



**Supervisión técnica y de control en la construcción del puente Las Almagritas y la placa  
huella La Maporita**

Javier Alexander Campo Julio

Ingeniero Civil

Asesor

Ainhoa Rubio Clemente, Doctor (PhD) en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia  
Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Civil  
Apartadó, Antioquia, Colombia  
2024

---

Cita

(Campo Julio, 2024)

---

**Referencia**

Campo Julio, J. (2024). *Supervisión técnica y de control en la construcción del puente Las Almagritas y la placa huella La Maporita*. [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Apartadó, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)

---



Biblioteca Sede Apartadó

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** Jairo Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga Molina.

**Jefe departamento:** Lina Berrouet Cadavid.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Este título se lo dedico a mi madre Maritza Epifania Julio, porque siempre creyó en mí, siempre estuvo en cada momento de este camino, recordando lo capaz que soy y lo que puedo lograr. También quiero dedicarle este título a todas aquellas personas que siempre creyeron en mí y que fueron un apoyo incondicional en cada momento de mi vida.

## **Agradecimientos**

Agradezco profundamente a Dios por ser mi guía constante, proporcionándome la fuerza y la sabiduría necesarias para superar cada desafío. A mi madre, mi fuente inagotable de inspiración, le dedico este logro, agradeciéndole por su amor incondicional y apoyo constante.

Un agradecimiento especial a todos aquellos que creyeron en mí y me respaldaron. Amigos, familiares, profesores y mentores, su aliento ha sido un pilar fundamental en mi camino hacia el éxito. Este logro es el resultado de un esfuerzo colectivo, y cada palabra de apoyo ha sido un motor vital.

Finalmente, pero no menos importante, quiero agradecerme a mí, por el esfuerzo, por la dedicación y por todos los sacrificios que tuve que hacer para culminar esta etapa tan importante en mi vida.

## Tabla de contenido

|  |    |
|--|----|
| Resumen .....                                  | 14 |
| Abstract .....                                 | 15 |
| Introducción .....                             | 16 |
| 1. Justificación .....                         | 19 |
| 2. Objetivos .....                             | 20 |
| 3.1 Objetivo general .....                     | 20 |
| 3.2 Objetivos específicos.....                 | 20 |
| 3. Marco teórico .....                         | 21 |
| 4.1 Puentes .....                              | 23 |
| 4.1.1 Puentes Fijos .....                      | 24 |
| 3.1.1.3. Puente de Arco .....                  | 24 |
| 4.1.1.4. Puentes en Voladizo o Cantiliver..... | 25 |
| 4.1.1.5. Puentes Colgados o Suspendidos.....   | 25 |
| 4.1.2. Puentes Móviles.....                    | 26 |
| 4.2. Partes o Elementos de un Puente.....      | 27 |
| 4.2.1. Superestructura.....                    | 28 |
| 4.2.1.1. Vigas Principales.....                | 28 |
| 4.2.1.2. Diagrama .....                        | 28 |
| 4.2.1.3. Tablero .....                         | 28 |
| 4.2.2. Subestructura.....                      | 29 |
| 4.3. Proceso Constructivo de un Puente .....   | 29 |
| 4.4. Materiales de Construcción.....           | 30 |
| 4.4.1. Concreto .....                          | 32 |
| 4.4.2. Propiedades de los Agregados.....       | 32 |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 4.4.2.1. | Granulometría.....                              | 33 |
| 4.4.2.2. | Módulo de Finura.....                           | 34 |
| 4.4.2.3. | Forma y Textura de Partículas .....             | 34 |
| 4.4.2.4. | Absorción.....                                  | 35 |
| 4.4.2.5. | Relaciones volumétricas y gravimétricas.....    | 35 |
| 4.4.2.6. | Gravedad específica.....                        | 35 |
| 4.4.2.7. | Peso volumétrico.....                           | 36 |
| 4.5.     | Diseño De Mezclas.....                          | 37 |
| 4.6.     | Pruebas Del Concreto En Estado Endurecido ..... | 38 |
| 4.6.1.   | Prueba de Resistencia a la Compresión.....      | 38 |
| 4.6.2.   | Deposito o Vaciado del Concreto.....            | 39 |
| 4.6.3.   | Curado del Concreto.....                        | 40 |
| 4.6.4.   | Prueba de Esclerómetro.....                     | 40 |
| 4.6.5.   | Ensayos de Hormigón Fresco.....                 | 41 |
| 4.7.     | Acero .....                                     | 42 |
| 4.7.1.   | Propiedades del Acero.....                      | 42 |
| 4.7.1.1. | Ductilidad .....                                | 42 |
| 4.7.1.2. | Dureza .....                                    | 42 |
| 4.7.1.3. | Tenacidad .....                                 | 43 |
| 4.8.     | Placas Huella .....                             | 46 |
| 4.8.1.   | Tipos de Placas Huellas.....                    | 47 |
| 4.8.1.1. | Tipo 1 .....                                    | 47 |
| 4.8.1.2. | Tipo 2 .....                                    | 47 |
| 4.8.1.3. | Tipo 3 .....                                    | 48 |
| 4.8.2.   | Proceso constructivo de placas huellas .....    | 49 |

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 4.9.   | Control de Cantidades .....                | 50  |
| 5.     | Metodología .....                          | 52  |
| 6.     | Resultados y Discusión .....               | 56  |
| 6.1.   | Puente Las Almagritas .....                | 56  |
| 6.1.1. | Diseño de Mezcla de Concreto.....          | 57  |
| 6.1.2. | Pruebas De Resistencia Por Elementos ..... | 71  |
| 6.1.3. | Control De Materiales Y Cantidades .....   | 75  |
| 6.1.4. | Disposición De Acero De Refuerzo .....     | 77  |
| 6.1.5. | Volumen de Concreto.....                   | 78  |
| 6.1.6. | Control de Costos .....                    | 80  |
| 6.1.7. | Proceso Constructivo.....                  | 81  |
| 6.2.   | Placa huella La Maporita.....              | 90  |
| 6.2.1. | Disposición de Materiales .....            | 91  |
| 6.2.2. | Proceso constructivo .....                 | 93  |
| 7.     | Conclusiones .....                         | 97  |
| 8.     | Referencias.....                           | 99  |
| 9.     | Anexos .....                               | 102 |

## Lista de tablas

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> Tipos de puentes.....  | 27 |
| <b>Tabla 2.</b> Límites Granulométricos de Agregados para algunas aplicaciones.....  | 33 |
| <b>Tabla 3.</b> Consistencia y aspecto de acuerdo con el asentamiento. ....  | 42 |
| <b>Tabla 4.</b> Empalmes por traslapos a tracción.....   | 43 |
| <b>Tabla 5.</b> Longitudes de desarrollo. ....   | 44 |
| <b>Tabla 6.</b> Número de designación de las barras corrugadas y rollos, peso (masa) nominal, dimensiones nominales y requisitos de los resaltes. .... | 46 |
| <b>Tabla 7.</b> Materiales utilizados en diseño de mezcla con material mixto.....  | 58 |
| <b>Tabla 8.</b> Pesos y volumen absoluto obtenidos para agregado mixto.....  | 60 |
| <b>Tabla 9.</b> Humedad natural. ....  | 60 |
| <b>Tabla 10.</b> Pesos unitarios material suelto. ....   | 61 |
| <b>Tabla 11.</b> Peso unitario muestra compactada. ....  | 61 |
| <b>Tabla 12.</b> Resultados obtenidos de granulometría.....  | 62 |
| <b>Tabla 13.</b> Proporciones para un metro cúbico de concreto. ....   | 63 |
| <b>Tabla 14.</b> Resistencia obtenida para los diseños de mezcla realizados en el laboratorio por compresión simple.....                               | 65 |
| <b>Tabla 15.</b> Características de material utilizado en el diseño de mezcla. ....  | 66 |
| <b>Tabla 16.</b> Análisis granulométrico agregado grueso.....  | 67 |
| <b>Tabla 17.</b> Análisis granulométrico agregado fino. ....   | 68 |
| <b>Tabla 18.</b> Cantidades y proporciones para mezcla de concreto. ....   | 69 |
| <b>Tabla 19.</b> Resistencias obtenidas en diseño de mezcla con material de cantera. ....  | 70 |
| <b>Tabla 20.</b> Resultados pruebas de compresión a cilindros de pilas. ....   | 72 |
| <b>Tabla 21.</b> Resultados pruebas de compresión a cilindros de viga cabezal. ....  | 72 |
| <b>Tabla 22.</b> Resultados pruebas de compresión a cilindros de espaldar.....   | 73 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 23.</b> Resultados pruebas de compresión a cilindros de viga principal.....                              | 74 |
| <b>Tabla 24.</b> Resultados prueba de compresión simple cilindros de vigas riostras. ....                         | 74 |
| <b>Tabla 25.</b> Tabla de cantidades de acero por elemento estructural.....                                       | 76 |
| <b>Tabla 26.</b> Resumen de cantidades de acero por elemento estructural. ....                                    | 76 |
| <b>Tabla 27.</b> Memorias de cálculo. ....  | 77 |
| <b>Tabla 28.</b> Relación de volumen de concreto por elemento estructural. ....                                   | 78 |
| <b>Tabla 29.</b> Cantidad de materiales necesarios para elaboración de concreto por elemento<br>estructural. .... | 79 |
| <b>Tabla 30.</b> Formato de acta de mayores y menores cantidades. ....  | 80 |
| <b>Tabla 37.</b> Longitud y cantidad de placas en concreto y ciclópeo.....  | 91 |
| <b>Tabla 38.</b> Información de cantidades de acero para elementos de placa huella. ....                          | 92 |
| <b>Tabla 39.</b> Cantidades de acero para elementos de la placa huella.....                                       | 92 |
| <b>Tabla 40.</b> Cantidad de acero por referencia de barra.....   | 93 |
| <b>Tabla 41.</b> Volumen de materiales necesarios para la construcción de la placa huella. ....                   | 93 |



## Lista de figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Puentes de tramo continuo.....  | 24 |
| <b>Figura 2.</b> Puente en arco.....   | 25 |
| <b>Figura 3.</b> Puente en voladizo.....   | 25 |
| <b>Figura 4.</b> Puentes colgantes o suspendidos. ....   | 26 |
| <b>Figura 5.</b> Puentes basculantes. ....   | 26 |
| <b>Figura 6.</b> Puentes giratorios.....   | 26 |
| <b>Figura 7.</b> Estructura y subestructura de un puente. ....                                   | 28 |
| <b>Figura 8.</b> Estructura del concreto hidráulico. ....  | 32 |
| <b>Figura 9.</b> Juego de tamices. ....  | 33 |
| <b>Figura 10.</b> Grados de humedad en una partícula de agregado. ....                           | 35 |
| <b>Figura 11.</b> Elementos que intervienen en un peso volumétrico. ....                         | 37 |
| <b>Figura 12.</b> Prueba de resistencia a compresión. ....                                       | 38 |
| <b>Figura 13.</b> Cilindros de muestra. ....   | 39 |
| <b>Figura 14.</b> Resistencia a la compresión del hormigón para diferentes casos de curado. .... | 40 |
| <b>Figura 15.</b> Martillo Schmidt.....  | 41 |
| <b>Figura 16.</b> Cono Abrams. ....  | 41 |
| <b>Figura 17.</b> <i>Longitud de desarrollo.</i> ....  | 44 |
| <b>Figura 18.</b> Barras corrugadas. ....  | 45 |
| <b>Figura 19.</b> Barras de acero lisas. ....  | 45 |
| <b>Figura 20.</b> Registro, construcción de anillos e instalación de acero en pilas. ....        | 81 |
| <b>Figura 21.</b> Registro, viga cabezal y espaldar.....   | 82 |
| <b>Figura 22.</b> Registro, vigas principales y riostras. ....                                   | 84 |
| <b>Figura 23.</b> Registro obra falsa y losa principal. ....                                     | 85 |
| <b>Figura 24.</b> Registro construcción New Jersey. ....   | 87 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 25.</b> Registro, zapatas y losas de aproximación. ....                | 89 |
| <b>Figura 26.</b> Registro actividades preliminares. ....                        | 94 |
| <b>Figura 27.</b> Registro, Movimientos de tierra y adecuación del terreno. .... | 95 |
| <b>Figura 28.</b> Registro, instalación de material granular. ....               | 96 |

## Lista de ilustraciones

|  |    |
|--|----|
| <b>Ilustración 1.</b> Proceso de constructivo de puente.....   | 30 |
| <b>Ilustración 2.</b> Placa huella tipo 1.....   | 47 |
| <b>Ilustración 3.</b> Placa huella tipo 2.....   | 48 |
| <b>Ilustración 4.</b> Detalle sección placa huella tipo 2. ....  | 48 |
| <b>Ilustración 5.</b> Placa huella tipo 3.....   | 49 |
| <b>Ilustración 6.</b> Proceso constructivo de placas huella. ....  | 50 |
| <b>Ilustración 7.</b> Ubicación geográfica San Pedro de Urabá. ....  | 52 |
| <b>Ilustración 8.</b> Ubicación geográfica Las Almagritas. ....  | 53 |
| <b>Ilustración 9.</b> Planta estructural puente Las Almagritas. ....   | 56 |
| <b>Ilustración 10.</b> Cantidad de materiales utilizados para la elaboración de 1 m <sup>3</sup> de concreto con agregado mixto..... | 65 |
| <b>Ilustración 11.</b> Modelo de placa huella.....   | 90 |

## Lista de gráficos

|   |    |
|---|----|
| <b>Gráfico 1.</b> Curva granulométrica para material mixto. ....    | 63 |
| <b>Gráfico 2.</b> Ajuste dosificación de agregados para mezcla..... | 69 |

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>ACI</b>           | Instituto Americano del Concreto, por sus siglas en inglés |
| <b>ASTM</b>          | Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales          |
| <b>DNP</b>           | Departamento Nacional de Planeación                        |
| <b>INVIAS</b>        | Instituto Nacional de Vías                                 |
| <b>MINTRANSPORTE</b> | Ministerio de Transporte                                   |
| <b>NSR10</b>         | Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente     |
| <b>PEDET</b>         | Programas de Desarrollo con Enfoque Territorial            |
| <b>PMA</b>           | Plan de Manejo Ambiental                                   |
| <b>PMT</b>           | Plan de Manejo de Transito                                 |
| <b>RCD</b>           | Residuos de construcción y demolición                      |

## **Resumen**

Este trabajo se enfoca en la supervisión y control de los procesos constructivos de dos proyectos de infraestructura vital en la región de Urabá; la construcción de un puente en San Pedro de Urabá y la pavimentación de una placa huella en Chigorodó. Ambos proyectos surgen como solución a la necesidad de las comunidades aledañas para mejorar su calidad de vida y facilitar el transporte de sus productos. El objetivo principal de la practica académica es proporcionar apoyo técnico y de control en los procesos constructivos de ambos proyectos enfocado en la calidad y disposición de los materiales utilizados en obra, a fin de cumplir con los requerimientos y especificaciones técnicas de cada proyecto. Para lograr este objetivo, se propuso una metodología que comprende diferentes etapas, las cuales van desde la revisión bibliográfica hasta la elaboración de un sistema documentado que permita consolidar y disponer de la información de los proyectos. Con la realización de este trabajo, se pretende mejorar la infraestructura local de la región de Urabá, permitiendo consolidar la economía de esta pujante región.

*Palabras clave:* Placa huella, puentes en concreto rígido, materiales de construcción, supervisión técnica.

## **Abstract**

This work focuses on the supervision and control of the construction processes of two vital infrastructure projects in the Urabá region; the construction of a bridge in San Pedro de Urabá and the paving of a footprint plate in Chigorodó. Both projects arise as a solution to the need of the surrounding communities to improve their quality of life and facilitate the transportation of their products. The main objective of the academic practice is to provide technical and control support in the construction processes of both projects focused on the quality and disposition of the materials used in the work, in order to meet the requirements and technical specifications of each project. To achieve this objective, a methodology was proposed that includes different stages, which range from the bibliographic review to the development of a documented system that allows the consolidation and availability of project information. The implementation of this work aims to improve the local infrastructure of the Urabá region, allowing the economy of this thriving region to be consolidated.

*Keywords:* Footprint plates, rigid concrete bridges, construction materials, technical supervision.

## **Introducción**

La ingeniería civil es una disciplina que se caracteriza por su naturaleza multidisciplinar y su enfoque en la aplicación de principios científicos y técnicos enfocados en proponer soluciones a problemas de diversa índole. Esta, abarca un amplio espectro de desafíos que van desde la concepción misma del proyecto hasta la construcción o ejecución de esta (Jiménez, 2020). Las practicas académicas representan una oportunidad única para transformar los conocimientos teóricos obtenidos durante la formación universitaria en soluciones prácticas. Este informe pretende evidenciar los procesos ejecutados durante la práctica académica, centrada en la supervisión y control de los procesos contractivos de dos proyectos de gran impacto para la comunidad de San Pedro de Urabá y el municipio de Chigorodó.

La región de Urabá se encuentra ubicada al norte del departamento de Antioquia. En los últimos años, esta región ha experimentado un crecimiento exponencial en la inversión pública debido a su ubicación geoespacial que le permite posicionarse como uno de los principales atractivos turísticos y de desarrollo económico, razón por la cual se le ha denominado la mejor esquina de América (Zapata & Galvis, 2020; Ospina, 2020). Este crecimiento ha permitido mejorar de manera general la infraestructura de los principales municipios de la región, pero también ha generado una fuerte inversión en zonas rurales que carecen de infraestructura vial para el transporte de productos agrícolas, como es el caso de las denominadas placas huella y la construcción o mejoramientos de puentes rígidos en concreto.

Con la apuesta del gobierno en mejorar la calidad de vida de las personas que se encuentran ubicadas en zonas de difícil acceso y mejorar la distribución de productos de consumo primario, se han priorizado los municipios denominados como PDET (Planes de Desarrollo con Enfoque Territorial) para ejecutar obras de infraestructura que contribuyan a este fin (Gómez, 2020). Se sabe que al ser zonas remotas con difícil acceso se presentan desafíos técnicos y logísticos para la puesta en marcha de cualquier proyecto de infraestructura. Estos desafíos van desde el transporte de los materiales hasta la disposición correcta de los mismos durante los procesos constructivos. Es aquí, donde se deben implementar alternativas que permitan cumplir con el objetivo propuesto que es la construcción de los proyectos, pero garantizando las especificaciones técnicas y de calidad de estos.

Actualmente, en Urabá, ocho de los once municipios que lo conforman pertenecen a los denominados PDET, entre los cuales se encuentran los municipios de Dabeiba, Mutatá, Turbo,



Apartadó, Necoclí, Carepa, San Pedro de Urabá y Chigorodó. Estos dos últimos, han venido mejorando su infraestructura vial terciaria, teniendo en cuenta que la principal actividad económica está enfocada en la producción de productos primarios de consumo. Para el caso de San Pedro de Urabá, la Gobernación de Antioquia ha destinado cerca de \$18.000 millones de pesos colombianos para el mejoramiento y pavimentación de la vía que comunica al corregimiento El Tres de Turbo con el Municipio de San Pedro de Urabá (Barbarán, 2023) con el fin de facilitar el transporte terrestre de la zona y contribuir al desarrollo económico.

Además de esto, el municipio de San Pedro en unión con el municipio de Turbo, han aunado esfuerzos para mejorar las vías de acceso a las zonas remotas de San Pedro de Urabá, entre las zonas beneficiadas de esta unión se encuentra la vereda Las Almagritas, la cual se caracteriza por poseer cultivos de tubérculos, frutas y la crianza de bovinos. En los últimos años, en esta zona se presentó el colapso de uno de los puentes principales de acceso por la socavación generada por la quebrada Almagritas sobre la estructura principal del puente, lo que ha generado problemas durante el transporte de los productos y movimiento de bovinos. Teniendo en cuenta esta problemática se destinaron recursos cercanos a los \$800 millones de pesos colombianos para la construcción de un puente en concreto rígido de aproximadamente quince metros de longitud y ancho de seis metros de ancho.

Con relación al municipio de Chigorodó, desde la alcaldía de este municipio se destinaron recursos para la construcción de aproximadamente setecientos metros de placa huella en cercanías a la vereda La Maporita, la cual se encuentra ubicada al suroeste del municipio de Chigorodó. Esta zona se caracteriza por tener una actividad económica primaria dedicada al cultivo y crianza de animales destinados al consumo humano.

En ambos casos, se presentan condiciones complejas para la ejecución de los proyectos con base a las especificaciones técnicas y de diseño establecidas. Principalmente porque ambos proyectos se encuentran ubicados en zonas rurales de difícil acceso donde se hace evidente la carencia de materiales de buena calidad como son los agregados. Sumado a la carencia de vías en buen estado para el ingreso de material en vehículos de carga pesada. El objetivo principal de estas prácticas académicas es abordar de manera integral los desafíos planteados durante la construcción de ambos proyectos, proporcionando apoyo técnico en la supervisión y control de los procesos constructivos teniendo un enfoque centrado en la calidad y disposición de los materiales utilizados en obra. Con miras a garantizar el cumplimiento de este objetivo, se ha establecido una serie de

etapas que van desde la documentación bibliográfica inherente a los procesos constructivos de puentes y placas huella hasta la elaboración de un sistema documentado que permitirá consolidar la información de ambos proyectos.

## **1. Justificación**

La supervisión técnica de una obra es un factor clave y determinante en la funcionalidad y el éxito de un proyecto u obra ingenieril (Solís, 2004). La ejecución y construcción de los elementos estructurales y no estructurales de acuerdo con las especificaciones técnicas de diseño permiten garantizar la durabilidad y funcionalidad de toda obra ingenieril.

De acuerdo con el diccionario de la Real Academia, el termino supervisión “*es ejercer la inspección en trabajos realizados por otro*”. Esto sugiere, que la persona encargada de ejercer las funciones de supervisión deberá tener no solo habilidades técnicas sino también, habilidades sociales y de comunicación, para dirigir y coordinar el cuerpo técnico de la obra con el fin de lograr el objetivo en común que es la construcción y finalización de todo proyecto civil (Solis, 2004). Con todo esto, es de gran importancia garantizar una adecuada disposición de materiales y ejercer controles en cuanto a la calidad durante los procesos constructivos.

Par el desarrollo de las practicas académicas en el área de la supervisión técnica y de control en la construcción de dos proyectos relacionados con vías y transporte, es de gran importancia tener claridad sobre la disposición adecuada de cada uno de los materiales tanto de uso estructural como no estructural. Además de dar cumplimiento a las especificaciones suministradas por el diseñador y realizando un análisis de la documentación y normatividad vigente en Colombia, principalmente los definidos por los entes de control como el Ministerio de Transporte (MINTRANSPORTE), INVIAS y el Departamento de Planeación Nacional (DNP). Teniendo en cuenta que los proyectos descritos en este informe hacen parte de obras de mejoramiento de movilidad y transporte.

## **2. Objetivos**

### **3.1 Objetivo general**

Brindar apoyo técnico en la supervisión y control de los procesos constructivos del puente Almagritas en San Pedro de Urabá y la placa huella La Maporita en el municipio de Chigorodó enfocado en la calidad y gestión de materiales de obra.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Revisar la normatividad vigente referente a la construcción de puentes y las guías metodológicas emitidas por INVIAS para la construcción de placa huellas.
- Cuantificar las cantidades de material (acero y concreto) necesarios para la construcción de ambos proyectos.
- Realizar seguimiento continuo de los procesos constructivos para garantizar la disposición correcta de materiales con base en las especificaciones técnicas planteadas en los planos de diseño y lo establecido por INVIAS.
- Evaluar la calidad de los materiales, asegurando su cumplimiento con los estándares técnicos establecidos en los proyectos de construcción mediante la realización de pruebas de resistencia en cilindros de concreto y pruebas a los agregados.

### **3. Marco teórico**

La construcción de puentes y pavimentación de vías rurales como placas huella, son proyectos fundamentales para mejorar la infraestructura y la conectividad en zonas rurales de acceso limitado. Garantizar la calidad, ejecución adecuada de recursos y la gestión eficiente de los materiales en cualquier proyecto de infraestructura es esencial para cumplir con los requerimientos técnicos y de resistencia establecidos para cada proyecto. En este marco teórico se abordan aspectos claves relacionados con la normatividad colombiana, la cuantificación de materiales, el seguimiento de procesos constructivos y el control en la calidad de materiales utilizados en la construcción de puentes y placas huella.

