



**Caracterización del proceso de bombeo de concreto con flujo inverso en proyectos de construcción de edificaciones**

Juan José Cantizano Morales

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Álvaro José Mattos Olivella, Doctor (PhD) en Ingeniería Civil

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

---

Cita

(Cantizano, 2024)

---

Referencia

(Cantizano Morales, 2024). *Caracterización del proceso de bombeo de concreto con flujo inverso en proyectos de construcción de edificaciones* [Informe de practica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Rector:** Jhon Jairo Arboleda Céspedes.

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

**Jefe departamento:** Claudia Helena Muñoz Hoyos.

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

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

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**

Con profundo agradecimiento y gratitud, dedico este trabajo a mi familia: Mi padre Santiago Alejandro Cantizano, mi hermana Sara Alejandra Cantizano que siempre creyó en mí y especialmente a mi querida madre Luby Morales, sin su respaldo y esfuerzo no habría alcanzado este logro, ya que, sin ella no sería la persona que soy hoy en día.

A mi novia Emiliana Munera que es un apoyo en los momentos difíciles y me ha enseñado a ver la vida de una manera diferente, haciéndome crecer como persona constantemente.

A mis amigos cercanos, especialmente a Luis Fernando Uribe, Samantha Gallego y Sebastián Romero por ayudarme en mis carencias y brindarme su gran amistad.

## **Agradecimientos**

A la Universidad de Antioquia, por brindarme las herramientas para culminar con mis estudios.

A mi asesor de trabajo de prácticas académicas Álvaro José Mattos Olivella por contribuir con su experiencia para culminar mi proceso de prácticas.

A mis docentes, quienes me transmitieron todo el conocimiento para llevar a cabo este proyecto.

Al ingeniero Andrés Arrazola, por asesorarme y brindarme sus conocimientos y consejos en el proceso de este proyecto.

A la ingeniera Sandra Baena, por el acompañamiento y apoyo durante el proceso de prácticas.

A la empresa Muros y Techos, por brindarme la oportunidad de aprender.

A todo el personal de la Obra Villa Gabriela, por su tiempo, paciencia y valiosas contribuciones que han enriquecido significativamente este proyecto.

## Tabla de contenido

<b>Resumen .....</b>	<b>10</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>11</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>12</b>
<b>1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>14</b>
<b>2 Justificación .....</b>	<b>15</b>
<b>3 Objetivos .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Objetivo general .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>4 Marco teórico.....</b>	<b>17</b>
<b>4. Hormigón .....</b>	<b>17</b>
<b>4.1. Compuestos del concreto.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1.1. Cemento.....</b>	<b>17</b>
<b>4.1.2. Los agregados en el concreto.....</b>	<b>18</b>
<b>4.1.3. Aditivos.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1.4. Puzolanas.....</b>	<b>21</b>
<b>4.2. Hormigón autocompactante .....</b>	<b>22</b>
<b>4.2.1. Aditivos para el CAC .....</b>	<b>23</b>
<b>4.2.2. Características del hormigón autocompactante .....</b>	<b>23</b>
<b>4.3. Controles del CAC antes del vaciado.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.1. Influyentes en el hormigón autocompactante.....</b>	<b>24</b>
<b>4.3.2. Ensayos del HAC .....</b>	<b>25</b>
<b>4.3.3. Ambiente de curado .....</b>	<b>27</b>

4.3.4.	Aprobación del ensayo de compresión .....	28
4.3.5.	Transporte del hormigón.....	28
4.4.	Bombeo por método flujo inverso .....	30
4.4.1.	Ventajas del CAC implementando el método flujo inverso .....	32
4.4.2.	Desventajas del HAC .....	32
4.5.	Encofrado del Hormigón autocompactante .....	33
4.5.1.	Presión al encofrado.....	33
4.5.2.	Preparación del encofrado.....	34
4.5.3.	Directrices clave para la colocación exitosa del HAC .....	34
4.6.	Fraguado.....	35
4.7.	Curado .....	36
4.7.1.	Curado del concreto autocompactante.....	37
4.8.	Acabado del concreto autocompactante .....	37
4.9.	Equipos y herramientas .....	38
4.10.	Orden y aseo .....	38
4.11.	Medidas de aceptación en la estructura.....	38
4.11.1.	Tolerancia.....	38
4.11.2.	Escuadría .....	39
4.11.3.	Horizontalidad .....	39
4.11.4.	Verticalidad.....	40
5.	Metodología.....	42
6.	Caracterización.....	44
6.1.	Organización y cuidado .....	44
6.2.	Seguridad en el proceso constructivo .....	44
6.3.	Almacenamiento de agregados del CAC en obra .....	45

6.4.	Revisión de componentes del CAC previo al vaciado .....	46
6.5.	Marcación de elementos estructurales.....	48
6.6.	Instalación Formaleta Muros, Losa .....	49
6.6.1.	Aspectos importantes en el cuidado de la formaleta.....	50
6.7.	Revisión de Horizontalidad.....	51
6.8.	Revisión de Verticalidad .....	52
6.9.	Revisión de vanos.....	53
6.10.	Revisión del acero y redes de la estructura .....	54
6.11.	Instalación de tuberías para la aplicación de la metodología flujo inverso.....	56
6.12.	Toma de muestras ensayo de compresión.....	58
6.13.	Vaciado flujo inverso .....	61
6.13.1.	Proceso de bombeado .....	61
6.13.2.	Verificación de flujo del CAC.....	61
6.13.3.	Correcciones de flujo en el CAC .....	62
6.14.	Curado del concreto.....	62
6.15.	Apuntalamiento de la estructura.....	63
6.16.	Revisión de elementos estructurales.....	64
6.17.	Revisión del concreto .....	64
8	Conclusiones .....	66
	Referencias.....	68
	Anexos .....	70

### Lista de figuras

<b>Figura 1.</b>	Influyentes para la autocompactación (Riquelme, 2000). .....	25
<b>Figura 2.</b>	Ilustración del proceso de bombeado por flujo inverso. (BIBM, 2005)......	31

<b>Figura 3.</b> Medición de escuadría ( <b>Botero Botero et al., 2017</b> ).....	39
<b>Figura 4.</b> Medición de horizontalidad mediante nivel laser ( <b>Botero Botero et al., 2017</b> ).....	40
<b>Figura 5.</b> Ilustración de medición de verticalidad utilizando la plomada ( <b>Botero Botero et al., 2017</b> ).....	41
<b>Figura 6.</b> Metodología del proyecto ( <b>Elaboración propia</b> ).....	42
<b>Figura 7.</b> Losa del proyecto Villa Gabriela con línea de vida y protección anti caída al exterior ( <b>Elaboración propia</b> ).....	45
<b>Figura 8.</b> Almacenamiento de agregado grueso en obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ) .	46
<b>Figura 9.</b> Procedimiento para la ejecución del ensayo de humedad en obra ( <b>Elaboración propia</b> ).....	48
<b>Figura 10.</b> Marcación de muros estructurales en el proyecto Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	49
<b>Figura 11.</b> Elementos del encofrado en la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	50
<b>Figura 12.</b> Nivel laser en parte inferior de losa para revisión de horizontalidad en la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	51
<b>Figura 13.</b> Medición de horizontalidad con el nivel topográfico en el nivel superior de la losa ( <b>Elaboración propia</b> ).....	52
<b>Figura 14.</b> Medición de verticalidad en obra mediante plomada ( <b>Elaboración propia</b> ).....	53
<b>Figura 15.</b> Medidas del vano en ventana de la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	54
<b>Figura 16.</b> Revisión de elemento estructural en la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ) ..	55
<b>Figura 17.</b> Disposición de panelas en losa de obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	55
<b>Figura 18.</b> Redes hidrosanitarias y eléctricas de la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ) .	56
<b>Figura 19.</b> Tobera en formaleta para la ejecución de vaciado flujo inverso ( <b>Elaboración propia</b> ).....	57
<b>Figura 20.</b> Instalación de manguera en tobera para la realización de vaciado flujo inverso ( <b>Elaboración propia</b> ).....	57
<b>Figura 21.</b> Llegada de tubería principal al punto de vaciado por método flujo inverso ( <b>Elaboración propia</b> ).....	58
<b>Figura 22.</b> Verificación de medida en cilindro de concreto de la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	59

<b>Figura 23.</b> Almacenamiento de cilindros de concreto en obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	61
<b>Figura 24.</b> Flujo del concreto autocompactante en vaciado flujo inverso ( <b>Elaboración propia</b> ). .....	62
<b>Figura 25:</b> Curado de la infraestructura post vaciado de concreto ( <b>Elaboración propia</b> ).....	63
<b>Figura 26.</b> Revisión de tolerancia en elementos estructurales, obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	64
<b>Figura 27.</b> Análisis estadístico del concreto autocompactante con puzolana a 7, 28 y 56 días. ( <b>Elaboración propia</b> ).....	65

### Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Medida y unidad de cada ítem de tolerancia ( <b>Botero Botero et al., 2017</b> ).....	41
<b>Tabla 2.</b> Normativas utilizadas en obra para la revisión de los materiales del concreto ( <b>Elaboración propia</b> ).....	46
<b>Tabla 3.</b> Resultados de ensayos de laboratorio realizados en la obra Villa Gabriela en la puzolana ( <b>Elaboración propia</b> ) ( <b>Icontec, 1993</b> ).....	47
<b>Tabla 4.</b> Tiempo de ensayo para muestras de concreto autocompactante ( <b>Elaboración propia</b> ). .....	59
<b>Tabla 5:</b> Resultados de cilindros de concreto autocompactante con puzolana de la obra villa Gabriela ( <b>Elaboración propia</b> ).....	60

### Lista de anexos

<b>Anexo 1:</b> Resultado de ensayos de laboratorio de arena de concreto en la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración Propia</b> ).....	70
<b>Anexo 2:</b> Resultado de ensayos de laboratorio de grava en la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración Propia</b> ).....	70
<b>Anexo 3:</b> Resultado de ensayos de laboratorio de cemento a granel en la obra Villa Gabriela ( <b>Elaboración Propia</b> ).....	71



### **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>CAC</b>	Concreto autocompactante
<b>HAC</b>	Hormigón autocompactante
<b>MyT</b>	Muros y Techos S.A.S.
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## **Resumen**

El concreto desempeña el papel más importante en el desarrollo de las obras de construcción, ya que del avance en la disposición (elaboración, fraguado y curado) de este material y su buen desempeño depende la continuidad del resto de actividades de los proyectos de construcción. Por este motivo es crucial llevar un seguimiento desde el control de sus materiales componentes, producción, transporte, aplicación en campo y sus respectivos controles post-vaciado de fraguados y curado. Verificando el cumplimiento de cada uno en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010)

En los últimos 20 años, se ha implementado un cambio en la forma de vaciado o aplicación del concreto en los proyectos de sistema "industrializado" de vaciado convencional a vaciado "flujo inverso", que consta de bombear el concreto directamente a la formaleta desde su parte inferior, llenando todos sus vacíos de forma ascendente con la presión proporcionada por una bomba estacionaria; para garantizar su buen funcionamiento es necesario utilizar un concreto con aditivos (autocompactante) que aseguren el flujo y facilidad de manejo en la obra, como se describe en 'The European guidelines for self-compacting concrete' (BIBM, 2005). Este documento ofrece orientación detallada sobre los requisitos y especificaciones para la aplicación y el manejo posterior del concreto autocompactante.

El proyecto de práctica descrito en este trabajo documenta y analiza el proceso de vaciado con flujo inverso, teniendo en cuenta posibles cambios en la obra y su tratamiento adecuado. Para esto se hará un análisis de los ensayos ejecutados en las muestras de hormigón y un control del proceso de bombeado de los distintos elementos de la edificación en campo.

**Palabras clave:** Concreto autocompactante (CAC), Sistema de bombeo, Flujo inverso, Aditivo, Autocompactante.

### **Abstract**

Concrete plays the most important role in the development of construction works, since the continuity of the rest of the activities of construction projects depends on the progress of this material and its good performance. For this reason, it is crucial to monitor the control of materials, production, transportation, field application and their respective post-pouring, setting and curing controls. Verifying the compliance of each one with the Colombian Regulations for Earthquake-Resistant Construction (NSR-10).

Recently, a change has been implemented in the way concrete is poured or applied in "industrialized" system projects; from conventional pouring to "reverse flow" pouring, which consists of pumping the concrete directly into the form from its bottom, filling all its voids upward with the pressure provided by a stationary pump; To guarantee its proper functioning, it is necessary to use concrete with additives (self-compacting) that ensure flow and ease of handling on the job, as described in 'The European guidelines for self-compacting concrete' (BIBM, 2005). This document provides detailed guidance on the requirements and specifications for the application and subsequent handling of self-compacting concrete.

The academic internship project consists of documenting and analyzing this pumping process, taking into account possible changes in the work and its appropriate treatment. For this, an analysis of the tests carried out on the concrete samples and a control of the pumping process of the different elements of the building in the field will be carried out.

**Keywords:** Self-compacting concrete (SAC), Pumping system, Reverse flow, Additive, Self-compacting.

## **Introducción**

Muros y Techos S.A.S. es una empresa de construcción, ingeniería, arquitectura, dedicada a la construcción de edificaciones, el diseño arquitectónico y la gestión inmobiliaria, en los sectores de comercio, vivienda, institucional, educativo, industrial y salud fundada en 1990. En las obras de construcción busca la innovación con la mayor calidad y eficacia en cada una de las actividades, para esto se realiza un planteamiento teórico de cada actividad y un seguimiento en campo para verificar su buen funcionamiento.

