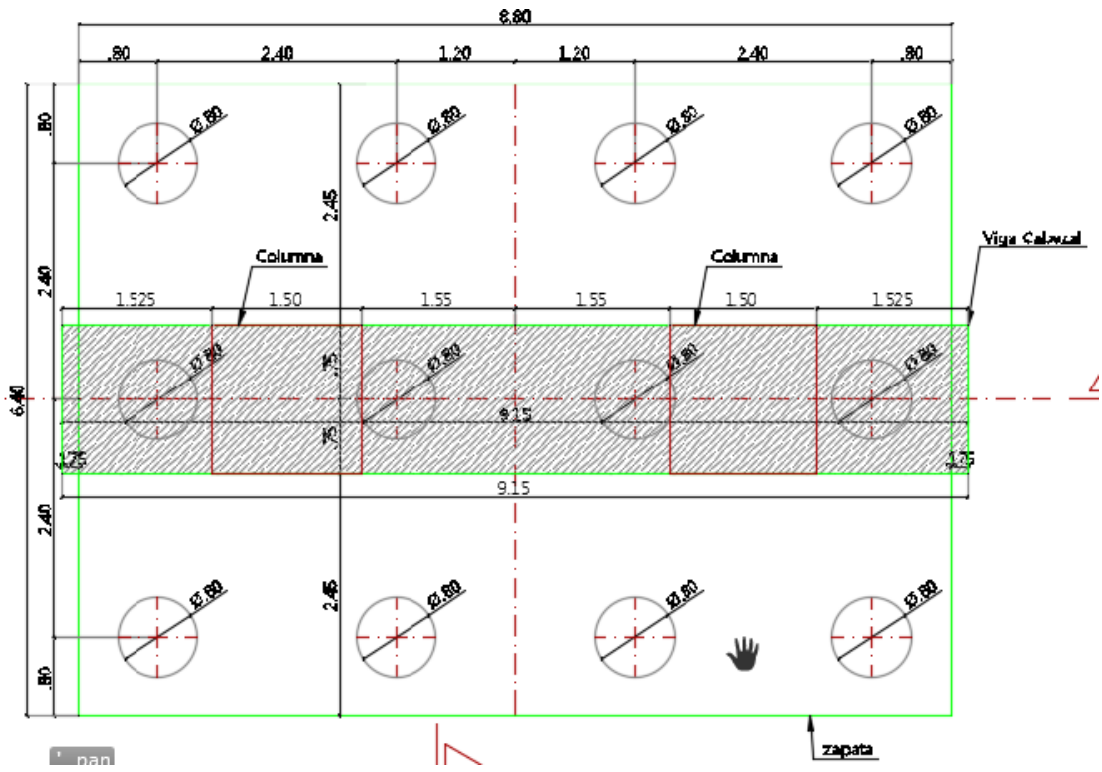


Figura 25: Detalle zapata sobre el eje 4. (Dis Diseñadores)

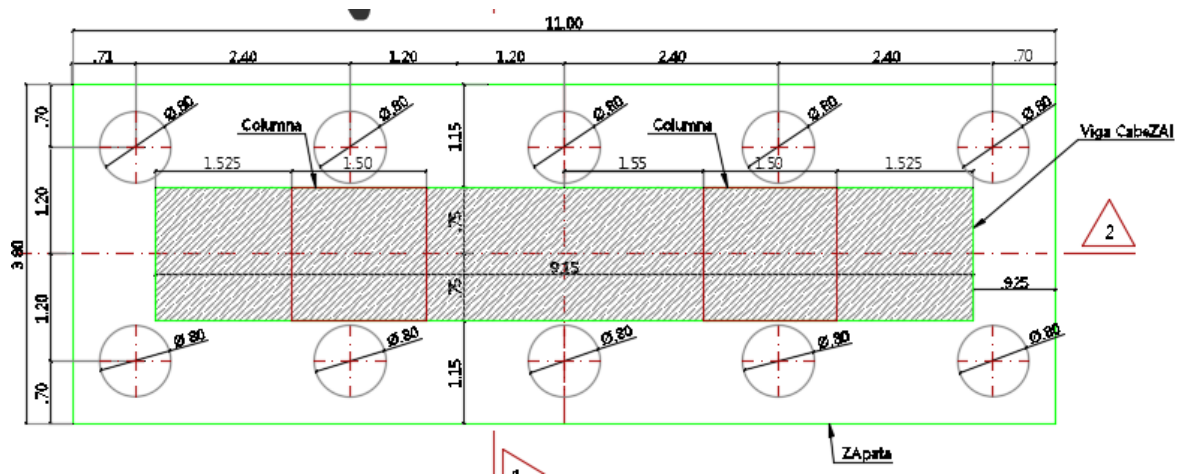


Figura 26: Detalle zapata sobre el eje 2 y el eje 3. (Dis Diseñadores)

### 3.3.1. Zapata Sobre el Eje 4

#### 3.3.1.1 Descapote, Descabece y Solado

Se esperó 5 días para empezar a descapotar las dimensiones de la zapata ya que hubo jornadas de lluvias que imposibilitaban cualquier actividad. Siendo la cota de descapote -4 m, se decidió hacerlo con chaflanes de 1 m para prevenir cualquier accidente lamentable en el futuro; de igual modo se tomaron medidas de seguridad para asegurar los taludes laterales con box coulvert cortados a la mitad (ver figura 36) y rellenos de rebebo y con una lámina de acero (ver figura 35) que reforzaba el otro lado del descapote.