En los últimos años el departamento de Antioquia y la región de Urabá han experimentado un crecimiento notable en lo que refiere a inversión destinada para proyectos de infraestructura vial y desarrollo urbano. De acuerdo con el informe de anual de inversión en infraestructura vial en Antioquia emitido por el Ministerio de transporte de Colombia, en 2020 se destinó una suma significativa de recursos económicos para el mejoramiento de las vías de acceso, construcción y mantenimiento de puentes, carreteras y placas huella en la región. Además de esto, el gobierno nacional con el programa "Más vías rurales" ha destinado un monto cercano a los \$234.783 millones de pesos colombianos para la intervención de 492 Km de vías terciarias en el departamento. Por otro lado, muchos de los municipios de la región de Urabá se han clasificado como poblaciones PDET (Planes de Desarrollo con Enfoque Territorial), para los cuales se están destinando recursos que serán invertidos en el mejoramiento de las vías de acceso como es el caso de los municipios de San Pedro de Urabá y Chigorodó (Ospina, 2020; Gómez, 2020).

Esta inversión se enmarca en la estrategia de desarrollo del gobierno regional que busca mejorar la conectividad entre zonas urbanas y rurales con el fin de facilitar el acceso a servicios básicos y a su vez promover el desarrollo económico de las comunidades locales. Dentro de estas estrategias se encuentra la construcción de puentes y placas huella, los cuales desempeñan un papel crucial dentro de esta estrategia, ya que permite superar algunos de los problemas geográficos presentes en zonas rurales y mejora la capacidad y movilidad de productos agrícolas (Mintransporte, 2020). La inversión en infraestructura también se ha enfocado en la optimización de los recursos y la implementación de prácticas sostenibles (Acevedo & Figueroa, 2023). Esto incluye entre otras cosas la gestión eficiente de residuos de construcción y demolición (RCD), lo

que contribuye en la reducción del impacto ambiental de los proyectos constructivos y promueve la responsabilidad ambiental.

La RCD incluye la clasificación de los residuos generados en la obra, la separación de materiales reciclables y la disposición adecuada de los residuos peligrosos. Esta gestión eficiente de los residuos de construcción y demoliciones contribuye a la reducción de la contaminación ambiental y la implementación de prácticas sostenibles en la construcción, que a su vez dan cumplimiento a las regulaciones locales y nacionales establecidas por los órganos de control.

Con relación a la construcción de puentes y placas huella, la normatividad vigente desempeña un papel crucial en los procesos constructivos de los mismos, ya que estas establecen los criterios técnicos y de diseños necesarios para garantizar la seguridad y funcionalidad de estas estructuras (Norma Colombiana de Diseño de Puentes, 2015). Para el caso de Colombia, la norma referente al diseño y construcción de puentes vehiculares es la CCP14, en la cual se brindan los criterios de diseño necesarios para garantizar un buen desempeño sísmico resistente de estas estructuras. Esta norma está dispuesta por INVIAS cuya última versión corresponde al año 2014. Además de esto, esta misma institución es la encargada de emitir guías y aspectos a tener en cuenta en los procesos constructivos y de diseño.

Con relación a las placas huella, INVIAS es la entidad encargada en Colombia de emitir las guías de diseño para pavimentos con placas huella, teniendo en cuenta que este tipo de estructuras, generalmente son utilizadas en vías terciarias de carácter veredal con características de bajo flujo vehicular y con solicitaciones menores a las vías pavimentadas en concreto rígido (Guía de Diseño de Pavimentos Con Placa - Huella, 2017). Los contenidos estipulados en estas guías van desde la disposición de los refuerzos, el dimensionamiento transversal, resistencia del concreto y las proporciones de concreto-rocas necesarios para los rieles de concreto ciclópeo.

Dentro de la construcción de un proyecto de infraestructura, la calidad de los materiales utilizados juega un papel importante en la durabilidad y la resistencia de la estructura. Para el caso de puentes y placas huella, esto implica la realización de pruebas de resistencia en cilindros de concreto y pruebas de calidad a los agregados utilizados en la mezcla con la finalidad de conocer sus características granulométricas. Para ambos materiales, la Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales por sus siglas en inglés ASTM es la encargada de emitir los lineamientos necesarios para llevar a cabo los ensayos necesarios en estos materiales.

Las pruebas realizadas a cilindros a compresión simple se encuentran orientada por la ASTM-C-469 y la clasificación granulométrica de los agregados se encuentra orientada por la ASTM-C-136. La prueba a compresión simple permite evaluar los esfuerzos normales máximos soportados por un elemento de concreto, lo que permite evaluar si los criterios de diseño de mezcla fueron correctos y garantizan la resistencia de diseño en cada estructura.(ASTM, 2015; (Aquinto & Hernandez, 2004).

A continuación, se realiza una descripción detallada de los tipos de puentes, materiales de construcción y sus propiedades, tipos de placa huella, los controles que se realizan en laboratorio y algunas de las pruebas más comunes que se realizan al concreto en estado fresco y en estado endurecido.

#### **4.1 Puentes**

Un puente es una estructura esencial que se utiliza para unir y permitir el paso sobre obstáculos naturales o infraestructuras existentes, como ríos, depresión en el terreno y en carreteras. Estos pueden ser construidos con diferentes tipos de materiales que varían en función del uso, la necesidad y las solicitudes de carga (Merrit, 1985).

Los puentes han sido parte importante dentro del desarrollo de las naciones, ya que, estos son puntos de unión y paso de las redes viales que facilitan el transporte y movilidad en general de las poblaciones (DNP, 2017). Dentro de los puentes más utilizados sobresalen los puentes en concreto reforzado, debido principalmente a su larga vida útil y bajos costos de mantenimiento. Además, estos suelen ser implementados en sitios de difícil acceso con materiales locales. Los puentes se pueden clasificar de acuerdo con su función.

Los puentes pueden clasificarse con su función, por el tipo y forma de construcción, por la disposición de tramos y el método utilizado. Sin embargo, todos estos se enmarcan en dos grandes categorías que son; puentes fijos y puentes móviles. Esta misma clasificación es compartida (Merrit, 1985); sin embargo, esto propone que los puentes también pueden clasificarse de acuerdo con sus características como: servicios o instalaciones soportadas, puentes sobre instalaciones, de acuerdo con su geometría y finalmente de acuerdo con su sistema estructural.

### 4.1.1 Puentes Fijos

Los puentes fijos son estructuras permanentes que conectan dos puntos sobre un obstáculo o accidente geográfico. Dentro de los puentes fijos podemos encontrar los siguientes.

- Puentes de tramo simple.
- Puentes de tramo continuo.
- Puentes de arco.
- Puentes tipo cantiliver.

#### 4.1.1.1 Puentes de Tramo Simple

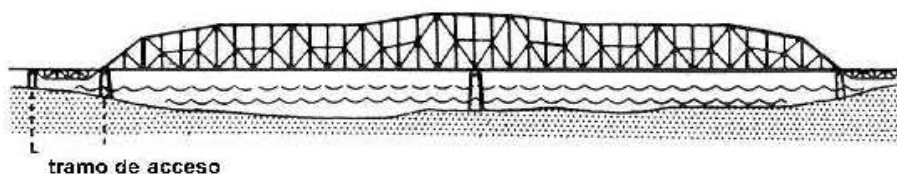
Conocidos generalmente como independientes, son todos aquellos que se extienden desde un estribo al otro teniendo un único apoyo. Generalmente son contruidos por vigas que soportan el tablero (losa).

#### 4.1.1.2. Puentes de tramo continuo

Este tipo de puente se caracteriza por su extensión de un extremo a otro sin poseer generalmente apoyos intermedios, estos poseen al menos tres estribos para garantizar su correcto funcionamiento.

### Figura 1.

*Puentes de tramo continuo.*



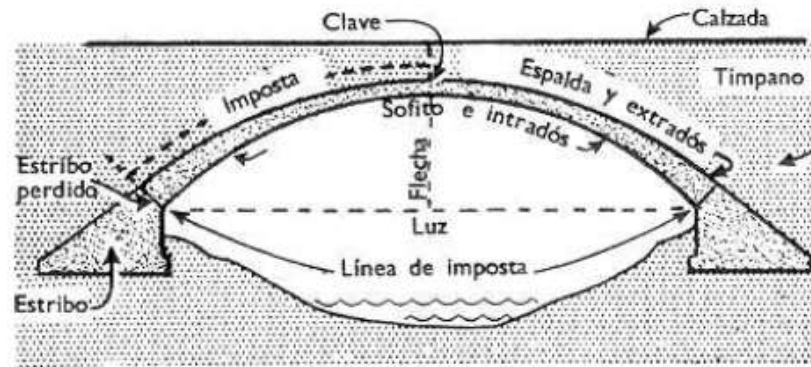
*Nota.* Fuente (AASHTO, s/f); p. 2-3.

#### 3.1.1.3. Puente de Arco

Son puentes que se caracterizan por su forma arqueada para soportar y distribuir las cargas hacia los extremos de este, es muy utilizado en puentes de gran envergadura.



**Figura 2.**  
*Puente en arco.*

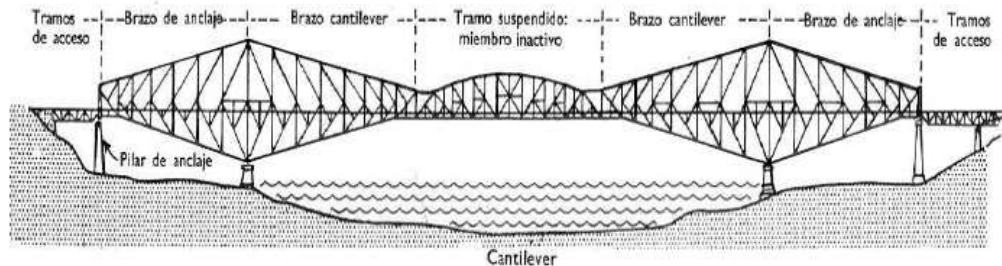


*Nota.* Fuente (AASHTO, s/f); p. 2-4.

#### 4.1.1.4. Puentes en Voladizo o Cantiliver

Estos generalmente son utilizados cuando se deben realizar tramos largos de hasta 900m de longitud. En este puente sus vigas principales se extienden hacia afuera desde sus apoyos.

**Figura 3.**  
*Puente en voladizo*

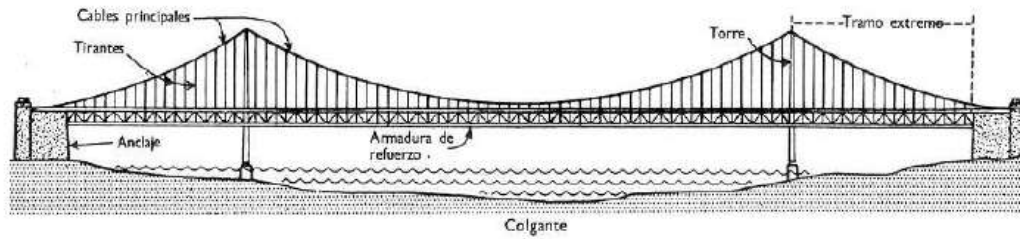


*Nota.* Fuente (AASHTO, s/f); p. 2-8.

#### 4.1.1.5. Puentes Colgados o Suspendidos

Este tipo de puente es generalmente utilizado en espacios de grandes envergaduras soportando tramos lineales de hasta 2100m. Se caracteriza por la presencia de grandes cables que soportan la estructura principal que van anclados a las pilas y suspendidas sobre torres generalmente de concreto reforzado.

**Figura 4.**  
*Puentes colgantes o suspendidos.*

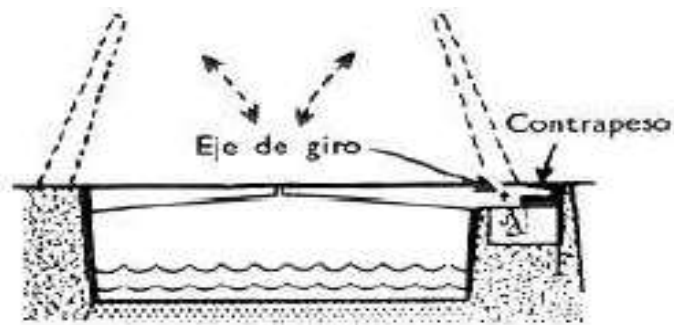


*Nota.* Fuente (AASHTO, s/f); p. 2-9

#### **4.1.2. Puentes Móviles**

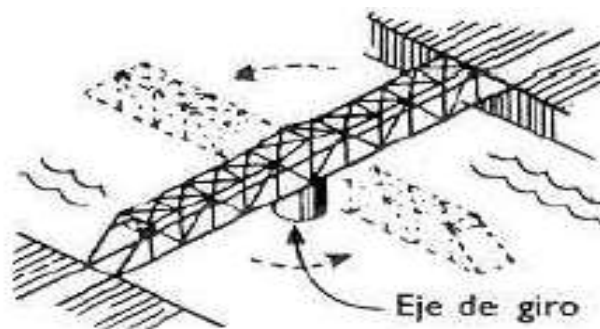
Los puentes móviles son estructuras diseñadas con componentes estructurales que permiten su movimiento, con el fin de facilitar el paso de embarcaciones, estos pueden ser, giratorios, levadizos, rodantes, de ascenso vertical y plegable.

**Figura 5.**  
*Puentes basculantes.*



*Nota.* Fuente (AASHTO, s/f); p. 2-18.

**Figura 6.**  
*Puentes giratorios.*



*Nota.* Fuente (AASHTO, s/f); p. 2-20.

Además de la clasificación anterior, otros autores proponen una clasificación más específica de las cuales se destacan los siguientes:

**Tabla 1.**  
*Tipos de puentes.*

| <b>Criterio</b>   | <b>Tipos de Puente</b>                              |
|---|---|
| <b>Según Su Longitud</b>                                | Puentes mayores (luces de vano >50 metros)          |
|   | Puentes menores (luces de vano entre 6 y 50 metros) |
|   | Alcantarillas (luces de vano <6 metros)             |
| <b>Según Su Objetivo O Servicio</b>                     | Puentes comunes                                     |
|   | Puentes ferroviarios                                |
|   | Puentes aeroportuarios                              |
|   | Puentes de acueducto                                |
|   | Puentes de canal                                    |
|   | Puentes mixtos                                      |
| <b>Según Su Material</b>                                | Puentes de madera                                   |
|   | Puentes de mampostería                              |
|   | Puentes de hormigón simple y armado                 |
|   | Puentes de hormigón pretensado                      |
|   | Puentes metálicos                                   |
|   | Puentes de sección mixta                            |
|   | Puentes de piedra                                   |
| <b>Según La Ubicación Del Tablero</b>                   | Puentes de tablero superior                         |
|   | Puentes de tablero inferior                         |
|   | Puentes de varios tableros                          |
| <b>Según Transmisión De Cargas A La Infraestructura</b> | Puentes de viga                                     |
|   | Puentes aporticado                                  |
|   | Puentes en arco                                     |
|   | Puentes en voladizos sucesivos                      |
|   | Puentes atirantado                                  |
|   | Puentes colgantes                                   |

*Nota.* Fuente, elaboración propia.

#### **4.2. Partes o Elementos de un Puente**

A manera general, se puede dividir en dos grupos principales que son: la superestructura y la infraestructura. La primera conformada por todos los elementos estructurales que transmiten las cargas y la infraestructura constituida por elementos que se encuentra a nivel del subsuelo (AASHTO, s/f; Belmonte, 1990). Como se observa en la **Figura 7**. En los puentes se encuentran



#### **4.2.2. Subestructura**

Se encuentra compuesta por los siguientes elementos que soportan las cargas originadas en la superestructura y las transmite a los estribos de suelo (Méndez & Torres, 2017). Esos elementos son:

**4.2.2.1. Pilas:** estos elementos corresponden a las columnas intermedias reciben que las reacciones de dos tramos del puente y la transmiten al suelo. Estas pueden construirse en formas variadas que van desde un solo elemento, hasta muros macizos (Méndez & Torres, 2017).

**4.2.2.2. Estribos:** son los apoyos que se ubican en los extremos del puente y son los encargados de transmitir la carga de este hacia el suelo y también dan estabilidad al relleno de los accesos del puente (AASHTO, s/f).

#### **4.3. Proceso Constructivo de un Puente**

El proceso constructivo de un puente consiste en una secuencia de actividades que van desde la localización del sitio hasta las pruebas finales de carga. Estas actividades generalmente se desarrollan de forma secuencial salvo algunas que no dependen de la finalización de alguna otra actividad.

A continuación, se ilustra el proceso constructivo de un puente de acuerdo con lo establecido por el DNP en conjunto con Mintransporte en 2017 (DNP, 2017).

En muchos casos, la construcción de los espaldares se funde monolíticamente con los estribos, esto con el fin de tener un mejor comportamiento dinámico. Para el caso de puentes que requieren instalación de Neoprenos, estos se colocan antes de realizar el vaciado de las vigas principales.

**Ilustración 1.**  
*Proceso de constructivo de puente.*



*Nota.* Fuente, (DNP, 2017); p. 32.

#### **4.4. Materiales de Construcción**

La industria de la construcción ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de las actividades humanas, gracias a la construcción de obras que suplen una necesidad específica. Este desarrollo ha sido marcado por la industrialización lo que ha destacado la importancia de los materiales de construcción los cuales constituyen la base esencial de cualquier edificación (Betancourt, 2017).

En ingeniería, los materiales de construcción han tenido grandes desarrollos y avances en cuanto a su calidad y prestaciones que estos pueden dar. Como resultado de la gran demanda de

materiales a nivel global las industrias se han visto obligadas a sustituir o buscar nuevas alternativas de materiales que sean mucho más eficientes y que tengan mayor durabilidad y prestaciones en general (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

Entre los materiales de construcción más utilizados en cualquier tipo de proyecto constructivo, sobresalen dos que son considerados primordiales en los proyectos, estos son el concreto y el acero. Este primero también conocido generalmente como hormigón, es un material compuesto de partículas separadas de agregados (finos, gruesos), agua y cemento que se combinan para generar una pasta con características especiales de resistencia a esfuerzos de compresión (Askeland & Wright, 2016).

Por otro lado, el acero es un material ferroso compuesto principalmente por hierro y carbono junto con otros elementos presentes en menor concentración los cuales dotan de características particulares como resistencia a tracción, maleabilidad y ductilidad (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

La utilización de estos dos materiales juntos ha permitido la construcción de obras monumentales, ya que la unión de estos dos materiales genera un alto desempeño y complementa en cuanto a la resistencia de los elementos estructurales (ARGOS, 2021). Sin embargo, esta resistencia dependerá en gran medida de la adherencia entre el concreto y el acero (Osorio, 2014). En la siguiente imagen se muestra la forma en la que varía la deformación conforme a los valores de adherencia.

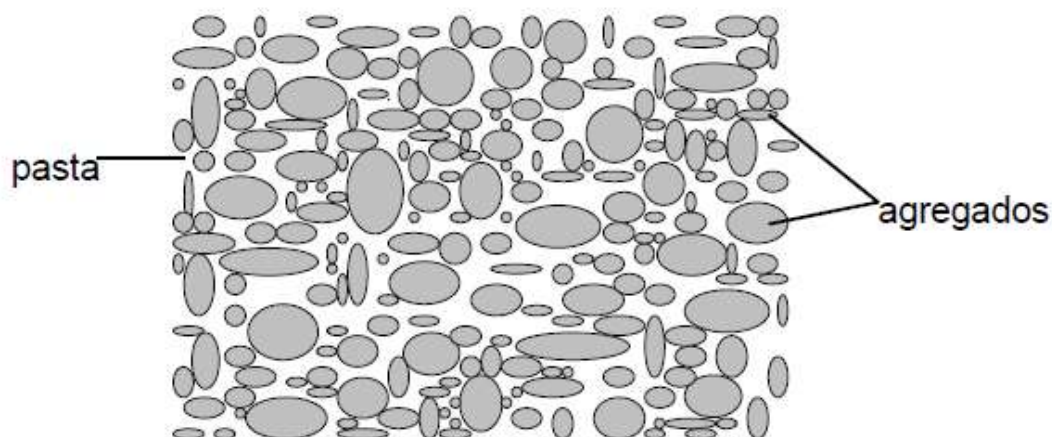
Teniendo en cuenta que estos materiales son de gran importancia en el sector de la construcción, a continuación, se describe cada una de sus propiedades y metodologías para elevar su calidad, clasificación y tipos de cada uno.

#### **4.4.1. Concreto**

El concreto está compuesto mayoritariamente por agregado grueso (grava) y arena, con un valor comprendido entre el 70-80% en volumen de toda la mezcla y entre el 30-50% de la parte se encuentra constituida por agua y cemento. (Gómez, s/f).

#### **Figura 8.**

*Estructura del concreto hidráulico.*



*Nota.* Fuente, (Gómez, s/f); p. 90.

El concreto hidráulico, generalmente se diseña para resistencias específicas de acuerdo con el uso y las sollicitaciones de cada elemento. Estas varían de acuerdo con varios factores como son: las proporciones de la mezcla (Cemento, agua, agregados finos y gruesos), utilización de aditivos y propiedades de los agregados (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

#### **4.4.2. Propiedades de los Agregados**

Los agregados son materiales granulares cuyo tamaño es variable de acuerdo con los procesos físicos a los que fueron sometidos. Estos se encuentran en la naturaleza y se clasifican mayormente como finos, arena y grava (Gómez, s/f). Estos materiales se pueden clasificar en dos grupos de acuerdo con su procedencia en naturales y precedentes de canteras. Este último es el resultado de la trituración mecánica de material (Mamlouk & Zaniewski, 2009).



#### 4.4.2.1. Granulometría

Este término hace referencia a la distribución del tamaño de las partículas de una muestra que se clasifica mediante la utilización de tamaños que presentan aberturas variables. (Gómez, s/f)

Esta técnica se denomina cribado.

**Figura 9.**  
*Juego de tamices.*



*Nota.* Fuente. tomado de [estudio de muestra de suelo geología y suelos 2010-2: tamizado \(blogsuelos.blogspot.com\)](http://blogsuelos.blogspot.com).  
(Dorado, 2010).

El tamaño de los agregados define el uso que se le puede dar a este tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 2.**  
*Límites Granulométricos de Agregados para algunas aplicaciones.*

| Malla                      | Concreto     | Hidráulico   | Concreto         | Base Hidráulica |
|----------------------------|--------------|--------------|------------------|-----------------|
|                            | Grava % Pasa | Arena % Pasa | Asfáltico % Pasa | % Pasa          |
| 25.4 mm (1 ")              | 100          |              |                  |                 |
| 19.0 (3/4 ")               | 90-100       |              | 100              | 100             |
| 12.7 (1/2 ")               |              |              | 90-100           |                 |
| 9.5 (3/8 ")                | 20-55        | 100          | 70-95            | 50-85           |
| 4.75 (No. 4)               | 0-10         | 95-100       | 45-70            | 35-65           |
| 2.36 (No. 8)               | 0-5          | 80-100       |                  |                 |
| 2.00 (No. 10)              |              |              |                  | 25-50           |
| 1.18 (No. 16)              |              | 50-85        | 20-50            |                 |
| 600 $\mu\text{m}$ (No. 30) |              | 25-60        |                  |                 |
| 425 (No. 40)               |              |              |                  | 15-30           |
| 300 (No. 50)               |              | 10-30        | 5-25             |                 |
| 150 (No. 100)              |              | 2-10         |                  |                 |
| 75 (No. 200)               |              |              | 3-10             | 5-15            |

*Nota.* Fuente (Gómez, s/f); p. 66.