En 2016, Muros y Techos S.A.S. aplicó un método innovador en el proceso de construcción basado en el sistema de flujo inverso para vaciado de un muro estructural ubicado en el piso 17 del edificio Ofi7 (Argos, 2016), revolucionando el proceso de vaciado de elementos estructurales al transportar el concreto desde la planta de procesamiento mediante una bomba hasta la base de la formaleta, utilizando una tobera previamente instalada. La presión suministrada por la bomba ocasiona un flujo ascendente hasta la parte superficial del elemento permitiendo el vaciado de la losa y otros elementos sin tobera.

Este proceso necesita de un concreto autocompactante (CAC). Burón Maestro, Fernández Gómez y Garrido Romero (2006), argumentaron que se obtiene por medio de dos aditivos, un superplastificante para mejorar la trabajabilidad y un aditivo retardante que retrasa el fraguado durante el transporte al punto del elemento estructural. La utilización de este tipo de hormigón y vaciado proporciona a la estructura ventajas notables según Feys (2009). Como la facilidad de vaciado en elementos con cuantías de acero elevadas, eliminar el uso de tubería pesada en la superficie de losa con probabilidad de dañar parte de los diferentes elementos de la estructura, no obstante, el CAC es muy susceptible a los cambios que se presentan normalmente en la construcción como los tiempos en la tubería prolongados y cambios en la temperatura, afectando su comportamiento y disminuyendo su eficiencia si no se gestionan de manera adecuada.

En vista de la variabilidad en el comportamiento del CAC y el proceso de flujo inverso, se realiza una caracterización para los futuros ingenieros a cargo de los diferentes proyectos de la

empresa Muros y Techos S.A.S. que sirva de guía para implementar el flujo inverso, incluyendo los posibles cambios que se puedan presentar en la ejecución a comparación del concreto tradicional y su posible solución, mejorando la eficiencia del proceso desde el comienzo de los proyectos, tomando como base lo observado durante el proyecto trabajado en las prácticas académicas de Villa Gabriela. Este proyecto consta de 3 edificios de 7 y 8 pisos, cada uno con 8 apartamentos por torre en su primera etapa, donde se aplicó con éxito el método de flujo inverso en el proceso de vaciado. Este aprendizaje se aplicará no solo en proyectos similares, sino también en respuesta a los posibles cambios estructurales, arquitectónicos y ambientales que puedan surgir en diversas obras futuras.

## **1 Planteamiento del problema**

En el sector de la construcción en Colombia, el método de vaciado de concreto mediante flujo inverso utilizando concreto autocompactante es una innovación, cambiando los métodos tradicionales de vaciado, incorporando nuevas técnicas a las obras de construcción. Aunque se encuentra mayormente información que se enfoca principalmente en aspectos teóricos, generando recomendaciones que llevan a un mejor resultado en el proceso constructivo.

El interrogante que lleva a realizar una caracterización del tema se basa en que se tiene escasa información práctica obtenida directamente de los proyectos de construcción que implementan esta metodología. Esta carencia de datos prácticos dificulta el análisis de resultados y procesos ejecutados realmente a los ingenieros civiles, complicando la comparación entre la teoría y la práctica del vaciado por el método flujo inverso. A este respecto, el desconocimiento genera incertidumbre sobre la metodología ya que se desconoce los posibles cambios que puedan surgir durante su ejecución en obra.

La insipiente de los posibles cambios en obra de la metodología potencia los fallos en la ejecución, ya que impide la anticipación de soluciones y procesos adicionales a conveniencia. Planteando un desafío en la planeación y corrección de errores en tiempo real. Por tal motivo, se ejecuta una caracterización del proceso brindando un acercamiento a datos prácticos implementando la metodología de vaciado por flujo inverso.

## **2 Justificación**

El interés en conocer el tema del vaciado por el sistema flujo inverso utilizando concreto autocompactante es el beneficio en la optimización y mejora en la construcción de elementos estructurales. La eficiencia en el vaciado y su calidad, al reducir las posibilidades de segregación son aspectos importantes que mejoran el campo de la ingeniería civil en obras.

Por lo tanto, el entendimiento del proceso y su debida ejecución es un recurso valioso para cualquier obra de construcción si se emplea de una forma adecuada, cambiando el sistema tradicional de vertido utilizado comúnmente en las obras, además, la falta de conocimiento de esta metodología por nuevos ingenieros consolida la importancia de una caracterización del proceso.

El proyecto de prácticas académicas aportará a la comunidad de ingeniería civil un ejercicio de estudio académico para tener un conocimiento previo de la metodología y utilizar este entendimiento para que los ingenieros puedan influir positivamente en la eficiencia y calidad del proceso, mejorando la ejecución de proyectos y adaptando la ingeniería a nuevas metodologías.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Presentar una caracterización del proceso de preparación del concreto autocompactante, en vaciados de elementos estructurales por el método del flujo inverso y de control de calidad in-situ y post-vaciado del concreto con el fin de identificar potencialidades y limitaciones que puedan optimizar el proceso de bombeo del concreto por flujo inverso. Sirviendo de ejercicio de estudio para comprender el estado de la práctica local de los profesionales que por primera vez realicen este proceso, mejorando su comprensión del tema.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Identificar los cambios que puedan generar alteraciones del concreto autocompactante y el bombeado por el método de flujo inverso en obras, proporcionando recomendaciones específicas para abordar estos cambios de manera precisa y efectiva.
- Establecer medidores de calidad que permitan medir el funcionamiento del proceso y proponer posibles mejoras para lograr una ejecución eficiente y de alta calidad en cada proyecto.



## **4 Marco teórico**

### **4. Hormigón**

Para el entendimiento del proceso del vaciado por el método flujo inverso utilizando concreto autocompactante, caracterizado en el trabajo de prácticas académicas se introducirá el principal material de estudio, el hormigón, tal y como se conoce hoy día, es un material de construcción constituido básicamente por rocas, de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones respecto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas por una pasta formada por un conglomerante (cemento) y agua. Adicionalmente, a este material básico y en el momento de su amasado, pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar algunas características determinadas (Villarino Otero, 2011).

#### **4.1. Compuestos del concreto**

Los compuestos individuales que conforman el concreto aportan propiedades fisicoquímicas distintas, por esto el entendimiento, control y manejo adecuado de cada uno es fundamental para garantizar la calidad del concreto. Por este motivo en los siguientes numerales, se detalla la explicación de cada uno de estos elementos.

##### **4.1.1. Cemento**

La pasta de cemento es el componente activo que envuelve los agregados (que se suponen inertes) y llena los espacios entre ellos. actuando primero como un lubricante, y luego como un adhesivo entre los componentes del concreto. El cemento es importante ya que todas las propiedades del concreto como resistencia, trabajabilidad, endurecimiento, etc. son influenciadas por la calidad de la pasta del cemento Portland, donde, el principal factor es la relación entre la cantidad de agua y la cantidad de cemento (A/C) (Salamanca Correa, 2001).

#### **4.1.2. Los agregados en el concreto**

En los principales compuestos del concreto se encuentran los agregados, estos se dividen en dos partes principales descritas a continuación:

**El agregado grueso:** Se denomina agregado grueso a la porción del agregado retenido en el tamiz 4.75 mm (N° 4). Dicho agregado deberá de proceder de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas: sus fragmentos deben de ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar la calidad de la mezcla de concreto (León Puentes, 2022).

**El agregado fino:** Se considera como tal, a la fracción que pase el tamiz de 4.75 mm (N° 4). Proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas. El porcentaje de arena triturada no podrá constituir más del 30% del agregado fino (León Puentes, 2022).

##### **4.1.2.1. Humedad en los agregados**

El nivel de humedad en los agregados debe de ser tomado en cuenta en al realizar el concreto ya que puede afectar las propiedades de los componentes alterando su fluidez y además la relación (a/c) y por consecuencia la resistencia. Los agregados pueden presentarse con diferentes contenidos de agua, clasificándose como: Secos, con humedad interna, saturados con humedad interna, saturados con superficie seca y mojados con agua libre (Burón Maestro et al., 2006).

Para conocer el porcentaje de humedad en los agregados y realizar el ajuste en la dosificación del concreto se utiliza en el ensayo Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) INV E – 122 – 13 que consiste en llevar una muestra del material húmedo a un horno a  $110 \pm 5^\circ \text{C}$  ( $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ) y se seca hasta alcanzar una masa constante. Utilizando la siguiente fórmula:

$$w = (w_1 - w_2)/(w_2 - w_c)$$

Donde:

$w$ : Contenido de agua, %;

$w_1$ : Masa del recipiente con el espécimen húmedo, g;

$w_2$ : Masa del recipiente con el espécimen seco, g;

$w_c$ : Masa del recipiente, g.

#### **4.1.2.2. Almacenamiento de los agregados en obra**

Adicionalmente, hay que tener precauciones adicionales en el almacenamiento de los agregados para el control de la calidad y por consiguiente la obtención de un concreto que cumpla con todas las especificaciones esperadas. Según (Ruiz Castaño & Cuartas Ospina, 2015) su Almacenamiento debe cumplir diferentes directrices:

- hacerse en áreas con suficiente espacio para permitir la circulación y operación de los equipos utilizados para su transporte y manejo. Debido a que el tránsito de vehículos sobre el material puede ocasionar fracturas, además de su contaminación, viéndose afectada su granulometría y resistencia
- Se debe tener en cuenta en el diseño del patio de almacenamiento, que la circulación de vehículos no contamine los agregados, que los mismos no estén en contacto directo con el suelo y posean un sistema de filtros que eviten la humedad diferencial entre las pilas de materiales.
- Se debe evitar la mezcla de materiales con diferente granulometría, para esto deben estar separados por elementos divisorios resistentes y de buena altura que no permitan que la acción del viento sobre los agregados genera segregación, pérdida de finos y contaminación con polvo.

- Las divisiones deben ser espacios definidos y de volumen conforme para que cada material se descargue, ordene, almacene y utilice, para que el material que ingresó primero al acopio, sea el primero que se gaste, evitando así el almacenamiento prolongado del material.

#### **4.1.3. Aditivos**

Como se mencionó anteriormente además de sus compuestos básicos se pueden adicionar materiales para mejorar sus propiedades, uno de estos son los aditivos:

Los aditivos son productos que, incorporados al hormigón antes del amasado (o durante el mismo o en el transcurso de un amasado suplementario) en una proporción no superior al 5% del peso del cemento, producen la modificación deseada, en estado fresco o endurecido, de alguna de sus características, de sus propiedades habituales o de su comportamiento. Estos cada vez son más utilizados, debido a que se perfeccionan constantemente y se han obtenido productos de total garantía. Permiten modificar: docilidad, exudación, segregación, fraguado, resistencias mecánicas, resistencias a acciones químicas, resistencias a acciones químicas, Además, pueden reducir el coste de obra al mejorar rendimientos (Villarino Otero, 2011).

Cada aditivo se caracteriza y define por producir una modificación determinada y solamente una de alguna de las propiedades del hormigón, mortero o pasta, en estado fresco o endurecido. Función secundaria. Pueden accesoriamente modificar alguna o algunas de las propiedades o características del hormigón, mortero o pasta, independientemente de la que proporciona la función principal (Villarino Otero, 2011).

Según la NTC 1299 – Concretos. Aditivos químicos para concreto, se discriminan de la siguiente manera según (León Puentes, 2022):

- **Tipo A.** Aditivos reductores de agua.
- **Tipo B.** Aditivos retardantes.
- **Tipo C.** Aditivos acelerantes.
- **Tipo D.** Aditivos reductores de agua y retardantes.
- **Tipo E.** Aditivos reductores de agua y acelerantes.
- **Tipo F.** Aditivos reductores de agua de alto rango.

- **Tipo G.** Aditivos reductores de agua de alto rango y retardantes. Cada tipo especializado en mejorar las condiciones de mezcla.

En el documento descrito se hará énfasis en dos tipos de aditivos:

En primer lugar, el aditivo retardante **Tipo B**, demora el tiempo de fraguado del concreto. En segundo lugar, el aditivo reductor de agua de alto rango **Tipo F**: también conocidos como superfluidificantes, se encargan de reducir la cantidad de agua de mezclado requerida, acelera el fraguado y el desarrollo de resistencia temprana del concreto (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, 2008).

#### **4.1.4. Puzolanas**

El segundo material adicional que será mencionado en proyecto serán las puzolanas, los beneficios de su incorporación y propiedades serán descritos a continuación:

Las puzolanas son un material silíceo o sílicoaluminoso, que por sí mismo puede tener poca o ninguna actividad hidráulica pero que, finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas según la norma ASTM C 618-01.

Los hormigones que son fabricados con este tipo de cemento puzolánico poseen la particularidad de terminar el proceso con unas altas resistencias, las cuales se pueden notar con ensayos hechos a los 56 y 90 días. Este material en muy buenas condiciones se recomienda para construcciones que requieren una durabilidad especial, como lo pueden ser ataques de sulfatos o el bajo calor de hidratación. Otra propiedad principal de este tipo de puzolanas en la construcción es que su mezcla también puede servir como sustitución parcial del cemento para generar una reducción de costos y su generación de calor (Cruz Pérez, 2018).

Las puzolanas también contribuyen a mejorar la compacidad de los sólidos, lo que conlleva a una reducción en los huecos o poros en el concreto según (Dopico et al., 2008).