**Figura 27: Mejoramiento de los taludes con box coulvert.** (Autor)



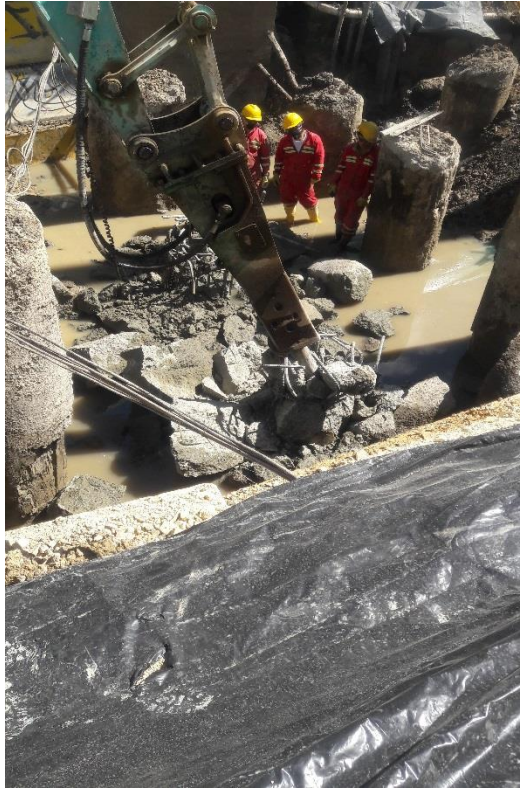
**Figura 28: Mejoramiento de los taludes con lámina.** (Autor)

Es valioso mencionar que durante el proceso de remoción de tierras la retroexcavadora rompió un tubo de agua potable del acueducto de Mosquera que nadie tenía idea alguna que pasaba por el medio de la zapata (afortunadamente durante el proceso de pilotajes no hubo ningún accidente con este tubo).

Este proceso requirió de 3 días, en los cuales las lluvias dificultaron el proceso constructivo y frecuentemente se necesitaba de 3 horas para bombear toda el agua que había en el descapote. Una vez fueron estabilizados los taludes se continuó con el solado. El solado fue la capa de 20 cm de concreto pobre (2000 psi) colocado para nivelar el eje inferior y poder colocar el acero adecuadamente. (ver figura 37)



**Figura 29: Fundida de solado. (Autor)**



**Figura 30: Descabece de pilotes. (Autor)**

El proceso de descabece de los pilotes fué bastante sencillo. La máquina utilizada para realizar el proceso fue la retroexcavadora; se le retira la pala y se le cambia por un martillo (ver figura 38). Este martillo perforó el concreto sucio hasta llegar al concreto sano para así terminar con un martillo manual y tener el acero del pilote a la vista listo para agregarle los flejes faltantes y el acero de la zapata. (ver figura 39)



**Figura 31: Agregando flejes a los pilotes después del descabece. (Autor)**

### 3.3.1.2 Armadura Inferior Zapata eje 4

La armadura inferior de la zapata cuenta con 87 varillas N 10 con una longitud de 6,75m separados cada 0.10 m; 42 varillas N 10 con una longitud de 9,5 m separados cada 0.15 m. Vigas virtuales con flejes separados a 0.30 m. N 5. (Ver figura 40 y 41)

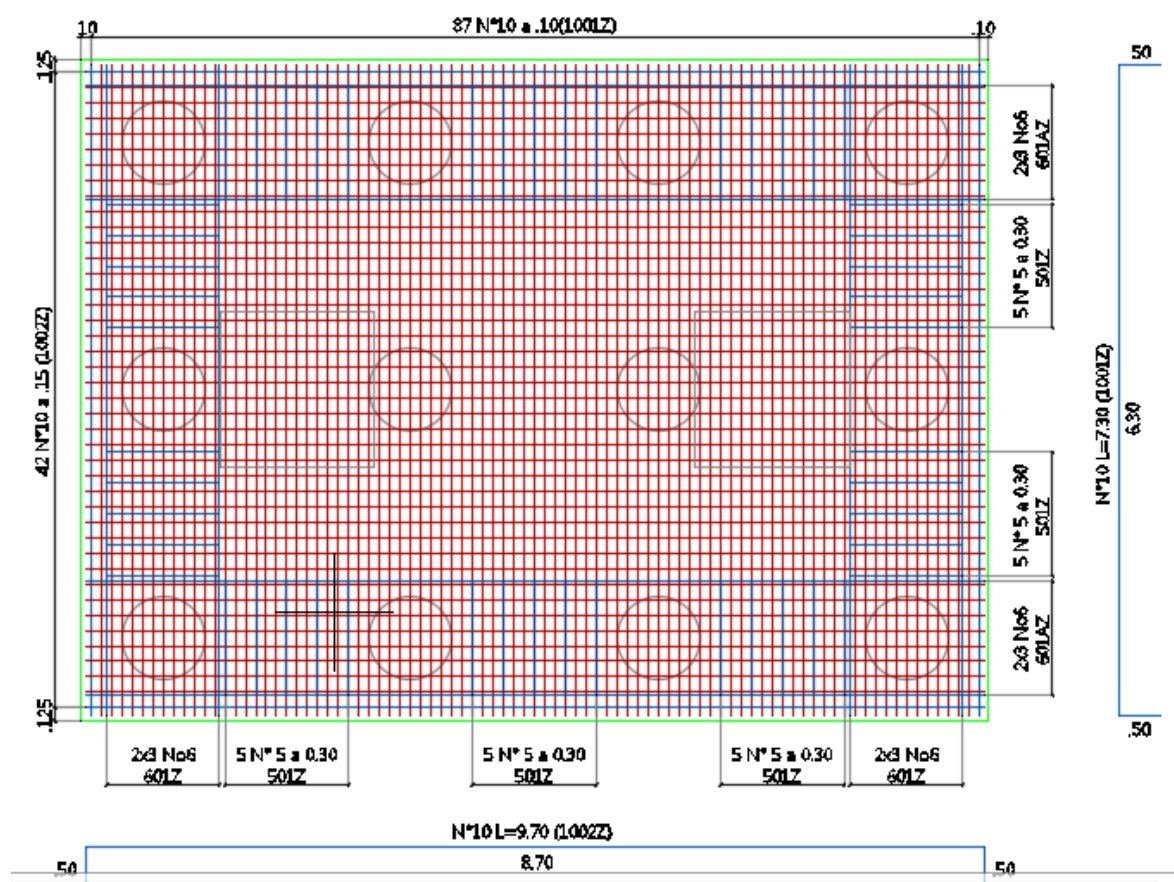


Figura 32: Detalle refuerzo inferior zapata sobre el eje 4. (Dis Diseñadores)