Dentro de la granulometría hay algunos parámetros que son de gran importancia para el diseño de las mezclas y la clasificación del árido. Como es el tamaño máximo y mínimo permisible. El tamaño máximo, corresponde al tamiz de menor diámetro por el cual pasa el 100% de las partículas de una muestra (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

La ASTM clasifica los áridos en función de su diámetro de la siguiente manera, grueso son todas las partículas que son retenidas en el tamiz N°4, finos son todos aquellos que pasan el tamiz N°4 y polvo los que pasan mayoritariamente por el tamiz N°200 (ASTM - 136, 2001); (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

#### **4.4.2.2. Módulo de Finura**

Este módulo corresponde a la medida de la granulometría de los agregados finos y generalmente se utiliza para los diseños de concreto hidráulico y corresponde a la centésima parte del total de los valores retenidos en los tamices (N°100, N°50, N°30, N°16, N°8 y N°4). Este se determina mediante la siguiente expresión.

$$MF = \frac{\sum N^{\circ}100 + N^{\circ}50 + N^{\circ}30 + N^{\circ}16 + N^{\circ}8 + N^{\circ}4}{100}$$

*Ec 1. Módulo de finura.*

#### **4.4.2.3. Forma y Textura de Partículas**

La forma y la textura de los áridos determina como se darán los procesos de aglomeración de los materiales. Características que permiten definir si eta tendrá una configuración densa o no (Mamlouk & Zaniewski, 2009). Por otro lado, la textura de las partículas determina la manera en la que los áridos se compactan y se fijan con el material aglomerante (DNP, 2017; Mamlouk & Zaniewski, 2009).

#### 4.4.2.4. Absorción

Este parámetro suele ser muy importante al momento de realizar diseños de mezcla ya que permite estimar la capacidad que tiene un material para retener agua en su interior, lo que es determinante para realizar correcciones de humedad (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

#### 4.4.2.5. Relaciones volumétricas y gravimétricas

Son parámetros necesarios teniendo en cuenta que los diseños de mezcla de concretos hidráulicos se llevan a cabo en volumen o en peso de materiales (Gómez, s/f; Mamlouk & Zaniewski, 2009).

#### Figura 10.

*Grados de humedad en una partícula de agregado.*



*Nota.* Fuente (Gómez, s/f); p. 70.

#### 4.4.2.6. Gravedad específica

Esta también se conoce como densidad relativa, es una medida de la densidad de un material con relación a la de otro material que generalmente es agua con valor de referencia. Este parámetro es importante para los diseños al igual que la densidad y la masa por unidad de volumen. La gravedad específica se distingue por su estimación en tres tipos que son:

$$\text{gravedad específica en estado seco} = \frac{\text{peso seco}}{(V \text{ total})ra} = \frac{W_s}{(V_s + V_i + V_p)ra}$$

***Ec 2. gravedad específica en estado seco.***

Donde:

Ws: peso sólido

Vs: volumen sólido

Vi: volumen de los huecos impermeables

Vp: volumen de los huecos permeables

ra: peso unitario agua

$$\text{gravedad específica sss} = \frac{Ws + Wp}{(Vs + Vi + Vp)ra}$$

***Ec 3. gravedad específica sss.***

Wp: peso de agua en los huecos permeables

$$\text{gravedad específica aparente} = \frac{Ws}{(Vs + Vi)ra}$$

***Ec 4. Específica aparente.***

**4.4.2.7. Peso volumétrico**

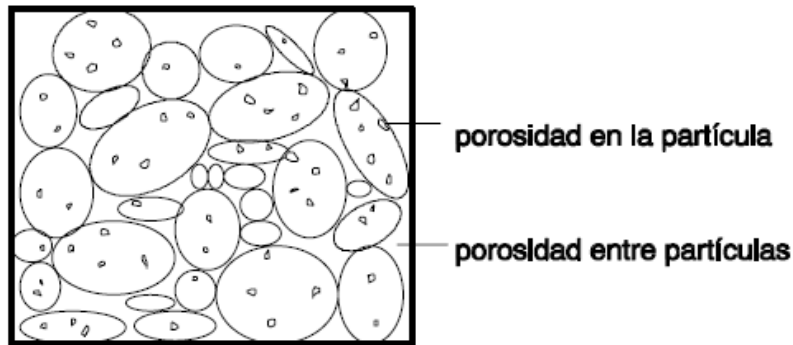
Este se estima en condición seca del agregado, también es conocido como densidad aparente y se refiere al peso de un material por unidad de volumen.

$$Wv = \frac{Wm}{Vm}$$

***Ec 4. Peso volumétrico.***

### **Figura 11.**

*Elementos que intervienen en un peso volumétrico.*



*Nota.* Fuente. (Gómez, s/f),p 71.

#### **4.5. Diseño De Mezclas**

Uno de los métodos más utilizados para el diseño de mezclas es el método ACI en el cual es necesario determinar las relaciones agua-cemento ( $a/c$ ), resistencia requerida, tamaño máximo del agregado, contenido de aire, condiciones de exposición y sus condiciones al momento de la colocación (Gómez, s/f; Mamlouk & Zaniewski, 2009).

A continuación, se sintetizan los pasos establecidos en el proceso para el diseño de mezcla por el método ACI (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

1. Evaluar requisitos de resistencia.
2. Determinar la relación agua-cemento.
3. Evaluar las cantidades necesarias de árido grueso, determinando el tamaño máximo de árido y la cantidad requerida.
4. Determinar los requerimientos de aire.
5. Evaluar los requisitos relativos a la manejabilidad del concreto.
6. Estimar la cantidad de H<sub>2</sub>O requerida.
7. Determinar la cantidad de cemento.

8. Evaluar la necesidad de aditivos.
9. Estimar la cantidad de áridos finos.
10. Realizar correcciones de humedad.
11. Realiza pruebas de ensayo.

#### **4.6. Pruebas Del Concreto En Estado Endurecido**

Con el fin de garantizar una resistencia optima conforme a los diseños de mezcla y requerimientos de resistencia es de gran importancia realizar algunas pruebas en laboratorio que permitan buscar la calidad y resistencia de los mismo.

##### ***4.6.1. Prueba de Resistencia a la Compresión***

Esta es una de las pruebas más comunes que se realizan para el concreto endurecido, ya que esta prueba permite verificar o comprobar la resistencia del concreto bajo fuerzas de cargas axiales (DNP, 2017; Mamlouk & Zaniewski, 2009).

La norma que estandariza ASTM donde esta prueba se realiza a cilindros con tamaño estándar de 15cm de diámetro y 30 cm de altura generalmente, aunque en otros casos se pueden utilizar otros tamaños que tengan una relación de diámetro-altura igual a dos como se muestra a continuación (García et al., 2008; Mamlouk & Zaniewski, 2009).

#### **Figura 12.**

*Prueba de resistencia a compresión.*



*Nota.* Fuente (Mamlouk & Zaniewski, 2009); p. 294.

El proceso para tomar las probetas de concreto consiste en llenar la probeta en tres capas iguales de concreto con una acción de 25 golpes por capa. Posterior a esto, las probetas son retiradas después de 24 horas y se realiza el proceso de curado para posteriormente realiza las pruebas de compresión, estas generalmente se realizan a los 7, 14 y 28 días que es donde el concreto alcanza cerca del 100% de su resistencia de diseño (NTC 673, 2010).

**Figura 13.**  
*Cilindros de muestra.*



*Nota.* Fuente, Elaboración propia.

#### **4.6.2. Deposito o Vaciado del Concreto**

Este proceso debe realizarse de manera continua y lo más cerca posible del lugar donde será necesaria su colocación con el fin de quitar segregación o depresión de los componentes de mezcla del concreto.

El concreto debe depositarse de manera manual (bombeo) dependiendo de varios factores como la altura del elemento y sus dimensiones (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

Una vez depositado el concreto, es necesario realizar el vibrado del concreto a fin de garantizar una disposición homogénea y sin burbujas de aire que puedan debilitar la estructura o generar zonas de falla (DNP, 2017; Mamlouk & Zaniewski, 2009).

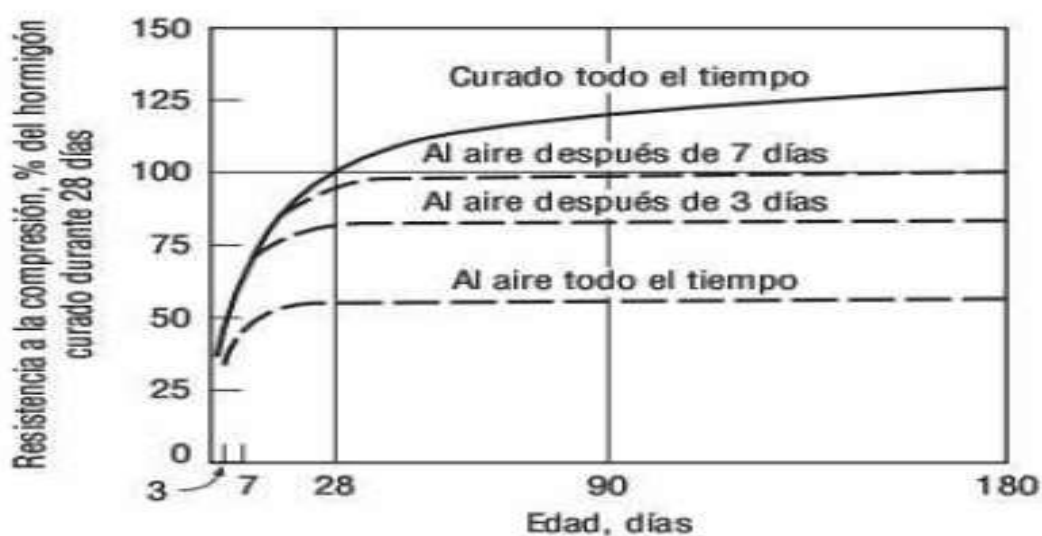
La utilización de vibradores industriales dependerá del elemento estructural y la disposición de los espacios en el acero para la introducción del vibrador por tanto hay variabilidad en el diámetro y longitud de los vibradores.

#### 4.6.3. Curado del Concreto

El proceso del curado del concreto es mediante el cual se busca mantener la humedad y temperatura optima del concreto durante un periodo de tiempo necesario a fin de permitir que este alcance una resistencia optima durante el proceso de endurecimiento de este. Este proceso se debe realizar de manera continua durante la edad temprana del concreto (Mamlouk & Zaniewski, 2009). En la siguiente gráfica se muestra la resistencia adquirida en función del tiempo para diferentes casos de curado y no curado del concreto.

**Figura 14.**

*Resistencia a la compresión del hormigón para diferentes casos de curado.*



*Nota.* Fuentes (Mamlouk & Zaniewski, 2009); p. 281.

#### 4.6.4. Prueba de Esclerómetro

También conocida como prueba del martillo de Schmidt es una prueba que se realiza sobre la superficie del concreto con el fin de determinar la dureza del concreto. Esta se realiza posicionando el esclerómetro de manera perpendicular al área de trabajo y realizar una aplicación de fuerza que permite la expulsión de un muelle impulsa masa que impacta la superficie y arroja un calor de resistencia (ASTM C 805-02, 2002; Mamlouk & Zaniewski, 2009).



**Figura 15.**  
*Martillo Schmidt.*

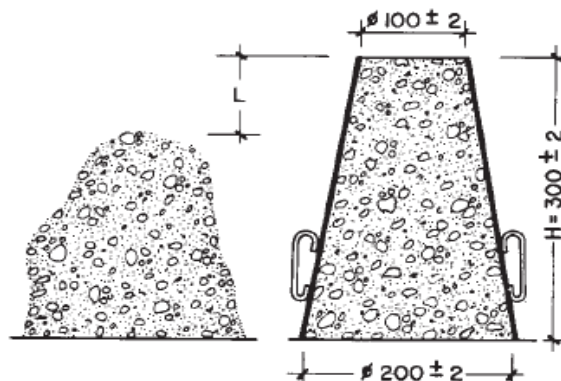


*Nota.* Fuente (Mamlouk & Zaniewski, 2009); p. 298.

#### **4.6.5. Ensayos de Hormigón Fresco**

En estado fresco, es común realizar ensayos de consistencia, este ensayo se conoce como ensayo del cono de Abrams. Este método consiste en la implementación de un molde con forma cónica hueca y una superficie plana sobre la que se posiciona el cono para proceder a su llenado con concreto fresco. Como se muestra a continuación (García et al., 2008).

**Figura 16.**  
*Cono Abrams.*



*Nota.* Fuente <http://notasconstructorcivil.blogspot.com/2011/06/ensayo-de-consistencia-del-hormigon.html>, (Ingcivil, 2011).

Una vez llenado el cono se procede a realizar el levantamiento de este y se mide la altura superior de la mezcla con respecto a la altura del cono para obtener la medida de la diferencia entre las dos alturas y se realiza su clasificación conforme a la siguiente tabla.

**Tabla 3.**  
*Consistencia y aspecto de acuerdo con el asentamiento.*

| Consistencia del Hormigón | Aspecto               | Asentamiento [cm] | Método de compactación                                  |
|---------------------------|-----------------------|-------------------|---|
| A - 1                     | Suelto y sin cohesión | 1,00 a 4,50       | Vibración potente, apisonado enérgico en capas delgadas |
| A - 2                     | Levemente cohesivo    | 5,00 a 9,50       | Vibración normal, varillado y apisonado                 |
| A - 3                     | Levemente fluido      | 10,00 a 15,00     | Vibración leve, varillado                               |
| A - 4                     | Fluido                | 15,50 a 22,00     | Muy leve y cuidadosa vibración, varillado.              |

*Nota.* Fuente (Gómez, s/f).

## 4.7. Acero

El hierro ha sido por muchos años uno de los materiales más utilizados en diferentes áreas por sus características metálicas que le permiten moldearse cuando se calienta y su gran capacidad de resistencia a flexión (Gómez, s/f).

Del hierro se elaboran aleaciones como el acero el cual se forma con la adición de carbono. Este material se caracteriza por soportar esfuerzos de tensión considerables por lo que es común su utilización en conjunto con el concreto (Mamlouk & Zaniewski, 2009).

### 4.7.1. Propiedades del Acero

#### 4.7.1.1. Ductilidad

Es una propiedad mecánica del acero, este término hace referencia a la capacidad que tiene este para deformarse plásticamente antes de fracturarse.

#### 4.7.1.2. Dureza

Este concepto se refiere a la resistencia el acero a la deformación. Se puede asociar con la resistencia al desgaste y durabilidad de un material.

#### 4.7.1.3. Tenacidad

Se define como la energía para que se presente a falla del metal por fractura (Gómez, s/f).

#### 4.7.1.4. Traslapes

Generalmente las barras de acero que se utilizan en la construcción de obras tienen una dimensión variable de 6, 9, 12 y 18 metros de longitud, siendo común la de 9 y 12 por su facilidad de ser transportada en camiones. Los traslapes o empalmes de barras consisten en juntar dos barras y amarrarlas con alambre quemado (Buitrago & Pérez, 2021).

Estos empalmes generan contracciones de esfuerzos que pueden debilitar la estructura o ser una zona potencial de falla, es por ello por lo que la NSR-10 establece las longitudes mínimas de empalmes a fin de garantizar un adecuado comportamiento dinámico de la estructura.

A continuación, se muestran las longitudes establecidas en la NSR-10 para barras de acero corrugado en la sección CR 12.15

**Tabla 4.**

*Empalmes por traslapes a tracción.*

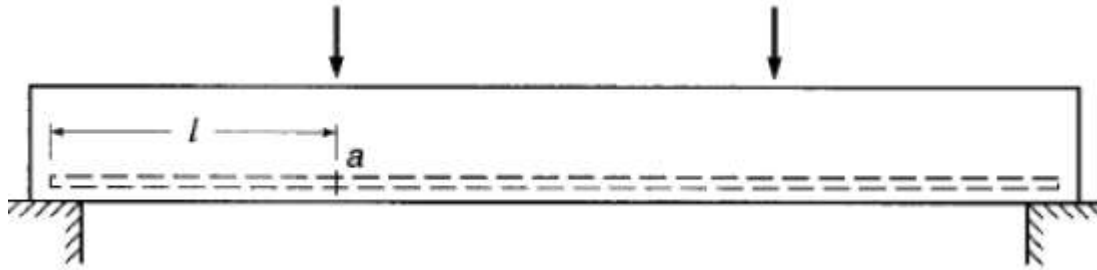
| $A_s$ proporcionado<br>$A_s$ requerido | Porcentaje máximo de $A_s$<br>empalmado en la longitud<br>requerida para dicho empalme |         |
|--|--|---------|
|  | 50   | 100     |
| Igual o mayor<br>que 2                 | Clase A  | Clase B |
| Menor que 2                            | Clase B  | Clase B |

*Nota.* Fuente (Titulo C, NSR10)

#### 4.7.1.5. Longitud de Desarrollo

*“Es la longitud necesaria para desarrollar totalmente la resistencia a tensión de una barra de repaso ya sea por extracción directa o descascaramiento”* (Castellanos, 2012).

**Figura 17.**  
*Longitud de desarrollo.*



*Nota.* Fuente (Castellanos, 2012); p.19

**Tabla 5.**  
*Longitudes de desarrollo.*

|                                     |             |
|-------------------------------------|-------------|
| Empalme por traslapeo Clase A ..... | $1.0\ell_d$ |
| Empalme por traslapeo Clase B ..... | $1.3\ell_d$ |

*Nota.* Fuente (NSR-10 título C); p. 240.

Algo importante de mencionar sobre los aspectos importantes a tener en cuenta en la ejecución de un proyecto ingenieril, es la elección del tipo de acero a utilizar en cada uno de los elementos estructurales conforme a los requerimientos de solicitaciones de resistencia. Esto con el fin de garantizar el máximo desempeño y rendimiento. Actualmente, existen dos tipos de acero o barras, estas son; barras lisas y barras corrugadas.

Las barras corrugadas, generalmente conocidas como acero corrugado como se puede ver en la **Figura 18**, es un tipo de barra diseñada específicamente para ser utilizada en conjunto con hormigón armado, ya que mejora la resistencia y rigidez de los elementos estructurales. Al ser corrugado (presenta ondulaciones) proporciona una mayor resistencia bajo esfuerzos de tracción y a flexión lo que genera una excelente capacidad de adherencia con el concreto y mejor su estabilidad y comportamiento dinámico (NTC 2289, 2015; Superintendencia de Industria y comercio, 2013) Cabe resaltar que este tipo de acero de cumplir con la norma NTC 2289 tal como lo especifica la NSR-10 en su título C.3.5.3.

**Figura 18.**  
*Barras corrugadas.*



*Nota.* Fuente, <https://co.ternium.com/es/novedades/noticias/barra-vs-grafil--05464801321>, (Ternium, 2024).

Por otro lado, el acero liso (barras lisas) generalmente es utilizado de acuerdo como lo establece la NSR-10 en su capítulo C.3.5 en estribos, espirales o tendones y como refuerzo de repartición y temperatura. Entre otros usos, también suele ser utilizado como refuerzo consistente en pernos, perfiles de acero o tubos de acero.

Este tipo de acero no presenta ondulaciones en su sección longitudinal y por tanto su diferencia con el corrugado tal como se puede ver en la siguiente figura.

**Figura 19.**  
*Barras de acero lisas.*



*Nota.* Fuente, <https://gerdaudiaco.com/barras-lisas/>, (Gerdau Diaco, 2019).

En obra, es de gran importancia cuantificar las cantidades de acero necesarias para cada elemento estructural. Para cuantificar estas cantidades se suele utilizar tablas de cuantía las cuales, relacionan el peso por metro lineal de una barra de acero ya sea lisa o corrugada con relación a su diámetro tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 6.**

*Número de designación de las barras corrugadas y rollos, peso (masa) nominal, dimensiones nominales y requisitos de los resaltes.*

| Número de designación de la barra  | Peso (masa) nominal kg/m (lb/pie) | Dimensiones nominales |   |                         | Requisitos de los resaltes, mm (pulgadas) |                           |   |
|--|-----------------------------------|-----------------------|---|-------------------------|---|---------------------------|---|
|  |                                   | Diámetro mm (pulgada) | Área de la sección transversal mm <sup>2</sup> (pulgadas <sup>2</sup> ) | Perímetro mm (pulgadas) | Promedio máximo del espaciamiento         | Promedio mínimo de altura | Separación entre los extremos de los resaltes (máximo 12,5 % del perímetro nominal) |
| 2  | 0,249 (0,167)                     | 6,35 (0,250)          | 31,67 (0,049)   | 19,95                   | 4,45 (0,175)                              | 0,25 (0,010)              | 2,49 (0,098)  |
| 3  | 0,560 (0,376)                     | 9,5 (0,375)           | 71 (0,11)   | (0,785)                 | 6,7 (0,262)                               | 0,38 (0,015)              | 3,6 (0,143)   |
| 4  | 0,994 (0,668)                     | 12,7 (0,500)          | 129 (0,20)  | 29,9 (1,178)            | 8,9 (0,350)                               | 0,51 (0,020)              | 4,9 (0,191)   |
| 5  | 1,552 (1,043)                     | 15,9 (0,625)          | 199 (0,31)  | 39,9 (1,571)            | 11,1 (0,437)                              | 0,71 (0,028)              | 6,1 (0,239)   |
| 6  | 2,235 (1,502)                     | 19,1 (0,750)          | 284 (0,44)  | 49,9 (1,963)            | 13,3 (0,525)                              | 0,97 (0,038)              | 7,3 (0,286)   |
| 7  | 3,042 (2,044)                     | 22,2 (0,875)          | 387 (0,60)  | 59,8 (2,356)            | 15,5 (0,612)                              | 1,12 (0,044)              | 8,5 (0,334)   |
| 8  | 3,973 (2,670)                     | 25,4 (1,000)          | 510 (0,79)  | 69,8 (2,749)            | 17,8 (0,700)                              | 1,27 (0,050)              | 9,7 (0,383)   |
| 9  | 5,060 (3,400)                     | 28,7 (1,128)          | 645 (1,00)  | 79,8 (3,142)            | 20,1 (0,790)                              | 1,42 (0,056)              | 10,9 (0,431)  |
| 10   | 6,404 (4,303)                     | 32,3 (1,270)          | 819 (1,27)  | 90,0 (3,544)            | 22,6 (0,889)                              | 1,63 (0,064)              | 12,4 (0,487)  |
| 11   | 7,907 (5,313)                     | 35,8 (1,410)          | 1006 (1,56)   | 101,3                   | 25,1 (0,987)                              | 1,80 (0,071)              | 13,7 (0,540)  |
| 14   | 11,38 (7,65)                      | 43,0 (1,693)          | 1452 (2,25)   | (3,990)                 | 30,1 (1,185)                              | 2,16 (0,085)              | 16,5 (0,648)  |
| 18   | 20,24 (13,60)                     | 57,3 (2,257)          | 2581 (4,00)   | 112,5                   | 40,1 (1,58)                               | 2,59 (0,102)              | 21,9 (0,864)  |
|  |                                   |                       |   | 135,1 (5,32)            |   |                           |   |
|  |                                   |                       |   | 180,1 (7,09)            |   |                           |   |
| <p><sup>A</sup> Los números de las barras están basados en octavos de pulgada y corresponden al diámetro nominal de las barras.</p> <p><sup>B</sup> Las dimensiones nominales de las barras corrugadas son equivalentes a las de las barras lisas que tengan el mismo peso (masa) nominal por metro (pie) de longitud.</p> |                                   |                       |   |                         |   |                           |   |

Nota. Fuente (NTC 2289, 2015)

#### 4.8. Placas Huella

INVIAS define las placas huella como un elemento estructural utilizado en las vías terciarias, con el fin de mejorar la superficie de tránsito vehicular en terrenos que presentan mal estado para transitar y requiere un mejoramiento a mediano plazo.

