



**Control de calidad para la supervisión efectiva del proceso de aplicación de concreto en obras monolíticas: estudio de caso en la obra Allegro, de Copacabana-Antioquia.**

Melissa Barrientos Arenas

Informe final de práctica para optar por el título de Ingeniera Civil

Semestre de Industria

Asesor Interno – Edwin Fabián García Aristizábal, Doctor en Ingeniería.  
Asesor Externo – Jhony Alexander Rojas Lopera, Arquitecto Constructor.

Universidad de Antioquia  
Escuela Ambiental Facultad de Ingeniería  
Ingeniería Civil  
Medellín  
2024

---

Cita

(M. Barrientos-Arenas, 2024)

---

**Referencia**

**Estilo APA 7 (2020)**

(M. Barrientos-Arenas, 2024). *Control de calidad para la supervisión efectiva del proceso de aplicación de concreto en obras monolíticas: estudio de caso en la obra Allegro, de Copacabana-Antioquia*. [Informe de grado]. Universidad de Antioquia, Seleccione ciudad UdeA (Medellín).



**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**

Dedicado con especial cariño y amor a mi familia, por su amor incondicional y el constante apoyo durante todos estos años.

## **Agradecimientos**

Expreso mis profundos agradecimientos a mis maestros de pregrado que alimentaron mis conocimientos con sus enseñanzas, a mi asesor Edwin García por su acompañamiento y orientación, a la Universidad de Antioquia por brindarme además de tantos conocimientos, una cantidad de oportunidades que hicieron de mí una mejor persona y estudiante. Agradezco a mis compañeros y amigos que estuvieron animándome. Agradezco en especial a mi familia por haberme motivado a sacar lo mejor de mí durante toda la carrera y durante este proyecto y a Centro Sur S.A.S, quien me abrió las puertas en su empresa durante esta importante etapa de aprendizaje.

## Tabla de contenido

Resumen	9
Abstract	10
1 Introducción	11
2 Planteamiento del problema	12
2.1 Antecedentes	13
3 Justificación	15
3.1 Importancia de la durabilidad y seguridad estructural	15
3.2 Impacto económico	15
3.3 Contribución a la Ingeniería Civil	15
3.4 Eficiencia de los recursos y sostenibilidad	16
3.5 Capacitación y desarrollo del personal	16
3.6 Cumplimiento de normativas	16
4 Objetivos	17
4.1 Objetivo general	17
4.2 Objetivos específicos	17
5 Marco teórico	18
6 Metodología	21
6.1 Enfoque cualitativo:	21
6.2 Enfoque cuantitativo:	21
7 Control de calidad	21
7.1 Cilindros de concreto.	21
7.2 Lugar	22
7.3 Probetas	22

7.4 Ensayo de asentamiento..	22
7.5 Realización	23
7.6 Curado	23
7.7 Aditivos.	24
7.8 Corrección de humedad.	24
7.9 Ensayo de compresión	25
7.10 Problema en obra	25
7.11 Manejo de los agregados	26
7.12 Diseño de mezcla	26
8 Resultados y análisis	29
9 Discusión	35
10 Conclusiones	37
Referencias	39

### **Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> Resultados de 30 ensayos de compresión en muestras de 3000 PSI (210 kgf/cm <sup>2</sup> ) antes de las medidas correctivas y Resumen estadístico	30
<b>Tabla 2</b> Resultados de 27 ensayos de compresión en muestras de 5000 PSI (315 kgf/cm <sup>2</sup> ) antes de las medidas correctivas.	32
<b>Tabla 3</b> Resultados de 30 ensayos de compresión en muestras de 3000 PSI (210 kgf/cm <sup>2</sup> ) después de las medidas correctivas y Resumen estadístico.	
<b>Tabla 4</b> Resultados de 29 ensayos de compresión en muestras de 4500 PSI (315 kgf/cm <sup>2</sup> ) antes de las medidas correctivas y Resumen estadístico.	34

## Lista de figuras

<b>Ilustración 1</b> Identificación de problemas con el almacenamiento del agregado en obra: vegetación.	14
<b>Ilustración 2</b> Identificación de problemas con el almacenamiento del agregado en obra: lodos.	14
<b>Ilustración 3</b> Elección del lote para toma de muestra.	28
<b>Ilustración 4</b> Supervisión del manejo de los agregados en obra.	28
<b>Ilustración 5</b> Supervisión en la marcación de cilindros.	29

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>ACI</b>	American Concrete Institute.
<b>ASTM.</b>	American Society for Testing and Materials
<b>CUC</b>	Universidad de la Costa
<b>NSR 10.</b>	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente
<b>NTC</b>	Norma Técnica Colombiana
<b>PSI</b>	Pound-force per Square Inch
<b>MPa.</b>	Megapascales
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia



## Resumen

Se presenta con este trabajo un control de calidad para supervisar el proceso de aplicación de concreto en Obras Monolíticas, con el objetivo de optimizar la calidad del concreto en obra y garantizar su resistencia estructural estableciendo las directrices y procedimientos específicos para el control de calidad del concreto durante todas las etapas del proceso constructivo. Se identificaron y analizaron factores clave que afectan la calidad y resistencia del concreto, tales como la selección de materiales, almacenamiento, dosificación, mezclado, manipulación del concreto fresco, toma de muestras, marcación y transporte.

Además, se desarrollaron recomendaciones prácticas y medidas correctivas basadas en la experiencia adquirida durante la práctica. Los ensayos de resistencia a compresión a edades de 3, 7 y 28 días mostraron variaciones que permitieron identificar los problemas asociados a los factores mencionados y se implementaron mejoras significativas, que van desde la adecuación de herramientas, capacitación del personal, control de los agregados y el uso de polisombra para evitar contaminación, entre otros.

Los resultados demostraron que las acciones correctivas incrementaron la resistencia del concreto, superando el 100% de la resistencia esperada a 28 días, garantizando así la calidad del concreto en el proyecto.

*Palabras clave: informe de práctica académica, construcción de obras monolíticas, concreto, calidad, resistencia, gestión de laboratorio de concreto, prueba de slump, trabajabilidad, agregados, fraguado.*

### **Abstract**

This work presents a comprehensive quality control plan for supervising the concreting process in monolithic structures, aiming to optimize the quality of concrete on-site and ensure its structural strength by establishing specific guidelines and procedures for concrete quality control throughout all stages of the construction process. Key factors affecting the quality and strength of concrete, such as material selection, storage, dosage, mixing, handling of fresh concrete, sampling, marking, and transportation, were identified and analyzed.

Practical recommendations and corrective measures were developed based on the experience gained during the internship. Compression strength tests at ages 3, 7, and 28 days showed variations that allowed for identifying problems associated with the mentioned factors, leading to significant improvements, including the adequacy of tools, personnel training, aggregate control, and the use of shade nets to prevent contamination.

The results demonstrated that the corrective actions increased the concrete strength, exceeding 100% of the expected strength at 28 days, thereby ensuring the quality of the concrete in the project.