**Figura 33: Amarre de refuerzo inferior zapata sobre el eje 4. (Autor)**

### **3.3.1.3 Armadura Superior Zapata eje 4**

La armadura superior de la zapata cuenta con 87 varillas N 8 con una longitud de 6,75m separados cada 0.10 m; 42 varillas N 8 con una longitud de 9,5 m separados cada 0.15 m. Vigas virtuales con flejes separados a 0.30 m. N 5. (ver figura 42)

Esta variación de diámetros en los refuerzos superiores e inferiores se debió a que la zapata es un elemento estructural que trabaja a compresión en la parte superior y tracción en la parte inferior; es decir; soporta un esfuerzo flector a la estructura. (ver figura 43)

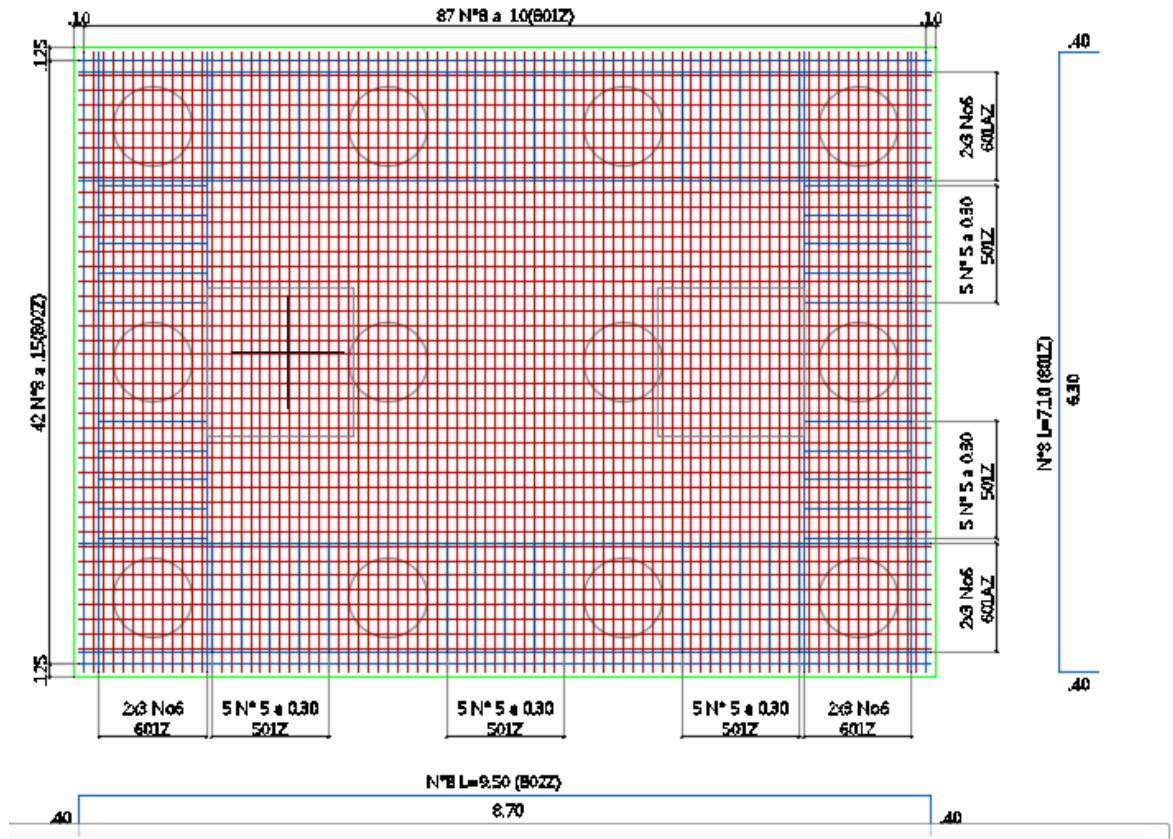


Figura 34: Detalle refuerzo superior zapata sobre el eje 4. (Dis Diseñadores)



Figura 35: Amarre refuerzo superior zapata sobre el eje 4. (Autor)

Una vez el refuerzo superior e inferior estuvo completamente puesto en el sitio, se procedió a colocar el refuerzo de las Pilas. (ver figura 44)



**Figura 36: Puesta en sitio acero pilas sobre el eje 4. (Autor)**

Esta zapata tiene un volumen de  $73 \text{ m}^3$ , al momento de fundir la zapata, el contratista contaba con dos (2) mixer y cada una con una capacidad de  $7 \text{ m}^3$ ; razón por la cual fue necesario hacer 10 viajes en una totalidad de 5 horas.



**Figura 37: Zapata fundida sobre el eje 4. (Autor)**

### 3.3.2. Zapata Sobre el Eje 2 y Eje 3

#### 3.3.2.1 Descapote, Descabece y Solado

Luego de dos semanas fabricando la zapata sobre el eje 4; se acordó atacar la zapata sobre el eje 2 y eje 3 al mismo tiempo. Con un nivel de corte de -3 m, el único mejoramiento al talud fue escalonándolo para evitar desprendimientos y no hubo necesidad de entibar. Debido a que el contratista no respetó el nivel de corte dado por topografía, se hizo un mejoramiento en recebo para nivelar la cota del solado. (ver figura 46)



**Figura 38: Nivelación de cota de solado. (Autor)**

El solado es un revestimiento del suelo cuya función principal es nivelar la superficie y evitar que el acero estructural sufra algún tipo de contaminación. La construcción se prosiguió de la misma manera en la que se hizo la anterior zapata, la única diferencia significativa fueron las dimensiones y la cota de corte que hace

más favorable la construcción de las zapatas sobre el eje 2 y eje 3. (ver figura 47)



**Figura 39: Solado zapata sobre el eje 2 y 3. (Autor)**

### **3.3.2.2 Armadura Inferior Zapata sobre el eje 2 y eje 3**

La armadura superior de la zapata cuenta con 110 varillas N 10 con una longitud de 11.90 m separados cada 0.10 m; 25 varillas N 10 con una longitud de 4,7 m separados cada 0.15 m. Vigas virtuales con flejes separados a 0.30 m. N 5. (ver figura 48)