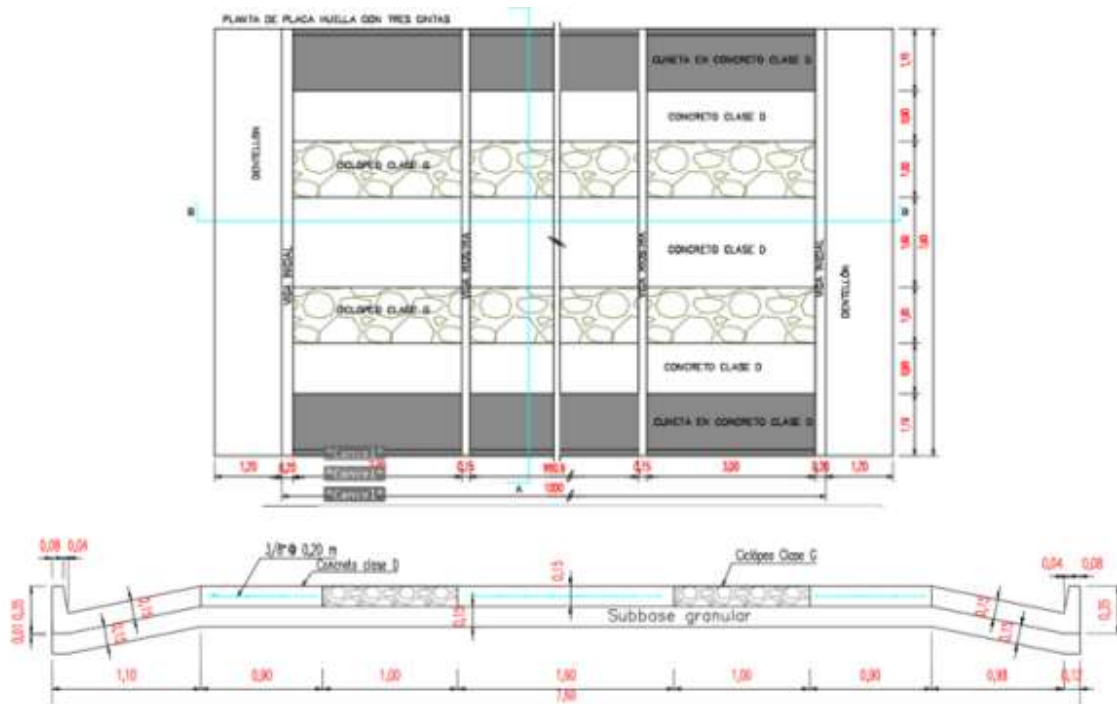
#### 4.8.1. Tipos de Placas Huellas

##### 4.8.1.1. Tipo 1

Este tipo de placas huellas se caracteriza por dos cunetas a sus costados, 3 rieles de concreto reforzado con dimensión variable, dos rieles al costado de las cunetas con un ancho de 90 cm y un tercer carril en el centro de la placa con un ancho de 1.6 metros. Estos carriles poseen una losa con espesor de 15 cm de alto. Además de lo mencionado anteriormente, la placa posee dos rieles contruidos con concreto ciclópeo con un ancho de 1 metro y una relación de 40% en rocas y el 0% en concreto.

#### Ilustración 2.

##### Placa huella tipo 1.

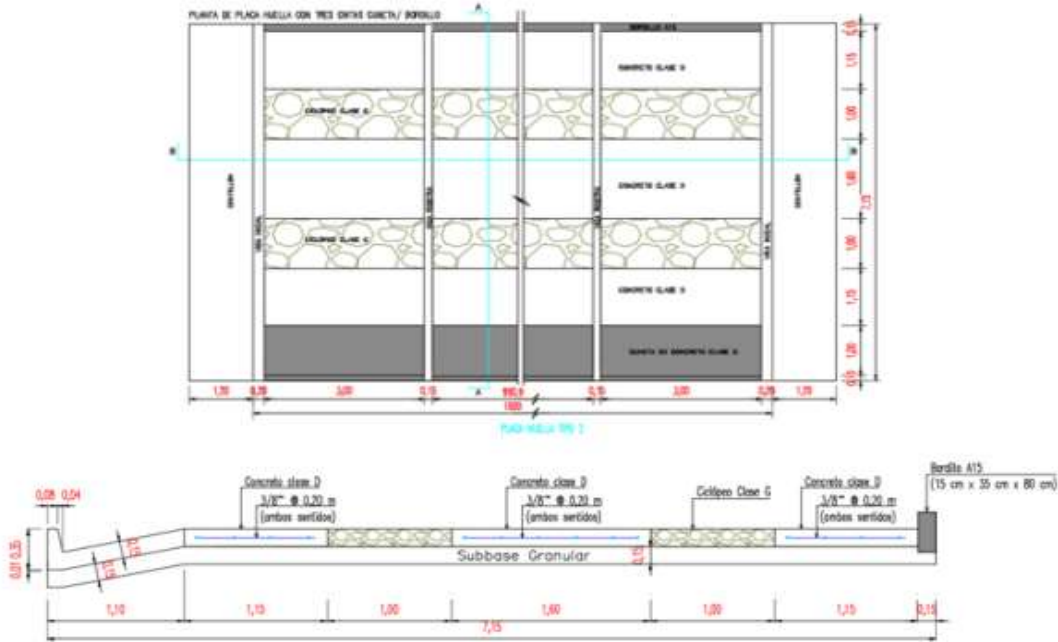


Nota. Fuente (DNP, 2016)

##### 4.8.1.2. Tipo 2

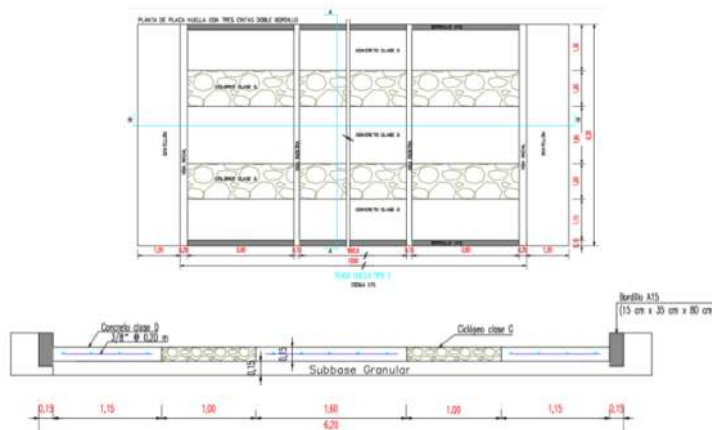
Compuesta por 3 rieles en concreto reforzado, 2 contiguos a las cunetas con un ancho de 90 cm y un riel central de 1.6m de ancho, 2 rieles de concreto ciclópeo de 1m y una relación de concreto ciclópeo de 40% de agregado y 60% concreto (DNP, 2016).

**Ilustración 3.**  
*Placa huella tipo 2.*



Nota. Fuente (DNP, 2016)

**Ilustración 4.**  
*Detalle sección placa huella tipo 2.*



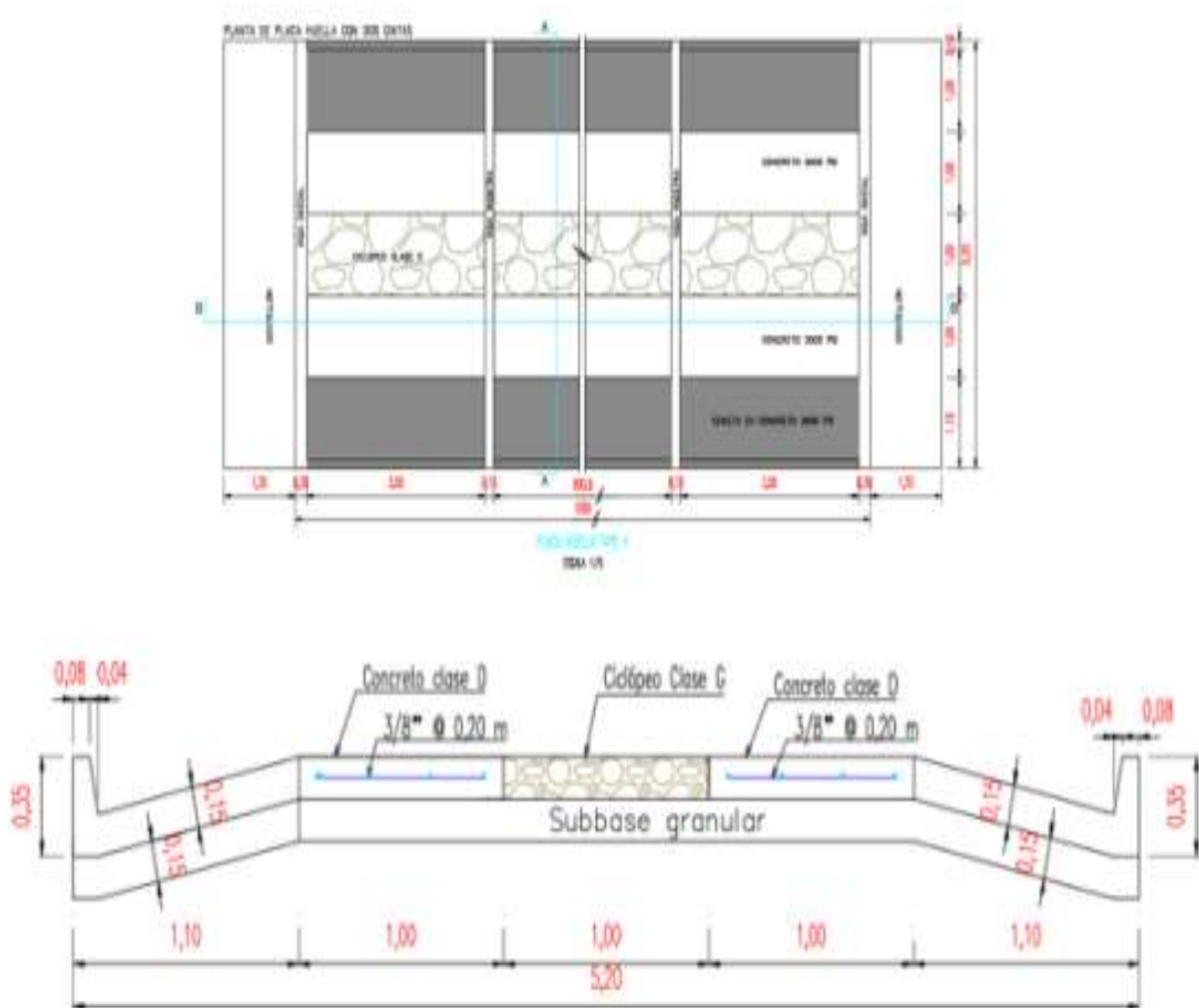
Nota. Fuente (DNP, 2016)

### 4.8.1.3. Tipo 3

Se encuentra compuesta por 2 rieles en concreto reforzado de 1m de ancho contiguos a las cunetas y 2 rieles en concreto ciclópeo de 1 metro (m) de ancho.



**Ilustración 5.**  
*Placa huella tipo 3.*



Nota. Fuente (DNP, 2016)

**4.8.2. Proceso constructivo de placas huellas**

Corresponde a un conjunto de fases sucesivas que van desde la localización y replanteo del terreno la construcción de las alcantarillas para drenajes. A continuación, se ilustra el proceso de construcción descrito en la guía metodológica para la construcción de placas huella (DNP, 2016).

## Ilustración 6.

*Proceso constructivo de placas huella.*



*Nota.* Fuente (DNP, 2016); p. 29

Es claro que cada una de estas actividades mostradas en la ilustración depende de una secuencia donde es necesario finalizar algunas actividades para poder dar continuidad con el proceso de construcción.

### 4.9. Control de Cantidades

Un aspecto importante para tener en cuenta durante la puesta en marcha de toda obra de infraestructura es la gestión presupuestal. Esta inicia con la elaboración de un presupuesto detallado en el cual se incluyen las estimaciones precisas de los costos de materiales, mano de obra, maquinaria necesaria y todos aquellos recursos necesarios para la ejecución secuencial de las actividades inherentes al desarrollo del proyecto. Todo esto ligado a un monitoreo periódico de los gastos en los que se incurren durante el tiempo que dure el proyecto para así, evaluar la eficiencia en el uso de recursos. Esta gestión del costo también incluye la identificación y gestión de las posibles desviaciones presupuestales. Lo que implica la revisión regular de los gastos reales en

contraste con los presupuestos planificados al inicio, con el fin de implementar medidas correctivas en los casos en los que se presenten desviaciones significativas. .

Almeyda y Serrano (2010), en su guía para la administración de los materiales de construcción aplicada a proyectos de obra civil, mencionan la importancia que representa la cuantificación precisa de los materiales a utilizar en un proyecto como la base fundamental para la planificación y ejecución óptima de los procesos constructivos en una obra de infraestructura (Vidaud, 2019). Esta cuantificación de materiales incluye la estimación de las cantidades de acero, concreto, madera y otros recursos indispensables para la ejecución del proyecto juegan un papel indispensable en la optimización de recursos y la gestión eficiente de los costos asociados.

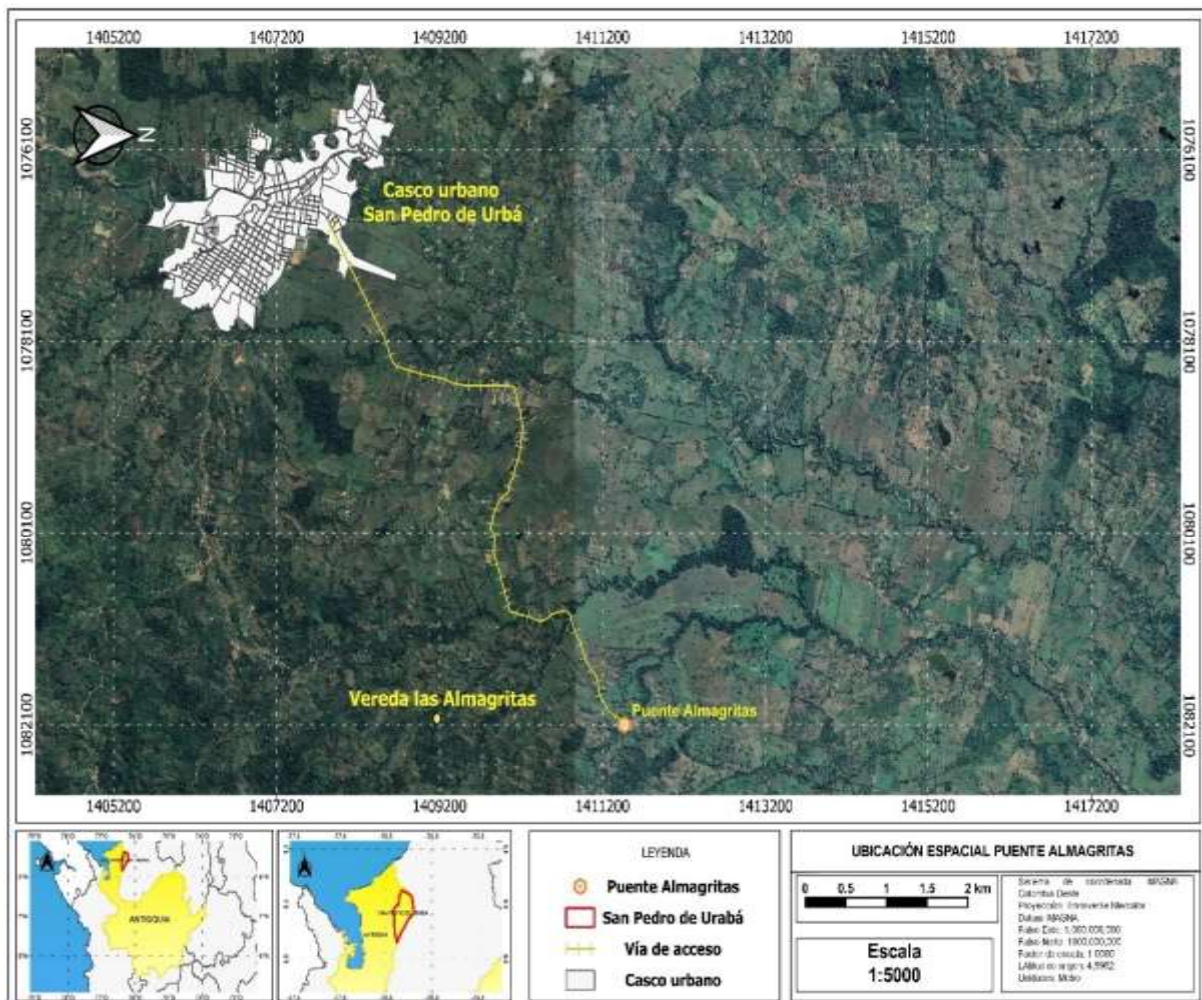
Una vez determinada las cantidades de materiales y recursos, se inicia la fase de planificación, en la cual se establecen los tiempos necesarios para la disposición de materiales por actividades programadas, evitando utilizar cantidades mayores a las determinadas y así evitar costos innecesarios y retrasos en la realización de las actividades. Esta programación y utilización de los recursos establecidos contribuye a garantizar la correcta disposición y durabilidad de las estructuras (Almeyda & Serrano, 2010, Catz, 1974)

## 5. Metodología

El desarrollo de la practica empresarial se realizó en dos frentes de trabajo, el primero ubicado en zona rural del municipio de San Pedro de Urabá conocido como vereda Las Almagritas como se muestra en la **Ilustración 7**, en este frente se construye un puente en concreto rígido reforzado con dimensiones de 15x6.6 m<sup>2</sup>. Por otro lado, el segundo frente de trabajo se encuentra ubicado en zona rural del municipio de Chigorodó en cercanías a la vereda La Maporita como se muestra en la **Ilustración 8**. Este proyecto corresponde a una placa huella de setecientos 700 m de longitud y ancho de 5 m.

### Ilustración 7.

*Ubicación geográfica San Pedro de Urabá.*

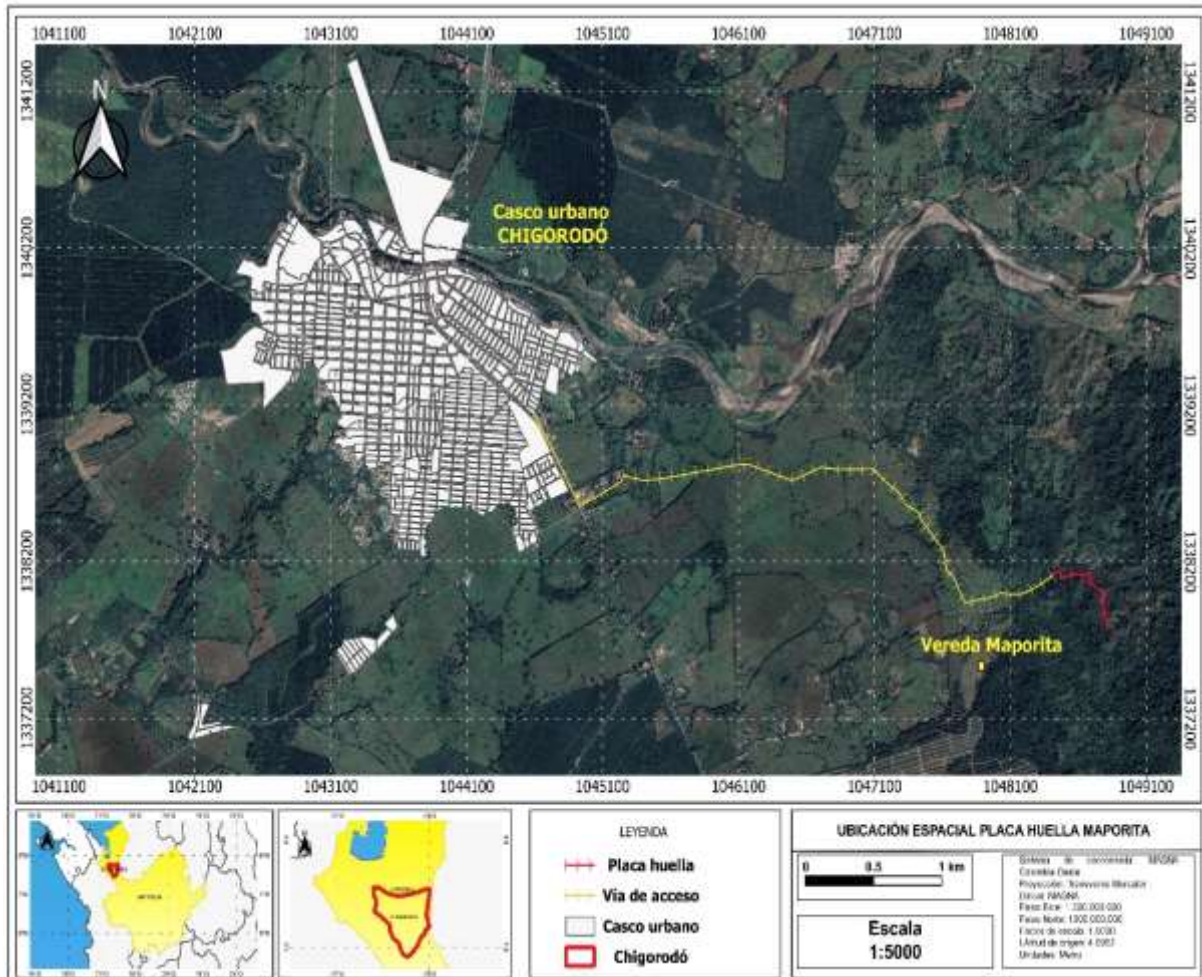


*Nota.* Fuente, elaboración propia.



## Ilustración 8.

Ubicación geográfica Las Almagritas.



Nota. Fuente, elaboración propia.

Para lograr los objetivos propuestos en este informe, se proponen siete etapas las cuales van desde la revisión bibliográfica de la normatividad colombiana vigente que refiere a la construcción y guías mitológicas enfocada en los procesos constructivos de puentes y placas huella hasta la elaboración de informes con información general de ambos proyectos. A continuación, se describe cada una de estas etapas.

1. Revisión bibliográfica sobre las guías metodológicas y procesos constructivos implementados en puentes y placa-huellas teniendo en cuenta los aspectos normativos dispuestos en los códigos inherentes a la construcción de estos. Las fuentes principales utilizadas durante el desarrollo de este trabajo fueron; los códigos de INVIAS y las guías

metodológicas para la construcción de puentes y placas huella del ministerio de transporte.

2. Realizar un análisis detallado de los planos y especificaciones técnicas del puente Almagritas y la placa-huella Maporita a fin de contrastar con los requerimientos y diseños establecidos en las guías metodológicas de la gobernación de Antioquia para puentes al igual que lo dispuesto por INVIAS para el diseño y construcción de placas-huella. Este análisis detallado se llevó a cabo utilizando los planos físicos y digitales suministrados por el diseñador a través de un software que permite la manipulación y edición de estos. Con estos insumos se realizaron mediciones a detalle de cada uno de los elementos estructurales y no estructurales para conocer su dimensionamiento, separación y denominación de acero a utilizar.
3. Realizar seguimiento y control a través de visitas técnicas en los dos proyectos asignados en cuanto a los avances, calidad y gestión de materiales. Mediante registros documentados que permitan llevar un seguimiento detallado en cada labor ejecutada al igual que los materiales utilizados. En esta actividad, se crearon plantillas de seguimiento, las cuales permitieron determinar las cantidades de acero, concreto, material granular y cemento necesario para el desarrollo de cada actividad.
4. Proponer una metodología que permita determinar las características granulométricas y gravimétricas de los agregados al igual que las características de los concretos utilizados en obra a través de la toma de muestras significativas de ambos materiales para realizar pruebas en laboratorio a fin de garantizar los requerimientos mínimos de diseño. Estas muestras, se tomarán conforme se cambie la procedencia del material. Con el fin de garantizar un diseño óptimo de concreto que cumpla con los requerimientos suministrados por el diseñador.

Además de diseñar las mezclas de concreto, es de gran importancia tomar cilindros testigos, estos serán utilizados para realizar pruebas de resistencia a los 7, 14 y 28 días de elaborados con la finalidad de evaluar la resistencia obtenida en cada uno de estos

tiempos y tener certeza que el diseño de mezcla fue elaborado con las cantidades adecuadas de material.