La mezcla de las partes de agregados, cemento, agua, aditivos y materiales que mejoren las propiedades del concreto como la puzolana, en la medida justa, es denominada dosificación y

proporciona al concreto su resistencia y propiedades fisicoquímicas de acuerdo a las necesidades solicitadas.

#### **4.2. Hormigón autocompactante**

La utilización de la metodología de vaciado por flujo inverso no podría llevarse a cabo sin la incorporación de una dosificación específica del concreto que se adapte a las características necesarias en el proceso de vaciado, denominada concreto autocompactante, explorado a continuación:

La compatibilidad es la facilidad para expulsar el aire atrapado en el interior de la masa sin producir segregación, por consiguiente, el Hormigón Autocompactante se define como un hormigón que tiene una fluidez significativamente alta, con gran resistencia a la segregación durante su transporte y colocación, que puede ser vaciado dentro de encofrados estrechos y áreas densamente armadas sin aplicar vibración (Riquelme, 2000). La fluidez del concreto autocompactante (CAC) es medida en términos de colocación cuando se utiliza la versión modificada del ensayo de asentamiento (ASTM C 143). La extensión (flujo de asentamiento) del CAC varía en un rango típico de 18 a 32 pulgadas (455 a 810 mm) dependiendo de los requerimientos del proyecto. La viscosidad, como se observa visualmente por el rango en que se extiende el concreto, es una de las características importantes del CAC en estado plástico y puede ser controlada cuando se diseña una mezcla que satisfaga el tipo de aplicación que se va a construir (Rabanal Gonzales & Su Chaquí, 2017).

Las cenizas volantes son una buena adición en el CAC, puesto que se ha visto que aumentan la cohesión y reducen las variaciones de demanda de agua, aportando propiedades significativas al concreto. Sin embargo, es importante tener una dosificación adecuada ya que altos contenidos de cenizas volantes pueden provocar una fracción de pasta con tal cohesión que comporte una disminución de la fluidez (BIBM, 2005).

#### **4.2.1. Aditivos para el CAC**

Para la confección de estos hormigones se hace imprescindible el uso de aditivos superplastificantes de última generación y recomendable, en determinados casos, los reguladores de viscosidad que permiten disminuir los efectos negativos originados por la falta de uniformidad en la dosificación del agua y en la granulometría de los áridos (Burón Maestro et al., 2006).

Los aditivos superfluidificantes presentan moléculas grandes y pesadas, que envuelven a las partículas de cemento, dándoles una carga eléctrica altamente negativa, por lo que se repelen entre sí, lo que genera la dispersión de las partículas de cemento, y, por ende, una mejor trabajabilidad de la mezcla de concreto, creando un ambiente de adaptación entre ellas y mejorando sus posibilidades de trabajo (Molina Benítez, 2021).

#### **4.2.2. Características del hormigón autocompactante**

Un concreto autocompactante en estado fresco se puede decir que cumple con la condición de autocompacidad si cumple simultáneamente tres requisitos que son: Capacidad de relleno, Capacidad de Paso y resistencia a la segregación. Una mezcla de concreto sólo puede clasificarse como autocompactante si se cumplen los requisitos para estas tres características (Rabanal Gonzales & Su Chaquí, 2017).

**Capacidad de relleno:** es la capacidad del CAC de rellenar los espacios de un encofrado solamente por la acción de su propio peso, sin la necesidad de compactación por vibrado. Cuanto mayor sea el valor del flujo de asentamiento, mayor será su capacidad para llenar el encofrado por su propio peso. Se requiere un valor de por lo menos 650 mm para considerar la mezcla como CAC (Rabanal Gonzales & Su Chaquí, 2017).

**Capacidad de paso:** es la capacidad de fluir a través de las barras del refuerzo del elemento estructural sin que se presente ningún tipo de bloqueo entre agregado y agregado – refuerzo (Rabanal Gonzales & Su Chaquí, 2017).

**Resistencia a la segregación:** es la capacidad de este tipo de concreto de tomar una consistencia muy fluida sin permitir segregación. En esencia, para que la mezcla de concreto sea considerada autocompactable, debe tener la característica de fluir fácilmente y así llenar completamente los espacios dentro de las formas reforzadas por efecto de su propio peso, la mezcla deberá también tener una buena estabilidad para resistir la segregación (Rabanal Gonzales & Su Chaquí, 2017).

Adicionalmente se debe cumplir con las características mecánicas del concreto convencional siendo la más importante la resistencia a la compresión. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup>, MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) (ARGOS, 2020) (León Puentes, 2022).

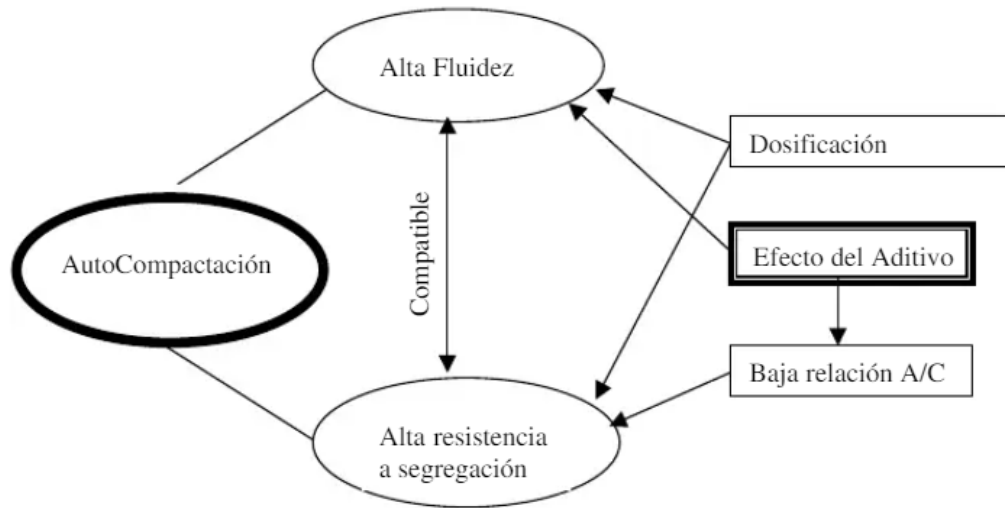
El CAC debe cumplir con una condición adicional para garantizar el funcionamiento del flujo ascendente llamada trabajabilidad, la definición propuesta por Glanville, Collins y Matthews nos dice que, “la trabajabilidad se puede definir como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación adecuada de la mezcla” (León Puentes, 2022).

### **4.3. Controles del CAC antes del vaciado**

#### **4.3.1. Influyentes en el hormigón autocompactante**

La cantidad de cemento, junto con el material fino y el aditivo afectan fuertemente las propiedades del hormigón previamente vistas, por lo que la relación agua/cemento y la dosis de aditivo no puede ser fijada sin la realización de mezclas de prueba. Por lo tanto, una vez que se ha decidido la proporción de la mezcla, deben realizarse los ensayos necesarios para confirmar la autocompactación. En la siguiente figura se observa un esquema acerca de la relación entre los distintos factores que influyen para alcanzar la autocompactación (Riquelme, 2000).





*Figura 1. Influyentes para la autocompactación (Riquelme, 2000).*

#### 4.3.2. Ensayos del HAC

Para garantizar las características específicas de un concreto autocompactante se deben cumplir dos premisas esenciales; alcanzar las especificaciones de autocompactación y obtener la resistencia deseada, para evaluar su cumplimiento se utilizan ensayos de laboratorio detallados en los siguientes numerales.

##### 4.3.2.1. Ensayo del escurrimiento del cono

Entre los muchos métodos de ensayo propuestos para evaluar la capacidad de autocompactación del concreto se encuentra el ensayo del flujo o escurrimiento que tiene el objetivo de determinar si el CAC tiene fluidez necesaria y la cohesión suficiente para que no se produzca segregación en la mezcla (Riquelme, 2000).

En el ensayo de Flujo o escurrimiento de cono se utiliza el cono de Abrams tradicional, pero en lugar de medir asentamiento se mide el diámetro alcanzado por el flujo de hormigón. También mide el tiempo que demora el hormigón para alcanzar 50 cm de diámetro, lo cual indica la viscosidad del hormigón. El Hormigón Autocompactante puede tener un valor de escurrimiento de cono entre 55 y 75 cm según el tipo de elemento y las condiciones de colocación, usualmente

se requiere entre 65 y 75 cm. También se verifica visualmente que no haya segregación ni exudación en el hormigón (Riquelme, 2000).

#### **4.3.2.2. Procedimiento del ensayo de flujo**

Según la norma ASTM C 1611 (ASTM international, 2017) se deben llevar los siguientes pasos para elaborar correctamente el ensayo de escurrimiento de cono:

1. Se cercioró que la superficie plana o base está firme y perfectamente horizontal.
2. Se humedeció con agua, teniendo especial cuidado en no dejar agua libre. Se humedeció de igual manera el interior del cono y se colocó el cono sobre la base.
3. Sujetamos firmemente el cono y lo rellenamos vertiendo el CAC con ayuda de un balde y sin ningún tipo de compactación y/o vibración.
4. Rasamos el concreto de la superficie con el borde superior del cono con espátula. Antes de que transcurriera 1 minuto se levantó verticalmente el cono, de forma cuidadosa y continua, dejando que el concreto se extienda sobre la base.
5. Se toma el diámetro máximo alcanzado por el concreto en dos direcciones perpendiculares. Cuando éste ha terminado de fluir.

#### **4.3.2.3. Ensayo de resistencia a la compresión**

La normativa estipulada en Colombia, la Norma Técnica Colombiana NTC 673 – Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, es la indicada para este procedimiento de estudio en condiciones de laboratorio.

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a los cilindros moldeados a núcleos a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito hasta que ocurra

la falla. La resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por la sección transversal del área del espécimen.

En la normativa (Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, 2010). Se pone énfasis en que la resistencia promedio a la compresión del concreto producido debe exceder siempre el valor especificado de  $f'c$  utilizado en el diseño estructural. Esto se basa en conceptos probabilísticos y tiene la intención de asegurar que se desarrolle la resistencia adecuada en la estructura. Para cada mezcla de prueba deben fabricarse y curarse al menos dos probetas cilíndricas de 150 por 300 mm o tres probetas de 100 por 200 mm de acuerdo con la NTC 1377 (ASTM C192M). Las probetas deben ensayarse a los 28 días o a la edad de ensayo establecida para  $f'c$ .

### **4.3.3. Ambiente de curado**

A menos que se especifique otra cosa, todos los especímenes se deben curar con humedad a  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  desde el momento del moldeado hasta el momento del ensayo. El almacenamiento durante las primeras 48 h de curado debe hacerse en un ambiente libre de vibraciones. Como se aplica al tratamiento de los especímenes de ensayo desmoldeador, curado húmedo significa que éstas se deben mantener con agua libre en toda el área superficial a toda hora. Esta condición se obtiene por inmersión en agua saturada con cal, almacenando en un cuarto o cámara húmeda que cumpla los requisitos de la NTC 3512.

#### **4.3.3.1. Curado en obra**

Los cilindros se deben almacenar dentro de la estructura o sobre esta, tan cerca como sea posible del punto de depósito de concreto representado. Se deben proteger todas las superficies de los cilindros de igual forma como se protege la estructura; los cilindros deben estar a la misma temperatura y ambiente húmedo que la estructura. Los especímenes se ensayarán en las condiciones de humedad resultantes del tratamiento de curado especificado. Para cumplir con estas condiciones de humedad resultantes del tratamiento de curado especificado. Según NSR-10 Si los especímenes se preparan y curan en las condiciones de obra, los datos de ensayo resultantes se deben poder usar para los siguientes propósitos según la NTC 550:

- a) Determinación del momento donde la estructura puede ser puesta en servicio.
- b) Comparación con los resultados de ensayo de los especímenes curados en condiciones estándar o con resultados de otros métodos de ensayos en obra.
- c) Determinación de la eficiencia del curado y la protección del concreto de la estructura
- d) Determinación del momento de remoción de la formaleta o los puntales

#### **4.3.4. Aprobación del ensayo de compresión**

La norma indica que el nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si cumple con los dos requisitos siguientes:

- (a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a  $f'_c$
- (b) Ningún resultado del ensayo de resistencia es menor que  $f'_c$  por más de 3.5 MPa cuando  $f'_c$  es 35 MPa o menor; o por más de  $c 0.10f'$  cuando  $f'_c$  es mayor a 35 MPa.

#### **4.3.5. Transporte del hormigón**

Para el transporte del concreto desde su punto de elaboración hasta el lugar donde debe de ser vaciado hay diferentes alternativas que se han pulido con el pasar de los años, escoger una u otra depende de las necesidades y características de cada obra. El concreto bombeado puede definirse como un concreto conducido por presión a través de un tubo rígido o de una manguera flexible y vaciado directamente en el área de trabajo (Ruiz Castaño & Cuartas Ospina, 2015).

El concreto, mezclado, se vierte en una tolva y con ayuda de una bomba con válvulas de aspiración y compresión, se impulsa y transporta el concreto por una tubería. La granulometría del agregado debe ser controlada debido a que el concreto confeccionado debe ser dócil (manejable) y pueda retener el agua con el fin de evitar la segregación. El concreto bombeado evita el empleo de carretillas, vagonetas, grúas, elevadores o cucharones, entre otros (Ruiz Castaño & Cuartas Ospina, 2015).