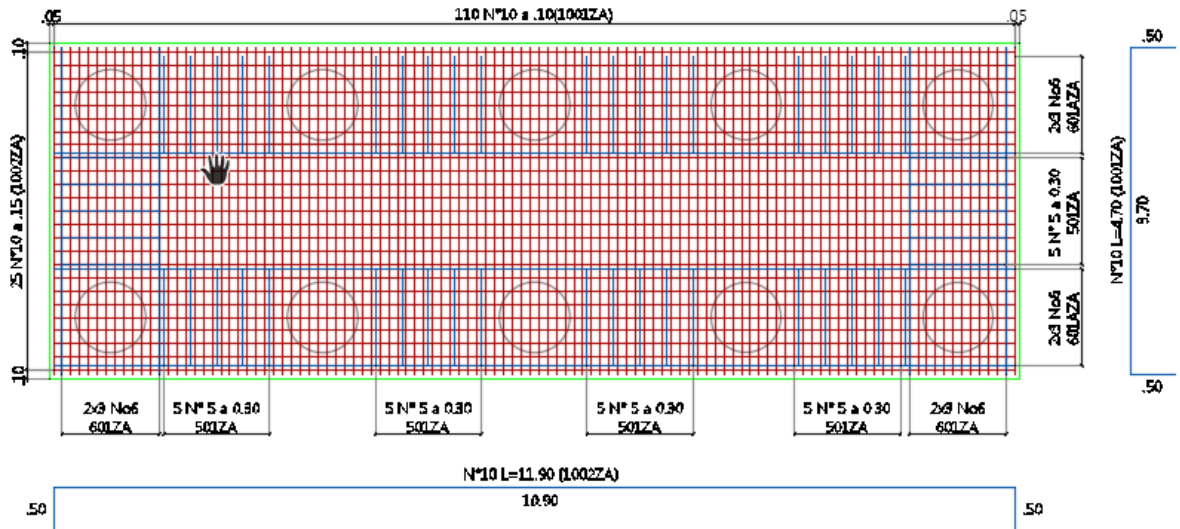


Figura 40: Detalle refuerzo inferior zapata sobre el eje 2 y 3. (Dis Diseñadores)

### 3.3.2.3 Armadura Superior Zapata sobre el Eje 2 y Eje 3

La armadura superior de la zapata cuenta con 110 varillas N 8 con una longitud de 11.90 m separados cada 0.10 m; 25 varillas N 8 con una longitud de 4,7 m separados cada 0.15 m. Vigas virtuales con flejes separados a 0.30 m. N 5. (ver figura 49)

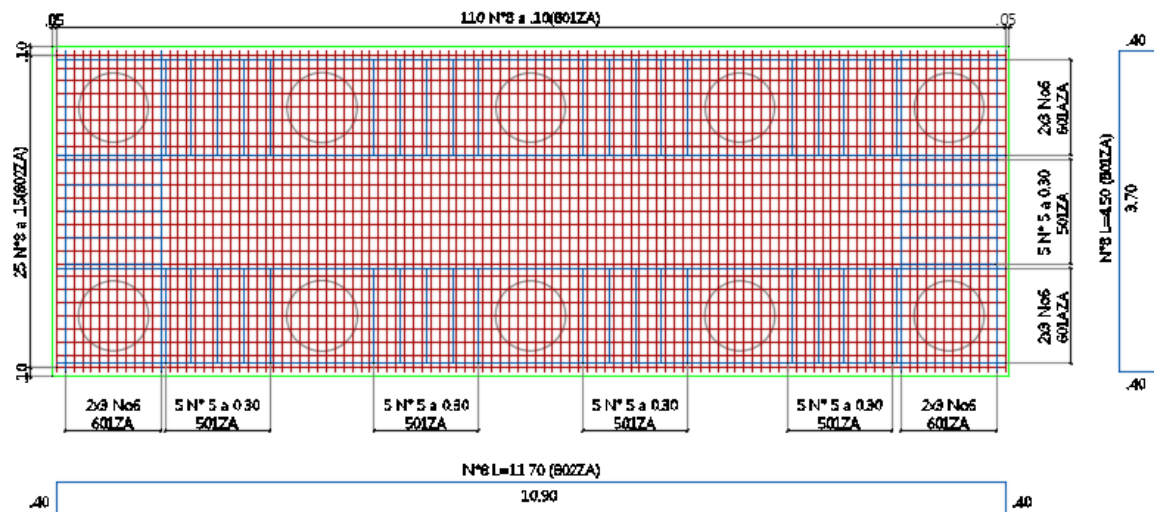


Figura 41: Detalle refuerzo superior zapata sobre el eje 2 y 3. (Dis Diseñadores)

El tiempo de fabricación de las zapatas eje 2 y eje 3 duró dos semanas; lo mismo que duró la fabricación de la zapata sobre el eje 4. El tiempo perdido durante la fabricación de la zapata sobre el eje 4 fue recuperado debido a la facilidad en la que se trabajó en la fabricación de las zapatas sobre el eje 3 y eje 4. Inmediatamente y posterior a desencofrar las zapatas se fundieron las pilas o columnas.

### 3.4. PILAS

Las columnas son elementos estructurales sometidos a esfuerzos de compresión y la principal función es transmitir las cargas directamente a la zapata que a su vez las transmitirá a la capa portante del suelo.

La luz total de las pilas o columnas se puede decir que tiene tres (3) secciones. La primera sección es la que va embebida en la zapata; la segunda sección es la luz del alma (Distancia visible de la columna); y la última sección es la distancia que va embebida en la viga cargadera o viga cabezal. Así, la pila es un elemento monolítico que conecta la superestructura del puente con los cimientos del mismo. (ver figura 50 y 51)

Así se muestran las columnas del puente vehicular de tres esquinas, tienen las siguientes especificaciones descritas anteriormente:

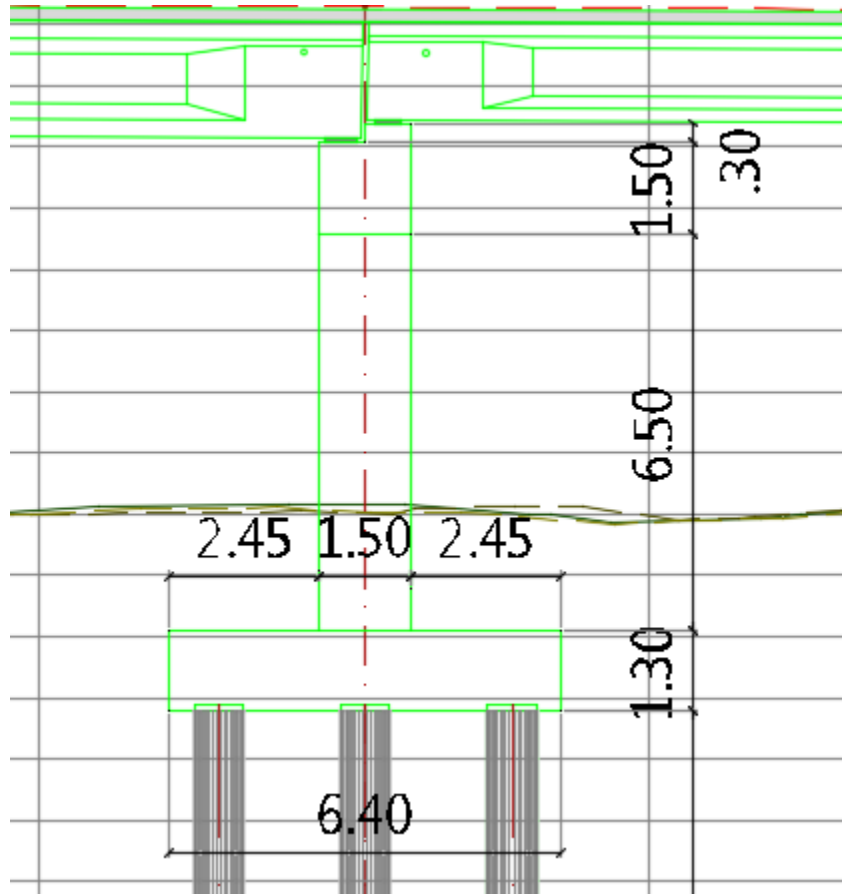


Figura 42: Detalle pila sobre el eje 4. (Dis Diseñadores)

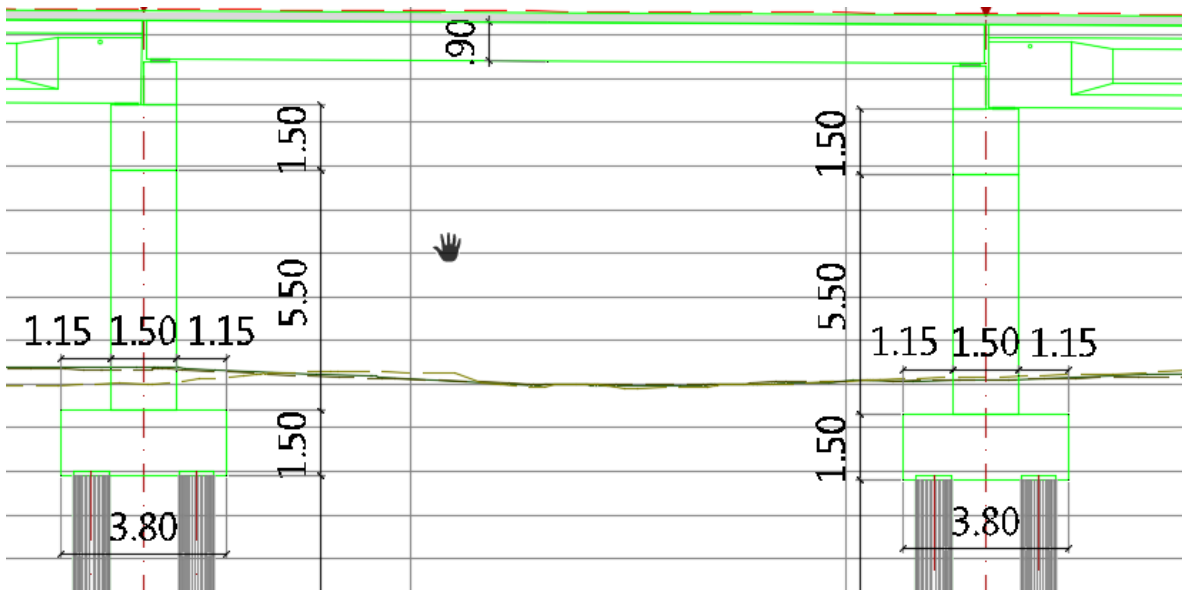
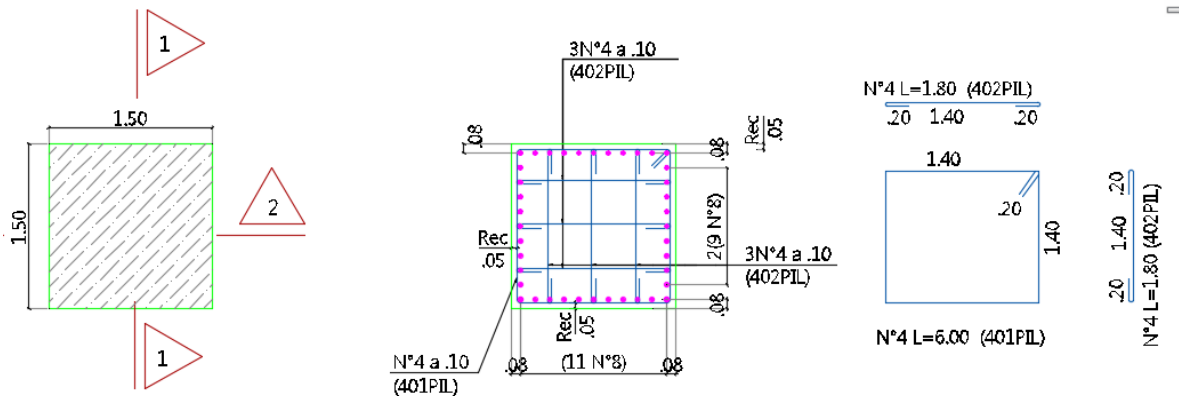


Figura 43: Detalle pila sobre el eje 2 y el eje 3. (Dis Diseñadores)



**Figura 44: Detalle refuerzo pilas.** (Dis Diseñadores)

### 3.4.1. Pilas sobre eje 4

Las pilas sobre el eje 4 tiene la particularidad de ser más alta que las demás pilas; esto es lógico ya que la zapata sobre el eje 4 tiene una cota de corte mayor que las otras, es por esto que el refuerzo utilizado para la fabricación de estas pilas es más largo.