*Keywords: Academic practice report, monolithic construction, concrete, quality, resistance, concrete laboratory management, slump test, workability, aggregates, curing.*

## **1 Introducción**

El objetivo de este documento es proporcionar una guía integral para supervisar y asegurar la calidad del concreto en obras monolíticas, tomando como referencia la experiencia adquirida en la obra Allegro en Copacabana, llevada a cabo por la constructora Centro Sur. Está diseñado para ser una herramienta práctica y accesible para ingenieros, supervisores, técnicos y demás personal involucrado en el proceso de construcción.

Se mencionan normas y procedimientos detallados para el control de calidad del concreto en todas las fases del proceso constructivo, de manera que se pueda identificar los factores clave que pueden influir en la calidad y resistencia del concreto, ofrecer recomendaciones y acciones correctivas para solucionar los problemas detectados, además de proporcionar una guía útil para el personal técnico y de supervisión en la gestión del concreto en obra con el fin de optimizar el proceso constructivo.

Se realizó una revisión bibliográfica para tener los conceptos y normas que rigen cada procedimiento; se recolectaron datos en campo y de laboratorio; además, se realizó un análisis estadístico para complementar el estudio. Los resultados obtenidos incluyen la identificación de los principales factores que influyen en la calidad y resistencia del concreto, la cuantificación del impacto de dichos factores, la evaluación de las técnicas de control de calidad empleadas y el desarrollo de recomendaciones prácticas para mejorar el proceso del vaciado de concreto en obras monolíticas.

## 2 Planteamiento del problema

En la obra Allegro en Copacabana ejecutada por la constructora Centro Sur se ha identificado un problema recurrente con la resistencia del concreto, evidenciado en bajas resistencias a 28 días. Esto impacta negativamente en la durabilidad y seguridad estructural del proyecto. La obra utiliza un proceso industrializado con encofrados reutilizables, lo cual requiere concretos de alta resistencia inicial para permitir el desencofrado rápido y la reutilización inmediata de las estructuras.

Las bajas resistencias sugieren varias hipótesis, siendo relacionadas a la forma de toma de muestra, limpieza de equipos y el material en obra, en primera instancia. Haciendo un seguimiento de estos factores, se asocian a estos resultados detalles específicos tales como:

- Agregados: Los agregados se encontraban a exposición de factores ambientales tales como vegetación y lluvias. En la **Ilustración 1** se puede observar la presencia de hojas y frutos sobre el triturado y en la **Ilustración 2** se puede observar la presencia de lodos en la parte baja del agregado, lo que puede ser arrastrado con el minicargador. Además, se evidenció que la arena, aunque cumplía de manera general algunas características, no se ajustaba a todas las especificaciones de la norma NTC 174 (2018).
- Mezcladora de Concreto (Domat): Se detectaron problemas como fluctuaciones en la cantidad de agua y en la uniformidad de la mezcla, afectando la calidad final del producto. Esta inconsistencia fue observada en acompañamiento del personal técnico de Cemex.
- Se adicionaba agua durante los vaciados para mejorar la fluidez, pero alterar la relación de agua y cemento del diseño de una mezcla de concreto compromete la resistencia del mismo y su comportamiento antes y después del fraguado.
- La rotación constante del personal afectaba la consistencia en la preparación de las muestras. Se identificó la necesidad de contar con un equipo estable y debidamente capacitado para el muestreo. Además, se presentaban confusiones en el marcado de muestras.

Estas observaciones llevaron a la implementación de medidas correctivas inmediatas, incluyendo una revisión del proceso de muestreo, la realización de pruebas adicionales, la

recalibración de la planta de concreto para garantizar un flujo uniforme y controlado con acompañamiento de profesionales, entre otras medidas mencionadas en el presente informe.

**Ilustración 1** *Identificación de problemas con el almacenamiento del agregado en obra: vegetación.*



*Nota.* Agregado con polisombra mal puesta: presencia de vegetación. Caída de frutos y hojas al agregado. Elaboración propia. (2024)

**Ilustración 2** *Identificación de problemas con el almacenamiento del agregado en obra: lodos.*



*Nota.* Estos materiales contaminan el agregado y perjudican la calidad del concreto. Elaboración propia. (2024)

## 2.1 Antecedentes

En la literatura se ha destacado que el control de calidad comprende actividades como el control de las materias primas, el diseño de la mezcla, el control del concreto en estado fresco y endurecido; además interviene el proceso de la producción de la mezcla, transporte a distancia, vertido y curado. compactación y curado (Vidaud Quintana, 2014)

Patiño y Mendez (s.f.) mencionan que factores como la variación en las propiedades de los materiales y en los métodos de prueba deben ser considerados en el programa de control de calidad de concreto debido al impacto que este tiene sobre la seguridad pública.

Además, la descalibración de los equipos, la ejecución del mezclado y vertido, y la extracción de una muestra representativa son aspectos clave a considerar. Otros factores relevantes son la presencia de contaminantes en los agregados, la segregación del material y las condiciones ambientales y de curado durante el fraguado y endurecimiento. Entre las variaciones más significativas se encuentran los errores en el procedimiento de muestreo, la técnica de fabricación de cilindros, la calidad deficiente de los moldes, y los cambios durante el proceso de curado, como fluctuaciones en la temperatura y la humedad (Patiño & Mendez, s.f.).

Un estudio realizado por M. Orozco et al (2018) de la Universidad de la Costa (CUC) y la Universidad Libre de Barranquilla, Colombia, investigó los factores que tienen un impacto significativo en la calidad del concreto, según la perspectiva de expertos en construcción y materiales. Los resultados de la encuesta revelaron que el factor más relevante para los encuestados fue el entorno ambiental, lo que sugiere gran atención al entorno durante la ejecución de una obra. (Orozco et al., 2018)

También es sabido que la relación agua/cemento (A/C) es fundamental en la calidad del concreto. En el documento titulado "Efecto de la variación agua/cemento en el concreto" de los autores Guevara et al. (2012), se explica que, al añadir más agua a la mezcla, aunque se mejora la trabajabilidad y plasticidad, se reduce la resistencia debido al aumento de espacios creados por el agua libre. Esta relación afecta directamente varias propiedades mecánicas del concreto, tal como su resistencia, la cual depende de la relación por peso entre el agua y el cemento. A medida que se incrementa la cantidad de agua en la mezcla, se observa una disminución en la resistencia (Guevara et al., 2012).

### **3 Justificación**

La importancia de abordar los problemas de baja resistencia del concreto a 28 días en la obra Allegro es múltiple y crítica desde un punto de vista técnico, económico y social.

#### **3.1 Importancia de la durabilidad y seguridad estructural**

La baja resistencia del concreto compromete la integridad estructural del edificio, aumentando el riesgo de fallos estructurales que podrían tener graves consecuencias. Este aspecto es vital en cualquier proyecto de construcción, ya que la seguridad de los futuros ocupantes depende directamente de la calidad del concreto utilizado.

#### **3.2 Impacto económico**

La baja resistencia del concreto puede llevar a una serie de problemas económicos, tales como:

- Costos adicionales asociados a futuras reparaciones o refuerzos estructurales en etapas avanzadas del proyecto.
- Retrasos en el cronograma debido a retrasos en la construcción, lo que puede llevar en el peor de los casos a penalizaciones económicas.
- Responsabilidad legal: Las fallas estructurales debidas a problemas con el concreto pueden resultar en litigios costosos y dañar la reputación de la constructora.

