



Supervisión de la producción y vaciado de concreto hidráulico en el proyecto Vibratto a cargo de constructora Centro Sur: Análisis de la eficiencia y calidad del concreto premezclado y producido en obra mediante planta mezcladora

Juan Camilo Zapata Ortiz

Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Asesor

Edwin Fabián García Aristizábal, Doctor en Ingeniería

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Medellín, Antioquia, Colombia
2025

Cita

(Zapata, 2025)

Referencia

Estilo APA 7 (2020)

(Zapata, 2025). *Supervisión de la producción y vaciado de concreto hidráulico en el proyecto Vibratto a cargo de constructora Centro Sur: Análisis de la eficiencia y calidad del concreto premezclado y producido en obra mediante planta mezcladora*. Trabajo de grado profesional. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.



Biblioteca Carlos Gaviria Diaz

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

Universidad de Antioquia - 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

A mis padres, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. Gracias por su apoyo incondicional, por nunca dejar de creer en mí y por enseñarme con su ejemplo que el esfuerzo y la perseverancia siempre dan frutos. Este logro es tan suyo como mío.

A mis amigos, futuros colegas, con quienes compartí retos, aprendizajes y momentos inolvidables a lo largo de este camino. Su compañía hizo de esta etapa una experiencia invaluable y llena de recuerdos que siempre me acompañarán a donde quiera que la vida me guíe.

Con gratitud y cariño, dedico este trabajo de grado a todos ustedes.

Agradecimientos

A mis padres, gracias por siempre creer en mí, incluso cuando yo dudaba de mis propias capacidades. Su apoyo constante y su fe inquebrantable en lo que puedo lograr han sido mi mayor fuerza para superar cada obstáculo. No hay palabras suficientes para expresar cuánto les debo. A mis amigos, quienes pronto me acompañarán como colegas en este arduo camino, gracias por ser ese impulso que necesitaba en los momentos más difíciles, cuando pensé en rendirme. Por cada palabra de aliento, por cada gesto de apoyo, y por recordarme todos los días que puedo ser un excelente profesional.

En especial, a Yeison, Paula y Mariana: sin ustedes, no habría llegado tan lejos. Gracias por estar ahí siempre, por escucharme, animarme y hacer que este camino fuera más llevadero. Por ver en mí cosas que ni yo pude. Puedo asegurar que gran parte de quien soy ahora se lo debo a ustedes.

Su amistad y apoyo significan el mundo para mí.

Finalmente, quiero dedicar un agradecimiento muy especial a mi Alma Mater, la UdeA, que ha sido testigo de mi crecimiento no solo como estudiante y profesional, sino también como persona. Todo lo que aprendí y viví en sus pasillos es invaluable. Entré con grandes expectativas y hoy, al salir, lo hago con una mezcla de nostalgia y gratitud, pero también con la ilusión de un futuro que esta universidad me ayudó a forjar.

Este logro también es de todos ustedes.

Tabla de contenido

Resumen	12
Abstract	13
Introducción	14
1 Planteamiento del problema.....	15
1.1 Antecedentes	15
2 Justificación	18
3 Objetivos	19
3.1 Objetivo general	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4 Marco teórico	20
4.1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10	20
4.2 Norma Técnico Colombiana (NTC).....	22
4.2.1 NTC 550.....	22
4.2.2 NTC 396.....	27
4.3 Comportamiento del concreto u hormigón.....	29
5 Metodología	34
6 Resultados	43
6.1 Concreto de 42 MPa (6 000 psi).....	43
6.2 Concreto de 35 MPa (5 000 psi).....	47
6.3 Concreto de 28 MPa (4 000 psi).....	51

6.4 Concreto de 21 MPa (3000 psi).....	55
7. Discusión.....	61
7.1 Diferencia entre concreto premezclado y realizado en obra con planta mezcladora (Domat)	61
7.2 Elementos que influyen en la calidad de las muestras de concreto.....	65
7.3 Estrategias de gestión y corrección ante resultados no conformes	66
8. Conclusiones	72
Referencias	73

Lista de tablas

Tabla 1 Fragmento de informe ejecutivo de concretos utilizado para registro de resultados en obra Vibratto	39
Tabla 2 Registro de muestra 100 en formato de remisiones obra Vibratto	41
Tabla 3 Fragmento de registro muestras de concreto con fechas de fundida, desencofrado, falla y recogida en obra Vibratto	42
Tabla 4 Fragmento de formato simplificado. Resultados de resistencia concreto de 42 MPa.....	45
Tabla 5 Fragmento de formato simplificado. Resultados de resistencia concreto de 35 MPa.....	49
Tabla 6 Fragmento de formato simplificado. Resultados de resistencia concreto de 28 MPa.....	53
Tabla 7 Fragmento de formato simplificado. Resultados de resistencia concreto de 21 MPa.....	57
Tabla 8 Fragmento de informe ejecutivo de concretos utilizado para registro de resultados en obra Vibratto donde se visualiza muestra 144	68

Lista de figuras

Figura 1 Máquina de ensayo para materiales de alta resistencia a la compresión	21
Figura 2 Formaletas cilíndricas usadas en obra Vibratto	23
Figura 3 Concreto extraído de planta mezcladora Domat Obra Vibratto	24
Figura 4 Llenado de cilindros en obra Vibratto	24
Figura 5 Nivelación de superficie en muestra obra Vibratto	25
Figura 6 Cilindros de obra Vibratto marcados, previos a recolección	26
Figura 7 Tanque de curado ubicado en el cuarto de cilindros Vibratto	26
Figura 8 Procedimiento de llenado molde troncónico	28
Figura 9 Verificación de asentamiento obra Vibratto	29
Figura 10 Cemento Argos utilizado en obra Vibratto	30
Figura 11 Imagen agregados usados en obra Vibratto (Cantera Piedra Verde), finos (izquierda) y gruesos (derecha).....	31
Figura 12 Tanque para abasto de agua planta mezcladora obra Vibratto	31
Figura 13 Aditivo Isoflow 5300 Cemex usado en obra Vibratto	32
Figura 14 Extracción de rótulo planos estructurales obras Vibratto donde se evidencian resistencias principales	34
Figura 15 Planta mezcladora Domat instalada en obra Vibratto.....	35
Figura 16 Asentamiento tomado de planta mezcladora Domat en obra Vibratto	36
Figura 17 Cilindros de concreto realizados en obra Vibratto	37
Figura 18 Comparación de resultados satisfactorios y no satisfactorios muestras 42 MPa.....	44
Figura 19 Gráfica de cumplimiento porcentual Concreto 6 000 psi a 28 días	46

Figura 20 Columnas F15 y C15 en piso 4 señaladas con rojo	47
Figura 21 Comparación de resultados satisfactorios y no satisfactorios muestras 35 MPa.....	48
Figura 22 Gráfica de cumplimiento porcentual Concreto 5 000 psi a 28 días	50
Figura 23 Vigas de losa piso 4 entre el tercio del eje 9 hasta el tercio del eje 7 señaladas con rojo	51
Figura 24 Comparación de resultados satisfactorios y no satisfactorios muestras 28 MPa.....	52
Figura 25 Gráfica de cumplimiento porcentual Concreto 4 000 psi a 28 días	54
Figura 26 Loseta y nervios de losa piso 4 entre el tercio del eje 9 hasta el tercio del eje 7.....	55
Figura 27 Comparación de resultados satisfactorios y no satisfactorios muestras 21 MPa.....	56
Figura 28 Gráfica de cumplimiento porcentual Concreto 3 000 psi a 28 días	59
Figura 29 Vigas de fundación en tramos de ejes F, 1 y 2	60
Figura 30 Comparación de muestras realizadas con concreto premezclado vs hecho en obra con planta mezcladora.....	62
Figura 31 Comparación de resultados de muestras realizadas con concreto premezclado a 28 días	63
Figura 32 Comparación de resultados de muestras realizadas con concreto realizado en obra a 28 días	64
Figura 33 Encargados de laboratorios SGS S.A.S. realizando ensayo de ultrasonido en columna C4	70

Siglas, acrónimos y abreviaturas

NSR-10	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente año 2010
NTC	Norma Técnico Colombiana

Resumen

El control de la calidad del concreto es fundamental en el desarrollo de una obra civil que utiliza este material como principal componente de sus elementos estructurales. La necesidad de seguimiento aumenta al considerar el tipo de concreto utilizado, sea premezclado o elaborado en el sitio, ya que un monitoreo adecuado puede mitigar imprevistos significativos que afecten la integridad estructural.

En este contexto, se propone supervisar la calidad del concreto en la obra Vibratto, desarrollada por la constructora Centro Sur en el municipio de Copacabana, conforme a lo establecido en la sección C.5.6 de la Norma Sismo Resistente NSR-10. La evaluación se realizará mediante ensayos de compresión en cilindros ejecutados por un laboratorio externo (SGS Colombia S.A.), con el objetivo de garantizar la integridad estructural definida por el diseño del proyecto.

Se utilizarán formatos de registro elaborados diariamente en el proyecto como herramienta principal para hacer el seguimiento del comportamiento mostrado por el concreto que compone cada uno de los elementos de la edificación, así como evidencia fotográfica y demás información complementaria para refinar las conclusiones.

Palabras clave: Control de calidad, concreto, estructural, monitoreo, NSR-10, ensayos de compresión, integridad estructural.

Abstract

The quality control of concrete is essential in the development of a civil construction project that uses this material as the main component of its structural elements. The need for monitoring increases when considering the type of concrete used, whether premixed or prepared on-site, as proper supervision can mitigate significant unforeseen issues affecting structural integrity.

In this context, it is proposed to supervise the quality of the concrete in the Vibratto project, developed by the construction company Centro Sur in the municipality of Copacabana, in accordance with Section C.5.6 of the Seismic-Resistant Code NSR-10. The evaluation will be carried out through compression tests on cylinders conducted by an external laboratory (SGS Colombia S.A.) to ensure the structural integrity defined by the project design.

Daily project records will be used as the main tool to track the behavior of the concrete that forms each element of the building, along with photographic evidence and other complementary information to refine the final conclusions.

Keywords: Quality control, concrete, structural, monitoring, NSR-10, compression tests, structural integrity.

Introducción

Las variables por determinar en un proyecto que se encuentra en curso son en gran medida impredecibles y diversas, específicamente en el sector de la construcción, hay muchos factores que día a día pueden afectar el proceso de una obra en construcción. Es por esto que el control por medio de supervisión continua toma relevancia para mitigar los imprevistos que, si bien son comunes en actividades de esta naturaleza, pueden afectar el éxito final del proyecto.

Por medio de este trabajo de grado se busca hacer seguimiento a las acciones de supervisión a la calidad del concreto, que se llevan a cabo en la obra Vibratto, desarrollada en el municipio de Copacabana, a cargo de la constructora Centro Sur S.A.S. Dichas acciones engloban la recopilación de muestras representativas del material (en este caso concreto) para su posterior procesamiento, la compilación de los datos obtenidos y el continuo análisis de estos para generar una trazabilidad que beneficia al desarrollo de la obra.

El ensayo principal para realizar será la falla de cilindros de 4x8 pulgadas a compresión uniaxial, enfocándonos principalmente en los resultados obtenidos a los 28 días del muestreo, tal como lo indica la norma NSR-10 y siguiendo los lineamientos de la Norma Técnico Colombiana (NTC) número 550, donde se explica la elaboración, y curado de especímenes hechos en obra. A través de este trabajo, se busca aportar al desarrollo de estrategias de control de calidad que favorezcan tanto el éxito de la obra Vibratto como el avance de prácticas más efectivas en el sector de la construcción.