Estas pilas tienen una luz en el alma de 6,5m y dimensiones de 1.5m x 1.5m. El refuerzo consta de 21 varillas N 8 con una longitud de 9.8 m, 19 varillas N8 con una longitud de 10.10 m, embebidas en flejes de 1.4m x 1.4m y finalmente amarradas con ganchos N 4 que sirven principalmente para evitar deformaciones por pandeo en un esfuerzo a compresión.

### 3.4.2. Pilas sobre eje 2 y eje 3

Estas pilas tienen una luz en el alma de 5,5m y dimensiones de 1.5m x 1.5m. El refuerzo consta de 21 varillas N 8 con una longitud de 9.05 m, 19 varillas N8 con una longitud de 10.05 m, embebidas en flejes de 1.4m x 1.4m y finalmente amarradas con ganchos N 4 que sirven principalmente para evitar deformaciones

por pandeo en un esfuerzo a compresión.

Para fundir toda la estructura, fue necesario hacerlo por secciones de 2.4 m. Esto se hizo principalmente para que el concreto no caiga al vacío segregando los agregados y se pudiera trabajar con mayor facilidad al momento de la vibración del concreto. A medida que se fundía la sección se iba flejando el resto de la estructura para repetir el proceso. En total cada pila tiene un volumen de 15 m<sup>3</sup> y se tardó más de 1 mes en acoplar, ensamblar y fundir todas los tres (3) pares de pilas. (ver figura 53)



**Figura 45: Pilas fundidas.** (Autor)

### **3.5. VIGA CABEZAL**

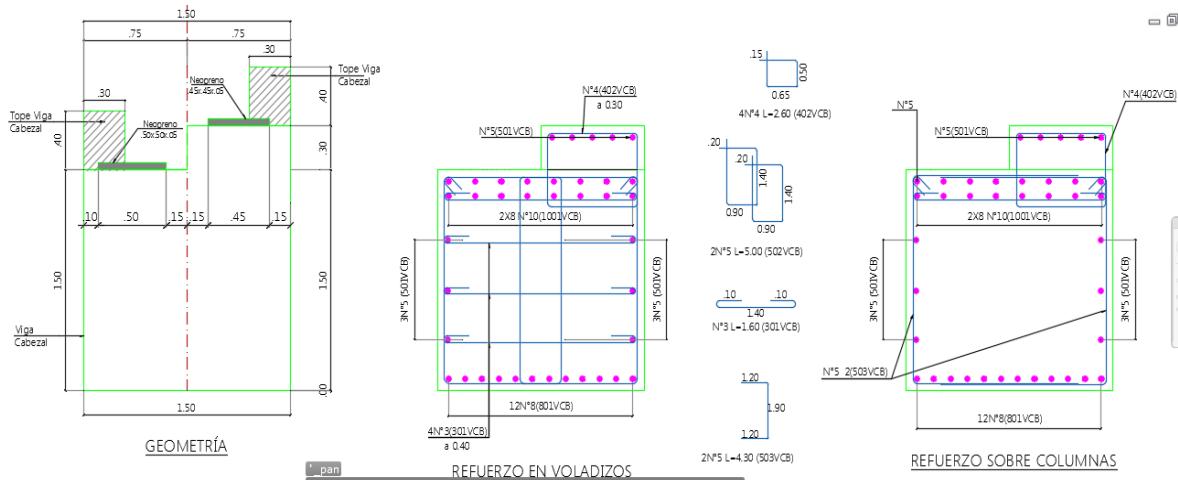
La viga cabezal o viga cargadera es la responsable de servir como apoyo a las vigas postensadas, relajándolas y pudiendo cumplir su trabajo estructural. En el Consorcio 4C, se definió que había que darles prioridad a las vigas cabezales sobre el eje 2 y el eje 3; se procedió a realizar el despiece acorde a los diseños definitivos de la obra.

La empresa responsable del suministro de acero en los diferentes frentes de obra, fue Ferrasa SA, dándose plazos máximos de 5 días para suministrar acero recto y 15 días para suministrar acero figurado. Ahora, mientras el acero llegaba se empezó a armar la estructura formaleta que confinará la viga cabezal (ver figura 54).



**Figura 46: Izaje estructura formaleta para viga cabezal. Autor**

Esta estructura formaleta para el armado de la viga cabezal es completamente hecha en metal y tardo diez (10) días en armarla e izarla. Una vez el acero este en la obra y la formaleta ya está armada, se procede a realizar el amarre de todo el acero estructural que fue muy probablemente superior al 1% del volumen total de la viga cabezal. (ver figura 55)



**Figura 47: Detalle refuerzo viga cabezal sobre el eje 2 y 3. (Dis Diseñadores)**

Para armar la viga cabezal fue necesario tener trabajadores certificados en altura ya que se estaba realizando maniobra a una altura superior de 5 m. Fue necesario utilizar los Elementos de Protección Personal EPP (arnés, eslinga, gafas de protección, botas punta de acero, etc.) para cumplir con los requerimientos expuestos en la Resolución 1409 de 2012.

Se iba introduciendo el refuerzo inferior e inmediatamente ir subiendo hasta llegar al rebanco de la estructura (ver figura 56).



**Figura 48: Refuerzo viga cabezal sobre el eje 2 y eje 3. (Autor)**

Se necesitaron  $27.4 \text{ m}^3$  de concreto para fundir la totalidad de su volumen. Al estar la viga cabezal a más de 5 m de altura era necesario verter el concreto con una autobomba y así lograr eficacia en el trabajo (ver figura 57). Después de 2 horas se logró completar la viga cabezal y terminar la tarea.