#### **4.3.5.1. autobombas o bombas estacionarias**

Se define según Castaño Ruiz y Cuartas Ospina una bomba estacionaria como bomba montada sobre un chasis, con uno o dos ejes sobre llantas, se debe remolcar con un vehículo y luego de estacionada y bloqueada en la obra, se le adicionan tramos de tubería rígida que son unidos mediante abrazaderas, hasta llegar al punto de descarga del concreto, al final se le conecta una manguera flexible para facilitar la descarga. Para su utilización se indican algunas recomendaciones:

- Las autobombas o bombas estacionarias deben estacionarse y bloquearse sobre una superficie plana y de buena capacidad portante, pues las cargas transmitidas al suelo son puntuales y relativamente altas.
- El uso de autobombas debe tener especial cuidado con la presencia de cables aéreos que dificulten la operación y/o generen choques eléctricos.

##### **4.3.5.1.1. Recomendaciones en el bombeo del concreto**

Es aconsejable seguir las siguientes recomendaciones durante el vaciado del concreto bombeado según Castaño Ruiz y Cuartas Ospina:

- Verificar que el equipo de bombeo suministre la presión suficiente para transportar el concreto hasta el sitio deseado.
- Se recomienda que la tubería tenga un diámetro mínimo de 3 veces el tamaño máximo del agregado.
- La tubería no debe ser de aluminio porque el aluminio reacciona con el cemento generando hidrógeno, este gas introduce vacíos en el concreto endurecido con la consiguiente pérdida de resistencia.

- La tubería no debe formar ángulos muy agudos porque se puede atascar y se debe tener en cuenta la eficiencia de la bomba porque a medida que aumenta la altura disminuye la eficiencia de la bomba, reduciéndose la altura hasta la cual puede bombearse.
- Antes de iniciar el bombeo, se deben humedecer con agua la tolva y la tubería. Posteriormente se debe cebar la bomba con un mortero fluido para lubricar el sistema, de manera que se facilite el ingreso y desplazamiento del concreto.
- Las propiedades de los agregados finos o de la arena son más importantes al determinar las proporciones de las mezclas para bombear que las de los agregados gruesos. Si la arena es demasiado gruesa, hará que la composición de una mezcla que normalmente se puede bombear sea difícil de bombear, mientras que la arena fina hará que las mezclas gruesas sean bombeables.
- Iniciada la operación de bombeo, el suministro de mezcla debe ser permanente y la acción continúa para evitar obstrucciones de la tubería.

#### **4.4. Bombeo por método flujo inverso**

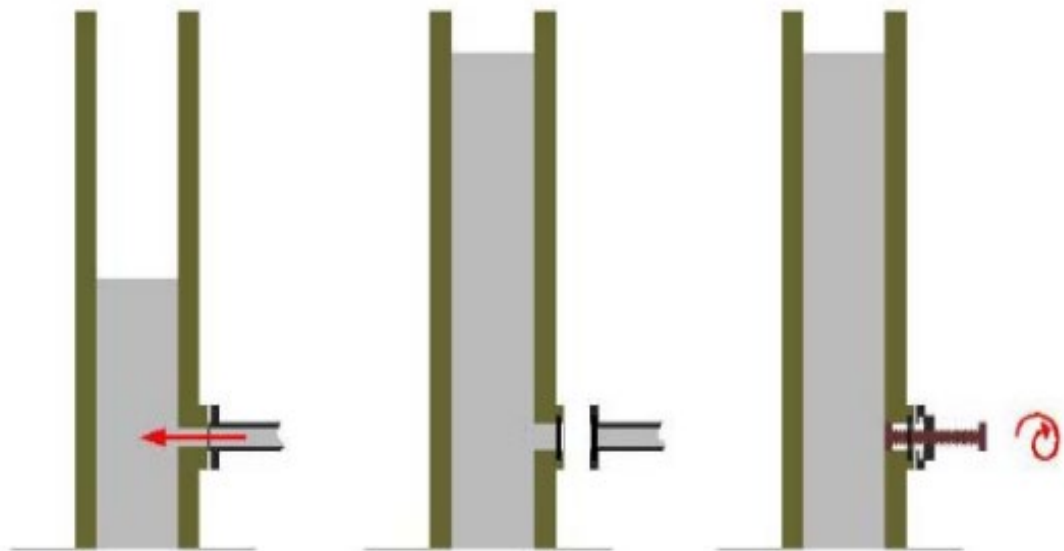
Los hormigones autocompactantes se caracterizan por su fluidez y cohesión, lo que les permite ser inyectados en los encofrados desde la parte inferior hacia arriba, en un método conocido como flujo inverso/ascendente. Esta metodología es beneficiosa en elementos de gran altura, ya que previene la formación de burbujas de aire atrapadas entre la pared del encofrado y el hormigón. Aunque el uso del desencofrante adecuado reduce significativamente la formación de estas burbujas en comparación con el hormigón convencional, se recomienda emplear encofrados con caras metálicas o superficies plastificadas no absorbentes. Esto garantiza texturas superficiales uniformes y minimiza la retención de burbujas de aire (Burón Maestro et al., 2006).

En este caso la bomba se conecta, mediante una pieza especial unida al encofrado y provista de válvula de cierre. Donde el encofrado estará calculado para aguantar como mínimo la presión de toda la columna del HAC (BIBM, 2005).

Si es posible, el punto de inyección del bombeo debe estar situado en el centro del muro a hormigonar, para minimizar la distancia horizontal a recorrer. La distancia horizontal a recorrer desde el punto de bombeo dependerá del armado y de la capacidad de flujo del HAC y tendrá que estar aprobado por el suministrador del HAC (BIBM, 2005).

La altura máxima de los elementos a hormigonar depende de la máxima presión que el encofrado pueda soportar y tiene que ser acordada con el suministrador del sistema de encofrado (BIBM, 2005).

Al finalizar el bombeo desde abajo, la válvula de compuerta se cierra y se bloquea. En este momento, el hormigón sobrante puede ser empujado por la parte interior del encofrado mediante una válvula especial (BIBM, 2005).



**Figura 2.** Ilustración del proceso de bombeo por flujo inverso. (BIBM, 2005).

#### 4.4.1. Ventajas del CAC implementando el método flujo inverso

La principal ventaja del CAC es que se puede bombear al encofrado desde abajo, en lugar de desde arriba (flujo inverso). De este modo se puede aumentar la altura de los elementos estructurales en la industria prefabricada y se pueden evitar grandes inclusiones de aire o segregaciones, ya que el hormigón no tiene que caer desde una determinada altura. (Feys, 2009). Sin embargo, existen más ventajas del concreto autocompactante utilizando el método flujo ascendente. Estas son:

**Reducción del ruido:** Debido a la alta fluidez del CAC, el aire puede escapar sin la ayuda de energía de compactación. Esto da como resultado un entorno menos ruidoso y libre de vibraciones, especialmente para los trabajadores en la obra (Feys, 2009).

**Reducción sustancial de la energía necesaria:** Las propiedades del elemento estructural final construido con CAC dependen menos de las habilidades de los trabajadores en el sitio (Feys, 2009).

**Mejor trabajabilidad en vanos:** En el caso del hormigón normal, la presencia de una abertura de ventana causa problemas porque el hormigón no se puede vibrar de manera eficiente. El hormigón autocompactante fluye por debajo de la abertura de la ventana y llena completamente el encofrado (Feys, 2009).

**Facilidad de uso en estructuras con alto contenido de acero:** El CAC se ha aplicado con éxito en estructuras de hormigón con una red de refuerzo muy densa, debido a su capacidad de paso.

#### 4.4.2. Desventajas del HAC

**Aumento en la velocidad de colocación:** Es esencial hacer un análisis de la capacidad de producción de la planta, la jornada laboral y la capacidad de colocación en obra para asegurarse



que el personal podrá aplicar el hormigón sin interrupciones de suministro y dentro de su tiempo de consistencia garantizada. Un paro en la producción puede provocar tixotropía o formación de un velo superficial en el hormigón ya colocado y ello puede afectar notablemente a la capacidad de llenado cuando se reinicie el vertido y / o provocar juntas frías en la superficie (BIBM, 2005).

**Mayor susceptibilidad a cambios:** El HAC es más sensible a las variaciones físicas de sus componentes que el hormigón convencional y especialmente a los cambios en el contenido de humedad, granulometría y forma de los áridos, por lo que se llevarán a cabo mayores controles en la producción. Se recomienda ensayar los áridos cada día de producción, previo inicio de la dosificación. A partir de entonces, se harán controles visuales en cada carga de áridos; cualquier cambio notable hay que evaluarlo antes de la aceptación del material o rechazar la entrega. Hay que controlar de forma continua el contenido de humedad de los áridos y ajustar la dosificación en función de las variaciones que se observen. Adicionalmente, cuando haya entregas de nuevos lotes de cemento, adiciones o aditivos, es necesario realizar controles adicionales para detectar cualquier cambio significativo o interacciones entre componentes (BIBM, 2005).

**Mayor coste del material:** Actualmente esto ralentiza el ritmo de transición de la aplicación del concreto convencional a CAC. Aunque la aplicación de CAC induce a un uso más eficiente del personal de trabajo y en teoría hace que los tiempos de construcción disminuyan, en consecuencia, se debe realizar un análisis completo de costo beneficio (incluidos todos los factores) para justificar la aplicación de HAC.

El hormigón autocompactante es en estado fresco mucho más sensible a las fluctuaciones en uno de sus materiales constituyentes, como se mencionó anteriormente. Es necesario un estricto control de calidad de todos los materiales que lo componen (Feys, 2009).

## **4.5. Encofrado del Hormigón autocompactante**

### **4.5.1. Presión al encofrado**

La presión del encofrado depende de la característica de la fluidez y la cohesión del HAC, y aumenta verticalmente de abajo a arriba. El diseño de encofrado, incluyendo soporte y sistemas

de fijación, se asume que soporta toda la presión hidrostática del hormigón. Si se bombea el HAC desde abajo entonces localmente, la presión puede estar por encima de la hidrostática cerca del punto de entrada de la bomba, especialmente durante los reinicios si hay una interrupción durante el bombeo (BIBM, 2005).

#### **4.5.2. Preparación del encofrado**

La alta característica de la fluidez del HAC puede provocar la flotación de alguna unidad del encofrado, cierres o embebidos que no han sido debidamente fijados. Hay que prestar especial atención en la fijación y el sellado del encofrado en la base donde el apoyo pueda ser un problema. Pueden producirse fugas en las juntas y reducir por otro lado la alta calidad de acabado, sin embargo, siempre habrá menos fugas que en el hormigón vibrado convencional. (BIBM, 2005)

Como la fluidez del CAC es mayor que la del concreto convencional, los encofrados aplicados deben estar completamente sellados. En caso de no cumplirse esto, la pasta de cemento puede escaparse localmente, creando huecos entre los áridos en los elementos estructurales finales (Feys, 2009).

Puesto que hay que asumir la plena presión hidrostática con el HAC, hay que tener especial atención en los soportes externos y el sistema de fijación y espaciado para asegurar que no pueden deformar el encofrado durante la colocación (BIBM, 2005).

#### **4.5.3. Directrices clave para la colocación exitosa del HAC**

La buena preparación de encofrado es esencial para realzar los acabados superficiales del HAC, adicionalmente, se recomienda tener en cuenta las siguientes pautas para obtener un resultado óptimo según (BIBM, 2005):

- Antes de colocar el HAC, hay que verificar que la armadura y el encofrado han sido colocados según los planos y que el encofrado está limpio y libre de suciedades.

- Un recorrido razonable del flujo ayuda a prevenir excesos de aire atrapado. Sin embargo, un recorrido del flujo mayor de 10 metros tiene un alto riesgo de segregación dinámica o formación de huecos y coqueras.
- Un elevado ritmo de colocación en vertical no dará tiempo suficiente al aire para subir a la superficie y poder salir, originando un aumento del número de huecos y coqueras de aire atrapado en el hormigón y burbujas superficiales.
- El HAC tiene una mayor cohesión y menor tendencia a la segregación que un hormigón convencional, pero la caída libre del hormigón en la colocación puede causar segregación y aumentar el contenido de aire ocluido por lo que se evitará en la medida de lo posible. Si es del todo inevitable, se limitará la altura de caída libre y se efectuarán ensayos previos para determinar el efecto.
- Durante la colocación, hay que comprobar regularmente el HAC para asegurar que los áridos gruesos permanecen o están muy cerca de la superficie y que no se observan indicios de segregación. El HAC forma un frente de avance regular con un ángulo superficial determinado y se puede observar el flujo completo y próximo a las barras de las armaduras sin formar pequeños vacíos. No debe producirse un burbujeo excesivo con grandes burbujas de aire que indiquen que el aire está quedando atrapado en el proceso de colocación. Hay que vigilar la fuga de lechada en las juntas del encofrado.

#### **4.6. Fraguado**

Es un proceso mediante el cual el cemento y el agua entran en contacto, iniciando una reacción química exotérmica que determina el endurecimiento paulatino de la mezcla. El fraguado inicial corresponde a la pérdida apreciable de plasticidad de la mezcla durante el endurecimiento, y el fraguado final, se presenta con el endurecimiento normal de la mezcla alcanzando una consistencia considerable (Molina Benítez, 2021). Además, el fraguado va acompañado de desprendimiento de calor; al principio se observa una elevación fuerte de temperatura seguida de

un fuerte descenso con un mínimo y luego, un pico que puede considerarse como el final del fraguado (Villarino Otero, 2011).

#### **4.7. Curado**

Es el proceso en el que el concreto madura y endurece con el transcurso del tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento, mediante la presencia de agua y de calor (Molina Benítez, 2021).