1 Planteamiento del problema

La importancia de un correcto seguimiento a los concretos utilizados en una obra radica en la importancia de cumplir con las resistencias diseñadas para garantizar la estabilidad de la estructura como lo es el caso de Vibratto; este proyecto está planeado como una estructura diseñada con “construcción tradicional” o aporticada, es decir que las cargas soportadas por la edificación se transmiten desde las losas a las vigas, y a su vez, estas concentran dichas fuerzas en las columnas, las cuales se encargan de transmitir las a las fundaciones (pilas, pilotes, zapatas, entre otras) y así son descargadas finalmente en el suelo sobre el que se levanta el edificio.

Tal como está pensado el diseño, cumple con todas las normativas necesarias para asegurar la integridad de la obra, ahora bien, es responsabilidad de la constructora llevar a cabo con la mayor precisión posible el desarrollo de la propuesta entregada por el ingeniero calculista. Una parte fundamental del diseño estructural reside en las resistencias que poseen los diferentes elementos que componen la edificación, ya que cada uno tiene una responsabilidad con la integridad final que previamente se ha mencionado.

Un error en la elección de la resistencia, una falla en el diseño de mezcla (sea de concreto preparado in situ o premezclado) o alguna variación no prevista en los procesos constructivos son solo algunas de las situaciones que pueden provocar vulnerabilidades en el proyecto, lo cual puede, a su vez, acarrear consecuencias económicas, sociales y en algunos casos, legales.

El método de mitigación principal para una posible situación de vulnerabilidad es el seguimiento continuo de la estructura a través de las resistencias de sus elementos (hablando netamente del control de concretos) ya que este nos puede notificar de algún escenario donde la construcción no concuerde con el diseño preestablecido y así tomar acciones que aseguren la mayor calidad y economía posible para el proyecto.

1.1 Antecedentes

El control de calidad del concreto ha sido un tema ampliamente estudiado en la ingeniería civil, debido a su impacto directo en la seguridad, estabilidad y durabilidad de las estructuras.

Desde los primeros desarrollos del concreto como material de construcción, se ha buscado perfeccionar sus procesos de producción, transporte y vaciado con el fin de garantizar propiedades mecánicas óptimas y consistentes. A lo largo de las décadas, el concreto ha sido esencial en la construcción de una variedad de infraestructuras, desde edificios residenciales hasta complejas estructuras industriales, lo que ha aumentado la necesidad de asegurar que este material cumpla con los más altos estándares. En este sentido, las normativas nacionales e internacionales, como la NSR-10 en Colombia, han establecido directrices específicas para la supervisión y control del concreto, con el objetivo de asegurar que cumpla con los estándares de resistencia, durabilidad y trabajabilidad requeridos en cada tipo de proyecto, de acuerdo con las condiciones particulares de cada obra y su localización.

El proyecto Vibratto se enmarca en esta tradición de análisis y control, enfrentando desafíos particulares que requieren atención especializada, tales como la necesidad de producir concretos con diferentes resistencias según los requisitos de cada elemento estructural y la transición entre el uso de concreto premezclado y el producido en obra. Este tipo de proyectos resalta la importancia de contar con un sistema de monitoreo constante y de calidad, que permita no solo registrar las características del material a lo largo de su vida útil, sino también identificar y corregir posibles desviaciones en tiempo real, antes de que estas puedan comprometer la integridad y seguridad de la estructura final. La implementación de controles rigurosos, desde la elección de los materiales hasta la ejecución final del vaciado, es crucial para garantizar que el concreto sea adecuado para soportar las cargas y condiciones ambientales previstas.

Adicionalmente, es importante resaltar que el desempeño del concreto depende de una serie de factores que van más allá de los materiales y los procesos de producción, incluyendo la capacitación del personal involucrado y la adecuada implementación de tecnologías que faciliten el control de calidad. En este contexto, la inclusión de metodologías modernas, como el uso de herramientas digitales para la sistematización de datos, la automatización de algunos procesos de producción y el empleo de ensayos complementarios no destructivos, ha demostrado ser eficaz para asegurar resultados confiables y minimizar los riesgos asociados con deficiencias en el concreto. Estas tecnologías permiten una supervisión más precisa y continua, ofreciendo datos en tiempo real

que son esenciales para tomar decisiones rápidas y corregir cualquier anomalía que pueda surgir durante el proceso de construcción.

Estos antecedentes y avances sientan las bases para la ejecución del presente trabajo de grado, el cual busca profundizar en la comparación de la calidad y eficiencia entre los concretos premezclados y los producidos en obra, con el fin de identificar las ventajas y desventajas de cada tipo de concreto según las condiciones particulares de cada proyecto. Además, se aportará un enfoque práctico para la gestión y supervisión de este material en proyectos de gran envergadura como Vibratto, contribuyendo con propuestas que puedan optimizar tanto el rendimiento de los materiales como la eficiencia en el proceso constructivo.

2 Justificación

Si bien es cierto que la NSR-10 exige obtener resultados de los concretos utilizados en las obras a nivel nacional, una correcta sistematización de esta información (y de información adicional complementaria) es de gran ayuda cuando se necesita analizar el comportamiento de los elementos construidos con este material en un proyecto. Además de ser un verificador de calidad, el registro de resistencias es uno de los primeros filtros a descartar cuando se presenta una anomalía en los resultados de falla de cilindros, pudiendo refinar la búsqueda del problema.

Un resultado insatisfactorio podría indicar que algún elemento estructural no posee la resistencia requerida según el diseño. Para confirmar esta sospecha, sería necesario realizar pruebas adicionales a dichos elementos y así verificar si la información refleja realmente un problema (tema que se discutirá más adelante). Dependiendo del tipo de elemento, su ubicación y su importancia frente a la integridad de la estructura, pueden existir consecuencias a nivel de tiempo y dinero, dos recursos primordiales en la viabilidad de un proyecto.

En el peor de los casos, donde se confirma un problema crítico en la resistencia de algún concreto utilizado, los métodos de rehabilitación pueden conllevar nuevamente a retrasos en la programación, lo cual se vuelve alarmante ya que, generalmente las tareas realizadas en una obra son progresivas, así también, la solución de este imprevisto puede requerir recursos adicionales para poder darle continuidad a la situación afectando el presupuesto planteado al inicio de la construcción.

Estos son algunos de los escenarios a los que se les puede dar un manejo más práctico y efectivo si se cuenta con una evaluación progresiva de las resistencias contempladas en el diseño estructural y es allí donde radica su importancia para reducir tiempo, recursos físicos y económicos, así como para prevenir imprevistos en el desarrollo del proyecto.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Supervisar la producción y vaciado de concreto hidráulico en el proyecto Vibratto, evaluando la eficiencia y calidad del concreto premezclado y producido en obra mediante planta mezcladora, con el fin de garantizar el cumplimiento de los requisitos establecidos en el diseño estructural y en la normativa NSR-10.

3.2 Objetivos específicos

- Analizar los resultados de los ensayos de compresión en cilindros de concreto, realizados por un laboratorio externo, para verificar el cumplimiento de las resistencias especificadas en el diseño estructural.
- Implementar un sistema de registro y monitoreo diario que permita la trazabilidad del comportamiento del concreto en los diferentes elementos de la edificación.
- Comparar el desempeño del concreto premezclado y el producido en obra en términos de resistencia, calidad y cumplimiento de la normativa NSR-10.
- Identificar posibles desviaciones en los procesos de producción, transporte y vaciado del concreto, y proponer acciones correctivas para garantizar la calidad y la eficiencia en la ejecución del proyecto.
- Generar un informe técnico que consolide las conclusiones del seguimiento realizado, incluyendo recomendaciones para optimizar los procedimientos de supervisión y control de calidad en futuros proyectos de construcción.

4 Marco teórico

4.1 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

El Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 tiene como propósito principal “Reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas, y defender en lo posible el patrimonio del Estado y de los ciudadanos.” (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2012, Cap. A.1, Sec. A.1.2.2.1), por lo cual es el documento normativo obligatorio en el país. Para nuestro contexto, nos centraremos en el título C que habla de concreto estructural, y en el apartado 6 que lleva por título “Calidad del concreto, mezclado y colocación”, ya que en esta sección se habla de los requisitos que debe cumplir la mezcla para su aprobación y posterior uso en la estructura.

El concreto, al ser el material predominante en elementos estructurales como columnas, vigas y losas, debe cumplir con propiedades mecánicas específicas que aseguren su capacidad para resistir cargas y esfuerzos según lo diseñado. La NSR-10 destaca que la calidad del concreto no solo depende de sus componentes básicos (cemento, agua, agregados y aditivos), sino también de su proceso de fabricación, transporte, vaciado y curado. Cada etapa es crucial para evitar defectos como fisuras, segregación o resistencia insuficiente, que podrían comprometer la seguridad estructural.

Este apartado enfatiza la importancia de realizar ensayos de calidad, como pruebas de compresión en cilindros de concreto, para verificar si el material cumple con los estándares establecidos. Además, se promueve la implementación de controles continuos durante toda la cadena de producción y aplicación, desde el diseño de la mezcla hasta su colocación en obra. Estas acciones no solo buscan cumplir con los valores mínimos establecidos por la normativa, sino también garantizar la durabilidad de la estructura frente a factores ambientales y cargas dinámicas.

La calidad del concreto adquiere especial relevancia en el contexto sismo resistente, ya que una resistencia adecuada permite que los elementos estructurales actúen como un sistema cohesivo durante un evento sísmico, disipando la energía de manera controlada y evitando colapsos. Por esta razón, la NSR-10 insta a que las propiedades del concreto sean consistentes con las exigencias del

diseño estructural, asegurando que cada elemento cumpla su función dentro del sistema constructivo.

La norma establece lineamientos técnicos precisos respecto a la resistencia que debe alcanzar el concreto a los 28 días, medida a través de ensayos de compresión en cilindros estándar (Figura 1). Este parámetro es considerado uno de los más relevantes en el diseño y control de calidad del concreto, ya que refleja la capacidad del material para soportar cargas y esfuerzos de manera segura en condiciones normales de uso.

Figura 1

Máquina de ensayo para materiales de alta resistencia a la compresión



Fuente: <https://www.ibertest.es/products/maquina-de-ensayo-para-materiales-de-alta-resistencia-la-compresion-serie-meh/>

De acuerdo con la norma, los ensayos deben realizarse sobre cilindros de concreto con dimensiones estandarizadas (generalmente de 4x8 o 6x12 pulgadas), los cuales se preparan y curan siguiendo procedimientos rigurosos para garantizar resultados representativos. La resistencia

alcanzada a los 28 días, conocida como resistencia a compresión f'_c , es el principal indicador de calidad y desempeño del concreto. Este valor es definido por el diseño estructural, dependiendo de las exigencias específicas del proyecto y las cargas a soportar.

La NSR-10 C.5.6.2.4 exige que el concreto cumpla con el valor mínimo especificado de resistencia a compresión, permitiendo una tolerancia limitada que se debe analizar mediante la evaluación estadística de los resultados obtenidos. Para asegurar el cumplimiento en el apartado C.5.6.3.3, se establece que el promedio de 3 ensayos consecutivos debe igualar o superar la resistencia especificada, y ningún ensayo individual debe registrar un valor inferior a $f'_c - 3.5$ MPa cuando f'_c es igual o menor a 35 MPa, o $0.1f'_c$ cuando f'_c es mayor a 35 MPa.

La importancia de alcanzar la resistencia especificada radica en la necesidad de que el concreto cumpla con las funciones para las que fue diseñado, asegurando tanto la estabilidad estructural como la durabilidad frente a factores externos, como cargas dinámicas, cambios climáticos y, especialmente, eventos sísmicos. Además, la norma promueve la implementación de controles rigurosos durante el proceso de fabricación y curado del concreto, pues factores como la relación agua-cemento, la calidad de los agregados y las condiciones ambientales durante el fraguado pueden influir directamente en los resultados de los ensayos.