**Figura 49: Vaciando concreto con autobomba. (Autor)**

### **3.6. VIGAS POSTENSADAS**

Simultáneamente a la fabricación de la viga cabezal se iban creando las vigas postensadas de 19.20 m que conectarán el eje 2 con el eje 3. Para iniciar el proceso de fabricación, era necesario tener un suelo compactado y uniforme que garantice solidez a la base en la cual se apoyará el refuerzo de las vigas postensadas (ver figura 58).



**Figura 50: Pista para refuerzo viga postensada 19.2 m. (Autor)**

El proceso se distribuyó en armar el refuerzo estructural de la viga e ir colocando mediante cotas para disponer de la distribución de los ductos que contenían los cables, todo esto suministrado por el ingeniero calculista (ver figura 59).



**Figura 51: Posición de ductos que confinan los cables de tensionamiento. (Autor)**

Una vez los ductos estaban colocados de acuerdo a las especificaciones dadas en los planos se continuó introduciendo el cable de tensionamiento, conocido como torones. Estos torones son constituidos por 7 hilos de 0.5 cm de diámetro unidos mediante trenza logrando así un cable listo para someterse a tensionamiento.

En este caso específico contendría un total de 12 torones en cada ducto distribuidos especialmente sobre el eje de la viga para impedir que al momento de hacer el tensionamiento del cable la estructura se pandee hacia cualquier lado. (ver figura 60)



**Figura 52: Vigas postensadas de 19.2m listas para izar en las respectivas vigas cabezales. (Autor)**

Resumiendo, las vigas postensadas son estructuras usadas para aliviar el peso ya que se reduce la cuantía de acero. El tensionamiento es un mecanismo que impone una fuerza a contra flecha y le brinda rigidez a la superestructura.

### 3.6.1. Proceso de Tensionamiento

#### 3.6.1.1 Instalación de Ductos

Los ductos a instalar fueron de fleje de acero galvanizado (ver figura 61). Los acoples entre unidades de ductos tienen un diámetro de 82mm, con una longitud de 25 cm. La unión entre ducto y acople se selló mediante la colocación de cinta de tipo industrial de 2" de ancho y/o previamente amarrada con alambre de amarre.



**Figura 61: Ductos y acoples de fleje de acero galvanizado.** (Autor)

Estos ductos no cumplían ninguna función estructural, simplemente era un medio para dejar el espacio vacío en donde posteriormente se instaló los cables de pos tensionamiento.

El almacenamiento de estos elementos se debió asegurar protección contra el agua y elementos pesados. No se podían colocar más de 10 paquetes uno encima del otro ya que podía ocasionar deformaciones por su peso.

Se debió realizar la ubicación de los ductos en las vigas y se colocaron taches de

acero de 3/8" de una longitud tal, que fueron de cara a cara del refuerzo; dichos taches pueden ser fijados con soldadura AWS 7018 o alambre de amarre.

El ducto descansó en los taches anteriormente instalados y se fijó por medio de alambre de amarre de tal forma que no fue estrangulado y garantizó que los ductos no fueron movidos de su posición durante la fundida. Este amarre se realizó máximo cada 80 cm. (Ver figura 62)



**Figura 62: Ductos posicionados por taches. (Autor)**

Se debió garantizar el correcto posicionamiento de los anclajes activos, es decir, garantizar que el anclaje activo quede ubicado ortogonalmente a la trayectoria del cable. También se debió colocar los refuerzos adicionales recomendados, en este caso refuerzo helicoidal o espiral. (Ver figura 63)



**Figura 63: Refuerzo helicoidal o espiral. (Autor)**

Antes de fundir la viga y una vez se instaló los ductos se realizó un chequeo verificando que estos no tengan ningún orificio, si hubiese llegado a tener alguno, se debió haber reparado inmediatamente con la misma cinta utilizada en los acoples; para este caso los ductos no presentaban ninguna deformación.

Durante la fundida se debió tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Se debió evitar que el vibrador fuese aplicado directamente sobre los ductos.
- Se debió golpear la formaleta en la zona de los ductos con el fin de evitar hormigueros en esta zona.

Una vez se realizó la fundida se procedió a realizar el chequeo respectivo para revisar si los ductos fueron obstruidos. Esta inspección se pudo realizar con aire a presión y con una sonda. Cuando el hormigón fraguó se procedió a limpiar el ducto con agua a presión.

### **3.6.1.2 Colocación de Torones**

Los cables a utilizar son grado 270K y cumple con la norma ASTM A 416-90. Todos los cables que fueron utilizados en obra tuvieron su respectivo certificado de calidad expedido por la empresa proveedora.

Estos cables debieron ser almacenados de tal manera que fueran protegidos contra el agua y a una altura mínima del piso de 30 cm y máximo tres rollos uno sobre el otro. (Ver figura 64)



**Figura 64: Cables de tensionamiento almacenados.** (Stup Latinoamérica)

En cada ducto se enhebraron los torones correspondientes según indique el plano, para este caso fueron 12 torones por ducto. La longitud de corte de los cables fue dada por la distancia real entre anclajes, más 2 m requeridos para la instalación de los equipos de tensionamiento.

### 3.6.1.3 Postensionamiento

El tensionamiento se realizó una vez el concreto adquiriera la resistencia recomendada por el Ingeniero Calculista y teniendo en cuenta la secuencia que para este se encontró estipulada en los planos, así que para este caso la resistencia aconsejada fue de 80%.

- Se ubicaron los torones dentro del anclaje. (Ver figura 65)
- Se instaló las cuñas entre los torones y el bloque de anclaje. (Ver figura 65)
- Durante el tensionamiento se utilizó un equipo multitoron apto para el tipo de postensionamiento a realizar.
- Con una diferencial se ubicó el gato en la posición necesaria para enhebrar los torones a través de él. ( Ver figura 65)
-



**Figura 65: Torones y cuñas enhebradas en el bloque de anclaje. (Autor)**



**Figura 66: Gato utilizado para tensionamiento. (Autor)**

En este momento el sistema estuvo listo para comenzar el tensionamiento. Las medidas a verificar durante el tensionamiento son la elongación (Ver figura 67) y la tensión aplicada (Ver figura 68).