#### **3.3 Contribución a la Ingeniería Civil**

La investigación y solución de los problemas de baja resistencia del concreto en esta obra no solo beneficiará a la construcción como tal, sino que también proporcionará valiosos conocimientos y prácticas que pueden aplicarse en futuros proyectos. La implementación de mejores prácticas basadas en este proyecto establecerá estándares más altos para el manejo del concreto.

#### **3.4 Eficiencia de los recursos y sostenibilidad**

Al mejorar la calidad del concreto se maximiza la eficiencia en el uso de materiales, reduciendo el desperdicio y el impacto ambiental asociado a la producción y transporte de concreto. Un concreto más resistente y duradero contribuye a la sostenibilidad a largo plazo de las

edificaciones, ya que reduce la necesidad de reparaciones frecuentes y prolonga la vida útil de la estructura.

### **3.5 Capacitación y desarrollo del personal**

Un equipo bien entrenado es capaz de identificar y corregir problemas en tiempo real, garantizando la consistencia y calidad del producto final. La formación del personal técnico y de supervisión en las mejores prácticas de manejo de concretos es fundamental para asegurar la implementación adecuada de las medidas correctivas identificadas.

### **3.6 Cumplimiento de normativas**

La investigación y solución de los problemas de resistencias aseguran que el proyecto cumpla con todas las especificaciones técnicas y normativas vigentes, lo que es crucial para la aprobación final y el éxito del proyecto.



## **4 Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Establecer un proceso descriptivo de control de calidad para la supervisión del proceso de producción y aplicación de concreto en obras monolíticas, con el propósito de mejorar la calidad del concreto y asegurar la resistencia estructural en proyectos de construcción como Allegro.

### **4.2 Objetivos específicos**

- Identificar y analizar los principales factores que pueden afectar la calidad y resistencia del concreto en proyectos de construcción monolítica, incluyendo la selección de materiales, almacenamiento, la dosificación, el proceso de mezclado, la manipulación del concreto fresco, toma de muestras, marcación, transporte, entre otros.
- Establecer directrices y procedimientos específicos para el control de calidad del concreto durante todas las etapas de construcción.
- Desarrollar recomendaciones prácticas y medidas correctivas para erradicar los errores mejorando así la calidad del concreto, teniendo en cuenta la experiencia adquirida durante la práctica en la obra Allegro.

## 5 Marco teórico

El concreto es un material compuesto ampliamente utilizado en la construcción, caracterizado por su versatilidad y resistencia. Consiste en una mezcla de cemento, grava, arena, agua y en muchos casos, aditivos, que, al fraguarse, adquiere una consistencia sólida y una alta resistencia a la compresión. Existen diversos tipos de concretos adaptados a diferentes necesidades constructivas como el concreto masivo, pretensado, de altas resistencias, para pisos industriales, pavimentos, entre otros. Entre ellos, el concreto industrializado destaca por su consistencia y velocidad de colocación, lo que lo hace especialmente adecuado para proyectos que requieren altas velocidades constructivas y un desempeño uniforme en la obra (Argos, s.f.).

El sistema de concreto industrializado o monolítico, al ser un sistema que ofrece mayor productividad, implica una reducción en la mano de obra requerida y un elevado desempeño en términos de costos, calidad y durabilidad, ofreciendo flexibilidad ejecutiva y una gran velocidad de ejecución. Una de las particularidades de este sistema es que todas las paredes, tanto interiores como exteriores, son moldeadas en una sola etapa de colocación del concreto. Incluso, permite la colocación simultánea de la cubierta de concreto, ya sea plana o inclinada. Esta tecnología está diseñada para integrar todas las instalaciones dentro de los moldes, lo que significa que, una vez desencofradas, las paredes ya están totalmente terminadas, con todos los elementos embebidos en su interior, como marcos de puertas y ventanas, tuberías para instalación eléctrica y sanitaria, y elementos de fijación para el sistema de cubierta, entre otros. (Sioingeniería, s.f.).

El concreto industrializado requiere de más atención en el plan de calidad de concreto debido a la velocidad con la que se realiza el encofrado y desencofrado de la formaleta. El control de calidad en el ámbito de la construcción es un proceso fundamental para garantizar la integridad estructural y la seguridad de las edificaciones y se define como el conjunto de acciones y decisiones que se toman con el objeto de cumplir las especificaciones de los mismos y comprobar el cumplimiento de los requisitos exigidos, teniendo en cuenta los procedimientos de ensayo y control que deben ajustarse a las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, a las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente (NSR 10) a las recomendaciones del Instituto Americano del Concreto (ACI, por su sigla en inglés) o a las respectivas normas de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM, por su sigla en inglés) (Flórez García,

s.f.). Se centra principalmente en variables como la consistencia, durabilidad y resistencia. La resistencia mecánica se controla mediante ensayos de compresión en probetas curadas en condiciones normalizadas, típicamente a los 28 días de edad. En la tecnología del concreto estructural moderno, la resistencia a la compresión es la propiedad más importante para verificar la calidad del material en la construcción de estructuras. Esto se debe a que el concreto se utiliza en elementos estructurales para resistir esfuerzos de compresión, por lo que es la propiedad de mayor interés y para la que se ha desarrollado una mayor infraestructura de ensayo, aunque esto no significa que el concreto no sea estudiado en otros ámbitos según la aplicación (Vidaud Quintana, 2014).

El enfoque de la calidad del concreto se centra en garantizar su resistencia a la compresión. Sin embargo, también es fundamental considerar otras propiedades como la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia a la abrasión para asegurar su desempeño a largo plazo en diversas condiciones ambientales y de servicio.

En la construcción, los agregados son materiales esenciales que constituyen el 60-75% del volumen total del concreto, proporcionando resistencia, estabilidad y durabilidad. (Cemex, s.f) Se dividen en agregados gruesos, como la grava, con partículas mayores a 4.75 mm, y agregados finos, como la arena, con partículas menores a 4.75 mm y mayores a 0.075 mm. En el proyecto Allegro, se utilizan agregados gruesos de  $\frac{3}{8}$ " para concreto de alta resistencia (5000 PSI, 4500 PSI, 4000 PSI) en los muros, y agregados de  $\frac{3}{4}$ " para concreto de 3000 PSI en losas y escaleras. La granulometría adecuada, cumpliendo con normas como NTC 174 (2018) asegura una mezcla compacta y homogénea, mientras que la limpieza de los agregados, libres de arcilla, limo y materia orgánica, es crucial para la durabilidad. La dureza de los agregados, determinada por su resistencia a la abrasión, y su capacidad de absorción de agua también son factores clave. La forma y textura de los agregados, junto con su densidad y otras propiedades físicas y mecánicas, influyen en la trabajabilidad, adherencia y estabilidad del concreto, garantizando que llene adecuadamente cada espacio entre los muros y sistemas estructurales, incluso bajo las cargas y condiciones ambientales más exigentes.

Según la Norma Técnica Colombiana NTC 5551 (2023), la durabilidad de una estructura de concreto reforzado se define como la capacidad de comportarse satisfactoriamente frente a

acciones físicas o químicas agresivas, o la combinación de ambas, protegiendo adecuadamente las armaduras y demás elementos metálicos embebidos en el concreto durante su vida útil (NTC 5551, 2023). La trabajabilidad se refiere a la facilidad con la que el concreto puede ser mezclado, transportado, colocado y compactado, influenciada por la cantidad de agua, aditivos y la granulometría de los agregados. Además, se debe considerar la uniformidad de la mezcla, la adherencia entre capas y la resistencia a la segregación.