En el contexto de las construcciones sismo resistentes, garantizar que el concreto alcance su resistencia especificada a los 28 días es fundamental para que los elementos estructurales trabajen de manera eficiente en conjunto, disipando la energía sísmica y evitando fallas críticas. Por ello, la NSR-10 no sólo establece requisitos mínimos de resistencia, sino que también insiste en la necesidad de controles sistemáticos y registros detallados que permitan identificar posibles desviaciones y aplicar medidas correctivas oportunas.

4.2 Norma Técnico Colombiana (NTC)

4.2.1 NTC 550

La Norma Técnica Colombiana (NTC) 550 establece los lineamientos para la elaboración, curado y ensayo de cilindros de concreto con el objetivo de evaluar sus propiedades mecánicas, en

especial la resistencia a compresión. Esta norma es fundamental en el control de calidad de las mezclas de concreto utilizadas en proyectos de construcción, ya que proporciona directrices claras para garantizar que los ensayos sean representativos y confiables.

La elaboración de cilindros de concreto es un proceso crítico que debe ejecutarse con precisión para obtener resultados válidos. Según la NTC 550, los pasos principales para la preparación de los cilindros son los siguientes:

1. Selección del molde: Los moldes deben ser cilíndricos, impermeables y cumplir con las dimensiones especificadas (generalmente 4x8 o 6x12 pulgadas). Además, deben estar limpios, libres de deformaciones y con un recubrimiento adecuado para facilitar el desmoldeo del espécimen (Figura 2).

Figura 2

Formaletas cilíndricas usadas en obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

2. Preparación de la mezcla de concreto: Se debe utilizar la mezcla que se planea evaluar, asegurándose de que esté debidamente homogeneizada. Es importante verificar que las proporciones de los materiales y la relación agua-cemento cumplan con las especificaciones del diseño (Figura 3).

Figura 3

Concreto extraído de planta mezcladora Domat Obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

3. Llenado de los moldes: Los moldes se llenan en capas sucesivas (para cilindros de 4x8", como es el caso de la obra Vibratto, se realiza en dos capas de igual volumen), compactando cada capa mediante varillado o vibración para eliminar vacíos y asegurar una densidad uniforme. El varillado se realiza con una varilla metálica estándar, aplicando golpes distribuidos uniformemente (Figura 4).

Figura 4

Llenado de cilindros en obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

4. Nivelado de la superficie: Una vez lleno el molde, la superficie del cilindro debe nivelarse con una herramienta metálica o una espátula para garantizar que quede uniforme y lisa. Este paso es crucial para evitar irregularidades que puedan influir en los resultados del ensayo (Figura 5).

Figura 5

Nivelación de superficie en muestra obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

5. Identificación del espécimen: Cada cilindro debe marcarse claramente con un identificador único que permita su trazabilidad, incluyendo información sobre la mezcla, la fecha de preparación y su ubicación en la estructura, si corresponde (Figura 6).

Figura 6

Cilindros de obra Vibratto marcados, previos a recolección



Fuente: Elaboración propia

6. Curado inicial: Los cilindros deben protegerse de la deshidratación inmediata cubriéndose con plástico o colocándolos en cámaras húmedas. Este curado inicial dura entre 24 y 48 horas, dependiendo de las condiciones ambientales, antes del desmoldeo.
7. Curado definitivo: Tras desmoldar los especímenes, se colocan en un tanque de agua saturada con cal a una temperatura controlada (entre 23 ± 2 °C). Este curado garantiza que el concreto desarrolle sus propiedades mecánicas de manera adecuada hasta el momento del ensayo (Figura 7).

Figura 7

Tanque de curado ubicado en el cuarto de cilindros Vibratto



Fuente: Elaboración propia

La NTC 550 enfatiza que el seguimiento estricto de estos pasos es esencial para que los cilindros representen fielmente las condiciones y propiedades del concreto utilizado en la obra. Los errores en cualquiera de estas etapas pueden llevar a resultados inconsistentes, afectando la interpretación de la calidad del material y, en última instancia, la seguridad de la estructura. Esta norma proporciona una metodología estándar que asegura la confiabilidad de los ensayos de compresión en cilindros de concreto, contribuyendo a la evaluación precisa de la resistencia del material. Este proceso es clave para cumplir con los requerimientos de diseño y normativos, garantizando estructuras seguras y duraderas.

4.2.2 NTC 396

Por otro lado, será de utilidad la norma NTC 396, esta establece el procedimiento estándar para medir el asentamiento del concreto fresco, un indicador esencial de su consistencia y trabajabilidad. Este ensayo es ampliamente utilizado en la ingeniería civil para garantizar que el concreto tenga las propiedades necesarias para su correcta colocación y desempeño en obra. El

propósito de este procedimiento es determinar la facilidad con la que el concreto puede fluir y adaptarse a los encofrados y armaduras, sin que se produzcan problemas como segregación de los materiales o exudación excesiva de agua. Un concreto con una consistencia adecuada facilita el trabajo en obra y asegura un acabado uniforme y resistente. Su procedimiento es el siguiente:

1. Preparación de la muestra: Se obtiene una muestra representativa del concreto fresco, siguiendo normas de muestreo adecuadas, como la NTC 454, para garantizar que refleje las características de la mezcla (Ver Figura 3).
2. Llenado del molde: Se utiliza un molde troncocónico metálico conocido como "cono de Abrams", que tiene dimensiones estándar de 305 mm de altura, con un diámetro superior de 100 mm y uno inferior de 200 mm. El molde se llena en tres capas iguales, compactando cada una con 25 golpes uniformemente distribuidos con una varilla metálica (Ver Figura 8).

Figura 8

Procedimiento de llenado molde troncocónico



Fuente: <https://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/modifican-cono-de-abrams-para-evitar-desperdicio-de-mezclas>

3. Nivelación y retiro del molde: Tras llenar y compactar la última capa, se nivela el concreto al ras del borde superior del molde utilizando una cuchara o herramienta adecuada. Luego, se retira el molde verticalmente y de manera cuidadosa para evitar movimientos laterales que puedan alterar el resultado.

4. Medición del asentamiento: Se mide la diferencia entre la altura original del molde (305 mm) y la altura final del concreto asentado. Esta medida, en milímetros, indica la consistencia del concreto (Ver Figura 9).

Figura 9

Verificación de asentamiento obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

Este ensayo permite determinar la fluidez y manejabilidad del concreto fresco, asegurando que sea adecuado para colocarse y compactarse correctamente en obra. Resultados fuera del rango esperado pueden indicar mezclas mal proporcionadas o condiciones no aptas para su uso.

4.3 Comportamiento del concreto u hormigón

El concreto, hormigón, o, también conocido como “roca artificial” según la literatura, es uno de los materiales más utilizados en el mundo, en mayor medida para la construcción de elementos estructurales que componen las edificaciones modernas, esto vuelve crucial el completo

entendimiento de su comportamiento y características, pues es el conocimiento que permitirá una comprensión de los fenómenos que puedan ocurrir con él.

El concreto es un material de construcción fundamental en la ingeniería civil, compuesto por una mezcla de cemento, agua, agregados y, en muchos casos, aditivos que intervienen en sus propiedades. Su historia se remonta a la antigüedad, cuando los romanos desarrollaron una versión primitiva utilizando puzolanas y cenizas volcánicas. Sin embargo, su evolución moderna comenzó con el desarrollo del cemento Portland en 1824 por Joseph Aspdin, que revolucionó la construcción gracias a su resistencia y versatilidad (Varona et al., 2012)

El concreto está compuesto por cuatro elementos principales:

- **Cemento:** Es el aglutinante hidráulico que reacciona con el agua para formar una pasta resistente. Los tipos de cemento más comunes incluyen el cemento Portland y sus variantes, que incorporan escorias, puzolanas y otros aditivos para mejorar propiedades específicas como durabilidad y resistencia al medio ambiente (Ver Figura 10).

Figura 10

Cemento Argos utilizado en obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

- Agregados: Constituyen el material granular que proporciona volumen y resistencia. Se clasifican en agregados finos (arena) y gruesos (grava o piedra triturada). La calidad y tipo de agregado influyen en la durabilidad y resistencia del hormigón (Ver Figura 11).

Figura 11

Imagen agregados usados en obra Vibratto (Cantera Piedra Verde), finos (izquierda) y gruesos (derecha)



Fuente: Elaboración propia

- Agua: Es esencial para la hidratación del cemento y para garantizar la trabajabilidad de la mezcla. Sin embargo, un exceso puede generar porosidad, reduciendo la resistencia del material (Ver figura 12).

Figura 12

Tanque para abasto de agua planta mezcladora obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

- Aditivos: Sustancias químicas o minerales que mejoran características específicas, como la fluidez, el tiempo de fraguado o la resistencia a ambientes agresivos (Ver Figura 13).

Figura 13

Aditivo Isoflow 5300 Cemex usado en obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

La durabilidad del concreto depende de la calidad de los materiales, la proporción de la mezcla y el ambiente al que está expuesto. Factores como la carbonatación o el ataque de cloruros pueden dañar las estructuras, por lo que es clave usar cementos resistentes y aditivos que reduzcan su permeabilidad.

5. Metodología

La metodología a seguir para la sistematización de los resultados de las resistencias de los concretos comienza desde la elección de la resistencia a utilizar, esto depende del elemento que se decida vaciar ya que según el diseño estructural, cada uno cuenta con una resistencia específica para cumplir su función dentro de la estructura total; por ejemplo, para el proyecto Vibratto se tienen las siguientes resistencias: Para las columnas que van desde el sótano al piso 9 se usará un concreto de 42 MPa (6 000 psi), para columnas del piso 10 a la cubierta, columnas de la rampa vehicular, vigas aéreas del piso 1 al 5 y vigas de la rampa vehicular se utilizará concreto de 35 MPa (5 000 psi), para vigas aéreas del piso 6 a la cubierta, losas, nervios, pilas y sus respectivos dados se usará concreto de 28 MPa (4 000 psi) y para vigas de fundación y escalas se usará concreto de 21 MPa (3 000 psi) (Ver Figura 14).

Figura 14

Extracción de rótulo planos estructurales obras Vibratto donde se evidencian resistencias principales

2. Especificaciones de Materiales

- Resistencia Vigas de fundacion: $f_c=21$ MPa
- Resistencia Pilas: $f_c=21-28$ MPa
- Resistencia Dados de Fundacion: $f_c=28$ MPa
- Resistencia Columnas Sotano a Piso9: $f_c=42$ MPa
- Resistencia Columnas Piso10 a Cubierta: $f_c=35$ MPa
- Resistencia Columnas Rampa Vehicular $f_c=35$ MPa
- Resistencia Vigas aérea Piso1 a Piso5: $f_c=35$ MPa
- Resistencia Vigas aérea Rampa Vehicular: $f_c=35$ MPa
- Resistencia Vigas aérea Piso6 a Cubierta: $f_c=28$ MPa
- Resistencia Losa u nervios: $f_c=28$ MPa

Fuente: Elaboración propia. Planos estructurales Vibratto

Luego de definir (generalmente según programación) los componentes a vaciar, se elegirá la procedencia del concreto, es decir, si este será premezclado o fabricado en obra (con una planta mezcladora instalada en la obra). Para el caso particular de la obra Vibratto, no se contaba con planta mezcladora en la fase inicial del proyecto, por lo cual se utilizó en su totalidad concreto

premezclado de dos proveedores diferentes, Cemex y Alión, siendo este último el proveedor principal cuando se usa concreto premezclado. Poco después de finalizar las cimentaciones de la estructura se instaló la planta mezcladora, su proveedor es Domat S.A.S (Ver Figura 15), con la cual, luego de la inclusión del diseño de mezcla realizado por Cemex con las resistencias anteriormente mencionadas y las pertinentes pruebas, se inició la producción en obra, reduciendo tiempos de vaciado y en general, eficiencia en las actividades a desarrollar, gracias a la facilidad de producir concretos de diferente resistencia en un tiempo reducido.