5. Elaborar formatos de control que permitan documentar los cambios y modificaciones en las condiciones y cantidades de materiales definidas inicialmente en los contratos, actas de mayores y menores y actas de índole administrativo necesarios para el reporte ante las entidades de control.
6. Elaborar una plantilla que permita consolidar la información de las cantidades de material utilizados, balance de recursos utilizados en cada corte, anticipos y recursos económicos recibidos y la información general en cada proyecto. Estas plantillas se deben diligenciar cada vez que se presente alguna variación en lo descrito anteriormente.
7. Generar informes periódicos de las obras donde se incluya información general del estado y avance de los proyectos conforme lo solicitan los entes contratantes. Entre los informes que se solicitan se encuentran; informes de obra, informes de interventoría, informes ambientales (PMA), informe de tránsito (PMT) y los informes de salud y seguridad en el trabajo (SST). Cabe resaltar que los informes de PMA, PMT y SST serán elaborados y firmados por cada uno de los profesionales que determina la norma colombiana. Sin embargo, cada uno de estos es necesario por solicitud y tramite de cuentas de cobro.

## 6. Resultados y Discusión

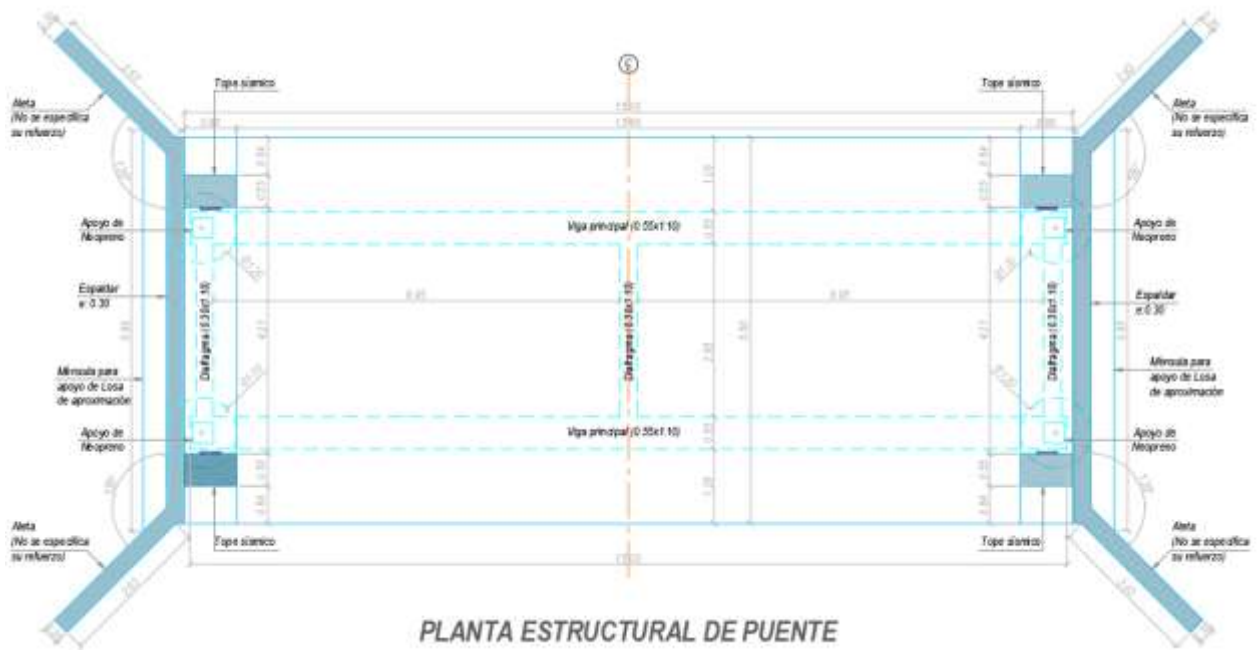
En este apartado se detallan cada uno de los resultados obtenidos durante el desarrollo de la práctica académica en el apoyo en la supervisión técnica y de control en los procesos constructivos del puente Las Almagritas y la placa huella La Maporita. Cabe resaltar que la placa huella no fue desarrollada en su totalidad debido a que, los recursos de este proyecto provenían de recursos comunes del municipio de Chigorodó y por incumplimiento en los acuerdos estipulados en el contrato, los recursos no se dispusieron durante el periodo en el que se desarrolló la práctica académica. Se estima que la ejecución en este periodo fue cercano al 30% donde únicamente se realizaron adecuaciones del terreno y disposición de material granular para la nivelación de este.

### 6.1. Puente Las Almagritas

De acuerdo con la clasificación de puentes de (AASHTO, s/f), el puente Las Almagritas se puede clasificar como un puente fijo y de tramo simple, ya que este se apoya sobre vigas cabezales en sus extremos y sus vigas principales son las que soportan el tablero o losa principal. Este puente tiene una longitud de quince punto cuatro metros (15.4 m) de longitud y un ancho de seis punto seis metros (6.6 m) de ancho como se puede mostrar en la **Ilustración 9**.

#### Ilustración 9.

*Planta estructural puente Las Almagritas.*



*Nota. Fuente, Laboratorio INGESULOS CONCALIDAD S.A.S.*



El puente Las Almagritas, se encuentra conformado en su subestructura por cuatro pilas (dos en cada extremo) en concreto reforzado con un diámetro de 1.2 m a una profundidad de 9.5m y dos losas de aproximación de 6.6m de ancho, 2.5m de largo y un espesor de 0.3m. La super estructura, se encuentra constituida por dos vigas cabezales de 6.6m de ancho y una altura de 0.95 m de alto. Estas, soportan dos vigas principales de quince metros de longitud (15 m), con una sección de 0.55m en su base y 1.1m de alto unidas por tres vigas riostras (diafragmas) de 0.3m de base y una altura de 1.1m. La losa principal, tiene un espesor de 0.22m, una longitud de 15.4m y un ancho constante de 6.6m.

Este puente fue construido siguiendo los pasos descritos en la **Ilustración 1** con la diferencia que en este puente no se consideraron vigas postensadas. Algo importante de resaltar es que, para un mejor comportamiento dinámico, algunos elementos como la losa principal y las vigas riostras se vaciaron de forma monolítica.



### ***6.1.1. Diseño de Mezcla de Concreto***

El diseño de mezcla de concreto hidráulico que se muestra a continuación corresponde al realizado para la construcción del puente Las Almagritas para el cual se realizaron dos diseños. El primero se realizó con un agregado obtenido en el río San Juan de Urabá con material mixto o también conocido como "todo en uno", y el segundo diseño corresponde a un diseño de mezcla donde se utilizaron agregados de cantera procedentes del municipio de Chigorodó Antioquia. Para ambos diseños se tuvo en cuenta que la resistencia debía ser de 28 MPa o  $280\text{kg/cm}^2$  y asentamiento de 7 a 12 cm.

#### **6.1.1.1. Descripción de Materiales**

A continuación, se describe cada uno de los materiales utilizados para el diseño de la mezcla conforme a las especificaciones requeridas para la construcción del puente.

**Tabla 7.***Materiales utilizados en diseño de mezcla con material mixto.*

| Material       | Descripción   | Características   |
|----------------|---|---|
| Cemento        | <p>Se utilizaron sacos de cemento de la marca Argos de uso general por 50 kg.</p>    | <p><b>Cemento:</b> Argos, en sacos.<br/><b>Densidad del cemento:</b> 3.10 g/cm<sup>3</sup><br/><b>Masa Unitaria Suelta:</b> 1.16 g/cm<sup>3</sup><br/><b>Presentación:</b> Saco de 50 Kg</p>  |
| Agregado mixto | <p>Según los ensayos de caracterización este agregado se clasifica como una Grava pobremente gradada de tamaño máximo nominal de 2", de color marrón y gris claro, de baja humedad, donde a simple vista se puede detectar un tamaño de granos variados, con partículas de forma variada, principalmente de partículas redondeadas y de textura lisa.</p>  | <p><b>Tamaño Máximo Nominal:</b> 2" (50.80 mm).<br/><b>Porcentaje que pasa el tamiz N° 200:</b> 3.86%<br/><b>Masa unitaria suelta:</b> 1,458.29 kg/m<sup>3</sup><br/><b>Masa unitaria Compacta:</b> 1698,24 kg/m<sup>3</sup><br/><b>Densidad aparente seca:</b> 2.552 g/cm<sup>3</sup><br/><b>Absorción:</b> 1.5%</p> |

Nota. Fuente, Elaboración propia.

Para el diseño de mezclas es necesario determinar algunas características y parámetros gravimétricos del agregado a fin de utilizar las recomendaciones descritas por la ACI en el diseño de mezclas de concreto. Entre estos parámetros podemos mencionar los siguientes; granulometría, peso específico, masa unitaria suelta y compactada y contenido de materia orgánica del material. En la siguiente tabla se sintetizan los datos obtenidos en laboratorio para este agregado en específico.

El material utilizado en el diseño de este concreto fue obtenido en la cabecera del rio San Juan de Urabá, ya que esta es la zona más cercana donde se podía conseguir material de origen fluvial teniendo en cuenta que el lugar donde se realizó la construcción del puente es una zona rural con vías en mal estado y que dificultaban el acceso de los vehículos que transportan estos materiales.

En la **Tabla 7**, se detallan cada una de las propiedades de los componentes utilizados para el diseño de la mezcla. Los datos del cemento fueron tomados de las tablas de características suministradas por Argos para cada uno de sus productos. Con relación al agregado mixto, se puede notar que esta se puede clasificar como una grava pobremente gradada con un tamaño nominal de dos pulgas, esto se debe a que al ser un material de rio, este contiene partículas variables de sedimento con presencia de finos, arenas y gravas en menor proporción por la capacidad de transporte de este rio. Con relación a su forma, se puede decir que esto se debe principalmente al tipo de transporte y la abrasión que generan las corrientes durante el transporte de las partículas.

Los datos gravimétricos y de masa, fueron obtenidos en laboratorio y proporcionados por INGESUELOS CONCLIDAD S.A.S.

Los datos mostrados en la **Tabla 8**, fueron obtenidos en laboratorio donde claramente se puede apreciar las correlaciones realizadas y cantidades de cada material para el diseño de mezcla con el agregado mixto.

**Tabla 8.***Pesos y volumen absoluto obtenidos para agregado mixto*

| <b>Peso Seco Y Volumen Absoluto de los Ingredientes por Metro Cúbico de Concreto</b> |                                    |   |  |
|--|------------------------------------|---|--|
| <b>Materiales</b>  | <b>Peso Seco(Kg/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Peso Específico (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Volumen Absoluto(l/m<sup>3</sup>)</b> |
| CEMENTO  | 433.3                              | 3.10                                      | 139.78                                   |
| AGUA   | 195.0                              | 1.00                                      | 195.00                                   |
| CONT. AIRE   | 0.0                                | 0.00                                      | 20.00                                    |
| AGREGADO MIXTO   | 1646.4                             | 2.55                                      | 645.22                                   |
| <b>TOTAL</b>   | 2274.7                             |   | 1000.0                                   |

*Nota.* Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Es claro, que para el diseño de concreto con material mixto se consideró un dos por ciento de contenido de aire en la mezcla, ya que de acuerdo con (Mamlouk & Zaniewski, 2009) el porcentaje de aire a considerar en el diseño de mezcla para un tamaño máximo de dos pulgadas y con una exposición moderada es del 2%. Además de esto, se podría decir que la relación agua cemento de este diseño es de 0.45 por lo que tiene relación con lo establecido por (Mamlouk & Zaniewski, 2009) donde se estima que, para un concreto de 28 MPa aireado, esta relación deberá ser cerca de 0.48 como se puede ver en el **Anexo 1**.

En la **Tabla 9**, se pueden observar los valores obtenidos de humedad para el material mixto donde la humedad es relativamente baja con un valor de 2.14%, este valor permite realizar ajustes en el diseño de mezcla utilizado donde se deberá considerar una cantidad más baja de agua necesaria para la elaboración del concreto de acuerdo con las solicitudes de diseño. este valor de humedad se debe al tipo de material y su capacidad de retener humedad. Cabe resaltar que este diseño de mezcla fue utilizado únicamente para los elementos de la subestructura y solados.

**Tabla 9.***Humedad natural.*

| <b>Humedad Natural</b>      |                                      |                                    |                           |                                 |                         |
|-----------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| <b>Peso de la tara (gr)</b> | <b>Peso tara + suelo húmedo (gr)</b> | <b>Peso tara + suelo Seco (gr)</b> | <b>Peso del agua (gr)</b> | <b>Peso del suelo seco (gr)</b> | <b>% De humedad (W)</b> |
| 0.00                        | 621.00                               | 608.00                             | 13.00                     | 608.00                          | 2.14                    |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Con relacion a los valores obtenidos del peso unitario suelto y peso compacto, se puede observar que este segundo es significativamete mayor al primero. Esto se debe a que al ser un material que presenta una gradacion variable en tamaño permite una acomodacion o una mejor organización del material permitiendole ocupar espacios mas pequeños y por tanto obtener mayor peso en un volumen determinado cuando se reliza la compactacion.

**Tabla 10.**

*Pesos unitarios material suelto.*

| Peso Unitario Suelto de Grava |                   |                                    |                                    |
|-------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Muestra N.º                   | Peso muestra (Kg) | Volumen cilindro (m <sup>3</sup> ) | Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> ) |
| 1                             | 16.270            | 0.010896                           | 1493.2                             |
| 2                             | 16.160            | 0.010896                           | 1483.113                           |
| 3                             | 16.280            | 0.010896                           | 1494.126                           |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

**Tabla 11.**

*Peso unitario muestra compactada.*

| Peso Unitario Compacto de Grava |                   |                                    |                                    |
|---------------------------------|-------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Muestra N.º                     | Peso muestra (Kg) | Volumen cilindro (m <sup>3</sup> ) | Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> ) |
| 1                               | 18.920            | 0.010896                           | 1736.417                           |
| 2                               | 18.890            | 0.010896                           | 1733.664                           |
| 3                               | 18.915            | 0.010896                           | 1735.958                           |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

La granulometria obtenida para este material muestra claramente que hay poca presencia de lodos o materiales arcillosos como se muestra en la **Tabla 12**, esto puede estar asociado a que los materiales fueron obtenidos en la cabecera del rio San Juan. Por otro lado, se puede decir que al tener un bajo porcentaje de material grueso tipo grava en la muestra, la capacidad de transporte de este rio es baja. En esta muestra se puede notar que el mayor porcentaje corresponde a material

tipo arena, esto puede ser verificado en la curva granulometrica obtenida y que se ilustra en el **Gráfico 1**.

**Tabla 12.**

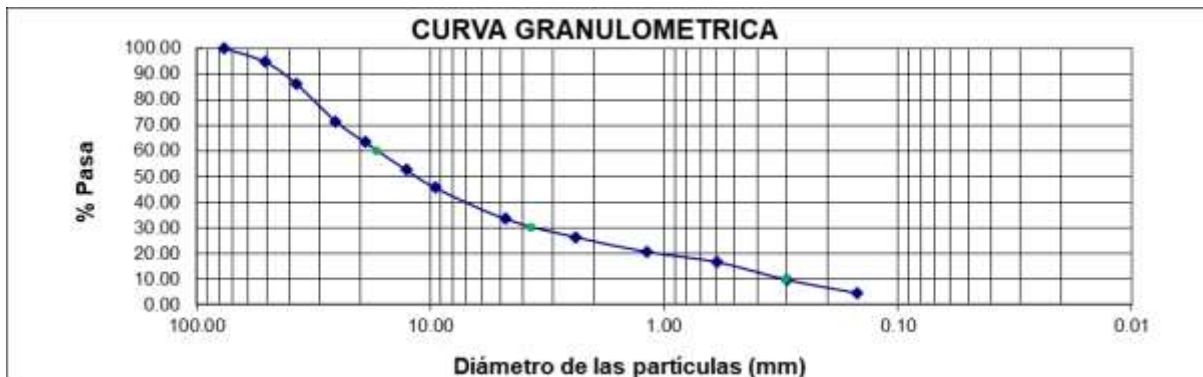
*Resultados obtenidos de granulometría.*

|  |                    |                           |                                  |                             |               |
|--|--------------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---------------|
| <b>Peso húmedo (gr):</b>                       |                    | 6080                      | <b>Peso Retenido N°200+Tara:</b> |                             | 0.0           |
| <b>Peso seco inicial (gr):</b>                 |                    | 5850                      | <b>Peso Retenido N°200:</b>      |                             | 46.9          |
| <b>Peso después de lavado tamiz 200 (gr) =</b> |                    | 5080                      | <b>Suma Pesos Retenidos:</b>     |                             | 5624.3        |
| <b>Tamiz</b>                                   | <b>Tamaño (mm)</b> | <b>Peso retenido (gr)</b> | <b>% Retenido</b>                | <b>% Retenido acumulado</b> | <b>% Pasa</b> |
| 3"   | 76.20              | 0.00                      | 0.00                             | 0.00                        | 100.00        |
| 2"   | 50.80              | 311.10                    | 5.32                             | 5.32                        | 94.68         |
| 1 1/2"   | 37.50              | 495.90                    | 8.48                             | 13.79                       | 86.21         |
| 1"   | 25.40              | 855.90                    | 14.63                            | 28.43                       | 71.57         |
| 3/4"   | 19.05              | 477.30                    | 8.16                             | 36.58                       | 63.42         |
| 1/2"   | 12.70              | 630.40                    | 10.78                            | 47.36                       | 52.64         |
| 3/8"   | 9.53               | 407.70                    | 6.97                             | 54.33                       | 45.67         |
| N ° 4  | 4.76               | 712.80                    | 12.18                            | 66.51                       | 33.49         |
| N ° 8  | 2.38               | 414.90                    | 7.09                             | 73.61                       | 26.39         |
| N ° 16   | 1.19               | 330.80                    | 5.65                             | 79.26                       | 20.74         |
| N ° 30   | 0.595              | 231.00                    | 3.95                             | 83.21                       | 16.79         |
| N ° 50   | 0.297              | 409.40                    | 7.00                             | 90.21                       | 9.79          |
| N ° 100  | 0.149              | 300.20                    | 5.13                             | 95.34                       | 4.66          |
| N ° 200  | 0.075              | 46.90                     | 0.80                             | 96.14                       | 3.86          |
| <b>Fondo</b>                                   | <b>0.00</b>        | 770.00                    |                                  |                             |               |
| <b>Total</b>                                   |                    | 5624.30                   |                                  |                             |               |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

### Gráfico 1.

Curva granulométrica para material mixto.



Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

En la **Tabla 13**, se realiza un resumen de la cantidad de cada uno de los materiales necesarios para la elaboración de un metro cubico de concreto, donde es claro que por ser un material con una gradación baja y con baja presencia de material grueso, es necesario utilizar una mayor cantidad de cemento para lograr las resistencias solicitadas en cada elemento estructural.

Es necesario utilizar un poco más de ocho sacos y medio de cemento para lograr la resistencia adecuada, lo que en la práctica suele ser complejo al momento de preparar concreto en una concretadora con capacidad de un metro cubico. Por lo que, para garantizar esta resistencia se utilizaron nueve sacos de cemento por cada metro cubico. Además de esto, hay que tener en cuenta que la manera en que se realizan las mediciones de materiales es con valdes (cuñetes) por lo que en la **Tabla 13** se realiza las conversiones necesarias a esta medida y facilitar las actividades de mezclado y garantizar las medidas correctas de cada material.

Nota. Fuente, Laboratorio Ingesuelos Concalidad S.A.S.

### Tabla 13.

Proporciones para un metro cúbico de concreto.

| <b>Peso saco de cemento (Kg)</b>                     | 50                             |                                 |                                    |   |
|--|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---|
| <b>Volumen saco de cemento m<sup>3</sup></b>         | 0.04                           |                                 |                                    |   |
| <b>1 saco de cemento (cuñete)</b>                    | 3.90                           |                                 |                                    |   |
| <b>Proporciones Para 1 m<sup>3</sup> de Concreto</b> |                                |                                 |                                    |   |
| <b>Agua (m<sup>3</sup>)</b>                          | <b>Cemento (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Agregado (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Vc x 1 saco (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Cantidad de material por m<sup>3</sup> de concreto</b> |
| 0.023  | 0.016                          | 0.074                           | 0.113                              |   |

|  |                        |                            |
|--|------------------------|----------------------------|
| Para un m <sup>3</sup> de concreto con 2% de contenido de aire, la cantidad de saco de cemento es: | 8.67                   | 8.67                       |
| Cantidad de m <sup>3</sup> de agregado grueso para 1 m <sup>3</sup> de concreto                    | 1.08                   | 1.13                       |
| Cantidad de agua en Litros para 1 m <sup>3</sup> de concreto                                       | 187.20                 | 187.20                     |
| <b>Proporciones Para 1 Saco De Cemento, Cuñetes de Grava</b>                                       |                        |                            |
| <b>Volumen Cuñete (m<sup>3</sup>)</b>  | <b>Cuñetes de Agua</b> | <b>Cuñetes De Agregado</b> |
| 0.010  | 3.90                   | 12.20                      |

*Nota.* Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Teniendo en cuenta la capacidad de la concretadora que normalmente es para un saco de cemento, el laboratorio recomienda la siguiente dosificación por volumen. La dosificación recomendada por laboratorio queda de la siguiente manera 3.90 cuñete de agua aproximadamente, 1 saco de cemento, 12,20 cuñetes de agregado mixto. Esto se simplifica en la **Ilustración 10**.

Por otro lado, en la

**Nota.** Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

**Tabla 14**, se sintetizan los resultados obtenidos en la prueba de compresión simple para los cilindros que se tomaron en el diseño de mezcla con material mixto. Es claro que la resistencia obtenida está muy por encima de las solicitudes de diseño.



### Ilustración 10.

Cantidad de materiales utilizados para la elaboración de 1 m<sup>3</sup> de concreto con agregado mixto.



Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

**Tabla 14.**

Resistencia obtenida para los diseños de mezcla realizados en el laboratorio por compresión simple.

| No | Descripción                              | Fecha      |            |              | Carga (Kn) | Diam (cm) | Altura (cm) | Peso (g) | Peso unitario (kg/cm <sup>3</sup> ) | Resisten. Esperada (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistenc. (kg/cm <sup>2</sup> ) | % Resist. | Verificación |
|----|--|------------|------------|--------------|------------|-----------|-------------|----------|-------------------------------------|--|----------------------------------|-----------|--------------|
|    |  | Vacío      | Prueba     | Edad en días |            |           |             |          |                                     |  |                                  |           |              |
| 28 | Diseño de mezcla cemento Argos - General | 24/08/2023 | 27/08/2023 | 3            | 294.64     | 15.5      | 30.7        | 13240    | 2.29                                | 280                                      | 159.23                           | 56.87     | N/A          |
| 29 | Diseño de mezcla cemento Argos - General | 24/08/2023 | 31/08/2023 | 7            | 381.88     | 25.3      | 29.8        | 12610    | 2.3                                 | 280                                      | 211.8                            | 75.64     | N/A          |
| 30 | Diseño de mezcla cemento Argos - General | 24/08/2023 | 7/09/2023  | 14           | 444.22     | 15.2      | 30.1        | 12132    | 2.22                                | 280                                      | 249.63                           | 89.15     | N/A          |
| 31 | Diseño de mezcla                         | 24/08/2023 | 21/09/2023 | 28           | 588.92     | 15.1      | 30.2        | 12421    | 2.3                                 | 280                                      | 335.34                           | 119.77    | CUMPLE       |

|    |  |                |                |    |        |      |      |       |      |     |        |        |        |
|----|--|----------------|----------------|----|--------|------|------|-------|------|-----|--------|--------|--------|
|    | cemento<br>Argos -<br>General                        |                |                |    |        |      |      |       |      |     |        |        |        |
| 32 | Diseño de<br>mezcla<br>cemento<br>Argos -<br>General | 24/08/<br>2023 | 21/09/<br>2023 | 28 | 578.42 | 15.1 | 30.1 | 12324 | 2.29 | 280 | 329.37 | 117.63 | CUMPLE |

*Nota.* Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

### 6.1.1.2. Manejabilidad

Este diseño de mezcla está sujeto a la fabricación de concreto, para la construcción de las estructuras de interés, Por tal razón se recomienda un asentamiento de 7-12 cm, donde hay que tener especial cuidado al momento del mezclado en la humedad de la arena, sabiendo que en el laboratorio se trabajó con materiales en humedad natural. En la mezcla de prueba preliminar, se obtuvo un asentamiento de 10.5 cm.