Las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido pueden ser modificables según las necesidades del proyecto. Para lograr esto, se utilizan aditivos que permiten obtener las características deseadas cumpliendo los requisitos de resistencia. La norma NTC 1299 (2008) clasifica los aditivos en tipologías que van desde Tipo A alfabéticamente hasta Tipo H. Estos tienen propiedades plastificantes, retardantes, acelerante o combinadas, entre otras.

Debido al proceso de mezclado, transporte y colocación del concreto, queda aire atrapado en forma de vacíos, los cuales, disminuyen la densidad del concreto haciendo que este sea más permeable, poco resistente y menos durable. Someter el concreto fresco a vibraciones de alta frecuencia inmediatamente después de ser vertido permite que la mezcla de concreto adquiera una consistencia más fluida, que se permita llenar los espacios de manera homogénea, facilitando así la adherencia del material con el acero. (360enconcreto, s.f.)

En un proyecto como Allegro, el control de calidad es muy importante debido a la rapidez de sus procesos. Además de las pruebas a los 28 días, se realizan ensayos a edades tempranas, tales como a los 3 y 7 días, para evaluar la resistencia inicial y abordar rápidamente los problemas relacionados a la calidad del concreto. De este modo se logra asegurar la integridad del concreto desde las etapas iniciales de fraguado hasta su resistencia final.

## **6 Metodología**

Para desarrollar el proyecto de prácticas, se empleó un enfoque mixto que combinó elementos cualitativos y cuantitativos con el fin de obtener una comprensión profunda de los factores que influyen en la variabilidad de la resistencia del concreto y de este modo cuantificar su impacto en la calidad del material.

### **6.1 Enfoque cualitativo:**

Se realizó una revisión de la literatura para recopilar información relevante sobre los factores que afectan la resistencia del concreto, la normativa aplicable y otros detalles críticos del proceso. También se hizo una observación y análisis de los procesos y prácticas que se estaban desarrollando en la obra.

### **6.2 Enfoque cuantitativo:**

Se utilizaron datos provenientes de los informes del laboratorio donde se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión de muestras de concreto. Para recolectar los datos, se tomaron muestras de concreto fresco en distintos puntos de la obra durante el proceso de vaciado. Las pruebas de compresión se realizaron a edades específicas (3, 7 y 28 días) y se seleccionaron los informes correspondientes a un grupo de muestras del mismo diseño de resistencia. Luego, se revisaron los resultados de las pruebas de compresión proporcionados por el laboratorio, los cuales incluían medidas de tendencia central y dispersión, como la media y la desviación estándar, ya calculadas en los informes.

Basado en los datos proporcionados, se identificaron problemas recurrentes que afectan la resistencia del concreto, los cuales se asociaron al almacenamiento y la calidad de los agregados, la mano de obra, la adición de agua durante los vaciados, entre otros factores mencionados en el presente informe, a los cuales se les hizo seguimiento.

## **7 Control de calidad**

### **7.1 Cilindros de concreto. NTC 3318 (2021)**

La calidad general del concreto se mide mediante el ensayo de compresión, pero los valores pueden variar debido a cambios en las condiciones de curado, la preparación de probetas, los implementos utilizados y la ejecución del ensayo. Norma NTC 673 (2021)

En Allegro, se realizan ensayos de compresión a edades de 3, 7 y 28 días, utilizando un conjunto de diez cilindros de concreto para obtener dos especímenes para las edades de 3 y 7 días, y tres especímenes para las edades de 28 días, y, a 56 días en caso de no cumplir la resistencia establecida por la norma. Por día, se extraen al menos 2 muestras correspondientes a losas con resistencia de 21 MPa y muros con resistencias de 35 MPa, 31.5 MPa, o 28 MPa según las especificaciones del diseño estructural.

### **7.2 Lugar**

Un lugar adecuado para la realización de las probetas puede ser cerca del sitio donde se realiza el concreto, en un lugar donde se puedan dejar quietas para que fragüen durante 24 horas una vez fundidas, permaneciendo sobre una superficie rígida, plana y libre de alteraciones por movimiento o uso. Si los especímenes deben ser transportados en el momento de ser fundidos, se deben evitar golpes, sacudidas, inclinaciones, pérdida del material y perturbaciones excesivas.

### **7.3 Probetas**

Se debe verificar el estado de las probetas donde se fundirá el concreto, considerando el material y su condición. Probetas descuidadas, oxidadas o rayadas pueden dificultar el desencofrado al día siguiente. Se verifica que los tornillos y tuercas estén bien ajustados para que funcionen adecuadamente.

### **7.4 Ensayo de asentamiento. NTC 396.(2024)**

Tras tomar la muestra representativa de concreto del lote, se realiza el ensayo de asentamiento o del cono de Abrams. El cono se ubica sobre una superficie plana y estable, y se llena en tres capas, compactando cada una con 25 golpes de una varilla lisa de 5/8" con punta

redondeada. La última capa se alisa al nivel del cono. Luego, se retira el cono sin movimientos en espiral ni muchas perturbaciones, permitiendo que el concreto fluya libremente. Se mide el asentamiento colocando la varilla horizontalmente y midiendo desde el centro del concreto asentado hasta la mitad de la varilla. El resultado se toma en centímetros, anotando también la hora del ensayo.

El concreto usado en el ensayo de asentamiento no se utiliza en la realización de las probetas..

*Recomendaciones:*

- Según la norma NTC 454 (2022) el muestreo se realiza no antes del 10% de la *bachada* descargada ni después del 90% de la misma. Siguiendo la norma y adoptando otra medida, se recomienda sacar la muestra representativa directamente de la tolva una vez que es llenada para el vaciado; es decir, no tomar la muestra de la planta de concreto cuando ésta ya ha finalizado la mezcla correspondiente a ese llenado, como se observa en la **Ilustración 3**.
- Humedecer las herramientas antes de comenzar a trabajar con ellas.
- Se recomienda que el personal que realiza el ensayo sea el mismo y esté previamente capacitado.

### **7.5 Elaboración de los cilindros de concreto NTC 550 (2020)**

El concreto se funde en el molde con un palustre, tomando de la mezcla representativa del lote. Puede ser necesario remezclar el concreto en el recipiente de mezclado para evitar segregación. El concreto se distribuye de manera simétrica dentro del molde, siguiendo el procedimiento descrito en la norma NTC 174 (2018).

Para cilindros de 6" x 12", se vierten tres capas de concreto, compactando cada una con 25 inserciones de una varilla de 5/8", distribuidas uniformemente. Después de cada capa, se golpean los bordes del molde con un martillo de goma de 6" entre 10 y 15 veces para facilitar la expulsión de burbujas de aire. Al compactar la segunda y tercera capa, la varilla se inserta solo hasta la profundidad de la capa correspondiente, sin atravesar las capas anteriores.

Para cilindros de 4" x 8", el procedimiento es similar, pero se vierten dos capas y se utiliza una varilla de compactación de 3/8", requiriendo menos golpes con el martillo de goma.