Figura 15

Planta mezcladora Domat instalada en obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

En ambos casos (al utilizar concreto premezclado o in situ) se hace una verificación del asentamiento justo en el momento previo a comenzar el vaciado para asegurar que el concreto tiene la manejabilidad requerida, este proceso se hace teniendo en cuenta los lineamientos de la NTC 396 (Ver Figura 16). En el caso del concreto premezclado, este parámetro se debe medir antes de comenzar el descargue del camión mezclador, y repetir el proceso con cada camión a utilizar,

cuando se ha verificado el valor, se procede a comenzar el vaciado. Por otro lado, cuando se trata de concreto en obra producido en la planta mezcladora, se realiza la verificación de asentamiento entre el segundo y tercer bache producido (es importante mencionar que el proceso de transporte interno principal para el concreto en la obra Vibratto es a través de un bache con capacidad para 0.45 metros cúbicos, movido por una torre grúa instalada en un punto estratégico para el abastecimiento de la edificación), esto se hace para evitar la alteración o contaminación del diseño de mezcla al iniciar la producción.

Figura 16

Asentamiento tomado de planta mezcladora Domat en obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

Una vez verificado el asentamiento se procede a tomar la muestra de la mezcla y a comenzar el procedimiento descrito por la norma NTC 550, esta muestra es transportada al cuarto de cilindros con el que cuenta la obra donde se realiza el llenado de los cilindros. Por decisión de la empresa, en cada muestreo se producen 9 cilindros, de los cuales 3 se fallan a una edad de 7 días posteriores a su producción, 3 se fallan a 28 días posteriores a su producción (los cuales arrojarán los resultados

más importantes ya que son los requeridos por la norma NSR-10 C.5.6 como se explicó previamente) y se conservan en la obra 3 cilindros que servirán como testigos, estos se utilizarán si alguna muestra tiene alguna inconformidad con sus resultados a 28 días, dado el caso que esto ocurra, se envían al laboratorio los 3 cilindros restantes y se fallan a una edad de 56 días y con este resultado se toman decisiones frente a la novedad (Ver Figura 17). En algunos casos, se pueden producir 3 cilindros adicionales para obtener resultados de su resistencia a una edad de 3 días, esto puede pasar en casos donde se requiera conocer el comportamiento del concreto a temprana edad, ya sea para la autorización de desencofrado en la estructura, la utilización de los elementos vaciados recientemente o conocer el comportamiento de un nuevo diseño de mezcla, en los dos primeros casos se puede aplicar a las losas, ya que esto permite continuar con la construcción a pocos días de fundir estos elementos y así optimizar los recursos de equipo.

Figura 17
Cilindros de concreto realizados en obra Vibratto



Fuente: Elaboración propia

El ayudante capacitado para las tareas anteriormente descritas (también llamado “cilindrero”) debe tener un completo conocimiento de los procesos y una noción básica del sentido que tiene realizar cada uno de los ejercicios, ya que una equivocación en alguno de los procedimientos puede ser crucial en la interpretación de los resultados de resistencias. Es por esto que se capacita constantemente al personal con acompañamiento del equipo de ingeniería de la obra y asesores externos (en este caso empresas como Cemex y Alión), sin embargo, se realiza un

constante acompañamiento por parte del auxiliar de ingeniería, o en este caso el practicante, en las labores que desempeña el cilindrero y así asegurar un correcto desempeño.

Posterior al proceso de creación de los cilindros, se someten las muestras a fraguado en un tanque ubicado en el cuarto de cilindros y así, luego de un tiempo se envían al laboratorio para la determinación de la resistencia de las muestras a estudiar. El laboratorio elegido para el proyecto Vibratto es S.G.S S.A, estos se encargan del transporte de las muestras, su falla a través de compresión uniaxial y el registro de resultados por medio de su plataforma, de la cual se toman los datos para la sistematización en el proyecto.

La estructura cuenta con 20 niveles, lo que implica 19 losas. Cada losa será vaciada en tercios, por lo que se extraerán tres muestras por vaciado: una para las vigas, una para los nudos de las columnas y otra para la loseta, dado que es una losa aligerada. Para las vigas y las losetas se requieren 12 cilindros, cada elemento (3 a 3 días, 3 a 7 días, 3 a 28 días y 3 testigos a 56 días), mientras que, para los nudos de columnas se requieren 9 cilindros (3 a 7 días, 3 a 28 días y 3 testigos a 56 días), dando un total de 627 cilindros en lo que respecta a losas. Por su parte, la estructura cuenta con 24 columnas en los tres niveles de parqueaderos y el sótano, para luego pasar a 16 por piso, se planea obtener 8 muestras por cada nivel fundiendo 9 cilindros en cada una (es decir, 3 columnas por muestra), lo que significa un total de 1 368 cilindros por concepto de columnas en toda la estructura. Quedando así con un total estimado de 1 995 cilindros al finalizar la torre del proyecto.

A medida que el laboratorio publica los resultados de las resistencias a diferentes edades de las muestras enviadas se procede al registro de esta información en la obra, esta sistematización se realiza a través de formatos preestablecidos por Centro Sur S.A.S, donde se facilita el seguimiento y análisis de los resultados, en la Tabla 1 se presenta un fragmento de dicho formato donde se puede ver la identificación del elemento registrado, el número consecutivo de la muestra, la edad de falla, sus características y los resultados obtenidos en cuanto a su resistencia:

Tabla 1

Fragmento de informe ejecutivo de concretos utilizado para registro de resultados en obra Vibratto

N°	Localización	Asentamiento (cm)	Fecha Rotura	Código Mezcla	Edad (días)	Resistencia Nominal (Mpa)	Resistencia (Mpa)	Resistencia (Psi)	Resistencia (kg/cm2)	% obtenido	Concretera	Tipo de falla	Resistencia Nominal (MPa)
198	Columnas F15 y C15 (P5)	20	12/23/2024	6 000	7	42	37.7	5 470.1	385	90	DOMAT	2	42
198	Columnas F15 y C15 (P5)	20	12/23/2024	6 000	7	42	38.4	5 562.5	391	91	DOMAT	2	42
198	Columnas F15 y C15 (P5)	20	12/23/2024	6 000	7	42	38.9	5 640.7	397	92	DOMAT	2	42
199	Nudos F2 y C2 losa piso 5	20	12/24/2024	6 000	7	42	41.2	5 972.5	420	98	DOMAT	2	42
199	Nudos F2 y C2 losa piso 5	20	12/24/2024	6 000	7	42	43.4	6 296.9	443	103	DOMAT	2	42
199	Nudos F2 y C2 losa piso 5	20	12/24/2024	6 000	7	42	42.2	6 115.7	430	100	DOMAT	2	42
200	"Vigas losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/20/2024	5 000	3	35	29.8	4 320.9	304	85	DOMAT	2	35
200	"Vigas losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/20/2024	5 000	3	35	29.9	4 342.8	305	86	DOMAT	2	35
200	"Vigas losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/20/2024	5 000	3	35	30.5	4 429.1	311	87	DOMAT	2	35
200	"Vigas losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/24/2024	5 000	7	35	33.1	4 801.9	338	94	DOMAT	1	35
200	"Vigas losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/24/2024	5 000	7	35	33.3	4 828.1	339	95	DOMAT	2	35
200	"Vigas losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/24/2024	5 000	7	35	33.6	4 878.5	343	96	DOMAT	2	35
201	Torta y nervios losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/20/2024	4 000	3	28	24	3 487.6	245	86	DOMAT	3	28
201	Torta y nervios losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/20/2024	4 000	3	28	24.2	3 504.8	246	86	DOMAT	3	28
201	Torta y nervios losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/20/2024	4 000	3	28	25.1	3 633.7	255	89	DOMAT	3	28
201	Torta y nervios losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/24/2024	4 000	7	28	28.2	4 092.7	288	101	DOMAT	2	28

Supervisión de la producción y vaciado de concreto hidráulico en el proyecto Vibratto a cargo de constructora Centro Sur: Análisis de la eficiencia y calidad del concreto premezclado y producido en obra mediante planta mezcladora

201	Torta y nervios losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/24/2024	4 000	7	28	29.3	4 254.9	299	105	DOMAT	2	28
201	Torta y nervios losa piso 5 ejes 3 (1/3) - 2'	20	12/24/2024	4 000	7	28	28.2	4 090.7	288	101	DOMAT	2	28

Fuente: Informe Ejecutivo Concreto Vibratto 31122024

Además de este formato, también se utilizan otros formatos auxiliares que facilitan el control de los datos, tanto de la caracterización muestra-elemento, como las fechas de muestreo y falla. Para esta caracterización se utiliza un registro de remisiones donde se enlaza cada elemento de la edificación con su respectiva muestra, esto se puede ver en la Tabla 2.

Tabla 2

Registro de muestra 100 en formato de remisiones obra Vibratto

Fecha		09/10/2024		Nombre quien elabora			JUAN CAMILO ZAPATA			
Nombre obra		VIBRATTO					Código de material		M-7656	
N°	N° Muestra	Toma de muestra		Edad (días)	Fecha de ensayo	Asentamiento (cm)	Descripción de la muestra	Procedencia mezcla	Tipo cemento	Resis. Diseño (kg/cm ²)
		Fecha	Hora							
1	100	08/10/2024	14:00	3	11/10/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
2	100	08/10/2024	14:00	3	11/10/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
3	100	08/10/2024	14:00	3	11/10/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
4	100	08/10/2024	14:00	7	15/10/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
5	100	08/10/2024	14:00	7	15/10/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
6	100	08/10/2024	14:00	7	15/10/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
7	100	08/10/2024	14:00	28	05/11/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
8	100	08/10/2024	14:00	28	05/11/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
9	100	08/10/2024	14:00	28	05/11/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
10	100	08/10/2024	14:00	56	03/12/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
11	100	08/10/2024	14:00	56	03/12/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280
12	100	08/10/2024	14:00	56	03/12/2024	15	Tortas y vigas VA hasta eje 7 (tercio)	OBRA	UG	280

Fuente: Remisión de Especímenes para Ensayos Vibratto

En el caso del seguimiento de fechas, también se realiza un registro para documentar el momento de fundida, desencofrado, las diferentes edades de falla y el envío al laboratorio (Ver Tabla 3, esto facilita la gestión de la información que debe ser anexada en los formatos previamente presentados.