El curado es una actividad muy relevante según Castaño Ruiz y Cuartas Ospina por su influencia en la porosidad, la permeabilidad y la hermeticidad del concreto, además, tiene un papel muy importante en la durabilidad. El concreto debe madurar bajo condiciones apropiadas de humedad y temperatura para desarrollar todas sus características y propiedades. Un curado adecuado asegura que el concreto sea resistente, tenga baja permeabilidad, se encuentre libre de fisuras y, por lo tanto, sea durable.

La norma NSR-10 indica según el numeral C.5.6.4.2 que los cilindros curados en obra deben curarse en condiciones de obra de acuerdo con la normativa NTC 550 (ASTM C31M) de elaboración y curado de especímenes en obra.

Además, se nombran otras condiciones adicionales sobre el procedimiento del curado en el capítulo 5 de la normativa sismo resistente del año 2010, específicas a continuación:

- Los cilindros de ensayo curados en obra deben fabricarse al mismo tiempo y usando el mismo material empleado en la confección de los cilindros de ensayo curados en laboratorio.
- Pueden requerir ensayos de resistencia de probetas curadas bajo condiciones de obra para verificar la bondad del curado y protección del concreto en la estructura.
- Los procedimientos para proteger y curar el concreto deben mejorarse cuando la resistencia de cilindros curados en la obra, a la edad de ensayo establecida para determinar  $f'_c$ , sea inferior al 85 por ciento de la resistencia de cilindros compañeros curados en laboratorio.

La limitación del 85 por ciento no se aplica cuando la resistencia de aquellos que fueron curados en la obra exceda a  $f'_c$  en más de 3.5 MPa

#### **4.7.1. Curado del concreto autocompactante**

El curado del hormigón autocompactante es similar al del hormigón convencional, siendo de aplicación los procedimientos establecidos para el mismo. Al igual que en el hormigón convencional, conviene iniciar el curado tan pronto como sea posible para evitar la pérdida de agua superficial por evaporación que podría producir fenómenos de retracción plástica y asentamiento (Burón Maestro et al., 2006).

Sin embargo, según (BIBM, 2005). El curado es más importante en los elementos hechos con HAC para alcanzar un buen acabado superficial. Éste puede secar rápido por la mayor cantidad de pasta, la baja relación agua / finos y la falta de lechada en la superficie. Aumentando el riesgo de fisuración superficial y formación de grietas en la fase plástica causadas por la evaporación temprana del agua.

#### **4.8. Acabado del concreto autocompactante**

En superficies sin ningún tratamiento superficial la uniformidad del hormigón autocompactante es superior, y en consecuencia el acabado es mejor, que cuando se utiliza hormigón convencional, ya que al evitarse la vibración se elimina el principal agente que propicia la falta de homogeneidad cromática de las caras vistas del hormigón. Dicha heterogeneidad es debida a una distribución aleatoria del agua combinable de la masa de hormigón, que produce diferentes procesos de hidratación con diferentes proporciones agua/cemento, que se traducen en coloraciones del cemento hidratado diferentes (Burón Maestro et al., 2006). Pero si no se tiene cuidado con el HAC será más notable el movimiento de juntas o la curvatura del encofrado por la presión del hormigón (BIBM, 2005).

#### **4.9. Equipos y herramientas**

Antes de iniciar la fundición de cualquier elemento en concreto se debe verificar que los equipos se encuentran funcionales y que hay la cantidad suficiente de acuerdo al volumen de concreto a vaciar y que se cuenta con las herramientas necesarias (Ruiz Castaño & Cuartas Ospina, 2015).

#### **4.10. Orden y aseo**

Cumplir con esta variable es muy importante ya que ayuda a mantener un lugar de trabajo más seguro y nos ayuda a que las herramientas y equipos tengan un mayor tiempo de uso y un mejor desempeño. Disponer de recipientes para el lavado de los equipos y herramientas, de esta forma disminuir el impacto al medio ambiente.

#### **4.11. Medidas de aceptación en la estructura**

La búsqueda de una mayor calidad con la utilización de la metodología de vertido de concreto autocompactante por flujo inverso debe verificarse con una medición de parámetros en los elementos estructurales descritos en los siguientes numerales:

##### **4.11.1. Tolerancia**

Desviación no deseada pero aceptada de una dimensión o posición de un elemento dado, que no afecta la función de dicho elemento. En el caso en que la desviación afecte la funcionalidad del elemento se considerará no tolerable (Botero Botero et al., 2017).

Las variables a medir son las diferentes desviaciones que pueden presentarse en los elementos constructivos constituyentes de un bien inmueble.

Se determinaron las variables, tras la comprensión de que en ellas están contempladas la totalidad de desviaciones que pueden presentarse en los elementos. A continuación, se presentan las variables definidas.

#### **4.11.2. Escuadría**

Es la condición en la que las caras frontales de dos planos forman un ángulo de 90 grados. Conocido en obras de construcción como escuadra, para su uso es necesario apoyar la escuadra contra uno de los planos del vértice y con una escuadra transparente medir, a 40 centímetros, el espacio entre el otro plano y el borde interno de la escuadra. La desviación es la distancia entre el plano evaluado y el borde interno de la escuadra medida a 40 centímetros (Botero Botero et al., 2017).



***Figura 3. Medición de escuadría (Botero Botero et al., 2017).***

#### **4.11.3. Horizontalidad**

Para realizar una medición de horizontalidad en una estructura se selecciona un nivel de referencia en el piso, ubicar la tableta de comprobación sobre la línea que refleja el instrumento y realizar la respectiva lectura de horizontalidad en dicho punto. Luego, se realiza un paneo del recinto accionando el nivel de láser de pisos hasta otro punto a evaluar a una distancia no mayor

de 1.5 metros y con la tableta de comprobación se realiza una segunda lectura. La desviación es la diferencia entre las dos mediciones. (Botero Botero et al., 2017).



*Figura 4. Medición de horizontalidad mediante nivel laser (Botero Botero et al., 2017).*

#### **4.11.4. Verticalidad**

La verticalidad es el ajuste del elemento a un plano en posición perpendicular al plano horizontal definido por la superficie del agua en reposo. Es la línea que sigue un cuerpo en caída libre. Conocido en obras de construcción como plomo. Donde, el hilo de la plomada debe instalarse descentrado de manera que, sin importar la dirección del desplome, la plomada no golpee el elemento evaluado. Hacer en el hilo de la plomada dos marcas que tengan entre ellas una separación de 1 metro. Medir con el flexómetro o la escuadra la distancia entre el elemento evaluado y el hilo en la marca superior y luego realizar la misma medición en la marca inferior del hilo. La desviación es la diferencia entre las dos medidas (Botero Botero et al., 2017).





**Figura 5.** Ilustración de medición de verticalidad utilizando la plomada (Botero Botero et al., 2017).

La tolerancia de escuadría, verticalidad y horizontalidad de medición para los elementos estructurales según Botero Botero et al., 2017 se resume en la **tabla 1**.

**Tabla 1.** Medida y unidad de cada ítem de tolerancia (Botero Botero et al., 2017).

Item	Tolerancia	Unidad
Escuadría	5	mm/40 cm
Verticalidad	4	mm/1.5 m
Pasivo agresivo	4	mm/1.0 m

## 5. Metodología

De acuerdo con el objetivo general, los específicos y el alcance planteado en el proyecto, se establece la metodología en la cual se acoplan las actividades por medio de cinco fases.



*Figura 6. Metodología del proyecto (Elaboración propia).*

**Exploración de antecedentes y literatura relevante:** Esta actividad es crucial para obtener una base sólida de conocimiento sobre el tema de investigación. Por esto es necesario dedicarle la mitad del cronograma. Donde se buscará una variedad de fuentes bibliográficas como artículos científicos, libros y tesis relevantes para el tema.

**Análisis bibliográfico:** Implica la evaluación de la información relevante recopilada. Esta etapa es importante para identificar los parámetros y enfoques que ayudarán a realizar la caracterización de manera efectiva.

**Recopilación de datos en obra:** Implica la recopilación de datos en el campo. Donde se realizarán mediciones y seguimiento de todo el procedimiento, además, se complementará con registros previos disponibles en la obra.

**Procesamiento de datos y análisis estadístico:** El recopilado y procesamiento de datos selecciona los datos relevantes para posteriormente realizar el análisis estadístico, esto permitirá obtener resultados significativos y respaldar las conclusiones del proyecto. Para ejecutarlo se utilizará el software Microsoft Excel que logra organizar, analizar y visualizar la información de manera efectiva.

## **6. Caracterización**

A continuación, se presenta la caracterización detallada de los pasos a seguir, desde el inicio hasta la conclusión en la ejecución de la metodología de vaciado flujo inverso utilizando concreto autocompactante.

### **6.1. Organización y cuidado**

En todo el proceso constructivo, es indispensable mantener el orden y aseo. Esto contribuye a evitar elementos innecesarios en la estructura, retrasando la realización las labores previas y posteriores al vaciado. Además, esta práctica facilita la revisión por parte de los ingenieros, detectando fácilmente cualquier problema en momentos oportunos.

El orden y aseo son esenciales para generar una calidad alta en la resistencia y en el acabado de los elementos estructurales. La existencia de elementos inesperados como pedazos de acero, alambre, herramientas o tuberías que permanezcan dentro de los elementos estructurales, pueden afectan significativamente su correcto funcionamiento, disminuyendo la seguridad de la infraestructura, además, objetos que sobresalgan de la superficie del vaciado reducirán la calidad del acabado.

### **6.2. Seguridad en el proceso constructivo**

En todos los pasos antes, durante y después del vaciado por el método flujo inverso es indispensable cumplir con los criterios de seguridad estipulados para las obras de construcción, reguladas por la Ley 2145 de 2016, Donde particularmente en los vaciados de concreto se garantizar los siguientes elementos de seguridad industrial según su requerimiento:

- Andamios
- Línea de vida
- Asegurar repisa y pasamanos
- Protección vacíos
- Protección fachada edificio
- Protección anti caída al exterior
- Aseo

En la siguiente imagen se observa un ejemplo de una losa previa al vaciado de concreto con los elementos de protección según los requerimientos de la obra:



***Figura 7. Losa del proyecto Villa Gabriela con línea de vida y protección anti caída al exterior (Elaboración propia).***

### **6.3. Almacenamiento de agregados del CAC en obra**

El almacenamiento de los componentes del CAC debe evitar la alteración en los materiales para no generar cambios en las propiedades del concreto autocompactante, por lo tanto, en las obras se debe seguir las indicaciones dadas en el numeral **4.1.2.2**, la siguiente figura indica un ejemplo de lo mencionado:



**Figura 8.** Almacenamiento de agregado grueso en obra Villa Gabriela (*Elaboración propia*).

#### 6.4. Revisión de componentes del CAC previo al vaciado

El CAC, como se menciona en el numeral 4.4.2. tiene una alta sensibilidad a posibles alteraciones de sus componentes, por consiguiente, es imprescindible realizar ensayos de laboratorio periódicos previos al vaciado de elementos estructurales, siguiendo las directrices presentadas en dicho numeral, la frecuencia de los ensayos dependerá de la magnitud del proyecto y de la cantidad diaria de concreto vaciado. La siguiente **tabla 2** presenta los ensayos respectivos para cada componente:

**Tabla 2.** Normativas utilizadas en obra para la revisión de los materiales del concreto (*Elaboración propia*).

Normativas utilizadas en obra para la revisión de los materiales del concreto		
Material	Norma	Descripción
Arena para concreto	NTC 237	Método para determinar la densidad y absorción del agregado fino (Icontec, 1995d).
	NTC 127	Ensayo para determinar las impurezas orgánicas en agregado fino para concreto (Icontec, 2000).
	NTC 78	Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz N° 200 en agregados minerales (Icontec, 1995b).
	NTC 92	Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados (Icontec, 1995a).

	NTC 77	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos (Icontec, 2007).
Grava	NTC 176	Método para determinar la densidad y absorción del agregado grueso (Icontec, 1995c).
	NTC 78	Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz N.º 200 en agregados minerales (Icontec, 1995b).
	NTC 92	Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados (Icontec, 1995a).
	NTC 77	Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos (Icontec, 2007).
Cemento a granel	NTC 121	Cemento Pórtland. Especificaciones físicas y mecánicas (Icontec, 1982).
Puzolana	NTC 3493	Cenizas volantes y puzolanas naturales, calcinadas o crudas, utilizadas como aditivos minerales en el concreto de cemento Pórtland (Icontec, 1993).

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio pasan a revisión, verificando el cumplimiento de cada parámetro. En caso de presentarse un fallo, se realiza un análisis del proceso con el objetivo de encontrar la causa del error y generar una solución.

A continuación, en la **tabla 3** se realiza una representación de los resultados de ensayos para una muestra de puzolana siguiendo las directrices de la normativa NTC3493 que indican que el porcentaje retenido de material en el tamiz n° 325 debe de ser menos a 34% y su porcentaje de humedad natural menor al 3%.