Al realizar la última capa, se adiciona una cantidad de concreto que sobresalga ligeramente, ya que, al expulsar agua y aire, el nivel baja, lo que asegura uniformidad en las muestras. Este adicional de concreto debe permanecer al menos 15 minutos antes de enrasar con una regla metálica o con la varilla de compactación, dejando la superficie lisa y uniforme.

## **7.6 Curado**

Al día siguiente, se desencofran los cilindros con cuidado para no dañarlos. Se marcan adecuadamente y se llevan al tanque de curado.

### *Recomendaciones*

- Demarcar en el laboratorio de cilindros los espacios correspondientes a cada resistencia para evitar confusiones.
- Nombrar las muestras con un marcador que no se borre en el agua y que sea claramente visible.
- Se debe verificar el estado del tanque de curado, que esté en condiciones de limpieza adecuadas.
- Entregar al despachador del laboratorio los cilindros correspondientes a la muestra, la cantidad y en los días adecuados, teniendo en cuenta las edades tempranas de fallo. Es necesario que la gestión sea oportuna, sin contratiempos y ordenada, para de ese modo evitar confusiones que puedan poner en riesgo la calidad y confiabilidad del proceso.

Para garantizar que el concreto en estado endurecido cumple con las especificaciones, se realizan ensayos en estado fresco, como temperatura, trabajabilidad, asentamiento, segregación, exudación, masa unitaria y rendimiento volumétrico, tiempo de fraguado y contenido de aire. Sin embargo, estos ensayos en esta obra en particular no son obtenidos directamente en estado fresco, a excepción del ensayo de asentamiento.



**7.7 Aditivos.** NTC 1299 (2008)

El aditivo usado en obra es ISOFLOW 7800 de Cemex, un aditivo superplastificante con propiedades acelerantes, que permite la reducción de agua en la mezcla para determinada consistencia y además acelera el fraguado del concreto, brindando resistencias a edades tempranas. La dosificación debe estar contemplada desde el diseño de la mezcla, y cualquier variación de agua o cemento afectará la trabajabilidad y resistencia del concreto. La dosificación recomendada es de 0,2% a 1,80% en función del contenido de material cementante (Cemex, s.f.). La cantidad de aditivo debe ser acorde al diseño, y cualquier cambio en la mezcla debe ser bien analizado, debido a la alteración de la relación A/C.

**7.8 Corrección de humedad.** ASTM C 566 (1997)

Este procedimiento se debe realizar para evitar variaciones en la relación A/C del diseño de la mezcla, causadas por condiciones ambientales que alteran la humedad de los agregados. Consiste en obtener el peso en estado superficialmente seco saturado del agregado y compararlo con el peso del día del vaciado, ajustando la cantidad de agua en la planta de concreto. Este procedimiento es realizado diariamente por el operario de la misma.

Consiste en sacar una muestra representativa, pesarla en su estado húmedo, secarla (se puede utilizar un fogón u horno) hasta alcanzar un peso constante y después pesarla seca. Con este ensayo se garantiza la cantidad de agua en la mezcla asegurando la proporción correcta de materiales, lo que evita problemas de resistencia y durabilidad.

**7.9 Ensayo de compresión** NTC 673. (2021)

La norma NTC 673 (2021), rige el método para determinar la resistencia a la compresión de los cilindros para evaluar la capacidad de carga del concreto, así como el cumplimiento según las aplicaciones estructurales. Tras el tiempo de curado, los cilindros se someten a cargas graduales hasta la falla, registrando la carga máxima soportada. Este método no solo es fundamental para la evaluación de nuevos lotes de concreto, sino también para la verificación del desempeño del concreto en estructuras existentes, permitiendo ajustes en el diseño o procesos de producción según sea necesario.

Al recibir los resultados de laboratorio a los 3 y 7 días, se puede tener una idea del comportamiento del concreto en estado endurecido. A los 3 días, el concreto alcanza cerca del 40% de su resistencia de diseño, y a los 7 días, el 60-70%. Esto permite examinar la resistencia temprana para proyectar la resistencia a los 28 días.

### *Mejora*

Se decidió como buena práctica, llevar un control estricto de los resultados de concreto a todas las edades de falla, 3 y 7 días, digitando cada resultado en un documento para evaluar posibles situaciones donde no se esté alcanzando el porcentaje adecuado de resistencia y verificar las posibles causas. Incluir detalles de fecha, horario de toma de muestra y observaciones, brindan una perspectiva minuciosa y específica para abordar cualquier anomalía e implementar acciones correctivas de inmediato.

## **7.10 Problema en obra**

El principal problema en la obra fue la baja resistencia de muestras que no cumplían con el 100% de la resistencia a los 28 días. Esto llevó a tomar las siguientes medidas de mejora: varilla usada, acompañamiento y supervisión en el proceso de realización de cilindros, marcado de muestras, curado y entrega a laboratorio.

Al analizar los resultados a diferentes edades del concreto, se observó que estos presentaban una resistencia inicial alta (resultados a 3 días) pero la curva se aplanaba con el tiempo. Los factores observados fueron:

## **7.11 Manejo de los agregados**

Cerca de los agregados hay árboles cuyas hojas y frutos caían en él, y aunque ya se había puesto un polisombra antes, este no estaba correctamente colocado en todo el agregado ni había una supervisión constante al respecto. Se dieron indicaciones al personal para mantener la zona limpia y cubierta, como se puede apreciar en la **Ilustración 4**. Además, el minicargador arrastraba materiales y lodos al acercarse a los agregados, por lo que se implementó una limpieza del minicargador antes del vaciado.

## 7.12 Diseño de mezcla

Se observó una variación en el diseño de la mezcla tras el cambio de aditivo y su porcentaje. Se contó con el acompañamiento de Cemex desde la detección del aplanamiento de la curva de concreto, y siguiendo sus recomendaciones, se realizaron pruebas dobles en diferentes laboratorios para asegurar la consistencia de los resultados. Los resultados mostraron una coincidencia del 99% entre laboratorios, confirmando que el problema estaba en el concreto en obra.

Los errores asociados al muestreo se deben a la falta de herramientas más adecuadas para la toma de muestra, el cambio del personal a cargo del procedimiento y errores en la marcación de cilindros enviados a fallo. Se dotó de herramientas acorde para cilindros de 4"x8", tal como la varilla compactadora de  $\frac{3}{8}$ ", y se verifica el estado del tanque regularmente, garantizando que esté limpio y las herramientas en buen estado.

Se hizo una separación entre probetas de diferentes muestras (muros, losas, etc.) para evitar confusiones en la marcación bajo supervisión constante, como se aprecia en la **Ilustración 5**. Antes de fundir las probetas de concreto, se valida que el resultado del asentamiento se ajuste al diseño de mezcla, asegurando que la muestra representativa sea adecuada y abordando cualquier anomalía desde el primer instante de mezcla.

Tras abordar las medidas mencionadas, las muestras superaron el 100% de la resistencia y no se volvieron a presentar problemas de baja resistencia a 28 días.

Cada acción influye en los resultados y la calidad del concreto, tanto en los cilindros de prueba como en la propia estructura. Todas las recomendaciones se aplican al vaciado de la estructura para garantizar el cumplimiento de las especificaciones. Durante los vaciados, no se debe agregar agua o cemento sin un análisis adecuado, ya que alterar la relación agua-cemento puede comprometer la calidad y resistencia del concreto. Se debe vibrar adecuadamente para distribuir el concreto sin provocar segregación.