Tabla 3

Fragmento de registro muestras de concreto con fechas de fundida, desencofrado, falla y recogida en obra Vibratto

Mes	DICIEMBRE														
DÍA	16/12/2024			17/12/2024			18/12/2024			19/12/2024		20/12/2024			
MUESTRA	198			199	200	201	202				203	204	205	206	
EDADES DE FALLA	7 28			7 28	3 7 28	3 7 28	7 28				7 28	7 28	7 28	7 28	
DESENCOFRADO	194- 196	195	197	198	0	0	199	200	201	202	0	0	203	204	0
FALLA A 3 DÍAS	194- 196	0	197	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	201
FALLA A 7 DÍAS	183	0	0	184- 186	185	187	188- 189	190- 191	192	193	0	0	194- 196	195	197
FALLA A 14 DÍAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
FALLA A 28 DÍAS	145	146- 147	148	149	150	0	151	152	0	153	0	0	154	155- 157	156
FALLA A 56 DÍAS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RECOGIDA	188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197										198, 199, 200, 201		202		

Fuente: Elaboración propia

6. Resultados

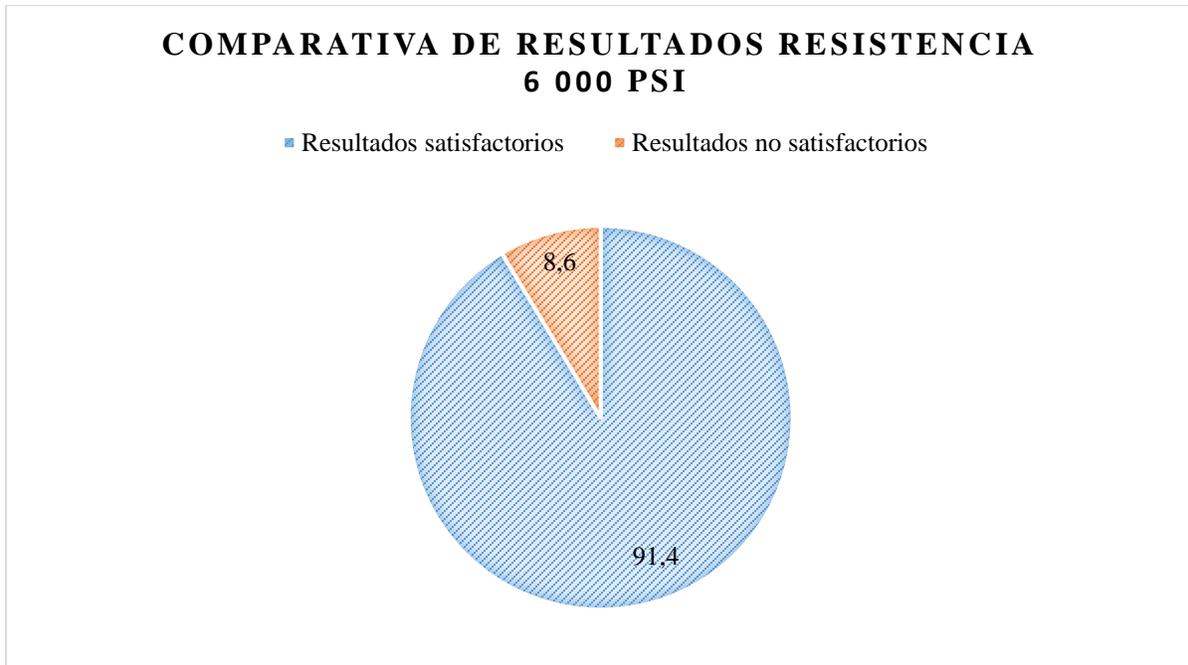
En este informe se analizarán los resultados obtenidos desde el inicio de la obra (26 de diciembre de 2023) hasta finalizado el mes de diciembre de 2024, en este rango de tiempo se han utilizado concretos de resistencias variables para los diferentes elementos que componen la estructura; hasta el 31 de diciembre de 2024 se cuenta con resultados de 58 muestras correspondientes a concreto de 42 MPa (6 000 psi), 18 muestras de concreto de 35 MPa (5 000 psi), 44 muestras de concreto de 28 MPa (4 000 psi), 43 muestras de concreto de 21 MPa (3 000 psi) y 7 muestras de concreto de 17.5 MPa (2 500 psi), esta última resistencia no será tomada en cuenta para el análisis debido a que solo fue utilizada para una compensación de la obra, es decir que la edificación solo cuenta resistencias de 42, 35, 28 y 21 MPa, resultando así un total de 163 muestras correspondientes a la torre principal del proyecto, lo que hace que el control de muestreo sea mayor por la cantidad de resistencias y la metodología de los vaciados. El formato simplificado donde se registran los resultados de las resistencias en cuestión se encuentra completo como anexo al presente informe.

6.1 Concreto de 42 MPa (6 000 psi)

Las muestras correspondientes a 42 MPa representan un 36.6% del total de muestras extraídas en el rango de tiempo a estudiar, esto quiere decir que esta resistencia es la más utilizada hasta el momento en el proyecto, de las 58 muestras existentes se tienen 53 que han cumplido satisfactoriamente la resistencia esperada (91.4%), frente a su contraparte de 5 muestras insatisfactorias (8.6%) como se muestra en la Figura 18.

Figura 18

Comparación de resultados satisfactorios y no satisfactorios muestras 42 MPa



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra una porción del formato simplificado (Tabla 4) utilizado para sistematizar los resultados de resistencias obtenidos, además de una gráfica para mejor visualización del comportamiento (Figura 19):

Tabla 4

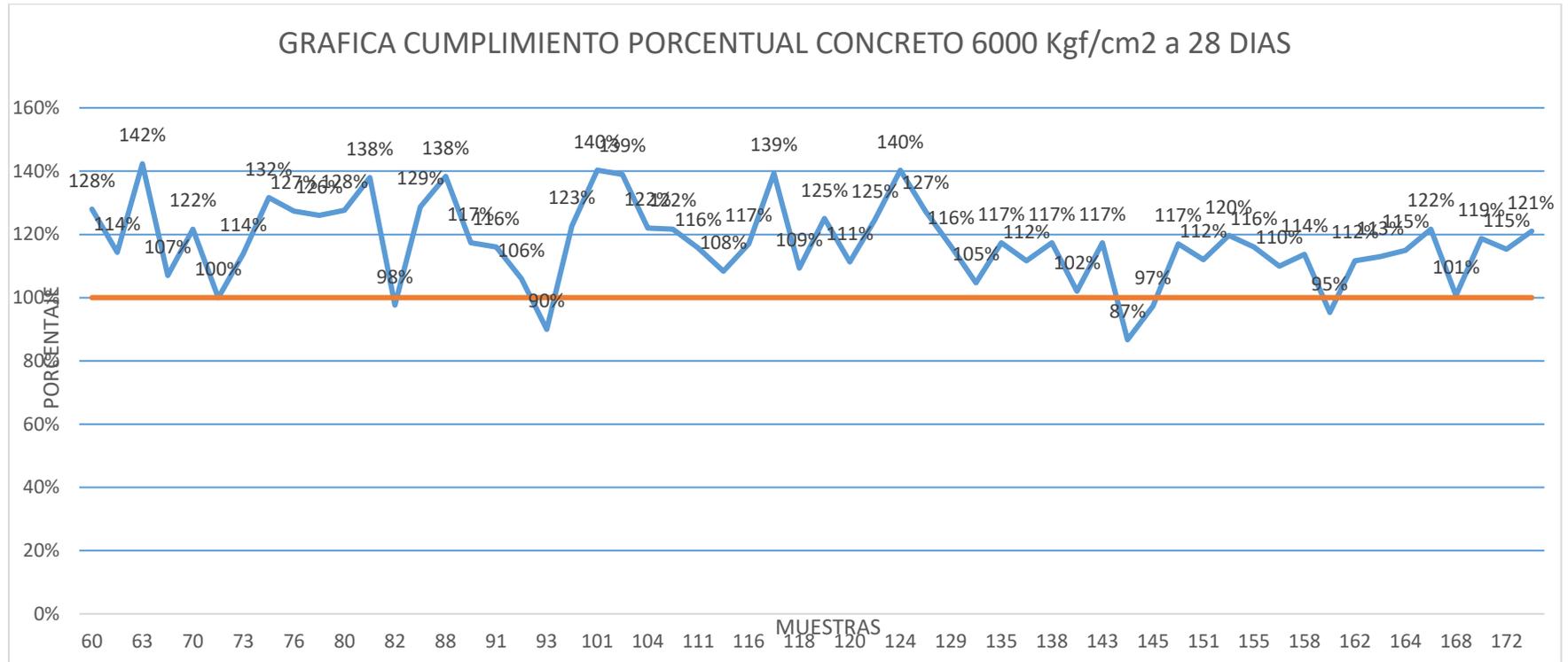
Fragmento de formato simplificado. Resultados de resistencia concreto de 42 MPa

Remisión	Descripción elemento	Asentamiento (cm)	Fecha vaciado	Tipo cilindro	Resistencia (psi)	Edad de falla (días)	Resistencia teórica (MPa)	Resistencia obtenida (MPa)	Resistencia obtenida (psi)	Resistencia obtenida (kg/cm2)	% Resistencia obtenida	Concretera	Tipo de falla
161	Columnas F9, C9 (P3)	20	2024-11-23	4"x8"	6 000	28	42	41.0	5 948.8	418	95%	DOMAT	1
162	Columna C8 (P3)	20	2024-11-25	4"x8"	6 000	28	42	45.4	6 591.1	463	112%	DOMAT	2
163	Columnas F7, F8 y F5 (P3)	20	2024-11-26	4"x8"	6 000	28	42	48.5	7 035.5	495	113%	DOMAT	2
164	Columnas C7, C6 y F4 (P3)	20	2024-11-27	4"x8"	6 000	28	42	48.0	6 965.3	490	115%	DOMAT	2
165	Columnas C4, C2 y F2 (P3)	20	2024-11-28	4"x8"	6 000	28	42	51.1	7 416.2	521	122%	DOMAT	3
168	Nudos columnas losa piso 4 ejes 15' - 9 (1/3)	20	2024-11-29	4"x8"	6 000	28	42	41.4	6 006.5	422	101%	DOMAT	3
169	Columnas C2 (P3)	20	2024-11-30	4"x8"	6 000	28	42	50.5	7 318.6	515	119%	DOMAT	1
172	Nudos columnas losa piso 4 ejes 9 (1/3) - 7 (1/3)	20	2024-12-02	4"x8"	6 000	28	42	50.1	7 259.9	510	115%	DOMAT	2
173	Columnas F15 y C15 (P4)	20	2024-12-03	4"x8"	6 000	28	42	49.7	7 213.8	507	121%	DOMAT	3
Testigos: 82	Columnas B4, F2 (primer tramo) y C4 (segundo tramo)	20	2024-09-23	4"x8"	6 000	56	42	45.3	6 570.6	462	108%	ALIÓN	2

Fuente: Elaboración propia

Figura 19

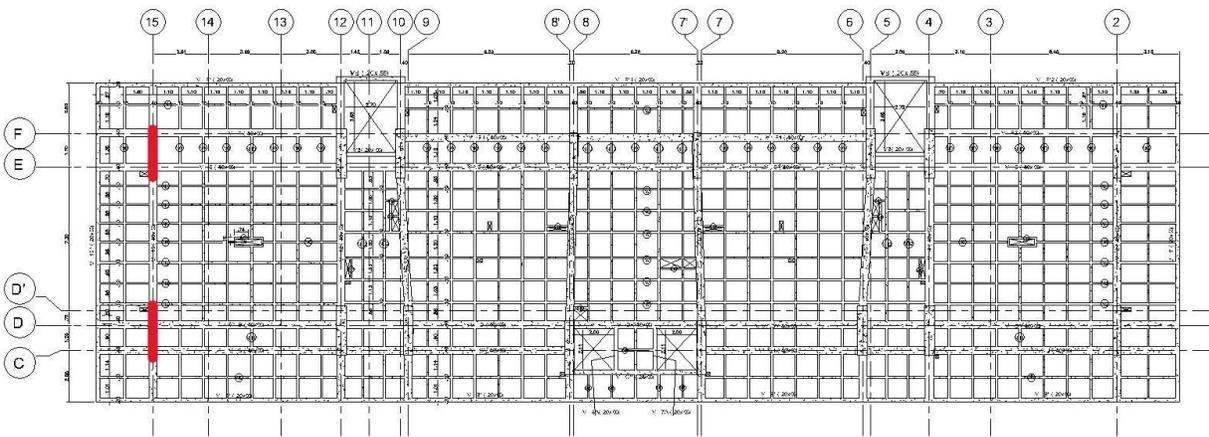
Gráfica de cumplimiento porcentual Concreto 6 000 psi a 28 días



Fuente: Informe Ejecutivo Concreto Vibratto 31122024

El concreto de 42 MPa es utilizado principalmente para las columnas y los nudos, o intersecciones de estas con las losas. En el fragmento del formato mostrado anteriormente se puede ver que la última muestra con registro de falla a los 28 días corresponde a las columnas F15 y C15 del piso 4 (Ver Figura 20).