**Imagen 1.**  
*Asentamiento en concreto con material mixto*

### 6.1.1.3. Diseño de Mezcla con Agregado de Cantera.

En la **Tabla 15**, se muestran las características principales para cada uno de los materiales utilizados en el diseño de mezcla de concreto con agregado de cantera.

**Tabla 15.**  
*Características de material utilizado en el diseño de mezcla.*

| Material | Descripción | Características |
|----------|-------------|-----------------|
|----------|-------------|-----------------|

|                        |  |  |
|------------------------|--|--|
| <b>Cemento</b>         | <p>Se utilizaron sacos de cemento de la marca Argos de uso general por 50 kg.</p>   | <p><b>Cemento:</b> Argos, en sacos.<br/> <b>Densidad del cemento:</b> 3,10 g/cm<sup>3</sup><br/> <b>Masa Unitaria Suelta:</b> 1,16 g/cm<sup>3</sup><br/> <b>Presentación:</b> Saco de 50 kg</p>  |
| <b>Agregado grueso</b> | <p>Grava de tamaño máximo nominal de 3/4", de color gris claro, de baja humedad, donde a simple vista se puede detectar un tamaño de grano uniforme, con partículas de forma variada, desde subangulares hasta subredondeados, textura variada, desde rugosas hasta lisas, y un contenido bajo de partículas finas, clasificada según el sistema unificada como una grava pobremente gradada</p>  | <p><b>Tamaño Máximo Nominal:</b> 3/4" (mm).<br/> <b>Porcentaje que pasa el tamiz N° 100:</b> 0.08%<br/> <b>Masa unitaria suelta:</b> 1,455.13 kg/m<sup>3</sup><br/> <b>Masa unitaria Compacta:</b> 1,551.32 kg/m<sup>3</sup><br/> <b>Densidad aparente seca:</b> 2.736 g/cm<sup>3</sup><br/> <b>Absorción:</b> 1.8%</p>                                  |
| <b>Agregado fino</b>   | <p>El material de Arena es limpia y poco húmeda, con diferentes tamaños de partícula, con un módulo de finura de 3,77, es decir, una arena gruesa, adecuada para mezcla de concreto, y teniendo partículas incluso mayores a 4 mm, clasificada según el sistema de unificado como una <i>Arena pobremente gradada</i>.</p>    | <p><b>Tamaño Máximo Nominal:</b> 3/4" (mm).<br/> <b>Porcentaje que pasa el tamiz N° 100:</b> 1.83%<br/> <b>Masa unitaria suelta:</b> 1298.47 kg/m<sup>3</sup><br/> <b>Masa unitaria Compacta:</b> 1463.55 kg/m<sup>3</sup><br/> <b>Densidad aparente seca:</b> 2,686 g/cm<sup>3</sup><br/> <b>Absorción:</b> 1,8%<br/> <b>Módulo de finura:</b> 3.77</p> |

Nota. Fuente, Elaboración propia.

**Tabla 16.**

*Análisis granulométrico agregado grueso.*

|  |                    |                                  |                   |                   |               |
|--|--------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| <b>Peso Tara (gr):</b>                 | 0                  | <b>Peso Retenido N°200+Tara:</b> | 0.0               |                   |               |
| <b>Peso de la Tara + Muestra (gr):</b> | 2960.1             | <b>Peso Retenido N°200:</b>      | 30.6              |                   |               |
| <b>Peso Seco Inicial (gr):</b>         | 2959.9             | <b>Suma Pesos Retenidos:</b>     | 2988.1            |                   |               |
| <b>Tamiz</b>                           | <b>Tamaño (mm)</b> | <b>Peso Retenido (gr)</b>        | <b>% Retenido</b> | <b>% Retenido</b> | <b>% Pasa</b> |
| 3"                                     | 76.20              | 0.00                             | 0.00              | 0.00              | 100.00        |
| 2"                                     | 50.80              | 0.00                             | 0.00              | 0.00              | 100.00        |
| 1 1/2"                                 | 37.50              | 0.00                             | 0.00              | 0.00              | 100.00        |
| 1"                                     | 25.40              | 0.00                             | 0.00              | 0.00              | 100.00        |
| 3/4"                                   | 19.05              | 719.10                           | 24.29             | 24.29             | 75.71         |
| 1/2"                                   | 12.70              | 1416.00                          | 47.84             | 72.13             | 27.87         |
| 3/8"                                   | 9.53               | 586.50                           | 19.81             | 91.95             | 8.05          |
| N ° 4                                  | 4.76               | 208.10                           | 7.03              | 98.98             | 1.02          |

|         |       |         |      |       |      |
|---------|-------|---------|------|-------|------|
| N ° 8   | 2.38  | 5.61    | 0.19 | 99.17 | 0.83 |
| N ° 16  | 1.19  | 5.20    | 0.18 | 99.34 | 0.66 |
| N ° 30  | 0.595 | 7.36    | 0.25 | 99.59 | 0.41 |
| N ° 50  | 0.297 | 5.26    | 0.18 | 99.77 | 0.23 |
| N ° 100 | 0.149 | 4.41    | 0.15 | 99.92 | 0.08 |
| Fondo   | 0.00  | 0.00    | 0.00 | 99.92 | 0.08 |
| Total   |       | 2957.54 |      |       |      |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

En el **Gráfico 2**, se muestra los resultados obtenidos durante el proceso de diseño de mezcla con el material de cantera, donde las líneas en color intersectan los puntos donde se ubican los porcentajes de agregado obtenido en cada tamiz, en el costado izquierdo el agregado grueso y en el costado derecho el agregado tipo arena. La línea punteada en el centro, corresponde al ajuste que se realiza con base en los datos obtenidos de los dos tipos de agregado.

**Tabla 17.**

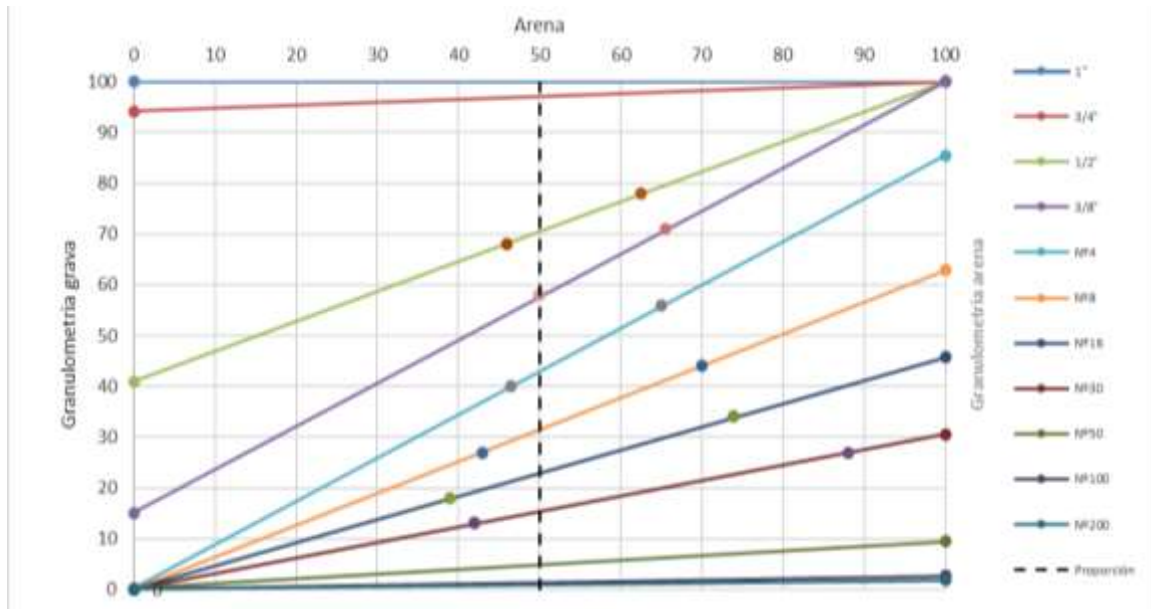
*Análisis granulométrico agregado fino.*

|  |                    |                       |                                  |                     |               |
|--|--------------------|-----------------------|----------------------------------|---------------------|---------------|
| <b>Peso Tara (gr):</b>                 |                    | 0                     | <b>Peso Retenido N°200+Tara:</b> |                     | 0.00          |
| <b>Peso de la Tara + Muestra (gr):</b> |                    | 2500.2                | <b>Peso Retenido N°200:</b>      |                     | 41.90         |
| <b>Peso Seco Inicial (gr):</b>         |                    | 2438.3                | <b>Suma Pesos Retenidos:</b>     |                     | 2435.60       |
| <b>Tamiz</b>                           | <b>Tamaño (mm)</b> | <b>Peso Ret. (gr)</b> | <b>% Retenido</b>                | <b>% Ret. Acum.</b> | <b>% Pasa</b> |
| 1"                                     | 25.40              | 0.00                  | 0.00                             | 0.00                | 100.00        |
| 3/4"                                   | 19.05              | 0.00                  | 0.00                             | 0.00                | 100.00        |
| 1/2"                                   | 12.70              | 0.00                  | 0.00                             | 0.00                | 100.00        |
| 3/8"                                   | 9.53               | 0.00                  | 0.00                             | 0.00                | 100.00        |
| N ° 4                                  | 4.76               | 279.00                | 11.44                            | 11.44               | 88.56         |
| N ° 8                                  | 2.38               | 603.10                | 24.73                            | 36.18               | 63.82         |
| N ° 16                                 | 1.19               | 612.50                | 25.12                            | 61.30               | 38.70         |
| N ° 30                                 | 0.595              | 449.30                | 18.43                            | 79.72               | 20.28         |
| N ° 50                                 | 0.297              | 263.80                | 10.82                            | 90.54               | 9.46          |
| N ° 100                                | 0.149              | 166.00                | 6.81                             | 97.35               | 2.65          |
| Fondo                                  | 0.00               | 20.00                 | 0.82                             | 98.17               | 1.83          |
| Total                                  |                    | 2393.70               |                                  |                     | 100           |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

## Gráfico 2.

Ajuste dosificación de agregados para mezcla.



Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

La **Tabla 18**, sintetiza las cantidades necesarias para la elaboración de concreto obtenidos a partir del diseño de mezcla con agregados de cantera. En este, además de las cantidades en metro cubico se muestran las cantidades en función de los cuñetes (valdes) utilizados en obra.

### Tabla 18.

Cantidades y proporciones para mezcla de concreto.

|  |                                |                                      |  |                                    |   |
|--|--------------------------------|--------------------------------------|--|------------------------------------|---|
| <b>Peso saco de cemento (Kg)</b>   | 50                             |                                      |  |                                    |   |
| <b>Volumen saco de cemento m<sup>3</sup></b>   | 0.04                           |                                      |  |                                    |   |
| <b>1 saco de cemento (cuñete)</b>  | 3.90367477                     |                                      |  |                                    |   |
| <b>PROPORCIONES PARA 1 m<sup>3</sup> DE CONCRETO (SIN ADITIVO)</b>                                 |                                |                                      |  |                                    |   |
| <b>Agua (m<sup>3</sup>)</b>  | <b>Cemento (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Agregado fino (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Agregado grueso (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Vc x 1 saco (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Cantidad de material por m<sup>3</sup> de concreto</b> |
| 0.026  | 0.016                          | 0.036                                | 0.044                                  | 0.122                              |   |
| Para un m <sup>3</sup> de concreto con 2% de contenido de aire, la cantidad de saco de cemento es: |                                |                                      |  | 8.04                               | 8.04  |
| Cantidad de m <sup>3</sup> de agregado fino para 1 m <sup>3</sup> de concreto                      |                                |                                      |  | 0.29                               | 0.6   |
| Cantidad de m <sup>3</sup> de agregado grueso para 1 m <sup>3</sup> de concreto                    |                                |                                      |  | 0.35                               | 0.66  |
| Cantidad de agua en Litros para 1 m <sup>3</sup> de concreto                                       |                                |                                      |  | <b>0</b>                           | <b>209</b>  |

| PROPORCIONES PARA 1 SACO DE CEMENTO, CUÑETES DE ARENA Y GRAVA |                 |                     |                       |
|---|-----------------|---------------------|-----------------------|
| VOLUMEN CUÑETE (m <sup>3</sup> )                              | CUÑETES DE Agua | CUÑETES DE Ag. Fino | CUÑETES DE Ag. Grueso |
| 0.010   | 2.44            | 6.94                | 7.70                  |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Teniendo en cuenta la capacidad de la concretadora que normalmente es para un saco de cemento, el laboratorio recomienda la siguiente dosificación por volumen; La dosificación recomendada por laboratorio queda así, 2,48 cuñetes de agua aproximadamente, 1 saco de cemento, 6,79 de agregado fino y 7,55 de agregado grueso.

En la siguiente tabla se ilustran los datos obtenidos para la mezcla diseñada, para los ensayos de laboratorio donde se fallaron muestras a 3, 7, 14 y 28 días. Donde es claro que cumple con los requerimientos de diseño establecidos inicialmente.

**Tabla 19.**

*Resistencias obtenidas en diseño de mezcla con material de cantera.*

| Id | No | Descripción                                   | Fecha      |            |              | Carga (kn) | Dia (cm) | h (cm) | Peso (g) | Peso unitar (kg/cm <sup>3</sup> ) | Resist. diseño (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resist. (kg/cm <sup>2</sup> ) | % Resist. | Verificación |
|----|----|---|------------|------------|--------------|------------|----------|--------|----------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|-----------|--------------|
|    |    |   | Vaciado    | Prueba     | Edad en días |            |          |        |          |                                   |                                      |                               |           |              |
| IS | 11 | diseño de mezcla cemento Argos - Agg cantera. | 24/08/2023 | 27/08/2023 | 3            | 103.67     | 10       | 20     | 3754     | 2.38                              | 280                                  | 154.3                         | 55.107    | N/A          |
| IS | 12 | diseño de mezcla cemento Argos - Agg cantera. | 24/08/2023 | 31/08/2023 | 7            | 135.1      | 10       | 20     | 3722     | 2.37                              | 280                                  | 201.32                        | 71.900    | N/A          |
| IS | 13 | diseño de mezcla cemento Argos - Agg cantera. | 24/08/2023 | 7/09/2023  | 14           | 159.75     | 10       | 20     | 3781     | 2.41                              | 280                                  | 267.46                        | 95.521    | N/A          |
| IS | 14 | diseño de mezcla cemento Argos - Agg cantera. | 24/08/2023 | 7/09/2023  | 14           | 157.57     | 10       | 20     | 3762     | 2.39                              | 280                                  | 272.43                        | 97.296    | N/A          |

|    |    |   |            |            |    |        |    |      |      |      |     |        |             |        |
|----|----|---|------------|------------|----|--------|----|------|------|------|-----|--------|-------------|--------|
| IS | 15 | diseño de mezcla cemento Argos - Agg cantera. | 24/08/2023 | 21/09/2023 | 28 | 201.94 | 10 | 20.2 | 3802 | 2.4  | 280 | 318.76 | 113.84<br>3 | CUMPLE |
| IS | 16 | diseño de mezcla cemento Argos - Agg cantera. | 24/08/2023 | 21/09/2023 | 28 | 198.78 | 10 | 20   | 3810 | 2.43 | 280 | 323.4  | 115.50<br>0 | CUMPLE |

*Nota.* Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

#### **6.1.1.4. Manejabilidad**

Este diseño de mezcla está sujeto a la fabricación de concreto, para la construcción de las estructuras de interés, Por tal razón se recomienda un asentamiento de 8- 12cm, donde hay que tener especial cuidado al momento del mezclado en la humedad de la arena, sabiendo que en el laboratorio se trabajó con materiales en humedad natural. En la mezcla de prueba preliminar, se obtuvo un asentamiento de 9.5 cm.



**Imagen 2.** *Asentamiento de diseño material de cantera.*

#### **6.1.2. Pruebas De Resistencia Por Elementos**

En la **Tabla 20**, se sintetizan los resultados obtenidos al momento de fallar los cilindros de concreto durante los 7,14 y 28 días de vaciado. Estos, corresponde a los valores de las cuatro pilas construidas. Es claro que los cilindros cumplen con los requerimientos establecidos por el diseñador de este puente, donde para las pilas se estableció una resistencia mínima de 28 Mpa. Si se observan los valores obtenidos, a edades tempranas de 7 días, el concreto ya había alcanzado una resistencia significativa siendo mayor al 70% en todos los cilindros fallados. Estos datos fueron suministrados por el laboratorio de INGESUELOS CONCALIDAD, el cual cuenta con las certificaciones actualizadas de cada uno de sus equipos y sus procedimientos.

**Tabla 20.***Resultados pruebas de compresión a cilindros de pilas.*

| Descripción | Edad en días | Carga (KN) | Diam. (cm) | Altura (cm) | Peso (g) | Peso unitario (kg/cm <sup>3</sup> ) | Resistencia. Espec. a 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia. (Kg/cm <sup>2</sup> ) | % Resistencia | Verificación |
|-------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------------------------|---|------------------------------------|---------------|--------------|
| Pila 1 Y 3  | 7            | 380.81     | 15.3       | 29-01-00    | 12670    | 2.27                                | 280   | 205.79                             | 73.50         | N/A          |
| Pila 1 Y 3  | 7            | 384.73     | 15.3       | 30-01-00    | 12840    | 2.25                                | 280   | 207.91                             | 74.25         | N/A          |
| Pila 1 Y 3  | 14           | 459.64     | 15.4       | 30-01-00    | 12930    | 2.24                                | 280   | 248.39                             | 88.71         | N/A          |
| Pila 1 Y 3  | 14           | 463.18     | 15.2       | 30-01-00    | 13000    | 2.32                                | 280   | 256.89                             | 91.75         | N/A          |
| Pila 1 Y 3  | 28           | 510.2      | 15.3       | 30-01-00    | 12890    | 2.34                                | 280   | 282.97                             | 101.06        | CUMPLE       |
| Pila 1 Y 3  | 28           | 512.1      | 15.2       | 30          | 12730    | 2.34                                | 280   | 287.78                             | 102.78        | CUMPLE       |
| Pila 2 Y 4  | 7            | 398.15     | 15.4       | 30.6        | 12890    | 2.26                                | 280   | 217.97                             | 77.85         | N/A          |
| Pila 2 Y 4  | 7            | 380.69     | 15.4       | 30          | 12720    | 2.28                                | 280   | 208.41                             | 74.43         | N/A          |
| Pila 2 Y 4  | 14           | 464.5      | 15.5       | 30.2        | 12880    | 2.26                                | 280   | 251.02                             | 89.65         | N/A          |
| Pila 2 Y 4  | 14           | 471.86     | 15.3       | 30.2        | 12760    | 2.30                                | 280   | 261.71                             | 93.47         | N/A          |
| Pila 2 Y 4  | 28           | 508.3      | 15.1       | 30.3        | 12870    | 2.37                                | 280   | 289.44                             | 103.37        | CUMPLE       |
| Pila 2 Y 4  | 28           | 498.5      | 15         | 30.4        | 12850    | 2.39                                | 280   | 287.65                             | 102.73        | CUMPLE       |

*Nota.* Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Como se puede observar en la **Tabla 21**, los resultados obtenidos en las pruebas de compresión simple para los cilindros tomados durante el vaciado de la viga cabezal, cumplieron con las especificaciones técnicas indicadas en los planos de diseño, en la que se obtienen valores relativamente mayores a los 28Mpa. En total se tomaron 12 cilindros para las pruebas, los cuales corresponden a 6 cilindros por viga. Si se observan los valores de resistencia obtenidos, se puede notar que el valor de la resistencia tuvo un ligero aumento entre los 14 y 28 días. Es importante resaltar que tanto las vigas cabezal como las pilas, fueron construidas utilizando los diseños de mezcla con material mixto.

**Tabla 21.***Resultados pruebas de compresión a cilindros de viga cabezal.*

| Descripción  | Edad en días | Carga (KN) | Diam. (cm) | Altura (cm) | Peso (g) | Peso unitario (kg/cm <sup>3</sup> ) | Resistencia. Espec. a 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia. (Kg/cm <sup>2</sup> ) | % Resist | Verificación |
|--------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------------------------|---|------------------------------------|----------|--------------|
| Viga Cabezal | 7            | 290.5      | 15         | 30.1        | 13310    | 2.50                                | 280   | 167.63                             | 59.87    | N/A          |
| Viga Cabezal | 7            | 300.6      | 15         | 30          | 12340    | 2.33                                | 280   | 173.46                             | 61.95    | N/A          |
| Viga Cabezal | 14           | 360.3      | 15         | 29.8        | 12180    | 2.31                                | 280   | 207.91                             | 74.25    | N/A          |
| Viga Cabezal | 14           | 380        | 15.1       | 30.4        | 12440    | 2.29                                | 280   | 216.38                             | 77.28    | N/A          |
| Viga Cabezal | 28           | 498.12     | 15         | 30          | 12270    | 2.31                                | 280   | 287.44                             | 102.66   | CUMPLE       |
| Viga Cabezal | 28           | 505.2      | 15.3       | 30          | 12670    | 2.30                                | 280   | 280.20                             | 100.07   | CUMPLE       |
| Viga Cabezal | 7            | 293.65     | 15.3       | 30.1        | 12900    | 2.33                                | 280   | 162.87                             | 58.17    | N/A          |
| Viga Cabezal | 7            | 308.1      | 15.2       | 30.4        | 12540    | 2.27                                | 280   | 173.14                             | 61.84    | N/A          |
| Viga Cabezal | 14           | 380.23     | 15         | 29.8        | 12450    | 2.36                                | 280   | 219.41                             | 78.36    | N/A          |



|              |    |       |      |      |       |      |     |        |        |        |
|--------------|----|-------|------|------|-------|------|-----|--------|--------|--------|
| Viga Cabezal | 14 | 392.1 | 15.3 | 30   | 12440 | 2.26 | 280 | 217.47 | 77.67  | N/A    |
| Viga Cabezal | 28 | 495   | 15   | 30.4 | 12730 | 2.37 | 280 | 285.63 | 102.01 | CUMPLE |
| Viga Cabezal | 28 | 486   | 15   | 30   | 13520 | 2.55 | 280 | 280.44 | 100.16 | CUMPLE |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Los datos mostrados en la **Tabla 22**, corresponden a los resultados obtenidos en la prueba de compresión simple para cilindros fallados a los 7, 14 y 28 días. Estos, cumplieron con la resistencia de diseño que corresponde a 28 Mpa, estos elementos fueron construidos utilizando las relaciones obtenidas con el agregado mixto. Con relación a los valores, se puede notar que estos tienen un comportamiento similar a los obtenidos en las pilas y vigas cabezal, donde a edades cercanas a los 14 días, se alcanzan valores significativos cercanos al 70% de la resistencia de diseño.

**Tabla 22.**

*Resultados pruebas de compresión a cilindros de espaldar.*

| Descripción | Edad en días | Carga (KN) | Dia m. (cm) | Altura (cm) | Peso (g) | Peso unitario (kg/c m <sup>3</sup> ) | Resistencia. Espec. a 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia. (Kg/cm <sup>2</sup> ) | % Resist | Verificación |
|-------------|--------------|------------|-------------|-------------|----------|--------------------------------------|---|------------------------------------|----------|--------------|
| Espaldar    | 16           | 380.2      | 15          | 30.4        | 12350    | 2.30                                 | 280   | 219.39                             | 78.35    | N/A          |
| Espaldar    | 16           | 370.3      | 15.1        | 30.1        | 12330    | 2.29                                 | 280   | 210.86                             | 75.31    | N/A          |
| Espaldar    | 21           | 395.12     | 15          | 30.4        | 12590    | 2.34                                 | 280   | 228.00                             | 81.43    | N/A          |
| Espaldar    | 21           | 378.45     | 15          | 30.1        | 12900    | 2.43                                 | 280   | 218.38                             | 77.99    | N/A          |
| Espaldar    | 28           | 498        | 14.9        | 30.2        | 12410    | 2.36                                 | 280   | 291.24                             | 104.01   | CUMPLE       |
| Espaldar    | 28           | 497.12     | 15.1        | 30.2        | 13580    | 2.51                                 | 280   | 283.07                             | 101.10   | CUMPLE       |

Nota. Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Las vigas principales fueron construidas con material de cantera con las relaciones establecidas para este diseño. En la **Tabla 23** se muestra que los datos obtenidos fueron ligeramente mayores a los requerimientos de diseño. Comparando los datos obtenidos con el material mixto, se puede notar que los datos obtenidos con material de cantera a edades tempranas están por encima de estos logrando resistencias mayores. Esta diferencia puede estar asociada a que, al ser materiales clasificados, durante la preparación de la mezcla, los materiales finos y gruesos presentan una mejor distribución y aglomeración permitiendo lograra mayores resistencias.