**Tabla 3. Resultados de ensayos de laboratorio realizados en la obra Villa Gabriela en la puzolana (Elaboración propia) (Icontec, 1993).**

PUZOLANA (NTC 3493)				
FECHA	MUESTRA	DENSIDAD	Ret n° 325	Humedad
		g/cm <sup>3</sup>	% (<=34%)	% (<=3%)
2/11/2022	1	2,11	28,6%	0,5%
16/11/2022	2	2,07	45,6%	0,2%
23/11/2022	3	2,14	25,6%	0,2%
2/12/2022	4	2,14	27,6%	1,1%
17/01/2023	5	2,12	12,4%	0,6%
20/01/2023	6	2,13	29,5%	0,3%
3/02/2023	7	2,08	35,0%	0,2%
6/02/2023	8	2,08	27,6%	0,1%
13/02/2023	9	2,04	30,6%	0,1%
27/02/2023	10	2,1	33,3%	0,2%
23/03/2023	11	2,08	26,6%	0,3%
22/03/2023	12	2,1	32,6%	0,3%

---

29/03/2023	13	2,09	22,6%	0,3%
5/04/2023	14	1,93	31,6%	0,4%
28/04/2023	15	2,09	34,3%	0,3%
5/05/2023	16	2,1	23,0%	0,3%
12/05/2023	17	2,07	29,6%	0,4%
24/05/2023	18	2,1	30,6%	0,3%
31/05/2023	19	2,08	28,6%	0,3%
15/06/2023	20	2,04	33,0%	0,3%
10/08/2023	21	2,08	28,3%	0,4%
14/08/2023	22	2,21	27,6%	0,2%

---

La realización del ensayo de humedad en los agregados, descrito en el numeral **4.1.2.1**. Debe ejecutarse previamente a cada vaciado. Dado que este valor varía significativamente en cada medición, su resultado indica la corrección que debe realizarse en la planta de mezclas para preservar la relación a/c del concreto autocompactante y asegurar su resistencia final.



*Figura 9. Procedimiento para la ejecución del ensayo de humedad en obra (Elaboración propia).*

## 6.5. Marcación de elementos estructurales

La marcación precisa de los elementos estructurales antes del vaciado es fundamental en el proceso constructivo. Garantizando el posicionamiento óptimo de la infraestructura desde los



cimientos, logrando como beneficio una reducción de errores futuros y, por ende, lograr una mejora significativa en la calidad final de la estructura.

Además, practicar este procedimiento adecuadamente brinda a los ingenieros de obras civiles una facilidad para identificar cada elemento y realizar las medidas correctivas en el momento oportuno. En la siguiente ilustración se muestra un ejemplo de marcación de muros estructurales pre encofrado:



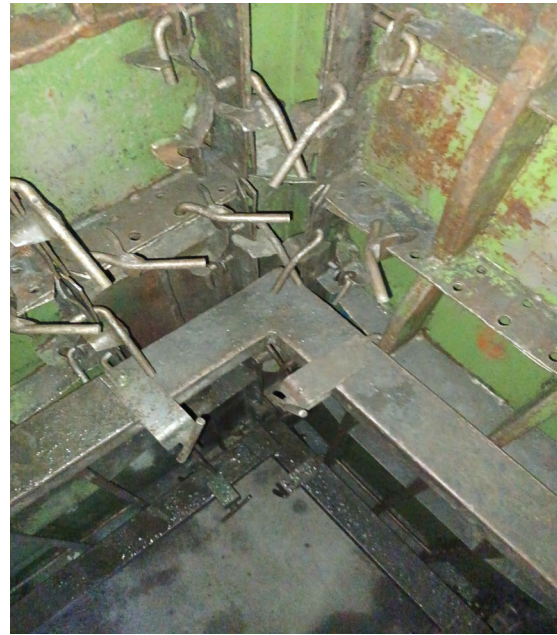
***Figura 10. Marcación de muros estructurales en el proyecto Villa Gabriela (Elaboración propia).***

## **6.6. Instalación Formaleta Muros, Losa**

El encofrado utilizado en el vaciado por el método flujo inverso, contempla un mayor cuidado comparado a un vaciado convencional. La presión ejercida por el CAC durante el bombeo, transmite esfuerzos adicionales a la formaleta, como se detalla en el numeral 4.5.1.

Adicionalmente, al ser un concreto con un flujo elevado, se debe prestar considerable cuidado a las juntas para prevenir posibles fugas, como se menciona en el numeral 4.5.2.

Por lo tanto, los elementos de la formaleta, como corbatas, chapetas, alineadores, garras y punteros necesitan una instalación correcta. Cumpliendo los criterios establecidos en el diseño del encofrado, garantizando a su vez las medidas de verticalidad, horizontalidad y vanos de la infraestructura.



*Figura 11. Elementos del encofrado en la obra Villa Gabriela (Elaboración propia).*

### **6.6.1. Aspectos importantes en el cuidado de la formaleta**

La formaleta en condiciones óptimas de uso no debería presentar anomalías durante los vaciados de los elementos estructurales, conservando sus dimensiones sin desviaciones. Sin embargo, su uso prolongado sin mantenimiento puede ocasionar problemas como fugas de concreto, desprendimiento de partes de la formaleta y deformación de la edificación en sus dimensiones longitudinales y verticales, por lo tanto, se sugieren las siguientes directrices para el cuidado de la formaleta y la estructura:

Durante cada periodo de uso, es necesario proteger la formaleta con una capa de anticorrosivo para evitar el deterioro por oxidación que podría reducir su capacidad de resistir los esfuerzos transmitidos en el proceso de vaciado por el método flujo inverso.

Después de un uso prolongado, cuando se observen deformaciones en los perfiles y refuerzos de los tableros de la formaleta es importante llevar a cabo un mantenimiento preventivo, esto implica ajustar todas las partes de cada tablero, eliminar el óxido acumulado y enderezar la formaleta por completo. Se recomienda realizar este mantenimiento preventivo aproximadamente cada seis meses, dependiendo de la intensidad del uso en el proceso constructivo de la edificación.

Para prevenir la deformación posterior al encofrado en las esquinas de la estructura, se refuerza la formaleta en estos puntos con perfiles de acero rectangulares. Esto proporciona una mayor resistencia en los puntos más débiles del encofrado, evitando así giros y deformaciones que excedan las tolerancias de la edificación, como se muestra en la **figura 11**.

#### **6.7. Revisión de Horizontalidad**

Para garantizar la horizontalidad de la estructura, se realizan mediciones con el nivel láser, siguiendo el procedimiento del numeral **4.11.3**. de este documento.



**Figura 12.** Nivel laser en parte inferior de losa para revisión de horizontalidad en la obra Villa Gabriela (Elaboración propia).

Adicionalmente, para garantizar la nivelación del concreto superior de la losa, se establecen puntos de referencia distribuidos en toda el área del vaciado con ayuda de un nivel topográfico. Como se muestra en la siguiente figura:



**Figura 13.** *Medición de horizontalidad con el nivel topográfico en el nivel superior de la losa (Elaboración propia).*

#### **6.8. Revisión de Verticalidad**

Para asegurar la verticalidad de la estructura, se ejecutan mediciones siguiendo el método indicado en el numeral **4.11.4.** de este documento. La metodología no especifica la separación entre plomadas, dependiendo de la longitud del elemento estructural, pudiendo agregar tantas como sea necesario a consideración del residente de obra. Como se muestra en la siguiente figura:



*Figura 14. Medición de verticalidad en obra mediante plomada (Elaboración propia).*

### **6.9. Revisión de vanos**

Previo al inicio del proceso de vaciado, es fundamental realizar una medición de los espacios dejados en la instalación de la formaleta en los muros estructurales destinados para ventanas, puertas y otros elementos. Asegurando el cumplimiento de las dimensiones indicadas en los planos arquitectónicos del proyecto, evitando posibles errores posteriores al vaciado.

En la siguiente figura se aprecia el beneficio de ejecutar mediciones previas al vertido del concreto. Resultando un vano con las dimensiones especificadas sin alteraciones significativas:



*Figura 15. Medidas del vano en ventana de la obra Villa Gabriela (Elaboración propia).*

#### 6.10. Revisión del acero y redes de la estructura

Es necesario realizar una revisión del acero de los diferentes elementos estructurales de manera rigurosa, verificando siempre el cumplimiento de la cuantía de acero especificada en los planos estructurales, En el plano se indica la cantidad de varillas corrugadas, el diámetro y posicionamiento en el elemento estructural correspondiente. Ahora, en caso de ser necesaria una modificación de lo establecido en los planos estructurales de la obra, el ingeniero residente deberá consultarlo con el ingeniero estructural, cumpliendo siempre con la cuantía mínima requerida en los elementos.



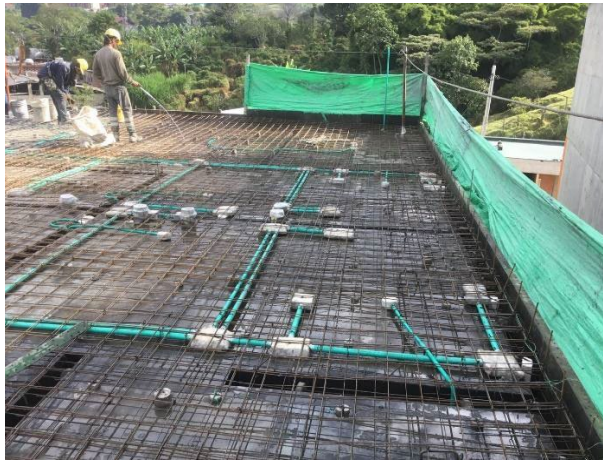
*Figura 16. Revisión de elemento estructural en la obra Villa Gabriela (Elaboración propia).*

Adicionalmente, en los planos estructurales de cada elemento se especifica el recubrimiento que se debe dejar entre la superficie de concreto y el acero de refuerzo. para cumplir esta especificación, comúnmente se emplean panelas de concreto de diferentes diámetros y alturas dependiendo del lugar donde se posicionan y el requerimiento del elemento. Las panelas además cumplen con la función de asegurar el refuerzo en su posición, preservando la función del elemento estructural y el acabado del elemento estructural.



*Figura 17. Disposición de panelas en losa de obra Villa Gabriela (Elaboración propia).*

Las redes eléctricas e hidrosanitarias de la estructura deben cumplir con su normativa correspondiente. Se realiza una revisión que garantice su correcta ubicación y minimice las posibilidades de que puedan sobresalir después del vaciado del concreto. Contribuyendo a la calidad de la estructura y al funcionamiento óptimo de las redes. Además, se recomienda la supervisión de profesionales autorizados para prevenir posibles inconvenientes en las redes.



**Figura 18.** *Redes hidrosanitarias y eléctricas de la obra Villa Gabriela (Elaboración propia).*

#### **6.11. Instalación de tuberías para la aplicación de la metodología flujo inverso**

El traslado y bombeo del CAC se emplea mediante auto bombas o bombas estacionarias que deben cumplir con las condiciones de la obra, suministrando suficiente presión para llevar el concreto de la planta al punto de vaciado. Adicionalmente, se deben cumplir las directrices vistas en el numeral **4.3.5.1.**





**Figura 19.** *Tobera en formaleta para la ejecución de vaciado flujo inverso (Elaboración propia).*

La ubicación y cantidad de toberas de la edificación en el encofrado deben definirse teniendo en cuenta diferentes aspectos, en primer lugar, se debe tener en cuenta el diseño arquitectónico y la facilidad de llevar la tubería hasta la tobera sin el uso excesivo de accesorios que perjudiquen la velocidad del vaciado y las propiedades del CAC al momento de llegar al elemento estructural.



**Figura 20.** *Instalación de manguera en tobera para la realización de vaciado flujo inverso (Elaboración propia).*

En segundo lugar, las toberas deben estar distribuidas a lo largo del encofrado de manera que el flujo del CAC sea óptimo y se realice el menor número de cambio de toberas a lo largo del

vaciado, para evitar retrasos en el tiempo de colocación que puedan afectar las propiedades del concreto. Esto se logra teniendo conocimiento del área aferente que puede abarcar cada tobera en el vaciado teniendo en cuenta el asentamiento que se tenga al momento del vertido de concreto, priorizando siempre el asentamiento óptimo en todo el proceso con el ensayo de flujo.

Adicionalmente, se deben cumplir las directrices especificadas en el numeral **4.4.** de este documento, asegurando el buen funcionamiento del sistema de tuberías y bombeado de la metodología flujo inverso.



***Figura 21.** Llegada de tubería principal al punto de vaciado por método flujo inverso (Elaboración propia).*

## **6.12. Toma de muestras ensayo de compresión**

Durante la ejecución del vaciado estructural mediante flujo inverso, es necesario tomar muestras para la elaboración de cilindros de concreto con el objetivo de seguir la resistencia a la compresión de la infraestructura, como se detalla en el numeral **4.3.2.3.**



**Figura 22.** Verificación de medida en cilindro de concreto de la obra Villa Gabriela (Elaboración propia).

La cantidad de muestras deben ser suficientes para monitorear los resultados e incrementos en la resistencia del concreto hasta alcanzar el valor de  $f'c$  teórico. Este periodo puede variar considerando el tipo de concreto autocompactante utilizado y la presencia de puzolana.