**Ilustración 3** Elección del lote para toma de muestra.



*Nota. Se extrae la muestra representativa de la tolva en lugar de tomar del lote producido por la concretadora al finalizar el llenado de tolva. Elaboración propia. (2024)*

**Ilustración 4** Supervisión del manejo de los agregados en obra.



*Nota. Agregados separados y cubiertos por polisombra para evitar contaminación vegetal debida a presencia de árboles. Elaboración propia. (2024)*

**Ilustración 5** Supervisión en la marcación de cilindros.



*Nota. Acompañamiento y supervisión en el proceso de marcación de cilindros. Elaboración propia. (2024)*

## 8 Resultados y análisis

Antes de la implementación de las medidas correctivas, los resultados de los ensayos de compresión mostraban una tendencia preocupante. Aunque a los 3 y 7 días los resultados parecían prometedores, a los 28 días no se alcanzaba la resistencia esperada, lo que indicaba un problema en la calidad del concreto. Para confirmar la fiabilidad de los resultados, se enviaron dos muestras a otro laboratorio, donde los resultados fueron consistentes con los obtenidos en el sitio de obra. Esto confirmó que las anomalías no se debían a errores en la rotura de los cilindros.

En la **Tabla 1** se muestra resultados en porcentaje de la resistencia obtenida al realizar el ensayo de compresión en muestras que corresponden a los losas y escaleras de la estructura, siguiendo un diseño de 210 kgf/cm<sup>2</sup>.

Así mismo, la **Tabla 2** muestra los resultados en porcentaje de las muestras de muros, que para este punto, obedece a un diseño de 315 kgf/cm<sup>2</sup>. Como se puede apreciar, hay diversas muestras que no cumplen la condición de 100%.

El laboratorio SGS permite extraer un resumen estadístico para muestras que obedecen un mismo código de diseño.

**Tabla 1** Resultados de 30 ensayos de compresión en muestras de 3000 PSI (210 kgf/cm<sup>2</sup>) antes de las medidas correctivas y Resumen estadístico

N° muestra	Resistencia a 28 días (%)	N° muestra	Resistencia a 28 días (%)	Resumen estadístico	
102	115%	136	110%	<i>Promedio general de resistencia</i>	248 kgf/cm <sup>2</sup>
104	87%	138	95%	<i>Desviación estándar total</i>	47,04 kgf/cm <sup>2</sup>
106	77%	139	139%	<i>Coefficiente de variación</i>	18,98 %
108	103%	141	135%	<i>Intervalo promedio</i>	16,27 kgf/cm <sup>2</sup>
117	128%	143	82%	<i>Calificación</i>	Acceptable
119	117%	145	111%	<i>Dato promedio más bajo</i>	165 kgf/cm <sup>2</sup>

120	143%	146	118%	<i>Dato promedio más alto</i>	<i>362 kgf/cm<sup>2</sup></i>
122	130%	148	169%	<i>Desviación estándar S1</i>	<i>9,61 kgf/cm<sup>2</sup></i>
124	117%	151	119%	<i>Coefficiente de variación VI</i>	<i>3,88 %</i>
125	112%	153	138%	<i>Promedio requerido</i>	<i>288 kgf/cm<sup>2</sup></i>
127	96%	155	143%	<i>Probabilidad de tener valores menores a f'c (%)</i>	<i>-1 %</i>
129	97%	156	112%		
130	<b>78%</b>	158	115%		
132	101%	160	148%		
134	105%	162	133%		

Los resultados de estos ensayos fueron otorgados por SGS Colombia S.A.

*Fuente.* (Elaboración propia).

Se observa que el promedio de resistencia está por encima del valor mínimo requerido según la norma NTC 2275 (2023), lo que sugiere que el concreto cumple las expectativas de resistencia. Sin embargo, al observar una desviación estándar de 47,04 kgf/cm<sup>2</sup> en el conjunto, se aprecia que los datos tienen una variabilidad considerable. La norma NTC 2275 (2023) especifica los criterios para el análisis estadístico de un conjunto de muestras y, según esta, se califica la muestra como aceptable ya que está dentro del rango especificado. Esto significa que, aunque existe variabilidad, los resultados se ajustan a un rango aceptable. Por otro lado, tener datos extremos puede brindar información en casos muy puntuales. Un valor inferior de 165 kgf/cm<sup>2</sup>, que se encuentra tan alejado del promedio general sugiere que existen problemas muy específicos en la mezcla, lo que puede estar relacionado con los factores previamente mencionados sobre la inconsistencia en los resultados.

Para las muestras de concreto que no cumplen con el 100% de la resistencia requerida a 28 días, se deben enviar los especímenes testigo que quedaron en obra para realizar ensayos de resistencia a los 56 días. Luego, Supervisión Técnica evaluará los resultados obtenidos a los 56 días y de no cumplir con los criterios de aceptación especificados, se debe evaluar la verdadera importancia de los resultados bajos y decidir si se justifica una preocupación adicional. Según la NSR-10, entre las investigaciones adicionales pueden incluir ensayos no destructivos, como la penetración de sonda, esclerómetro, la velocidad de pulso ultrasónico o el arrancamiento o en casos

extremos, se pueden realizar ensayos de extracción de núcleos tomados de la estructura. (NSR-10, 20210)

**Tabla 2** Resultados de 27 ensayos de compresión en muestras de 5000 PSI (315 kgf/cm<sup>2</sup>) antes de las medidas correctivas.

N° muestra	Resistencia a 28 días (%)	N° muestra	Resistencia a 28 días (%)	Resumen estadístico	
100	108%	135	109%	<b>Promedio general de resistencia</b>	<b>377 kgf/cm<sup>2</sup></b>
96	118%	137	95%	<b>Desviación estándar total</b>	<b>57,43 kgf/cm<sup>2</sup></b>
98	107%	140	105%	<b>Coefficiente de variación</b>	<b>15,24%</b>
103	99%	142	87%	<b>Intervalo promedio</b>	<b>23,59 kgf/cm<sup>2</sup></b>
105	85%	144	85%	<b>Calificación</b>	<b>Pobre</b>
107	94%	147	98%	<b>Dato promedio más bajo</b>	<b>279 kgf/cm<sup>2</sup></b>
118	103%	152	126%	<b>Dato promedio más alto</b>	<b>490 kgf/cm<sup>2</sup></b>
121	106%	154	124%	<b>Desviación estándar S1</b>	<b>13,94 kgf/cm<sup>2</sup></b>
123	99%	157	102%	<b>Coefficiente de variación VI</b>	<b>3.70%</b>
126	102%	159	133%	<b>Promedio requerido</b>	<b>455 kgf/cm<sup>2</sup></b>
128	104%	161	137%	<b>Probabilidad de tener valores menores a f'c (%)</b>	<b>-1%</b>
131	79%	163	132%		
133	78%	166	114%		
169	119%				

Los resultados de estos ensayos fueron otorgados por SGS Colombia S.A. Fuente. (Elaboración propia).