**Tabla 23.***Resultados pruebas de compresión a cilindros de viga principal.*

| Descripción            | Edad en días | Carga (KN) | Diam. (cm) | Altura (cm) | Peso (g) | Peso unitario (kg/cm <sup>3</sup> ) | Resistencia. Espec. a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia. (kg/cm <sup>2</sup> ) | % Resist | Verificación |
|------------------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------------------------|---|------------------------------------|----------|--------------|
| Viga Principal Derecha | 5            | 309.49     | 15         | 30.2        | 13820    | 2.59                                | 280   | 178.59                             | 63.78    | N/A          |
| Viga Principal Derecha | 5            | 321.58     | 15         | 29.9        | 12680    | 2.40                                | 280   | 185.56                             | 66.27    | N/A          |
| Viga Principal Derecha | 14           | 398.89     | 15         | 30.5        | 12920    | 2.40                                | 280   | 230.18                             | 82.21    | N/A          |
| Viga Principal Derecha | 14           | 394.83     | 15         | 30          | 13280    | 2.50                                | 280   | 227.83                             | 81.37    | N/A          |
| Viga Principal Derecha | 28           | 523.26     | 15.2       | 30.2        | 12950    | 2.36                                | 280   | 294.05                             | 105.02   | CUMPLE       |
| Viga Principal Derecha | 28           | 520.71     | 15.4       | 30.3        | 12830    | 2.27                                | 280   | 285.06                             | 101.81   | CUMPLE       |

*Nota.* Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Al igual que las vigas principales, las vigas riostras fueron construidas utilizando materiales de cantera. Para este caso, se fallaron únicamente cuatro cilindros ya que, durante el transporte de los testigos, estos sufrieron agrietamiento y fracturas por lo que, se desecharon. Aun así, se puede notar que estos cumplieron con los requerimientos de diseño.

**Tabla 24.***Resultados prueba de compresión simple cilindros de vigas riostras.*

| Descripción  | Edad en días | Carga (KN) | Diam. (cm) | Altura (cm) | Peso (g) | Peso unitario (kg/cm <sup>3</sup> ) | Resistencia. Espec. a 28 días (Kg/cm <sup>2</sup> ) | Resistencia. (Kg/cm <sup>2</sup> ) | % Resist | Verificación |
|--------------|--------------|------------|------------|-------------|----------|-------------------------------------|---|------------------------------------|----------|--------------|
| Viga Riostra | 26           | 474.92     | 15.7       | 30.3        | 14050    | 2.4                                 | 280   | 285.60                             | 102.00   | N/A          |
| Viga Riostra | 26           | 440.21     | 15.4       | 29.7        | 12890    | 2.33                                | 280   | 284.40                             | 101.57   | N/A          |
| Viga Riostra | 28           | 436.45     | 15.3       | 30.1        | 12940    | 2.34                                | 280   | 298.10                             | 106.46   | CUMPLE       |
| Viga Riostra | 28           | 431.26     | 15.1       | 30.4        | 13020    | 2.39                                | 280   | 301.20                             | 107.57   | CUMPLE       |

*Nota.* Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

Si se hace un contraste entre los datos obtenidos de resistencia en laboratorio para los diseños de mezcla (

**Nota.** Fuente, Laboratorio INGESUELOS CONCALIDAD S.A.S.

**Tabla 14** y **Tabla 19**) con los datos obtenidos a partir de los cilindros tomados en obra mostrados en las **Tabla 20**, **Tabla 21**, **Tabla 22** y **Tabla 23**, se puede ver una diferencia marcada en los resultados obtenidos a los 28 días de vaciado. Esto puede estar asociado a la manera en la que se mezclan y se disponen los materiales. En el laboratorio se realizan dosificaciones mucho más precisas que las realizadas en campo, teniendo en cuenta que los agregados son medidos utilizando valdes y que estos a su vez son manipulados por varios obreros, siendo esta una fuente de error que incide finalmente en la resistencia del material final.

Además de lo mencionado anteriormente, hay que tener en cuenta que los materiales utilizados pueden tener impurezas o elementos que pueden generar efectos adversos en la resistencia del concreto como lo estableció (Mamlouk & Zaniewski, 2009)

### **6.1.3. Control De Materiales Y Cantidades**

El control de materiales en obra es uno de los procesos más importantes para garantizar el avance de la obra conforme a lo establecido en los cronogramas de obra. La disposición en tiempo de materiales como el acero y los recursos necesarios para la elaboración de concretos son de vital importancia. Para controlar y disponer en los tiempos adecuados las cantidades de acero, se elaboró un formato que permite estimar las cantidades de acero necesaria para cada elemento estructural y no estructural, conforme a las especificación dadas en los planos de diseño.

Este formato es una tabla dinámica en el cual se especifica el elemento estructural, tipo de refuerzo, cantidad de barras, cantidad de elementos, su denominación diametral y la longitud. Con esta información se realiza una relación con el diámetro de la barra a utilizar y se estima la cantidad exacta de acero para cada elemento al igual que su peso.

Este último, es de gran importancia ya que permite definir el tipo de vehículo necesario para el transporte de estos materiales, teniendo en cuenta que cada vehículo tiene una capacidad de carga definida. Estos datos se sintetizan en la **Tabla 25** donde se puede apreciar a mayor detalle los datos requeridos en el formato para la estimación de las cantidades de acero.

**Tabla 25.**

*Tabla de cantidades de acero por elemento estructural.*

| TABLA DE CANTIDADES DE ACERO PUENTE LAS ALMAGRITAS |                  |          |                       |        |                        |                          |           |              |               |
|--|------------------|----------|-----------------------|--------|------------------------|--------------------------|-----------|--------------|---------------|
| Elemento estructural                               | Tipo de refuerzo | Cantidad | Cantidad de elementos | Unidad | Designación barra (N°) | Referencia barra (in; ") | Masa (kg) | Longitud (m) | Cantidad (kg) |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 9        | 2                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 12.00        | 858.17        |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 9        | 2                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 4.90         | 350.42        |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 6        | 2                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 5.00         | 238.38        |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 6        | 2                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 9.60         | 457.69        |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 6        | 2                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 3.50         | 166.87        |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 5        | 2                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 9.00         | 357.57        |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 5        | 4                     | Kg     | 5                      | 5/8                      | 1.552     | 8.25         | 256.08        |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 4        | 4                     | Kg     | 4                      | 1/2                      | 0.994     | 6.20         | 98.60         |
| Viga Principal                                     | Longitudinal     | 4        | 4                     | Kg     | 4                      | 1/2                      | 0.994     | 9.60         | 152.68        |
| Viga Principal                                     | Transversal      | 104      | 2                     | Kg     | 4                      | 1/2                      | 0.994     | 3.16         | 653.34        |
| Viga Principal                                     | Transversal      | 104      | 2                     | Kg     | 4                      | 1/2                      | 0.994     | 2.02         | 417.64        |
| Viga Principal                                     | Transversal      | 104      | 8                     | Kg     | 4                      | 1/2                      | 0.994     | 0.65         | 537.56        |
| Pilas  | Transversal      | 62       | 4                     | Kg     | 4                      | 1/2                      | 0.994     | 4.10         | 1010.70       |
| Pilas  | Longitudinal     | 10       | 4                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 5.00         | 794.60        |
| Pilas  | Longitudinal     | 10       | 4                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 6.30         | 1001.20       |
| Pilas  | Longitudinal     | 10       | 4                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 7.00         | 1112.44       |
| Pilas  | Longitudinal     | 10       | 4                     | Kg     | 8                      | 1                        | 3.973     | 4.50         | 715.14        |
| Viga Cabezal                                       | Transversal      | 34       | 2                     | Kg     | 4                      | 1/2                      | 0.994     | 4.10         | 277.13        |

*Nota.* Fuente, elaboración propia.

Además de este formato, se complementó con la **Tabla 26**, la cual permite resumir las cantidades de acero necesarias en cada elemento estructural. Hay que tener en cuenta, que además de facilitar la cuantificación de acero necesario, estos datos permiten verificar los valores asignados en el presupuesto inicial de obra ya que, los costos totales del acero se cuantifican por kilogramo y no por unidad de barras.

**Tabla 26.**

*Resumen de cantidades de acero por elemento estructural.*

| Elemento estructural | Suma de Cantidad (kg) |
|----------------------|-----------------------|
| Pilas                | 4,634.08              |
| Tope Sísmico         | 475.79                |
| Viga Cabezal         | 2,864.89              |
| Viga Principal       | 4,544.99              |
| Losa                 | 3,890.64              |
| Viga Riostra         | 529.13                |

|                       |                  |
|-----------------------|------------------|
| New Jersey            | 885.85           |
| Zapatatas y Aletas    | 1,473.16         |
| Losa de Aproximación  | 1,088.61         |
| <b>Total, general</b> | <b>20,387.09</b> |

Nota. Fuente, elaboracion propia.

#### 6.1.4. Disposición De Acero De Refuerzo

Con el fin de garantizar una adecuada disposición de los elementos de refuerzo longitudinal y transversal de cada elemento estructural, fue necesario disponer de los planos de diseño a diferentes escalas, esto facilita el análisis de algunos elementos que requieren cantidades significativas de refuerzo y que en muchas ocasiones es complicado ver cómo es sus disposición en una escala normal. Durante la disposición del acero, siempre fue necesario contar con la presencia del supervisor técnico, del ingeniero residente y la interventoría.

En el caso del acero de refuerzo, se elaboró un formato en el cual se hacia el despiece de cada elemento, se registraban las cantidades por elemento, número de elementos, longitud del acero necesario tanto longitudinal como trasversal y se relacionaba con su peso nominal por metro lineal.

En la **Tabla 27**, se muestra la manera en la que se realizaban el control de acero de refuerzo que se dispone en cada elemento estructural. A su vez, en este formato además de la información dimensional, se anexaban ilustraciones de la forma y dimensión de cada elemento y refuerzo. Finalmente, se obtiene el total de acero necesario para cada elemento y a su vez, sirve como insumo para relacionarlo en las cuentas de cobro que se realizaban por periodos.

En este formato, también se anexa la información relacionada con el contrato de obra y el mismo número de ítem que se encuentra en el presupuesto general aprobado por las entidades contratantes.

**Tabla 27.**  
*Memorias de cálculo.*

| Memoria de Cálculo de Cantidades de Obra |             |   |                           |               |  |                            |
|--|-------------|---|---------------------------|---------------|--|----------------------------|
| Contratante                              |             | Contrato  | Contratista               |               | Objeto   |                            |
| Contratante                              |             | Contrato de Obra Nro.   | Consorcio Almagritas 2023 |               | Construcción del Puente Vehicular en la Vereda Las Almagritas del Municipio de San Pedro de Urabá, Antioquia |                            |
| <b>ITEM</b>                              | <b>3.13</b> | Suministro figuración e instalación de acero de refuerzo para la estructura del puente. |                           | <b>UNIDAD</b> | KG   | <b>FECHA:</b><br>4/09/2023 |

| Descripción            | Localización  | Descripción             | Cantidades Final Contratada | Cantidad Ejecutada |
|------------------------|---|-------------------------|-----------------------------|--------------------|
|                        | Acero de refuerzo en viga cabezal, longitudinal y transversal | 4.1*34*2*0.994          |                             | 277.13             |
|                        |   | 2.12*88*2*0.994         |                             | 370.88             |
|                        |   | 7.15*4*10*3.042         |                             | 870.01             |
|                        |   | 6.95*2*8*1.552          |                             | 172.58             |
|                        |   | 1.35*2*68*0.994         |                             | 182.50             |
|                        |   | 1.15*2*68*0.994         |                             | 155.46             |
|                        |   | 1.87*2*45*1.552         |                             | 261.20             |
|                        |   | 6.9*2*2*0.994           |                             | 27.43              |
|                        |   | 10.1*2*13*0.994         |                             | 261.02             |
|                        |   | 8.15*2*13*0.994         |                             | 210.63             |
|                        |   | 0.85*2*45*0.994         |                             | 76.04              |
|                        |   | <b>TOTAL, EJECUTADO</b> |                             |                    |
| <b>PAGADO ACTA N°1</b> |   |                         |                             | 2,864.89           |

Nota. Fuente, elaboración propia.

### 6.1.5. Volumen de Concreto

La disposición de concreto en los tiempos establecidos para el vaciado de un elemento estructural es de vital importancia para evitar retrasos en otras actividades que dependen o que van en sucesión de esta. Con el fin de garantizar la disposición de este material, se creó un formato en el que se estimaban las cantidades necesarias de concreto para los diferentes elementos estructurales del puente.

Este formato, se muestra en **Tabla 28** donde se relaciona el elemento, las dimensiones, el volumen, el número de elementos y finalmente el volumen necesario para estos elementos. Esta tabla, se encuentra relacionada con la **Tabla 13** y la **Tabla 18**, las cuales corresponde a los diseños de mezcla con agregado mixto y agregado de cantera. Lo que permite tener una visión mucho más clara sobre las cantidades de cemento, agregados y agua que se debe disponer cuando se realizan las actividades de elaboración y vaciado de concreto.

Esta misma tabla, permite llevar un control en las cantidades de concreto utilizado y a su vez, permite llevar un control en las actas de mayores y menores cantidades para realizar los ajustes pertinentes si es necesario.

**Tabla 28.**

*Relación de volumen de concreto por elemento estructural.*

| Elemento       | Dimensión       | Volumen | # Elementos | Subtotal Volumen |
|----------------|-----------------|---------|-------------|------------------|
| Pilas          | 9.5m2x1.20m     | 10.74   | 4           | 42.98            |
| Viga Cabezal   | 6.6m*1.61m2     | 10.63   | 2           | 21.25            |
| Vigas Riostras | 0.3m*0.9m*2.96m | 0.80    | 3           | 2.40             |

|                      |                           |       |   |        |
|----------------------|---------------------------|-------|---|--------|
| Vigas Principales    | 0.55m*0.9m*15.49m         | 7.67  | 2 | 15.33  |
| Losa                 | 0.22m*6.6m*15.8m          | 22.94 | 1 | 22.94  |
| Losa de Aproximación | 0.68m <sup>2</sup> *6.6m  | 4.488 | 2 | 8.98   |
| New Jersey           | 0.14m <sup>2</sup> *15.8m | 2.212 | 2 | 4.42   |
| Zapatas Aletas       | (0.4+0.3+1.05)m*2.8*0.4   | 1.96  | 4 | 7.84   |
| Aletas               | 0.3m*1.86*2.8             | 1.512 | 4 | 6.05   |
| TOTAL                |                           |       |   | 132.19 |

*Nota.* Fuente, elaboración propia.

Una vez estimada las cantidades de concreto necesarias en cada elemento, se realizaba la estimación de los materiales necesarios para su elaboración. En la **Tabla 29** se evidencia las cantidades de cada material necesario para la elaboración de concreto de acuerdo con el tipo de elemento. Cabe resaltar, que para las pilas y las vigas cabezal, se utilizaron las proporciones obtenidas con el diseño de concreto mixto y para los demás elementos estructurales se utilizó únicamente material de cantera. En ninguno de los concretos elaborados fue necesario la adhesión de aditivos.

**Tabla 29.**

*Cantidad de materiales necesarios para elaboración de concreto por elemento estructural.*

| Elemento             | Cemento (Sacos) | Agua (Lt) | Agregado fino (m <sup>3</sup> ) | Agregado Grueso (m <sup>3</sup> ) |
|----------------------|-----------------|-----------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Pilas                | 344             | 8982      | 25.79                           | 28.36                             |
| Viga Cabezal         | 170             | 4442      | 12.75                           | 14.03                             |
| Vigas Riostras       | 19              | 501       | 1.44                            | 1.58                              |
| Vigas Principales    | 123             | 3205      | 9.20                            | 10.12                             |
| Losa                 | 184             | 4795      | 13.76                           | 15.14                             |
| Losa de Aproximación | 72              | 1876      | 5.39                            | 5.92                              |
| New Jersey           | 35              | 925       | 2.65                            | 2.92                              |
| Zapatas Aletas       | 63              | 1639      | 4.70                            | 5.17                              |

|        |      |          |       |       |
|--------|------|----------|-------|-------|
| Aletas | 48   | 1264     | 3.63  | 3.99  |
| TOTAL  | 1058 | 27627.77 | 79.31 | 87.25 |

Nota. Fuente, elaboracion propia.

### 6.1.6. Control de Costos

Con relación al control de costos, se elaboró un formato dinámico en el cual se relacionan las cantidades establecidas inicialmente en el contrato de obra con los reportes realizados una vez se hace la ejecución de alguna actividad. Estas actas de mayores y menores cantidades son de gran importancia al momento de realizar cortes de obra o cobros ante la entidad contratante. Ya que permite evidenciar las cantidades que se han dispuesto en la realización de las diferentes actividades y los ajustes que sean necesarios para cumplir con las actividades propuestas.

Durante la construcción del puente Las Almagritas, fue necesario realizar múltiples ajustes en las cantidades de algunos ítems propuestos inicialmente en el contrato de obra, debido a que al momento de realizar los cálculos con mediciones en obra algunas cantidades eran diferentes a las establecidas en el contrato.

Este formato de acta de mayores y menores cantidades se muestra en la **Tabla 30**. Cabe resaltar que este no se muestra información por confidencialidad de la empresa.

**Tabla 30.**

*Formato de acta de mayores y menores cantidades.*

|                   |  |                     |         |                  |
|-------------------|--|---------------------|---------|------------------|
| Logo Del Proyecto | Acta N° 1  | CONTRATANTE         | NOMBRE  | Logo Contratante |
|                   | CONTRATO DE OBRA   |                     |         |                  |
|                   | Construcción De Puente Vehicular En Vereda Las Almagritas Del Municipio De San Pedro De Urabá, Antioquia | CONTRATISTA         | NOMBRE  |                  |
|                   | Fecha De Inicio:   |                     |         |                  |
|                   | Plazo:   |                     |         |                  |
|                   | Valor Del Proyecto:<br>\$  |                     |         |                  |
|                   | Presupuesto De Obra  | Condiciones Finales | Acta De |                  |



|       |             |        |          |                |             |                |             | Pago N° 1 |         |          |         |  |
|-------|-------------|--------|----------|----------------|-------------|----------------|-------------|-----------|---------|----------|---------|--|
| Ítems | Descripción | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor Total | Cantidad Final | Valor Final | Cantidad  | Valores | Cantidad | Valores |  |

Nota. Fuente, elaboracion propia.

### 6.1.7. Proceso Constructivo

El proceso constructivo del puente Las Almagritas se dio conforme a lo establecido en la guía de construcción de puentes vehiculares para vías secundarias emitido por el departamento de planeación (DNP) en colaboración del Ministerio de Transporte (MINTRANSPORTE) en 2017.

Se siguieron los pasos mostrados en la **Ilustración 1**, con la única diferencia que las vigas principales fueron elaboradas in situ y no se utilizaron vigas postensadas como las que se muestran en la ilustración.

A continuación, se muestran algunas de las actividades realizadas durante la construcción del puente con imágenes donde se evidencia el control y disposición de acero en los elementos estructurales. Cabe aclarar, que las actividades mostradas a continuación, son las que se relacionan con la construcción de elementos estructurales del puente.

#### Figura 20.

*Registro, construcción de anillos e instalación de acero en pilas.*

1. Construcción de anillos e instalación de acero de refuerzo.



Nota. Fuente, elaboracion propia.

Para la construcción y elaboración de las pilas del puente, se realizaron excavaciones manuales con una profundidad de hasta 9.5m. A esta profundidad, como se puede ver en las imágenes mostradas el nivel freático ascendía hasta más o menos 3m de altura por lo que era necesario disponer de una motobomba para la evacuación de agua.

Conforme se realizaban las excavaciones, se instalaban formaletas de madera y se hacía la construcción de los anillos para las pilas. Estos anillos tenían un diámetro de 1.2m.

Una vez se finalizaba la construcción de los anillos, se vaciaba un concreto pobre (solado) en el fondo de la pila y posterior a esto se procedía con la instalación del acero longitudinal y transversal como se muestra en la **Figura 20**. Una vez dispuesto en su totalidad el acero, se procede con el vaciado de concreto hasta la superficie.

La instalación de acero de refuerzo se realizó conforme a lo establecido en los planos de diseño. En total, se utilizaron 2,864kg de acero corrugado. Una vez se realizó la disposición del acero de refuerzo, se instalaron las formaletas de madera y posterior a esto se realizó el vaciado de concreto. Durante la colocación o vaciado del concreto, se realizaba el vibrado del mismo para evitar la formación de cavidades de aire y generar zonas de falla en el elemento estructural. Además del vaciado de las vigas cabezal, se realizó la construcción y vaciado de los espaldares de la viga cabezal donde se apoya la losa de cimentación.

En estos dos elementos se utilizaron aproximadamente 21.25m<sup>3</sup> de concreto con las relaciones establecidas en el diseño de mezcla con agregado mixto. Todas estas actividades se muestran en la **Figura 21**.

### **Figura 21.**

*Registro, viga cabezal y espaldar.*

2. Instalación de acero de refuerzo para vigas cabezal y espaldares, además se hace instalación de formaletas en madera y vaciado de los mismos.



*Nota.* Fuente, elaboracion propia.

Para las vigas principales, fue necesario disponer de aproximadamente  $15.33\text{m}^3$  de concreto con una resistencia de 28 Mpa. En total se utilizaron 4,545 kg de acero corrugado de manera longitudinal y transversal y en las vigas riostras, aproximadamente  $2.4\text{ m}^3$  de concreto y 529 kg de acero corrugado, cuya disposición se realizó conforme a lo establecido en los planos de diseño.

Una vez instalado el acero de refuerzo, se colocaron las formaletas en estos elementos estructurales para realizar un vaciado de manera monolítica y así obtener un mejor comportamiento dinámico. Posteriormente, se concluye la construcción de estos elementos realizando el curado del concreto para que este pueda realizar la reacción química con el concreto de manera adecuada y garantizar su funcionalidad. Estas actividades se muestran en la **Figura 22**.



**Figura 22.**

*Registro, vigas principales y riostras.*

3. Instalación de acero de refuerzo y vaciado de concreto en vigas principales y vigas riostras.



*Nota.* Fuente, elaboración propia.

La losa principal, es un elemento estructural con un espesor de 22cm, 15.8m de longitud y un ancho de 6.6m. En total se utilizaron aproximadamente 3,891kg de acero corrugado y 22.94 m<sup>3</sup>

de concreto de 28 Mpa. La relación de materiales utilizados para este concreto fue el diseño con material de cantera.

Inicialmente, se realizó la construcción de la obra falsa en madera donde se iba disponer el acero de refuerzo. Este acero iba entre cruzado con el acero de las vigas principales y vigas riostras para tener un mejor desempeño dinámico como se estableció en los planos de diseño.

Una vez instalada la formaleta, se procede a la colocación de plástico sobre toda la obra falsa para garantizar un mejor acabado de la losa en su parte inferior. Con el fin de garantizar el recubrimiento del acero, se construyeron panelas de concreto, los cuales eran ubicados sobre el plástico como se puede observar en las imágenes mostradas en **Figura 23**.

Una vez instalado todo el acero de refuerzo longitudinal y transversal, se procede con el vaciado del concreto. Cabe resaltar que, el concreto que se utilizó en todos los elementos estructurales fue elaborado en la obra conforme a los diseños de mezcla para 28 Mpa.

**Figura 23.**

*Registro obra falsa y losa principal.*

4. Instalación de obra falsa, acero de refuerzo y vaciado de concreto en losa principal.







*Nota.* Fuente, elaboracion propia.

La construcción de los New Jersey se desarrolló conforme a lo establecido por el diseñador. Sin embargo, se presentaron dificultades al momento de la construcción de las formaleas que dan la forma indicada en los planos. En total se utilizaron aproximadamente 885.15kg de acero corrugado y 4.42m<sup>3</sup> de concreto.