En cada vaciado, se toman dos muestras para realizar el proceso de curado en la estructura, siguiendo los pasos descritos en el numeral 4.3.3. y cumpliendo con las condiciones necesarias para utilizar los datos en los propósitos mencionados en dicho numeral. Según lo mencionado, se sugiere en la **tabla 4** la cantidad de muestras y sus días de ensayo:

**Tabla 4.** Tiempo de ensayo para muestras de concreto autocompactante (Elaboración propia).

Tiempo de ensayo para muestras de concreto autocompactante	
Tipo	
CAC	CAC con puzolana
2 cilindros a 3 días	2 cilindros a 3 días
2 cilindros a 7 días	2 cilindros a 7 días
2 cilindros a 14 días	2 cilindros a 14 días
2 cilindros a 28 días	2 cilindros a 28 días
2 cilindros a 56 días	2 cilindros a 56 días
2 cilindros a 90 días	2 cilindros a 90 días
2 cilindros a 28 días (in situ)	2 cilindros a 120 días
	2 cilindros a 56 días (in situ)

Una ejemplificación de los posibles resultados obtenidos siguiendo los pasos de la **tabla 4** se muestra en la **tabla 5**, mostrando el resultado de cilindros de concreto autocompactante con contenido de puzolana de nomenclatura TX3 a diferentes edades como se detalla en el numeral **4.3.2.3**. Diseñados para una resistencia  $f'c$  de 21 Mpa a los 56 días en la obra Villa Gabriela, adicionalmente se muestra los resultados de los cilindros curados en la estructura con nomenclatura Z con prueba a 28 días de edad.

***Tabla 5: Resultados de cilindros de concreto autocompactante con puzolana de la obra villa Gabriela (Elaboración propia).***

Mezcla	$f'c$ (Mpa)	Probeta	Fecha de prueba	Edad ensayo	Resistencia (Mpa)	%Dif. $f'c$	Resist. prom (Mpa)	% $f'c$
TX3	21	3212	8-jul-23	3	14,1			
TX3	21	3213	8-jul-23	3	13,8	1,4%	13,95	66,4%
TX3	21	3214	12-jul-23	7	18,8			
TX3	21	3215	12-jul-23	7	18,9	0,5%	18,85	89,8%
TX3	21	3216	2-ago-23	28	25,6			
TX3	21	3217	2-ago-23	28	27,7	10,0%	26,65	126,9%
TX3	21	3218	30-ago-23	56	31,6			
TX3	21	3219	30-ago-23	56	31,6	0,0%	31,6	150,5%
TX3	21	3220	3-oct-23	90	33,5			
TX3	21	3221	3-oct-23	90	33,4	0,5%	33,45	159,3%
TX3	21	3222	2-nov-23	120	35,2			
TX3	21	3223	2-nov-23	120	30,2	23,8%	32,7	155,7%
Z	21	3224	2-ago-23	28	19,7			
Z	21	3225	2-ago-23	28	18,8	4,3%	19,25	91,7%

El curado de los cilindros debe realizarse de manera apropiada, adaptando un área de la obra para ejecutar el proceso descrito en el numeral **4.3.4**. hasta el momento del ensayo. A continuación, se da una ejemplificación del proceso:



*Figura 23. Almacenamiento de cilindros de concreto en obra Villa Gabriela (Elaboración propia).*

### **6.13. Vaciado flujo inverso**

#### **6.13.1. Proceso de bombeado**

En el proceso de bombeo del concreto hasta la zona de vaciado se siguen las recomendaciones establecidas en el numeral **4.3.5.1.1.** además, para el bombeo de concreto autocompactante, es imprescindible cumplir con las directrices adicionales descritas en el numeral **4.4.**

Durante el vaciado del CAC, se evita en lo posible las interrupciones del suministro. Esto conserva las propiedades del concreto y mantiene su fluidez, evitando afectaciones en el rendimiento del vaciado. Por tal motivo, los cambios de tobera se ejecutan en el menor tiempo posible.

#### **6.13.2. Verificación de flujo del CAC**

En cada vaciado, se realizan ensayos de flujo. Incluyendo la toma de muestra tanto en el lugar donde se realiza el bombeo hasta el elemento estructural, como directamente en la ubicación del elemento estructural, verificando el cumplimiento de las propiedades de escurrimiento del CAC

en ambos lugares. En caso de un error se ejecutan las correcciones pertinentes y se procede con un vaciado por el método flujo inverso de manera eficiente.

### 6.13.3. Correcciones de flujo en el CAC

En obra, se ha evidenciado que las variaciones de temperatura climática local pueden afectar directamente en la fluidez del CAC. la solución consiste en ajustar la cantidad de los aditivos, disminuyendo o aumento según la temperatura climática específica. Teniendo en cuenta, que la cantidad de ajuste de los aditivos debe ser suministrada directamente por el diseñador del CAC.



*Figura 24. Flujo del concreto autocompactante en vaciado flujo inverso (Elaboración propia).*

### 6.14. Curado del concreto

Después del vaciado del concreto CAC en la infraestructura, se realiza el proceso de curado, según lo establecido en el numeral 4.7.1. El curado tiene diversas metodologías según el sistema estructural empleado en las diferentes obras de construcción, para el sistema de muros estructurales utilizado en la obra villa Gabriela, se emplea una aplicación periódica que garantizar una humedad constante en el concreto. Adicionalmente, en caso de que los ensayos de compresión del elemento estructural presenten alguna alteración en la resistencia esperada en cada periodo de ensayo según

el diseño del concreto, se deberá emplear un periodo adicional de curado intensivo al elemento correspondiente de como mínimo a 1 semana, como se indica en el numeral 4.7.



***Figura 25: Curado de la infraestructura post vaciado de concreto (Elaboración propia).***

### **6.15. Apuntalamiento de la estructura**

Se emplean puntales y cerchas metálicas para disminuir la luz entre los elementos estructurales y los momentos que soportan antes de adquirir su resistencia final, hasta que los resultados de los ensayos de compresión indiquen que se ha alcanzado la resistencia necesaria para proceder con el desencofrado completo de la estructura. El momento para retirar el apuntalamiento se determina cuando los ensayos de compresión reflejen que se ha superado la resistencia establecida por el ingeniero estructural o en su defecto, según el periodo de tiempo que él determine.

### 6.16. Revisión de elementos estructurales

Después del vaciado por el método flujo inverso en la estructura se toman medidas de horizontalidad, verticalidad, escuadría para verificar la calidad del vaciado y la estructura, para mejorar en los vaciados posteriores e identificar la razón de las desviaciones. Las directrices para realizar estas mediciones se encuentran en el numeral 4.11. del presente documento.



**Figura 26.** Revisión de tolerancia en elementos estructurales, obra Villa Gabriela (*Elaboración propia*).

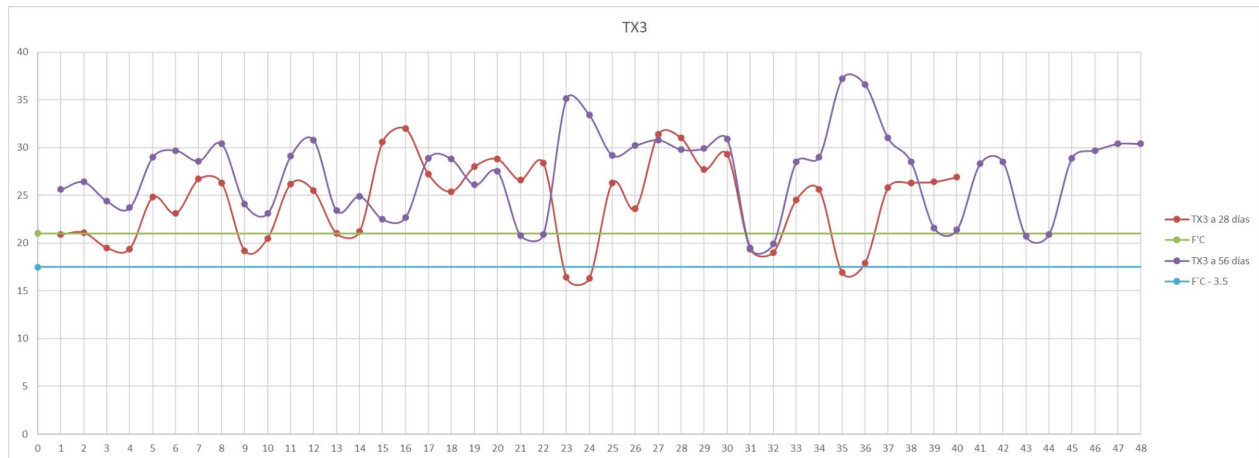
### 6.17. Revisión del concreto

Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión pasan por un análisis estadístico para verificar la calidad de los vaciados. La variación es la desviación estándar de todos los resultados en el mismo periodo de tiempo, una variación significativa en los resultados indica una calidad subóptima, incrementando la de un error en el concreto y, por consiguiente, en la estructura. La finalidad del análisis estadístico del concreto y sus componentes es encontrar las causas de variaciones y siempre mantenerlas al mínimo.

Además, este análisis es útil para seguir la trazabilidad de todos los elementos estructurales vaciados por el método flujo inverso. A continuación, se muestra un ejemplo de dicho análisis



comparando los cilindros de concretos de los elementos estructurales dependiendo de su periodo posterior al vaciado y el cumplimiento los criterios de aprobación de la normativa vigente, detallados en el numeral 4.3.4:



**Figura 27.** Análisis estadístico del concreto autocompactante con puzolana a 7, 28 y 56 días. (Elaboración propia).

## **8 Conclusiones**

El resultado del concreto autocompactante y la utilización de la metodología de vaciado flujo inverso dependen principalmente del conocimiento del proceso de elaboración del concreto hasta su vaciado. En la figura 27, se puede observar un correcto funcionamiento del concreto autocompactante con puzolana en la obra Villa Gabriela, lo cual se atribuye al cuidado en el proceso de sus componentes. Se nota una dispersión en la resistencia de las muestras más significativa a los 28 días. Sin embargo, en los ensayos con cilindros a los 56 días la dispersión en la resistencia del concreto disminuye y todas las muestras superan el criterio de aceptación  $f_c$  en resistencia a compresión. Este comportamiento es esperado en un concreto puzolánico. No obstante, las lecturas de resistencia elevadas indican un sobredimensionamiento en la dosificación que, al corregirse por parte de los ingenieros responsables podría generar una disminución en los costos de producción del CAC en obra.

Las ventajas de la utilización de aditivos superplastificantes y retardantes son notables a la hora de evidenciar una disminución en la segregación del concreto y a la vez proporcionando un mejor acabado en la estructura sin reducir la resistencia de los elementos estructurales. Sin embargo, al tener un nivel de fluencia elevado se presenta con mayor frecuencia lechadas de agua cemento en la estructura, que debe de ser corregidas en el mismo proceso mediante un lavado o posteriormente en el detallado, generando una actividad extra en la ejecución de la edificación y a su vez aumentando el personal necesitado para completar la actividad.

El problema comúnmente encontrado en la ejecución del sistema de flujo inverso es la pérdida de trabajabilidad en el CAC, ocasionada por los periodos prolongados en la tubería durante el proceso de bombeo. Esto se debe principalmente a los tiempos muertos requeridos para realizar cambios de tobera entre muros, esta pérdida de flujo en el concreto resulta en una interrupción del llenado natural de todos los elementos estructurales asignados a la tobera por el sistema de flujo inverso. Como consecuencia, se requiere la asistencia de mano de obra para ayudar a verter todos los elementos, lo que aumenta la cantidad de personal necesaria en la metodología de vaciado por flujo inverso y reduce la automatización del proceso. Evidenciando la necesidad de mejorar la técnica de conexión entre la tubería de bombeo y las toberas en la estructura. Una mejora en esta

técnica reduciría el tiempo de espera entre cambios de tobera y disminuiría la cantidad de personal requerido para llevar a cabo la actividad de vaciado del CAC en la estructura.

La correcta selección y mantenimiento de la bomba de concreto debe asegurar un flujo continuo del concreto autocompactante hacia los elementos estructurales. Una selección inadecuada o un rendimiento deficiente resulta en obstrucciones en la tubería, comprometiendo el proceso de vaciado por flujo inverso y dañando los equipos, como las propias tuberías de concreto. Estos contratiempos no solo generan pérdidas en la eficiencia del proceso constructivo, sino que también ocasionan retrasos en el cronograma de la obra.

Otro aspecto crítico es el mantenimiento de todos los componentes de la formaleta como puntales, alineadores, corbatas, tableros, chapetas y toberas. En muchas ocasiones este mantenimiento se descuida durante periodos prolongados en la obra lo que afecta negativamente en la calidad final de la edificación. Siendo contraproducente en un proceso constructivo donde la calidad es de suma importancia. Por ende, es necesario incorporar períodos de mantenimiento del equipo en el cronograma de ejecución de la obra, garantizando así la obtención de un producto final de alta calidad.

El método flujo inverso, al ser novedoso, requiere atención especial en la mano de obra para garantizar su efectividad y seguridad. Es fundamental que el personal tenga una formación sobre el proceso y la importancia de todos sus pasos. Igualmente, se debe tener conocimiento sobre el manejo de los equipos asociados al sistema de vaciado de concreto por flujo inverso, como bombas, sistema de tuberías, accesorios, formaletas, entre otros, siempre siguiendo las directrices de seguridad en el trabajo para el proceso que ejecuten. Debido a su importancia, ante cualquier cambio en el proceso de vaciado por flujo inverso, el personal debe recibir actualizaciones continuas en su formación sobre el proceso.