Se observa que el promedio general de resistencia está por encima de la resistencia de diseño, que es de 315 kgf/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, en comparación con el caso de losas y escaleras, que tenían una desviación estándar de 47,04 kgf/cm<sup>2</sup>, en los muros se presenta una desviación estándar



de 57,43 kgf/cm<sup>2</sup>, así como una mayor dispersión de los resultados, clasificando la variación como pobre.

Los resultados de este diseño son, en sí, superiores a la resistencia promedio, pero presentan una mayor variabilidad. Esto puede estar relacionado con los factores mencionados anteriormente sobre la inconsistencia de la mezcla, la calidad de los materiales, la alteración de la relación de agua y cemento durante el vaciado, entre otros.

Después de la implementación de las medidas correctivas, se ha logrado mantener una racha de resultados excepcionales, que están por encima del diseño de muros y losas, sin ninguna muestra por debajo del 100%, como se observa en la **Tabla 3** y en la **Tabla 4**. El diseño de losas y escaleras se mantiene con una resistencia de 210 kgf/cm<sup>2</sup>, y los muros están diseñados para una resistencia de 280 kgf/cm<sup>2</sup>.

**Tabla 3** Resultados de 30 ensayos de compresión en muestras de 3000 PSI (210 kgf/cm<sup>2</sup>) después de las medidas correctivas y Resumen estadístico.

N° muestra	Resistencia a 28 días (%)	N° muestra	Resistencia a 28 días (%)	Resumen estadístico	
188	141%	214	114%	<i>Promedio general de resistencia</i>	279 kgf/cm <sup>2</sup> )
190	114%	216	111%	<i>Desviación estándar total</i>	34,11 kgf/cm <sup>2</sup> )
192	106%	218	110%	<i>Coefficiente de variación</i>	12,21 %
193	115%	219	118%	<i>Intervalo promedio</i>	20,61 kgf/cm <sup>2</sup> )
195	126%	221	141%	<i>Calificación</i>	Muy bueno
197	158%	223	119%	<i>Dato promedio más bajo</i>	277 kgf/cm <sup>2</sup> )
200	146%	225	121%	<i>Dato promedio más alto</i>	373 kgf/cm <sup>2</sup> )
199	124%	226	131%	<i>Desviación estándar S1</i>	12,18 kgf/cm <sup>2</sup> )
203	143%	228	117%	<i>Coefficiente de variación VI</i>	4,36 %
201	174%	230	141%	<i>Promedio requerido</i>	258 kgf/cm <sup>2</sup> )
205	125%	231	154%	<i>Probabilidad de tener valores</i>	-1%

				<i>menores a f'c (%)</i>
207	116%	235	136%	
209	140%	237	138%	
211	141%	238	125%	
213	127%	240	129%	

Los resultados de estos ensayos fueron otorgados por SGS Colombia S.A.

*Fuente.* (Elaboración propia).

Se ha logrado una notable mejora en la calidad del concreto. El promedio general ha aumentado, pasando de 214 kgf/cm<sup>2</sup> a 279 kgf/cm<sup>2</sup>, y la desviación estándar ha disminuido de 47,04 kgf/cm<sup>2</sup> a 34,11 kgf/cm<sup>2</sup>, permitiendo obtener una calificación de muy bueno. Estos resultados evidencian una mayor consistencia y uniformidad en la mezcla, resultado de una rigurosa aplicación del control de calidad del concreto.

**Tabla 4** Resultados de 29 ensayos de compresión en muestras de 4500 PSI (315 kgf/cm<sup>2</sup>) antes de las medidas correctivas y Resumen estadístico.

N° muestra	Resistencia a 28 días (%)	N° muestra	Resistencia a 28 días (%)	Resumen estadístico	
186	130%	224	129%	<i>Promedio general de resistencia</i>	411 kgf/cm <sup>2</sup> )
189	106%	227	126%	<i>Desviación estándar total</i>	49,5 kgf/cm <sup>2</sup> )
191	120%	229	125%	<i>Coefficiente de variación</i>	12,03 %
194	116%	232	117%	<i>Intervalo promedio</i>	23,03 kgf/cm <sup>2</sup> )
196	130%	234	137%	<i>Calificación</i>	Aceptable
198	140%	236	129%	<i>Dato promedio más bajo</i>	342 kgf/cm <sup>2</sup> )
202	152%	239	144%	<i>Dato promedio más alto</i>	501 kgf/cm <sup>2</sup> )
204	152%	241	115%	<i>Desviación estándar SI</i>	13,61 kgf/cm <sup>2</sup> )
208	152%	243	114%	<i>Coefficiente de variación VI</i>	3,31 %

210	156%	245	135%	<i>Promedio requerido</i>	401 kgf/cm <sup>2</sup> )
212	143%	248	147%	<i>Probabilidad de tener valores menores a f'c (%)</i>	-1%
215	111%	250	109%		
217	107%	255	114%		
220	142%	258	108%		
222	122%	PR 4500	116%		

Los resultados de estos ensayos fueron otorgados por SGS Colombia S.A.

*Fuente.* (Elaboración propia).

El promedio general de 411 kgf/cm<sup>2</sup> es superior a la resistencia de diseño y también al promedio de diseño de muros observado en la **Tabla 2**, lo que indica un incremento en la resistencia media del concreto y sugiere mejoras notables en la calidad del mismo, con valores muy superiores a los de 5000 PSI. Los resultados observados en la **Tabla 4** muestran que los valores extremos son superiores a los valores obtenidos antes de las medidas correctivas, lo que significa que el diseño de la mezcla presenta más uniformidad que antes. También se evidencia una mayor consistencia y control de calidad. Sin embargo, aunque hay mejoras en algunos parámetros, la desviación estándar de 49,5 kgf/cm<sup>2</sup> clasifica según la norma NTC 2275 (2023) como aceptable, lo que sugiere que aún se puede optimizar más la calidad del concreto.

## 9 Discusión

Se han implementado varias medidas correctivas que han mejorado significativamente la calidad y consistencia del concreto. La dotación de herramientas adecuadas según el tamaño de los cilindros ha mejorado la calidad de las muestras, eliminando la variabilidad causada por herramientas inadecuadas y permitiendo obtener resultados más consistentes. Se ha garantizado también el mantenimiento continuo de la mezcladora, lo cual es crucial, ya que al reducir fallas mecánicas que podían afectar la homogeneidad del concreto, se ha logrado una mezcla más uniforme.

La capacitación continua del personal ha garantizado que todos los involucrados comprendan la importancia de seguir los procedimientos adecuados, incluyendo la preparación y manejo de las muestras de concreto, así como el uso correcto de los equipos, herramientas y cuidado del agregado. El uso correcto del polisombra para proteger los agregados de la contaminación ha demostrado ser efectivo, y la limpieza del minicargador antes de recoger los agregados ha reducido significativamente la contaminación por lodos. La caracterización y revisión exhaustiva de la arena y otros agregados han permitido identificar y corregir anomalías, asegurando que los materiales utilizados cumplan con los estándares de calidad necesarios.

El control estricto de la relación agua-cemento ha sido esencial para mantener la resistencia del concreto. La eliminación de adiciones arbitrarias de agua ha mejorado la consistencia y calidad de la mezcla, asegurando que se siga el diseño original sin alteraciones y evitando problemas de resistencia y durabilidad. La separación de muestras en el laboratorio y la supervisión en la marcación han permitido un seguimiento preciso de cada muestra, lo que es crucial para obtener resultados fiables y reproducibles.