Figura 20
Columnas F15 y C15 en piso 4 señaladas con rojo



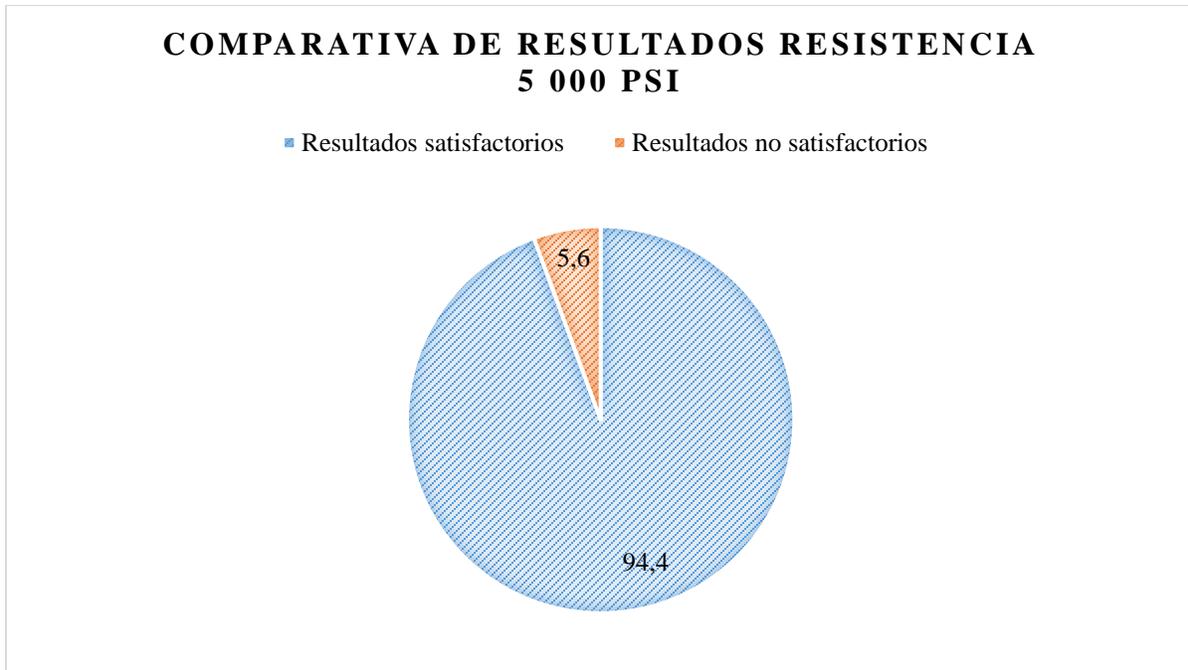
Fuente: Elaboración propia. Planos estructurales Vibratto

6.2 Concreto de 35 MPa (5 000 psi)

Las muestras correspondientes a 35 MPa representan un 11.0% del total de muestras extraídas en el rango de tiempo a estudiar. De las 18 muestras existentes se tienen 17 que han cumplido satisfactoriamente la resistencia esperada (94.4%), frente a su contraparte de 1 muestra insatisfactoria (5.6%) como se muestra en la Figura 21.

Figura 21

Comparación de resultados satisfactorios y no satisfactorios muestras 35 MPa



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra una porción del formato simplificado (Tabla 5) utilizado para sistematizar los resultados de resistencias obtenidos, además de una gráfica para mejor visualización del comportamiento (Figura 22):

Tabla 5

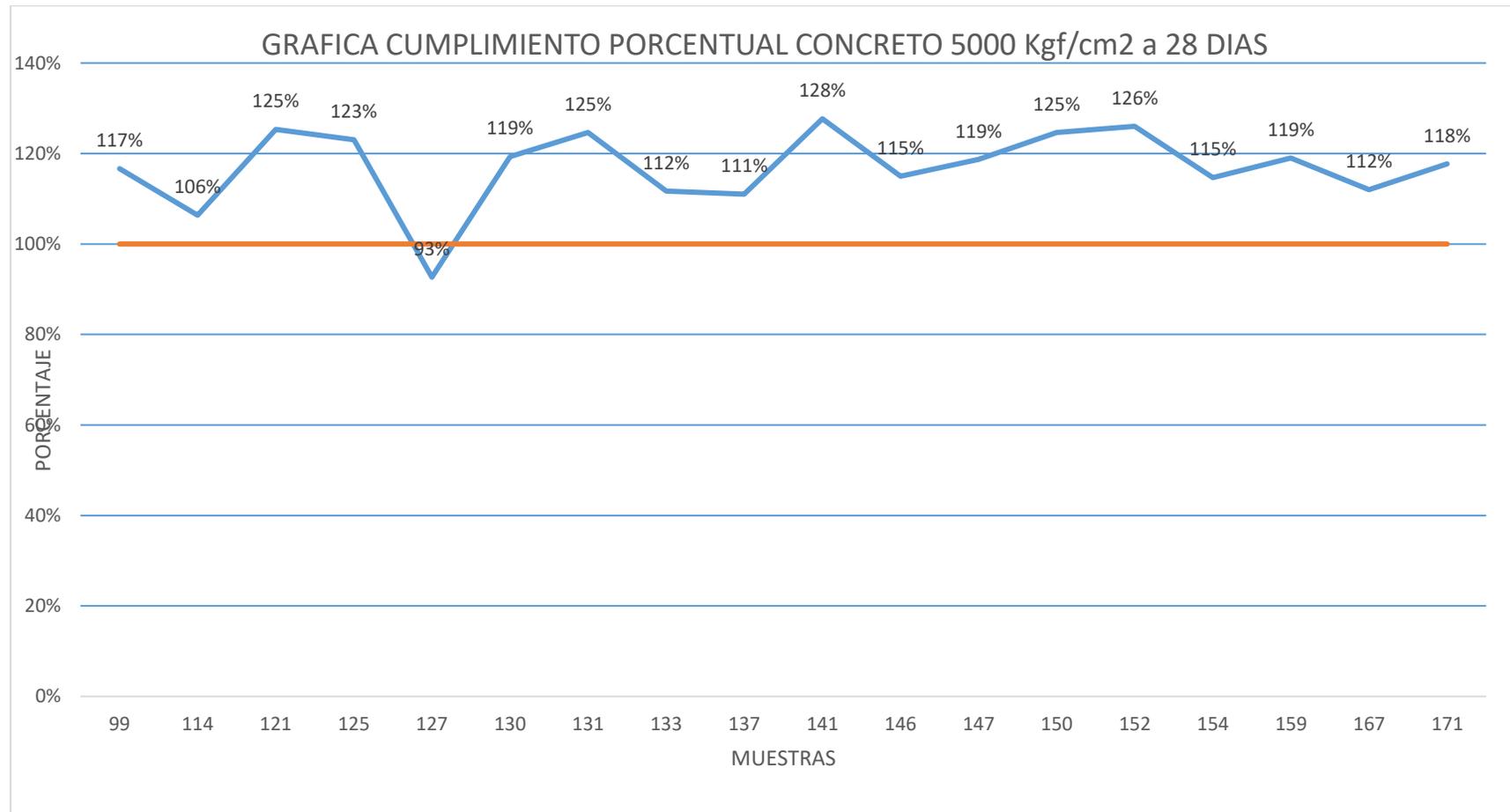
Fragmento de formato simplificado. Resultados de resistencia concreto de 35 MPa

Remisión	Descripción elemento	Asentamiento (cm)	Fecha vaciado	Tipo cilindro	Resistencia (psi)	Edad de falla (días)	Resistencia teórica (Mpa)	Resistencia obtenida (Mpa)	Resistencia obtenida (psi)	Resistencia obtenida (kg/cm ²)	% Resistencia obtenida	Concretera	Tipo de falla
141	Vigas losa piso 3 ejes (17'-13/3)	20	2024-11-14	4"x8"	5 000	28	35	46.8	6 784.4	477	128%	DOMAT	2
146	Vigas losa piso 3 ejes (13/3-9/3) Premezclado	20	2024-11-18	4"x8"	5 000	28	35	41.9	6 075.6	427	115%	ALION	2
147	Vigas losa piso 3 ejes (13/3-9/3) Obra	20	2024-11-18	4"x8"	5 000	28	35	42.1	6 100.1	429	119%	DOMAT	2
150	Columnas B4 y B5 (P2)	20	2024-11-19	4"x8"	5 000	28	35	44.4	6 437.9	453	125%	DOMAT	3
152	Columna B2 (P2)	20	2024-11-20	4"x8"	5 000	28	35	45.2	6 551.1	461	126%	DOMAT	1
154	Vigas losa piso 3 ejes 7 (1/3) - 4 (2/3)	20	2024-11-22	4"x8"	5 000	28	35	39.7	5 754.2	405	115%	DOMAT	3
159	Vigas losa piso 3 ejes 4 (2/3) - 1	20	2024-11-23	4"x8"	5 000	28	35	42.6	6 178.1	434	119%	DOMAT	3
167	Vigas losa piso 4 ejes 15' - 9 (1/3)	20	2024-11-29	4"x8"	5 000	28	35	40.5	5 869.2	413	112%	DOMAT	3
171	Vigas losa piso 4 ejes 9 (1/3) - 7 (1/3)	20	2024-12-02	4"x8"	5 000	28	35	39.7	5 751.2	404	118%	DOMAT	2
Testigos 127	Vigas losa piso 2 ejes (9/3-7/3)	15	2024-11-01	4"x8"	5 000	56	35	39.0	5 650.2	397	109%	DOMAT	3

Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Gráfica de cumplimiento porcentual Concreto 5 000 psi a 28 días

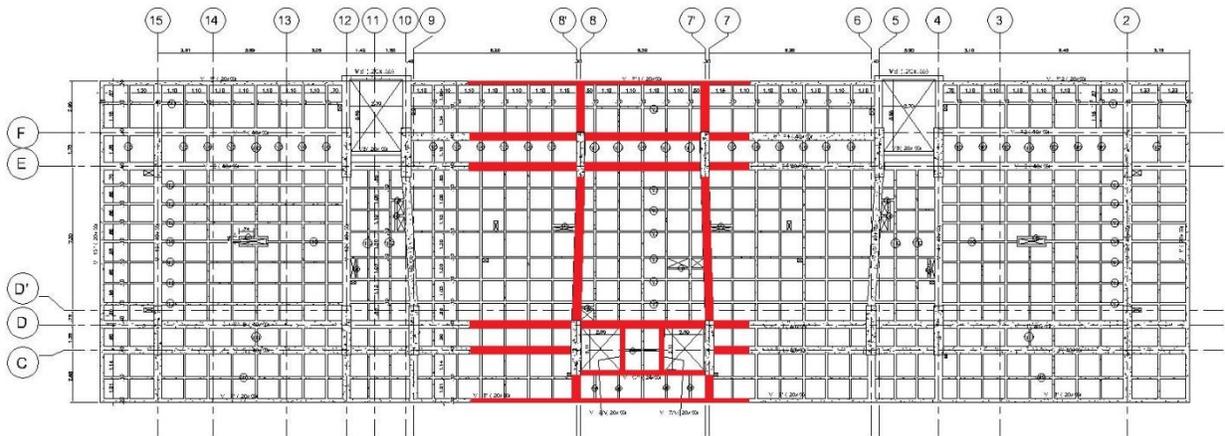


Fuente: Informe Ejecutivo Concreto Vibratto 31122024

El concreto de 35 MPa es utilizado para las vigas principales de las losas (Hasta el tramo de estudio, a partir del piso 9, también será la resistencia utilizada en las columnas de la edificación). En el fragmento del formato mostrado anteriormente se puede ver que la última muestra con registro de falla a los 28 días corresponde a las vigas de la losa de piso 4 en un tramo comprendido entre el tercio del eje 9 hasta el tercio del eje 7 (Ver Figura 23).