## Referencias

- ASTM international. (2017). *ASTM C 618-01: Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. <https://doi.org/10.1520/C0618-00>
- BIBM. (2005). *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use*. [www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)
- Botero Botero, L. F., Vásquez Hernández, A., Orozco Arboleda, A. F., & Acevedo Taborda, A. I. (2017). *Manual de tolerancias para la construcción de edificaciones en Colombia*.
- Burón Maestro, M., Fernández Gómez, J., & Garrido Romero, L. (2006). *Hormigón autocompactante. Criterios para su utilización*. 887, 52–64.
- Cruz Pérez, E. E. (2018). *Caracterización físico química de la puzolana de la localidad de Tacna para determinar su poder cementante* [Tesis de grado]. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.
- Dopico, J. J., Hernandez, F. M., Day, R. L., Middendorf, B., Gehrke, M., & Martinez, L. (2008). Desarrollo de hormigones con aglomerante cal-puzolana fina como material cementicio suplementario. *Revista Ingeniería de Construcción*, 23(3), 171–178. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732008000300005>
- Feys, D. (2009). *Interactions between Rheological Properties and Pumping of Self Compacting Concrete* [Doctoral dissertation]. Ghent University.
- Icontec. (1982). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 121*.
- Icontec. (1993). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 3493*.
- Icontec. (1995a). *NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 92*.
- Icontec. (1995b). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 78*.
- Icontec. (1995c). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 176*.
- Icontec. (1995d). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 237*.
- Icontec. (2000). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 127*.
- Icontec. (2007). *NORMA TÉCNICA NTC COLOMBIANA 77*.
- León Puentes, J. A. (2022). *Efecto de la implementación de aditivos en la resistencia de concreto de alto desempeño* [Tesis]. Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia.

- Molina Benítez, A. L. (2021). Efecto de aditivos superfluidificantes en la resistencia en mezclas de concreto de alto desempeño. [Trabajo de grado]. In *Trabajo de grado UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA*. Universidad Pedagógica y Tecnológica De Colombia.
- Rabanal Gonzales, D. C., & Su Chaquí, A. R. (2017). *Diseño de un concreto autocompactante* [Tesis]. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil.
- Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. (2010).
- Riquelme, B. de la P. (2000). *Propiedades y uso del hormigón autocompactante*.
- Ruiz Castaño, J., & Cuartas Ospina, J. L. (2015). *Control de colocación de concreto en obra* [Tesis]. Universidad de medellín.
- Salamanca Correa, R. (2001). *Aplicación del cemento portland y los cementos adicionados* (Vol. 10). <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.1367>
- Villarino Otero, A. (2011). *Ciencia y tecnología de los materiales*. <https://es.slideshare.net/abelgabrieltrucios/ciencia-y-tecnologa-de-los-materiales-ing-alberto-villarin>

**Anexos**

Los **anexos 1, 2 y 3** muestran una parte de los resultados de agregados del concreto autocompactante de los ensayos mencionados en la **tabla 2** del presente documento en la obra Villa Gabriela.

ARENA PARA CONCRETO (NTC 237, 127, 78, 92, 77)								
FECHA	MUESTRA	PROCEDENCIA	% DE LODOS			MODULO FINURA		
			Min	Max	Resultado	Min	Max	Resultado
9-ago-23	35	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	4,20%		3,10	2,97
14-ago-23	36	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	4,60%		3,10	2,94
22-ago-23	37	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	4,20%		3,10	2,93
28-ago-23	38	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	5,00%		3,10	2,85
4-sep-23	39	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	4,60%		3,10	2,85
13-sep-23	40	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	4,80%		3,10	2,88
26-sep-23	41	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	3,00%		3,10	2,95
4-oct-23	42	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	2,20%		3,10	2,83
6-oct-23	43	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	2,80%		3,10	2,83
18-oct-23	44	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	3,20%		3,10	2,96
20-oct-23	45	Industriales de Colombia S.A.S		3,0	4,40%		3,10	2,84
27-oct-23	46	Industriales de Colombia S.A.S		3,00%	3,00%		3,10	2,70

*Anexo 1: Resultado de ensayos de laboratorio de arena de concreto en la obra Villa Gabriela (Elaboración Propia).*

GRAVA 3/8" (NTC 176, 78, 92, 77) NTC 174								
FECHA	MUESTRA	PROCEDENCIA	PORCENTAJE LODOS			MODULO GRANULOMETRICO		
			Min	Max	Resultado	Min	Max	Resultado
27-mar-23	14	Concreto			1,00%	0,50%		1,04
4-abr-23	15	Concreto			1,00%	0,25%		1,3
14-abr-23	16	Concreto			1,00%	0,45%		1,15
3-may-23	18	Concreto			1,00%	0,95%		0,99
8-may-23	19	Concreto			1,00%	0,80%		1,25
16-may-23	20	Concreto			1,00%	0,60%		1,38
24-may-23	21	Concreto			1,00%	0,95%		1,04
30-may-23	22	Concreto			1,00%	0,20%		1,53
5-jun-23	23	Concreto			1,00%	0,60%		1,17
15-jun-23	24	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,60%		1,19
21-jun-23	25	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,65%		1,11
5-jul-23	26	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,75%		1,13
11-jul-23	27	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,60%		1,17
18-jul-23	28	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,70%		1,15
31-jul-23	29	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,65%		1,22
9-ago-23	30	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	1,05%		0,90
14-ago-23	31	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,70%		1,11
22-ago-23	32	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,70%		1,04
28-ago-23	33	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,85%		0,83
4-sep-23	34	Industriales de Colombia S.A.S			1,00%	0,80%		0,95

*Anexo 2: Resultado de ensayos de laboratorio de grava en la obra Villa Gabriela (Elaboración Propia).*

CEMENTO A GRANEL (NTC 121)											
FECHA	MUESTRA	PROCEDENCIA	DENSIDAD	FINURA	FRAGUADO (h)		FLUIDEZ	RESISTENCIA (MPa)			
			g/cm <sup>3</sup>	m2/kg	INICIAL	FINAL		%	1	3	7
22-mar-23	16	ARGOS	3,19	524,0	1:36	2:39					
4-abr-23	18	ARGOS	3,08	495,0	1:36	2:20					
23-abr-23	20	ARGOS	3,03	489,0	2:11	3:15					
2-may-23	21	ARGOS	3,05	488,0	1:27	2:10		19,7	29,6	32,1	32,6
8-may-23	22	ARGOS	3,05	479,0	1:27	2:10					
15-may-23	23	ARGOS	3,06	473,0	1:30	2:10					
31-may-23	25	ARGOS	3,02	431,0	1:28	2:10					
7-jun-23	26	ARGOS	3,05	526,0	1:15	1:40					
14-jun-23	27	ARGOS	2,93	487,0	1:48	2:20					
12-jul-23	30	ARGOS	3,03	438,0	1:19	2:00					
18-jul-23	31	ARGOS	3,02	425,0	1:17	1:50					
31-jul-23	32	ARGOS	3,07	394,0	1:19	2:00					
10-ago-23	33	ARGOS	3,04	387,0	1:32	1:50					
15-ago-23	34	ARGOS	3,09	456,0	1:17	1:50					
28-ago-23	36	ARGOS	3,06	446,0	1:17	2:00					
5-sep-23	37	ARGOS	3,01	405,0	1:24	2:00		24,2	28,7	34	36,6
14-sep-23	38	ARGOS	3,02	398,0	1:24	2:30					
25-sep-23	39	ARGOS	3,00	339,0	1:15	2:00					
29-sep-23	40	ARGOS	3,05	427,0	0:58	1:50					
9-oct-23	41	ARGOS	3,01	428,0	1:27	2:00		17,6	24,9	30,5	37,4
13-oct-23	42	ARGOS	3,01	450,0	1:13	3:00					
20-oct-23	43	ARGOS	3,05	506,0	1:19	2:00					
27-oct-23	44	ARGOS	2,92	417,0	1:20	2:00					

*Anexo 3: Resultado de ensayos de laboratorio de cemento a granel en la obra Villa Gabriela (Elaboración Propia).*

El **anexo 4** presenta una parte los resultados de ensayos de compresión en cilindros de concreto de la obra Villa Gabriela siguiendo lo estipulado en el numeral **4.3.2.3.** y utilizados en la **tabla 5**

c	MEZCLA	f'c (Mpa)	evaluación f'c C.5.6.3.3.b)	MUESTRA	PROBETA	Fecha de envío	FECHA DE ENTREGA	EDAD ENSAJO	RESISTENCIA (MPa)	TIPO DE FALLA	%Def f'c PROM	RESIST. PROM (MPa)	%f'c RESULTADO	ANÁLISIS RESULTADO (C.5.6.3.3)	SUMP (cm)	Hora	PLANTIA	LOCALIZACIÓN	ELEMENTO	OBSERVACIONES
19/07/2023	TX4	21	385	3394		5-oct-23	15-oct-23	28	27.9	D	13.5%	29.3	139.2%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	TX4	21	385	3397		5-oct-23	15-oct-23	28	30.7	D	13.5%	29.3	139.2%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	TX4	21	385	3398		6-nov-23	13-nov-23	54	28.4	D	10.5%	29.5	140.3%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	TX4	21	385	3399		6-nov-23	13-nov-23	54	30.6	D	6.5%	30.95	147.4%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	TX4	21	385	3400		11-dic-23	17-dic-23	90	31.5	D	6.5%	30.95	147.4%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	TX4	21	385	3401		11-dic-23	17-dic-23	90	30.3	D	6.5%	30.95	147.4%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	TX4	21	385	3402		15-nov-23	15-nov-23	120	33.5	E	5.7%	33.1	157.4%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	TX4	21	385	3403		15-nov-23	15-nov-23	120	33.5	E	5.7%	33.1	157.4%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	Z	21	385	3404		5-oct-23	15-oct-23	28	30.1	E	3.8%	30.45	145.0%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
19/07/2023	Z	21	385	3405		5-oct-23	15-oct-23	28	30.8	E	3.8%	30.45	145.0%		70	11:00	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0119+0120 -TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX28	28	386	3406		24-nov-23	24-nov-23	5	27.2	E	7.1%	28.2	100.7%				DOMANI ENSAYO TOXEMENT	ENSAYO		
21/07/2023	TX28	28	386	3407		24-nov-23	24-nov-23	5	29.2	D	7.1%	28.2	100.7%				DOMANI ENSAYO TOXEMENT	ENSAYO		
21/07/2023	TX28	28	386	3408		24-nov-23	24-nov-23	7	29.4	E	3.8%	29.9	104.6%				DOMANI ENSAYO TOXEMENT	ENSAYO		
21/07/2023	TX28	28	386	3409		24-nov-23	24-nov-23	7	29.4	E	3.8%	29.9	104.6%				DOMANI ENSAYO TOXEMENT	ENSAYO		
21/07/2023	TX28	28	386	3410		11-oct-23	18-oct-23	28	39.9	D	3.9%	39.35	140.2%				DOMANI ENSAYO TOXEMENT	ENSAYO		
21/07/2023	TX28	28	386	3411		11-oct-23	18-oct-23	28	38.8	D	3.9%	39.35	140.2%				DOMANI ENSAYO TOXEMENT	ENSAYO		
21/07/2023	Fl.	21	387	3412		24-nov-23	24-nov-23	7	20.7	D	11.4%	19.5	92.9%		15	3:30	DOMANI VACIADO ESCALERAS -TORRE C	ESCALERAS	TORRE C	
21/07/2023	Fl.	21	387	3413		24-nov-23	24-nov-23	7	18.3	E	11.4%	19.5	92.9%		15	3:30	DOMANI VACIADO ESCALERAS -TORRE C	ESCALERAS	TORRE C	
21/07/2023	Fl.	21	387	3414		11-oct-23	18-oct-23	28	27.6	E	6.7%	28.3	134.6%		15	3:30	DOMANI VACIADO ESCALERAS -TORRE C	ESCALERAS	TORRE C	
21/07/2023	Fl.	21	387	3415		6-nov-23	15-nov-23	54	28.8	E	1.0%	28.7	136.7%		15	3:30	DOMANI VACIADO ESCALERAS -TORRE C	ESCALERAS	TORRE C	
21/07/2023	Fl.	21	387	3416		6-nov-23	15-nov-23	54	28.6	F	1.0%	28.7	136.7%		15	3:30	DOMANI VACIADO ESCALERAS -TORRE C	ESCALERAS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3417		24-nov-23	24-nov-23	5	37.3	D	11.9%	34.05	171.7%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3418		24-nov-23	24-nov-23	5	34.8	D	4.3%	34.05	142.1%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3419		24-nov-23	24-nov-23	7	33.6	D	4.3%	34.05	142.1%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3420		24-nov-23	24-nov-23	7	34.5	D	4.3%	34.05	142.1%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3421		24-nov-23	24-nov-23	7	34.5	D	4.3%	34.05	142.1%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3422		11-oct-23	18-oct-23	28	44.7	C	2.4%	44.45	211.7%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3423		11-oct-23	18-oct-23	28	44.2	C	2.4%	44.45	211.7%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3424		6-nov-23	15-nov-23	54	43.6	C	13.6%	42.15	200.7%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3425		6-nov-23	15-nov-23	54	43.6	C	13.6%	42.15	200.7%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3426		18-oct-23	19-oct-23	90	44.1	E	5.7%	43.5	216.7%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3427		18-oct-23	19-oct-23	90	44.9	E	5.7%	43.5	216.7%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	TX4	21	388	3428		15-nov-23	18-nov-23	120	45.1	D	3.8%	45.5	216.7%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	Z	21	388	3429		11-oct-23	18-oct-23	28	38.6	D	18.6%	40.55	193.1%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	Z	21	388	3430		11-oct-23	18-oct-23	28	38.6	D	18.6%	40.55	193.1%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	
21/07/2023	Z	21	388	3431		11-oct-23	18-oct-23	28	42.5	D	18.6%	40.55	193.1%		70	4:30	DOMANI VACIADO APARTAMENTOS 0121+0122 TORRE C	APARTAMENTOS	TORRE C	

Anexo 4: Resultado de ensayos de compresión de concreto en la obra Villa Gabriela (Elaboración Propia).