Los análisis estadísticos muestran que el promedio de resistencia del concreto ha mejorado notablemente. Para losas y escaleras, el promedio general ha aumentado de 214 kgf/cm<sup>2</sup> a 279 kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que la desviación estándar ha disminuido de 47,04 kgf/cm<sup>2</sup> a 34,11 kgf/cm<sup>2</sup>, permitiendo obtener una calificación de "muy bueno". Estos resultados evidencian una mayor consistencia y uniformidad en la mezcla, resultado de una rigurosa aplicación del control de calidad del concreto. El promedio general de 411 kgf/cm<sup>2</sup> es superior a la resistencia de diseño y también al promedio de diseño de muros observado en la **Tabla 2**, indicando un incremento en la resistencia media del concreto y sugiriendo mejoras notables en la calidad del mismo.

Los resultados observados en la **Tabla 4** muestran que los valores extremos son superiores a los obtenidos antes de las medidas correctivas, lo que significa que el diseño de la mezcla presenta más uniformidad que antes.

También se evidencia una mayor consistencia y control de calidad. Sin embargo, aunque hay mejoras en algunos parámetros y están dentro de lo aceptable, se puede optimizar aún más la calidad del concreto.

## 10 Conclusiones

En la obra Allegro se identificaron varios factores críticos que afectaban la calidad del concreto. Las herramientas inadecuadas para los cilindros y la necesidad de mantenimiento de la mezcladora de concreto fueron problemas iniciales. La rotación constante del personal afectaba la consistencia en la preparación de las probetas, evidenciando la importancia de contar con un equipo estable y capacitado. Los agregados estaban contaminados con materia orgánica debido a la presencia de vegetación y un minicargador sucio. Para solucionar esto, se adecuó la polisombra para proteger los agregados de la vegetación y se implementaron medidas de limpieza para el minicargador. Además, se descubrió que el operario aumentaba la cantidad de agua en la mezcla para mejorar la fluidez, lo cual comprometía la resistencia del concreto, y hubo casos de intercambio de muestras que llevaron a resultados inexactos.

Una acción tomada fue la elección del lote de la que se extraía la muestra, siendo directamente de la tolva y no desde la mezcladora. Se dotó al equipo con herramientas adecuadas para los cilindros, se garantizó el mantenimiento de la mezcladora y se implementaron procedimientos de limpieza para la zona de agregados y el minicargador. Además, se aseguró que el diseño original de la mezcla se siguiera sin adiciones arbitrarias de agua o cemento, y se marcó cada muestra con un marcador resistente al agua para evitar confusiones. Este proceso se realiza bajo supervisión.

La implementación de estas medidas correctivas tuvo un impacto positivo. Las pruebas realizadas a los 3, 7 y 28 días mostraron un aumento notable en la resistencia del concreto, superando el 100% de la resistencia esperada a los 28 días.

También es importante recalcar que cambios en la granulometría de la arena pueden influir en la demanda de agua y en la trabajabilidad del concreto. Si se presenta una variación en la arena y su granulometría, se deben hacer ajustes en el contenido de agua y de cemento de la mezcla para conservar la resistencia, aunque esto también aplica para variaciones en el porcentaje de aditivo.

Con la experiencia adquirida en la obra Allegro, se destaca que una atención detallada a cada aspecto del manejo del concreto puede generar mejoras significativas en la calidad del mismo.

Además, la implementación de estas medidas correctivas proporciona un marco de buenas prácticas aplicable tanto al proyecto actual como a futuras construcciones.

## Referencias

360enconcreto. (s.f.). *¿Qué es el concreto?* Recuperado de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-el-concreto/>

American Society for Testing and Materials [ASTM]. (1997). ASTM C 566 – 97: *Método de ensayo normalizado para determinar el contenido de humedad total evaporable de los áridos por secado*. Recuperado de <https://pdfcoffee.com/astm-c-566-97-5-pdf-free.html>

Argos. (s.f.). *Concreto sistema industrializado*. Recuperado de <https://colombia.argos.co/concreto-sistema-industrializado/>

Cemex. (s.f.). *Productos*. Recuperado de <https://www.cemexlatam.com/es/productos-y-servicios/productos/agregados>

Flórez García, J. G. (2005). *Manual técnico para el control de calidad en obra de estructuras en concreto y mampostería* [Tesis de grado, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga]. Recuperado de <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/2bc7af85-b297-4785-996d-9c18da9cad8c/content>

Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García, M., Rodríguez Valenciano, I., Rojas Vega, L. D., & Segura Guzmán, G. (2012). *Efecto de la variación agua/cemento en el concreto*. *Tecnología en Marcha*, 25(2), 80-86.. Recuperado de Repositorio institucional UNIMINUTO.

ICONTEC. (2020). *Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el sitio de trabajo. NTC 550:2020*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.

ICONTEC. (2021). *Norma técnica colombiana NTC 3318: Concreto. Requisitos de producción y de producto*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.

ICONTEC. (2022). *Concreto fresco. Toma de muestras. NTC 454:2022*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.



ICONTEC. (2023). *Norma técnica colombiana NTC 174: Standard Specification for Concrete Aggregates*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.

ICONTEC. (2021). *Norma técnica colombiana NTC 673: Concretos. Método de ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.

ICONTEC. (2023). *Norma técnica colombiana NTC 2275: Procedimiento recomendado para la evaluación de resultados de ensayos de resistencia del concreto*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.

ICONTEC. (2023). *Norma técnica colombiana NTC 5551-2: Durabilidad. Parte 2: Diseño de estructuras de concreto para tiempo de servicio*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.

ICONTEC. (2008). *Norma técnica colombiana NTC 1299: Concretos. Aditivos químicos para concreto*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.

ICONTEC. (2024). *Norma técnica colombiana NTC 396: Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto*. Recuperado del Catálogo de Recursos de Información Digital y Electrónicos de la Universidad de Antioquia.

NSR-10. (2010). *Norma Colombiana de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Título C: Requisitos para el Concreto Estructural*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). Recuperado de [https://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f\\_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10\\_Titulo\\_C.pdf](https://www.uptc.edu.co/export/sites/default/facultades/f_ingenieria/pregrado/civil/documentos/NSR-10_Titulo_C.pdf)

Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., & Parody, A. (2018). *Factors influencing the concrete quality: A survey to relevant actors of the concrete industry*. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(2). <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200161>

Patiño, O., & Méndez, R. (s.f.). *Control de calidad del concreto (Normas, pruebas y cartas de control)* [Artículo]. Instituto Tecnológico. Recuperado de <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/id-tecnologico/article/view/134/pdf>

Sioingeniería. (s.f.). *Viviendas de concreto monolítico I*. Recuperado de <https://www.sioingenieria.com/portal/novedades/viviendas-de-concreto-monolitico-i>

Vidaud Quintana, E. de J., & Vidaud Quintana, I. N. (2014). *Control de calidad al concreto*. *Revista de Ciencia y Tecnología del Hormigón*. Recuperado de <https://www.imcyc.com/revistacyt/pdf/febrero2014/ingenieria.pdf>