Figura 23

Vigas de losa piso 4 entre el tercio del eje 9 hasta el tercio del eje 7 señaladas con rojo



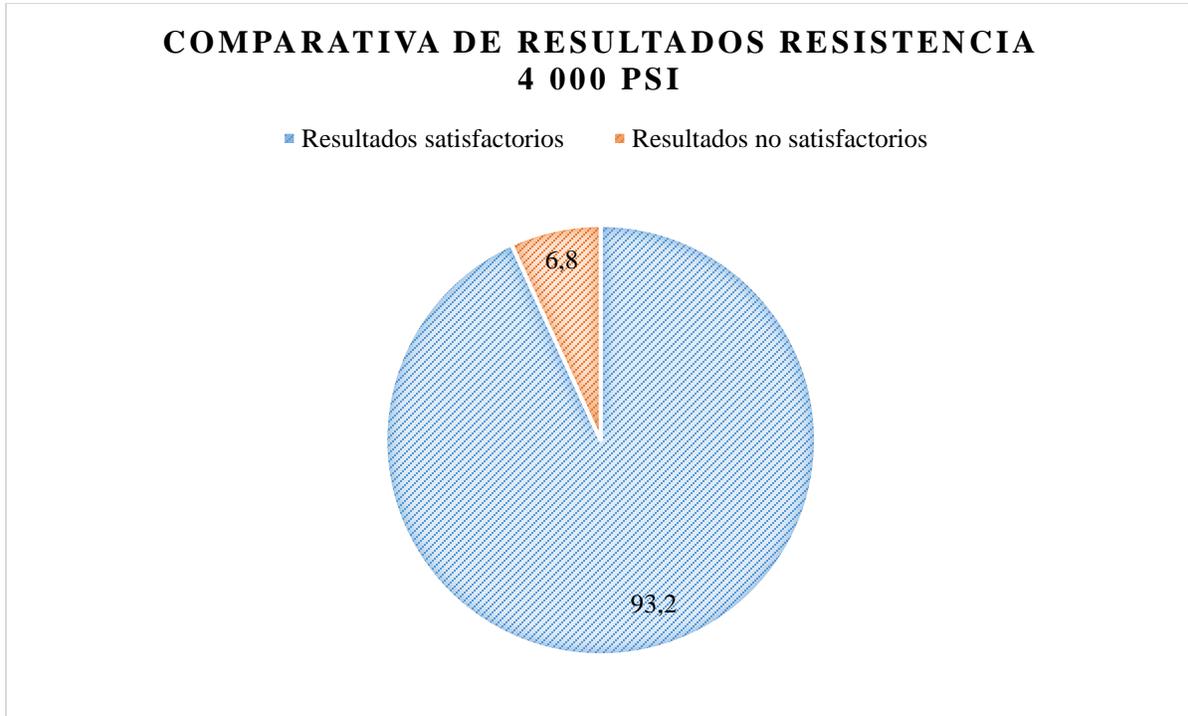
Fuente: Elaboración propia. Planos estructurales Vibratto

6.3 Concreto de 28 MPa (4 000 psi)

Las muestras correspondientes a 28 MPa representan un 27.0% del total de muestras extraídas en el rango de tiempo a estudiar. De las 44 muestras existentes se tienen 41 que han cumplido satisfactoriamente la resistencia esperada (93.2%), frente a su contraparte de 3 muestras insatisfactorias (6.8%) como se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Comparación de resultados satisfactorios y no satisfactorios muestras 28 MPa



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra una porción del formato simplificado (Tabla 6) utilizado para sistematizar los resultados de resistencias obtenidos, además de una gráfica para mejor visualización del comportamiento (Figura 25):

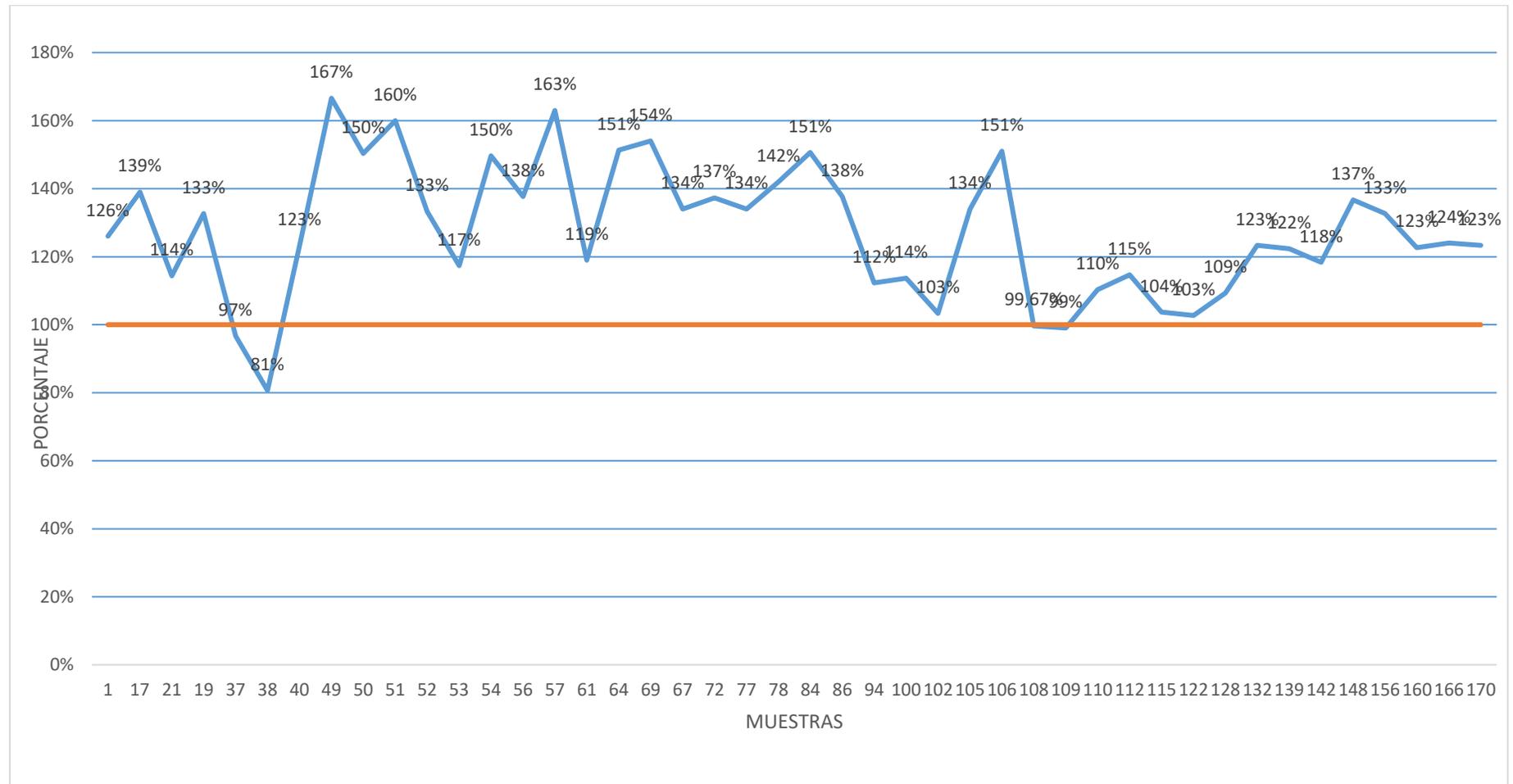
Tabla 6

Fragmento de formato simplificado. Resultados de resistencia concreto de 28 MPa

Remisión	Descripción elemento	Asentamiento (cm)	Fecha vaciado	Tipo cilindro	Resistencia (psi)	Edad de falla (días)	Resistencia teórica (MPa)	Resistencia obtenida (MPa)	Resistencia obtenida (psi)	Resistencia obtenida (kg/cm ²)	% Resistencia obtenida	Concretera	Tipo de falla
139	Torta losa piso 3 ejes (17'-13/3)	15	2024-11-13	4"x8"	4 000	28	28	34.8	5 043.5	355	122%	DOMAT	3
142	Torta losa piso 3 ejes (17'-13/3)	15	2024-11-14	4"x8"	4 000	28	28	30.8	4 471.1	314	118%	DOMAT	3
148	Torta losa piso 3 ejes (9/3-7/3)	20	2024-11-18	4"x8"	4 000	28	28	38.7	5 617.1	395	137%	DOMAT	2
156	Torta losa piso 3 ejes 7 (1/3) - 4 (2/3)	20	2024-11-22	4"x8"	4 000	28	28	37.5	5 440.3	382	133%	DOMAT	3
160	Torta losa piso 3 ejes 4 (2/3) - 1	20	2024-11-23	4"x8"	4 000	28	28	34.4	4 988.6	351	123%	DOMAT	3
166	Torta y nervios losa piso 4 ejes 15' - 9 (1/3)	20	2024-11-29	4"x8"	4 000	28	28	33.4	4 847.2	341	124%	DOMAT	3
170	Torta y nervios losa piso 4 ejes 9 (1/3) - 7 (1/3)	20	2024-12-02	4"x8"	4 000	28	28	34.8	5 052.0	355	123%	DOMAT	2
testigo 38	testigo PILAS C4 Y C10-CABEZOTES	20	2024-06-01	4"x8"	4 000	56	28	25.6	3 711.8	261	94%	CEMEX	2
Testigos 108	Muro de contención vaciado eje 1 (C-F 1T)	15	2024-10-15	4"x8"	4 000	56	28	31.6	4 583.0	322	109%	ALION	2
Testigos 109	Muro de contención vaciado eje 1 (C-F 2T)	15	2024-10-17	4"x8"	4 000	56	28	33.7	4 894.8	344	120%	DOMAT	3
testigos 37	CABEZOTES PILAS P12,P13 Y P14	20	2024-05-31	4"x8"	4 000	56	28	36.2	5 246.0	369	127%	CEMEX	2

Fuente: Elaboración propia

Figura 25
Gráfica de cumplimiento porcentual Concreto 4 000 psi a 28 días

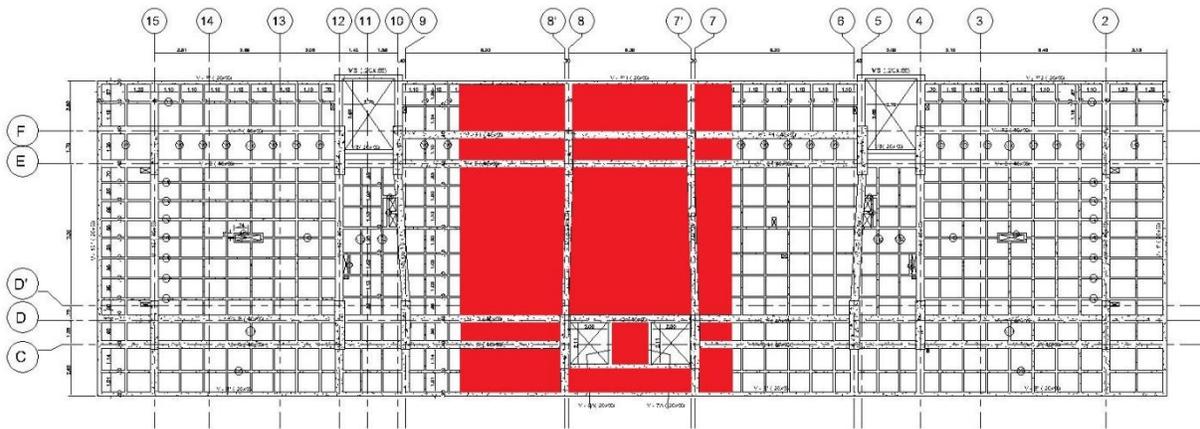


Fuente: Informe Ejecutivo Concreto Vibratto 31122024

El concreto de 28 MPa es utilizado para las pilas (incluyendo campana y cabezote o dado), las losetas y nervios. En el fragmento del formato mostrado anteriormente se puede ver que la última muestra con registro de falla a los 28 días corresponde a la loseta (también llamada torta) y los nervios de la losa de piso 4 en un tramo comprendido entre el tercio del eje 9 hasta el tercio del eje 7 (Ver Figura 26).