Durante el vaciado del concreto, se instalaron placas metálicas de 10x10cm<sup>2</sup> anclados con pernos de 7 pulgadas de largo donde se apoyarían los pasamanos metálicos. Finalmente, se logró el acabado y la forma de diseño ver **Figura 24**.

### **Figura 24.**

*Registro construcción New Jersey.*

#### 5. Construcción de New Jersey.







*Nota.* Fuente, elaboración propia.

La construcción de las Aletas se realizó con base en lo establecido en la carilla de obras menores de drenaje y estructuras viales emitida por INVIAS y MINTRANSPORTE ya que, en los planos de diseño, no se especifican los refuerzos para estas aletas.

En total se utilizaron aproximadamente  $5.7 \text{ m}^3$  de concreto y  $1,473.16 \text{ kg}$  de acero corrugado en las Zapatas y Aletas del puente. El proceso constructivo de estos elementos, consiste inicialmente en realizar las excavaciones pertinentes en los costados del puente a un ángulo cercano a los  $45^\circ$  de las esquinas de la losa principal del puente. Una vez se realizan estas excavaciones, se procede a la colocación de un concreto pobre (solado) y sobre este se dispone el acero de refuerzo de las zapatas. Posterior a esto, se instala el acero longitudinal y transversal de la parte superior de las aletas, se instala la formaletas y finalmente se dispone del concreto y realizando el vibrado del mismo para garantizar una adecuada disposición de este. Estas actividades se ilustran en la **Figura 25**.



Con relación a las losas de aproximación, estas se construyeron conforme a lo establecido en los diseños. Estas tienen un ancho de 6.6m, 3m de longitud y un espesor de 30cm. En total se utilizaron aproximadamente 5.92m<sup>3</sup>de concreto y 1,088.61kg de acero de refuerzo. Sobre estos elementos, se dispuso de material granular compactado para mejorar los accesos del puente en ambos costados.

Durante el proceso constructivo de estos elementos, no se presentaron inconvenientes ni retrasos

**Figura 25.**

*Registro, zapatas y losas de aproximación.*

6. Construcción de zapatas para aletas y losas de aproximación.





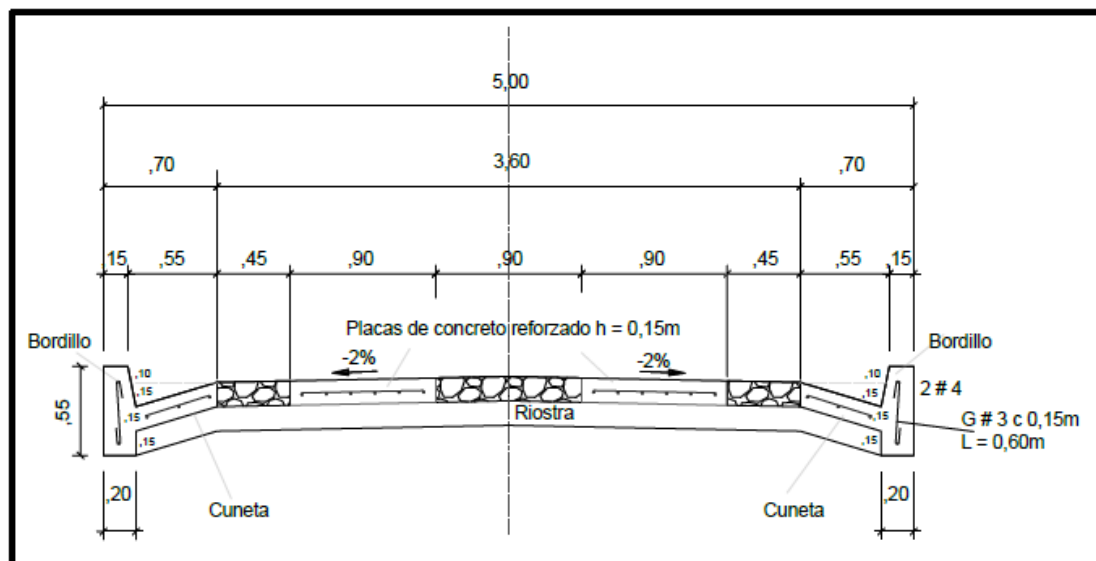
*Nota.* Fuente, elaboracion propia.

## 6.2. Placa huella La Maporita

Con respecto a la placa huella La Maporita, esta tiene una longitud de 700m y un ancho total de 5m. Se encuentra constituida por dos rieles en concreto de 0.90cm de ancho, tres rieles en concreto ciclópeo con una relación 60/40, donde se utiliza 60% del volumen en concreto y 40% en rocas de canto rodado. De estos tres rieles, uno presenta un ancho de 90cm y dos de 45cm en los extremos. Como se puede ver en la siguiente ilustración.

### Ilustración 11.

*Modelo de placa huella.*



*Nota.* Fuente , siniestrada por contratista. (MINTRANSPORTE, 2015)

Como se puede observar, esta placa huella presenta un espesor de 15cm en las placas, un peralte de 2% y dos cunetas en los costados. Teniendo en cuenta que esta placa huella se va a construir en una zona rural donde hay grandes pendientes en el terreno, se propuso que no era necesario la construcción de cunetas tan amplias sino solo de 20cm.

Algo importante de mencionar, es que, este proyecto es de carácter público con la alcaldía del municipio d Chigorodó y que, por falta de presupuesto, no se culminó, sino que se ejecutó casi que en un 30 por ciento. Es por ello, que en este informe únicamente se reportaran las actividades que se realizaron hasta la finalización de las practicas académicas.

### **6.2.1. Disposición de Materiales**

Con el fin de disponer de los materiales necesarios para la ejecución de la obra en los tiempos estimados y dejar un formato que facilite la cuantificación de estos materiales, se elaboró el formato mostrado en la **Tabla 31**. El cual permite estimar la cantidad de placas de concreto y concreto ciclópeo en función de la longitud establecida. Junto con este, se elaboró un segundo formato que se encuentra vinculado con los datos ingresados en la **Tabla 31**, el cual estima la cantidad de acero necesario para cada uno de los elementos que conforman una placa huella, entre los que se encuentra la losa en concreto, losa en concreto ciclópeo, vigas riostras y bordillo tal como se muestra en la **Tabla 32**.

Para la construcción de esta placa huella, es necesario disponer de aproximadamente 16,851.16kg de acero corrugado y 594.42 m<sup>3</sup> de concreto. El concreto utilizado en la placa huella, será con base al diseño utilizado con material de cantera en el puente Las Almagritas.

#### **Tabla 31.**

*Longitud y cantidad de placas en concreto y ciclópeo.*

| Longitud placa huella (m) | Cantidad losas concreto (Und) | Cantidad losas ciclópeo (Und) | Cantidad de Vigas (Und) | Longitud de placa (m) |
|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 700                       | 440                           | 440                           | 221                     | 3                     |

*Nota.* Fuente, elaboracion propia.

**Tabla 32.***Información de cantidades de acero para elementos de placa huella.*

| Tipo          | Tipo de refuerzo | Cantidad | Cantidad de losas | Unidad | Designación barra (N°) | Referencia barra (in; ") | Masa acero (kg) | Longitud (m) | Cantidad (kg) |
|---------------|------------------|----------|-------------------|--------|------------------------|--------------------------|-----------------|--------------|---------------|
| Losa Concreto | Longitudinal     | 6        | 440               | Kg     | 4                      | 1/2                      | 0.994           | 3.40         | 8912.01       |
| Losa Concreto | Transversal      | 10       | 440               | Kg     | 2                      | 1/4                      | 0.250           | 1.80         | 1980.00       |
| Viga          | Longitudinal     | 4        | 221               | Kg     | 3                      | 3/8                      | 0.256           | 4.80         | 1085.03       |
| Viga          | Transversal      | 32       | 221               | Kg     | 2                      | 1/4                      | 0.250           | 1.00         | 1768.00       |
| Bordillo      | Longitudinal     | 2        | 2                 | Kg     | 3                      | 3/8                      | 0.256           | 700.00       | 716.80        |
| Bordillo      | Transversal      | 7        | 2                 | Kg     | 3                      | 3/8                      | 0.256           | 700.00       | 2389.33       |

*Nota.* Fuente, elaboracion propia.

Teniendo en cuenta que la zona donde se va a construir la placa huella puede considerarse como una vía terciaria de difícil acceso, es necesario coordinar el transporte del acero de refuerzo para disponer en los tiempos definidos. Conforme a lo mencionado anteriormente, se elaboró una tabla dinámica que sintetiza los datos de la **Tabla 31** y genera un resumen por elemento de la cantidad de acero necesario como se muestra en la **Tabla 32**. Además de esto, este formato genera un resumen de las cantidades de acero por dimensión necesario para la placa huella. Esto permite relacionar las cuantías de las barras de cada diámetro en función de las longitudes comúnmente utilizadas y finalmente contribuye a la disposición del transporte necesario. Estos datos se muestran en la **Tabla 33**.

**Tabla 33.***Cantidades de acero para elementos de la placa huella.*

| Tipo de Elemento      | Total (kg)      |
|-----------------------|-----------------|
| Bordillo              | 3106.13         |
| Losa Concreto         | 10892.01        |
| Viga                  | 2853.03         |
| <b>Total, general</b> | <b>16851.17</b> |

*Nota.* Fuente, elaboracion propia.

**Tabla 34.***Cantidad de acero por referencia de barra.*

| Referencia barra (in; ") | Total (kg)      |
|--------------------------|-----------------|
| 1/2                      | 8912.01         |
| 1/4                      | 3748.00         |
| 3/8                      | 4191.16         |
| <b>Total, general</b>    | <b>16851.17</b> |

*Nota.* Fuente, elaboracion propia.

De la misma manera en que es necesario disponer del acero de refuerzo, es importante cuantificar las cantidades de material y concreto necesario en la construcción de la placa huella. Conforme a esto, se elaboró un formato que vincula la información de la **Tabla 31** y a partir de las relaciones definidas de materiales de construcción, estima las cantidades de agregado grueso, agregado fino, volumen de agua y el volumen total de concreto necesario para la construcción del proyecto. Estos datos se encuentran consolidados en la **Tabla 35** además de información de dimensionamiento y elementos.

**Tabla 35.***Volumen de materiales necesarios para la construcción de la placa huella.*

| Elemento                         | Dimensión         | volumen (m <sup>3</sup> ) | # Elementos | Subtotal volumen (m <sup>3</sup> ) | Agregado Grueso (m <sup>3</sup> ) | Agregado Fino (m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------|------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Losas de concreto                | 3m*0.9m*0.15m     | 0.41                      | 440         | 178.00                             | 117.48                            | 106.80                          |
| Losas de concreto ciclópeo (60%) | 3m*0.9m*0.15m     | 0.24                      | 440         | 106.80                             | 70.49                             | 64.08                           |
| Bordillo                         | 0.55m*0.175m*700m | 67.38                     | 2           | 134.75                             | 88.94                             | 80.85                           |
| Cunetas                          | 0.53m*0.15m*700m  | 55.65                     | 2           | 111.3                              | 73.46                             | 66.78                           |
| Vigas (riostros)                 | 0.2m*0.3m*4.8m    | 0.288                     | 221         | 63.576                             | 41.96                             | 38.15                           |
| TOTAL                            |                   |                           |             | 594.42                             | 392.32                            | 356.65                          |

*Nota.* Fuente, elaboracion propia.**6.2.2. Proceso constructivo**

Teniendo en cuenta que el proyecto no se ejecutó conforme a los plazos establecidos, a continuación, se relacionan las actividades que realizaron durante el desarrollo de las practicas académicas. Cabe resaltar que, el proceso constructivo a seguir es el mismo descrito en la **Ilustración 6**.

En la **Figura 26**, se muestran las actividades que se desarrollaron antes de procedes a la construcción de la obra, estas actividades se denominan preliminares. La localización y replanteo es crucial para el desarrollo normal del proceso constructivo. Esto lo realiza la comisión topográfica



la cual se encarga de realizar el trazado de la vía conforme a la topografía de la zona. La demarcación del ancho de la sección de la vía se delimita con estacas de madera de acuerdo con lo establecido en los planos de diseño.

**Figura 26.**

*Registro actividades preliminares.*

1. Localización y replanteo.



*Nota.* Fuente, elaboración propia.

Dentro del proceso constructivo de un placa huella, la mayor demanda de tiempo y recursos generalmente se centra en la adecuación del terreno. Ya que este es quien recibe finalmente las cargas de la placa huella mas todo lo que transita sobre esta. Además de los movimientos de tierra, se realiza instalación y compactación de material granular para mejorar las capacidades portantes del suelo.

En la **Figura 27**, se ilustra mediante imágenes las actividades relacionadas con los movimientos de tierra y adecuación de terreno. Para estas actividades, fue necesario contar con una retroexcavadora, vibro compactador y vehículo BocaCaT. Algo importante de mencionar es que, la comisión de topografía acompañó todo el tiempo el desarrollo de estas actividades con el fin de garantizar las cotas óptimas para la placa huella.

**Figura 27.**

*Registro, Movimientos de tierra y adecuación del terreno.*

2. Movimientos de tierra



*Nota.* Fuente, elaboracion propia.



En la **Figura 28**, se relacionan las actividades asociadas con la instalación de material granular tipo subbase para el mejoramiento de la capacidad portante del suelo. Cabe resaltar que este material fue obtenido en pequeñas betas que se encontraron durante las adecuaciones del terreno con la retroexcavadora.

Esto de cierta manera permitió mejorar los avances de la obra y a su vez ahorrar recursos en el transporte de material granular. Estas fueron las ultimas actividades desarrolladas en el periodo de prácticas académicas. Sin embargo, se dejan herramientas de seguimiento y control de materiales que permitirán la disposición constante de todo los materiales necesarios en obra.

**Figura 28.**

*Registro, instalación de material granular.*

3. Mejoramiento de suelo con material granular – subbase.



*Nota.* Fuente, elaboracion propia.



## 7. Conclusiones

De manera general, se cumplieron todos los objetivos propuestos al inicio del desarrollo de este trabajo, de modo que la realización de estas prácticas académicas me permitió relacionar muchos conocimientos teóricos con la práctica, lo que contribuyó con el buen desempeño al momento de proponer soluciones y coordinar las actividades constructivas.

Con relación a los documentos guías emitidos por los entes de control a nivel nacional (MINTRANSPORTE, INVIAS, DNP), estos permitieron verificar y relacionar el dimensionamiento de los elementos estructurales y las cantidades mínimas de acero tanto para el puente como para la placa huella. Además, para los casos en que no se contaba con el diseño de algunos elementos, como fue el caso de las zapatas y aletas del puente, estos documentos fueron útiles para dimensionar estos elementos y garantizar un buen desempeño dinámico.

La implementación de formatos de control y seguimiento utilizados para los materiales de construcción, como acero y concreto, permitieron garantizar la disposición de estos en los tiempos establecidos dentro del cronograma de obra. Estos, además, fueron de gran ayuda al momento de elaborar informes y actas de cobro para la entidad contratante ya que la información se actualizaba en la medida que se utilizaban o disponían los materiales. Por otro lado, los formatos de memorias de cálculo permitieron realizar ajustes de las cantidades definidas tanto para materiales como para actividades técnicas establecidas inicialmente en el contrato. Estas memorias al estar asociadas con el formato de acta de mayores y menores cantidades permitieron evidenciar de manera clara y precisa las variaciones finales en las cantidades de obra y por tanto al estar discriminado facilito en gran medida la comprensión por parte de la interventoría y el contratante.

El seguimiento de los procesos constructivos y la disposición de los materiales conforme a los planos de diseño permitieron lograr la construcción del puente Las Almagritas con todos los requerimientos y calidad exigida por los entes de control. Esto se evidencio durante las visitas técnicas realizadas por la interventoría donde en ningún momento fue necesario realizar correcciones o cambios en ninguno de los elementos estructurales del puente.

Con relación a la calidad y resistencia de los concretos diseñados con agregado mixto y agregados de cantera, se obtuvieron resistencias por encima de las solicitudes de diseño., lo que da razón de las relaciones adecuadas en cuanto a materiales necesarios para la elaboración de la pasta de concreto.

Con respecto a la placa huella La Maporita, se espera que los formatos elaborados permitan facilitar los procesos de estimación y cálculo de materiales necesarios para la construcción de los 700m de placas huella. Además de esto, es de gran importancia que se designe una persona que se encargue de garantizar la disposición correcta de los materiales de la obra conforme a los diseños suministrados por el contratante, para garantizar la durabilidad y calidad de esta obra.

Finalmente, se puede concluir que la supervisión técnica y de control de los procesos constructivos de una obra o proyecto juega un papel muy importante en el resultado final de la obra, ya que este proceso de supervisión garantiza la disposición correcta de todos los materiales utilizados en un proyecto y, finalmente, un buen desempeño dinámico y sismo resistente.

## 8. Referencias

- AASHTO. (s/f). *Diseño de Puentes*.
- Acevedo, H., & Figueroa, J. (2023). Prácticas de circularidad en la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición en el sector de la construcción: una revisión bibliográfica de las estrategias y los elementos clave en su implementación. *CSIC*, 75(informes de la Construcción), 2–7.
- Almeyda, F., & Serrano, G. (2010). *Guía para la administración de los materiales de construcción aplicada a proyectos de obra civil*. Universidad Pontificia Bolivariana .
- Aquino, D., & Hernandez, R. (2004). *Manual de construcción de puentes de concreto* [Trabajo de graduación ]. Universidad del Salvador.
- ARGOS. (s/f). Acero y concreto: por qué aumentar la resistencia del concreto y reducir la cuantía del acero. *colombia.argos.co*.
- Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2016). *Ciencia e ingeniería de materiales* (Séptima). Cengage Learning Editores, S.A.
- Módulo de elasticidad estático y relación del poisson del concreto en compresión, 3 (1995).
- ASTM. (2015). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. *ASTM*, 2–6.
- ASTM - 136. (2001). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*.
- ASTM C 805-02, A. S. for T. and M. (2002). *Método de prueba estándar para rebote número de hormigón endurecido*.
- Barbarán, I. (2023, mayo 29). *Pavimentación de la vía El Tres-San Pedro de Urabá reporta 40% de ejecución*. 1–2.
- Barras Lisas. (2019, September 12). Gerdau Diaco. <https://gerdaudiaco.com/barras-lisas/>
- Belmonte, H. (1990). *Puentes* (Cuarta Edición).
- Betancourt, S. (2017). *Materiales para la construcción*.
- Buitrago, L., & Pérez, C. (2021). *Determinación de la longitud mínima del traslapo y la resistencia a flexión del concreto reforzado con barras GFRP*. [Trabajo de Grado]. Universidad Católica de Colombia.
- Castellanos, D. (2012). *Verificación de los requisitos de longitud de desarrollo en losas alveolares de concreto pre-esforzado* [Trabajo de Grado]. Universidad de los Andes.

- DNP, D. N. de P. (2016). *Mejoramiento de vías terciarias mediante el uso de placa huella* (1.0). Departamento Nacional de Planeación.
- DNP, D. N. de P. (2017). *14 construcción de puentes vehiculares en vías secundarias ó terciarias : Vol. Versión 2.0.*
- Dorado, A., & Perfil, V. T. mi. (n.d.). *TAMIZADO*. Blogspot.com. Retrieved January 16, 2024, from [https://blogsuelos.blogspot.com/2010/11/tamizado\\_15.html](https://blogsuelos.blogspot.com/2010/11/tamizado_15.html).
- García, A., Morán, F., & Arroyo, J. C. (2008). *Hormigón armado* (15a ed.). Editorial Gustavo Gili.
- Gomez. (2020, noviembre 13). La inversión en la infraestructura antioqueña, clave para la reactivación económica del departamento. *Mintransporte*.
- Gómez, J. (s/f). *MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN*. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Monterrey.
- Ingcivil, P. P. (n.d.). *Ensayo de consistencia del hormigón fresco*. Blogspot.com. Retrieved January 16, 2024, from <http://notasconstructorcivil.blogspot.com/2011/06/ensayo-de-consistencia-del-hormigon.html>.
- Norma colombiana de diseño de puentes, Pub. L. No. CCP14, 2 (2015).
- Guía de Diseño de Pavimentos con Placa - huella, 2 (2017).
- Jaramillo, G. (s/f). *Manual de Materiales de Construcción*.
- Mamlouk, M. S., & Zaniewski, J. P. (2009). *Materiales para ingeniería civil* (Segunda). PEARSON EDUCACION S.A.
- Méndez, H., & Torres, J. (2017). *DISEÑO DE SUPERESTRUCTURA Y SUBESTRUCTURA DEL PUENTE LA VAINILLA POR EL MÉTODO AASHTO LRFD 2010 CON LAS CARGAS HS20-44 + 25%*. Universidad Nacional de Ingeniería .
- Merrit, F. S. (1985). *Manual del ingeniero civil* (McGRAW-HILL, Vol. 3). Fuentes impresores S.A.
- Ministerio de transporte de Colombia. (2020, noviembre 13). *La inversión en la infraestructura antioqueña, clave para la reactivación económica del departamento*.
- NTC 673, N. T. N. C. (2010). *Concretos. ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).
- NTC 2289, N. T. C. (2015). *Barras corrugadas y lisas de acero de baja aleación, para refuerzo de concreto*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

- Osorio, A. T. (2014). *Adherencia de la varilla con la mezcla de concreto obedeciendo a la forma y textura de las gravas de la misma procedencia* [Trabajo de grado]. PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA.
- Quiroga, C. (2021). *El acero en la ingeniería civil, usos ventajas y limitaciones : revisión literaria* [Trabajo de Grado ]. Universidad Cooperativa de Colombia.
- Solis, R. (2004). La supervisión de obra . *Ingeniería, vol. 8, núm. 1*, 55–60.
- Superintendencia de Industria y comercio. (2013). Reglamentos Técnicos de barras corrugadas. En *Superintendencia de Industria y comercio* . [www.sic.gov.co](http://www.sic.gov.co).
- Vidaud, I. (2019). Control de calidad en estructuras de hormigón para la construcción en zonas de elevado peligro sísmico. *CIGET, 1(4)*, 72–85.
- Zapata, A., & Galvis, S. (2020). Puerto Antioquia: desarrollo, competitividad y comercio exterior. Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria.
- ¿Cuáles son las diferencias entre la barra corrugada y el grafil? (n.d.). Ternium.com. Retrieved January 16, 2024, from <https://co.ternium.com/es/novedades/noticias/barra-vs-grafil--05464801321>.

## 9. Anexos

**Anexo 1.** Porcentaje de aire de acuerdo con el tamaño máximo del agregado.

|                     | Tamaño máximo del árido |                   |                 |               |                     |               |               |                |
|---------------------|-------------------------|-------------------|-----------------|---------------|---------------------|---------------|---------------|----------------|
|                     | 9,5 mm<br>(3/8")        | 12,5 mm<br>(1/2") | 19 mm<br>(3/4") | 25 mm<br>(1") | 37,5 mm<br>(1-1/2") | 50 mm<br>(2") | 75 mm<br>(3") | 150 mm<br>(6") |
| Hormigón no aireado | 3                       | 2,5               | 2               | 1,5           | 1                   | 0,5           | 0,3           | 0,2            |
| Hormigón aireado**  |                         |                   |                 |               |                     |               |               |                |
| Exposición pequeña  | 4,5                     | 4,0               | 3,5             | 3,0           | 2,5                 | 2,0           | 1,5           | 1,0            |
| Exposición moderada | 6,0                     | 5,5               | 5,0             | 4,5           | 4,5                 | 4,0           | 3,5           | 3,0            |
| Exposición severa   | 7,5                     | 7,0               | 6,0             | 6,0           | 5,5                 | 5,0           | 4,5           | 4,0            |

\*Instituto americano del hormigón (ACI 211.1 y ACI 318).  
\*\*El contenido de aire en el diseño del proyecto debe especificarse con un error de entre -1 al +2 por ciento del objetivo marcado en la tabla para exposiciones moderadas y severas.

*Nota.* Fuente (Mamlouk & Zaniewski, 2009), p 259.