**Figura 67: Elongación.** (Autor)



**Figura 68: Tensión aplicada.** (Autor)

Una vez terminado el tensionamiento, se cortaron los cables hasta dejar solo 3 cm de longitud por fuera del bloque de anclaje, posteriormente se procedió a limpiar la zona de las cajas. (Ver figura 69)



**Figura 69: Cables cortados listos para sellar.** (Autor)

#### **3.6.1.4 Inyección de Lechada**

En los bloques de anclaje de ambos extremos, se instaló una manguera de polipropileno de diámetro  $\frac{1}{2}$ ". (Ver figura 70)

Se recomendó inyectar una lechada de proporciones 0.45, es decir, por cada 22.5 lts de agua se adicionó 50 Kg de cemento, se sugirió utilizar un aditivo expansor de mortero según recomendaciones del fabricante. Este aditivo cumplió la función de expandir la lechada de tal manera que llenó todos los espacios vacíos entre torones.



**Figura 70: Manguera de polipropileno para inyección de lechada. (Autor)**

#### 4. APORTE AL CONOCIMIENTO

Siempre es importante conocer la teoría, sobre todo cuando no se tiene experiencia alguna; pero esto no es comparable con el conocimiento adquirido en la práctica, en el campo.

En Ingeniería Civil es indispensable respetar y conocer los diseños, comprender su lectura y sobretodo tener el criterio de cambiarlos si su experiencia lo dicta. Se depende del compañero de al lado, ya que siempre hay alguien dispuesto a compartir su conocimiento.

El conocimiento adquirido en este proyecto fue incalculable. Con la presencia en campo todo el día, desde pilotajes hasta vigas postensadas siempre hay algo nuevo por aprender. Siempre hay que apoyarse en las normas, más aún cuando hay puntos críticos en el proyecto, que son precisamente la respuesta.

Lo primero que se debe hacer cuando llega un plano a la mesa, es realizar el despiece del acero; cuando se realiza el despiece del acero es importante imaginar como irán a realizar el armado de la estructura para así tener el criterio de como pedir el acero.

El mayor aporte que se ha podido ganar gracias a la participación en este proyecto es reconocer que únicamente la experiencia y escuchar las ideas de los demás forjan el criterio de un Ingeniero Civil.

## 5. CONCLUSIONES

Es gratificante participar en la construcción de un puente vehicular, principalmente por la cuantiosa experiencia que aporta en todo su transcurso, durante el cual los participantes del proyecto tienen que trabajar en equipo y afianzar conocimientos suficientes para la resolución de dicha construcción o cualquier problema subyacente a la misma. Por otro lado, es imprescindible estar en una empresa que cuente con los recursos necesarios para suministrar el material de manera oportuna para lograr el cumplimiento de las metas previamente impuestas por el cliente, el cual representa uno de los muchos factores de gran presión generados en dicha gestión.

En la ingeniería civil es indispensable respetar y conocer los diseños, debido a que a partir de su correcto análisis y lectura se tendrá el criterio necesario para decidir conservarlos o modificarlos con el visto bueno del diseñador, de acuerdo a la situación que corresponda, de igual manera, emplear dichos diseños y normas oportunas de manera estricta y minuciosa nos permitirá tener un margen de error muy bajo y dificultará la ocurrencia de inconvenientes posteriores al proceso. Es indispensable en esta profesión proyectar bases concretas de responsabilidad y disciplina para impedir el alcance de factores externos que puedan obstruir el proceso, para ello, es de vital importancia conocer arduamente el alcance del proyecto, comprender con exactitud los puntos críticos de la obra, manejar tiempos de construcción ajustados y cumplir con los plazos máximos, coordinar el talento humano que incluye desde integrantes del consorcio y de la empresa contratista, hasta personal de la concesión en la que se desarrolla el proyecto en cuestión.

Es necesario reconocer talentos y sobre todo comprender que todos son indispensables. Por ejemplo, la topografía es la parte más importante en el proyecto; si se cuenta con una topografía sólida es más factible una rentabilidad

garantizada.

Un proyecto de tan gran alcance constituye un cúmulo de fuerzas distribuidas entre un grupo humano especializado y numeroso que respeta un ciclo logístico basado en una planeación previa, estructurada según el diseño inicial de la obra luego del estudio de la pre factibilidad, en la cual se determina la posible rentabilidad de la proyección. Luego, en función a las necesidades de la comunidad y de la concesión como cliente, se genera el plan de acción en el que unirán fuerzas principalmente de ingenieros, topógrafos, cadeneros, oficiales de obra y auxiliares, quienes enfatizados individualmente en su respectiva especialidad hacen realidad después de meses una superestructura como ésta, de la que posteriormente dependerán vidas humanas.

Ante la oportunidad otorgada, en la que se llevó a cabo parte de la construcción de un puente en vigas postensadas, con estribos sostenidos en muros de tierra armada, se demostró todo el proceso de cimentación profundamente, desde los pilotes y luego la zapata hasta llegar finalmente a las pilas que sostienen la viga cabezal, el cual constituye un método de tensionamiento usualmente priorizado debido a la facilidad que otorga para reducir la cuantía del acero y así mismo su propio peso, otorgándole fortaleza a la súper estructura.

Tener la posibilidad de participar en este proyecto ha consolidado la misión y visión profesional que construí durante mis años de estudios universitarios. Una labor como ésta, en la que experimentalmente proyecté en campo todos los conocimientos que se me han impartido a lo largo de mi carrera, es el más importante recurso para autodefinirme como un Ingeniero Civil consolidado y capaz, constantemente a la espera de nuevas experiencias y conocimientos que alimenten mi labor y ética profesional.

## **6. BIBLIOGRAFIA**

NORMA COLOMBIANA DE CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Titulo C – Concreto Estructural. Capitulo C.3 AL C.23. NRS-10. Bogotá D.C.:2010.

NORMA COLOMBIANA DE DISEÑO DE PUENTES CCP14. Sección 10, Sección 11. NCP-14. Bogotá D.C.: INVIAS 2014.

NORMA COLOMBIANA DE ENSAYO PARA MATERIALES DE CARRETERA. Sección 200, Sección 600. Bogotá D.C.: INVIAS 2007.

NORMA TECNICA COLOMBIANA. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación, Sexta actualización. Bogotá D.C. Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (INCONTEC). 2008