Figura 26

Loseta y nervios de losa piso 4 entre el tercio del eje 9 hasta el tercio del eje 7



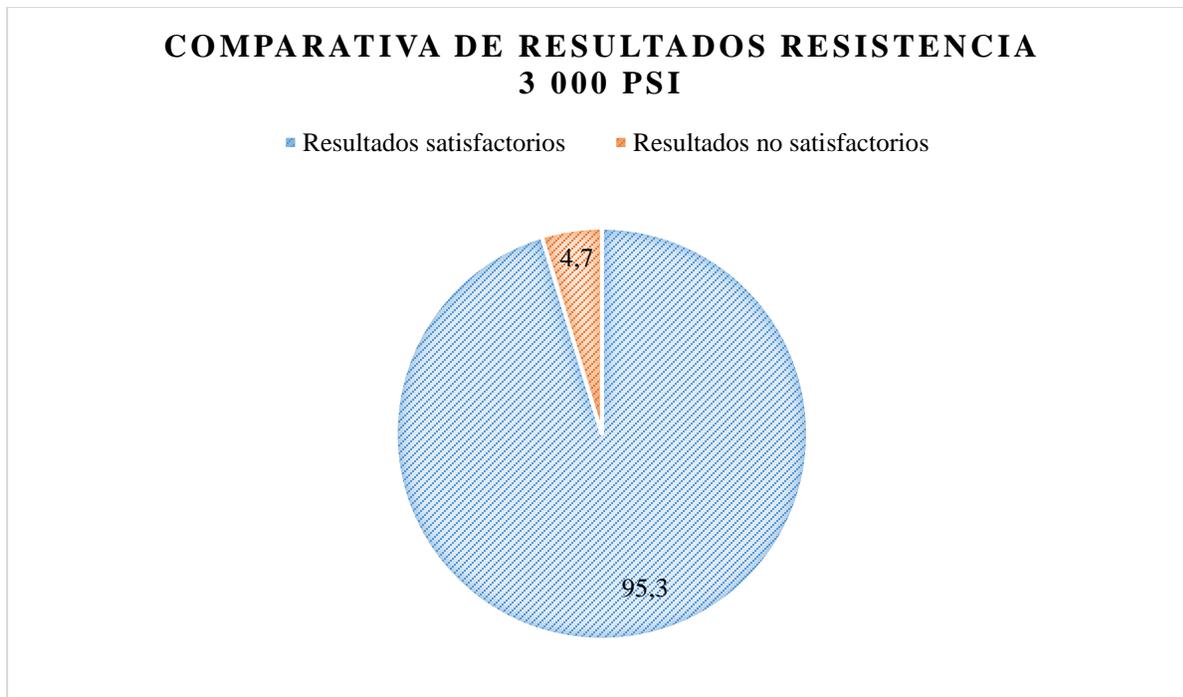
Fuente: Elaboración propia. Planos estructurales Vibratto

6.4 Concreto de 21 MPa (3000 psi)

Las muestras correspondientes a 21 MPa representan un 26.4% del total de muestras extraídas en el rango de tiempo a estudiar. De las 43 muestras existentes se tienen 41 que han cumplido satisfactoriamente la resistencia esperada (95.3%), frente a su contraparte de 3 muestras insatisfactorias (4.7%) como se muestra en la Figura 27.

Figura 27

Comparación de resultados satisfactorios y no satisfactorios muestras 21 MPa



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra una porción del formato simplificado (Tabla 21) utilizado para sistematizar los resultados de resistencias obtenidos, además de una gráfica para mejor visualización del comportamiento (Figura 28):

Tabla 7

Fragmento de formato simplificado. Resultados de resistencia concreto de 21 MPa

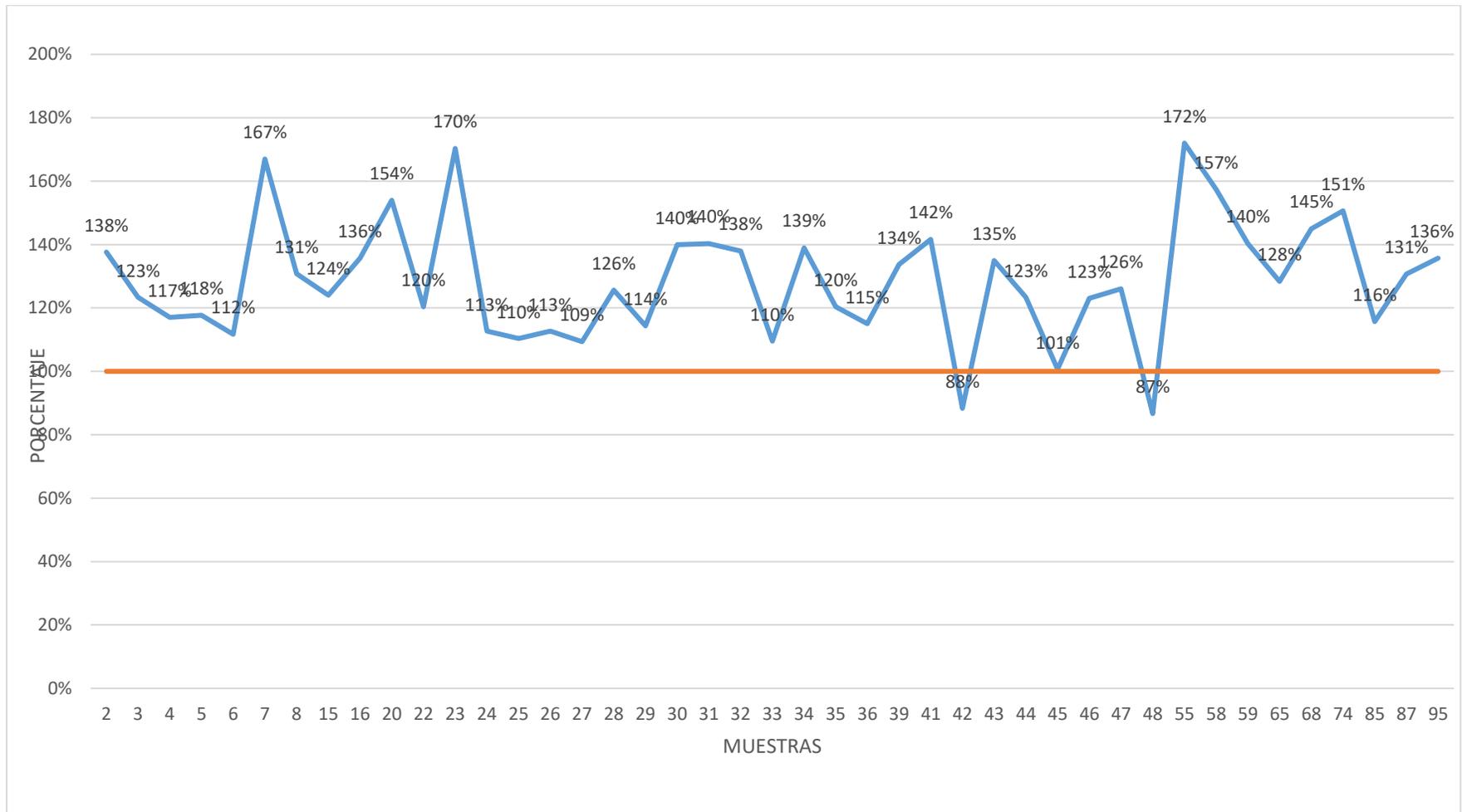
Remisión	Descripción elemento	Asentamiento (cm)	Fecha vaciado	Tipo cilindro	Resistencia (psi)	Edad de falla (días)	Resistencia teórica (MPa)	Resistencia obtenida (MPa)	Resistencia obtenida (psi)	Resistencia obtenida (kg/cm2)	% Resistencia obtenida	Concretera	Tipo de falla
47	"campana y fuste pila 1 torre grua	20	2024/07/13	4"x8"	3 000	28	21	27.8	4 034.9	284	126,0%	CEMEX	2
48	"campana y fuste pila 2 torre grua	20	2024/07/15	4"x8"	3 000	28	21	19.6	2 846.1	20	87,0%	CEMEX	3
55	Vigas F' (8-12), C y D' (8-9) y rampa Domat	20	2024/08/30	4"x8"	3 000	28	21	37.0	5 367.4	377	172,0%	ALION	3
58	Vigas C, D', E, F, F' (7-8) y 7 (B-F')	20	2024/09/05	4"x8"	3 000	28	21	34.3	4 981.1	350	157,0%	ALION	2
59	"Vigas C, D', E, F, F' (7-8) y 7 (B-F')	20	2024/09/06	4"x8"	3 000	28	21	28.6	4 145.3	291	140,0%	ALION	2
65	Vigas B (5-7), C, D' (4-6) y 6 (B-D'/2)	15	10/09/2024	4"x8"	3 000	28	21	27.4	3 978.0	280	128,0%	ALION	2
68	Vigas fundación E, F, F' (6-7), C, D' (2-4), B (3-5) y 5 (E-D'/2)	20	12/09/2024	4"x8"	3 000	28	21	30.4	4 413.2	310	145,0%	ALION	3
74	Vigas fundación 4 (D'-E), E (2-3), F (2-4), F' (2-6), 4, 5	15	17/09/2024	4"x8"	3 000	28	21	34.0	4 936.1	347	151,0%	ALION	3

Remisión	Descripción elemento	Asentamiento (cm)	Fecha vaciado	Tipo cilindro	Resistencia (psi)	Edad de falla (días)	Resistencia teórica (MPa)	Resistencia obtenida (MPa)	Resistencia obtenida (psi)	Resistencia obtenida (kg/cm2)	% Resistencia obtenida	Concretera	Tipo de falla
	(F-F'), F' (escalas 45) y columnetas eje B'												
85	Vigas fundación B, C (1-2) y 1 (B-C)	20	2024/09/25	4"x8"	3 000	28	21	24.3	3 531.4	248	116,0%	ALION	2
87	Vigas fundación eje 15 (D'-E), F (15-12, 1.70) y E (15-12, 1.10)	15	2024/09/26	4"x8"	3 000	28	21	27.3	3 963.2	279	131,0%	ALION	3
95	viga fundación F(2-1), 1(F-F'), F(1-2), 2(F'-F), eje 1 (F-B)	15	2024/10/02	4"x8"	3 000	28	21	26.5	3 844.4	270	136,0%	DOMAT	2

Fuente: Elaboración propia

Figura 28

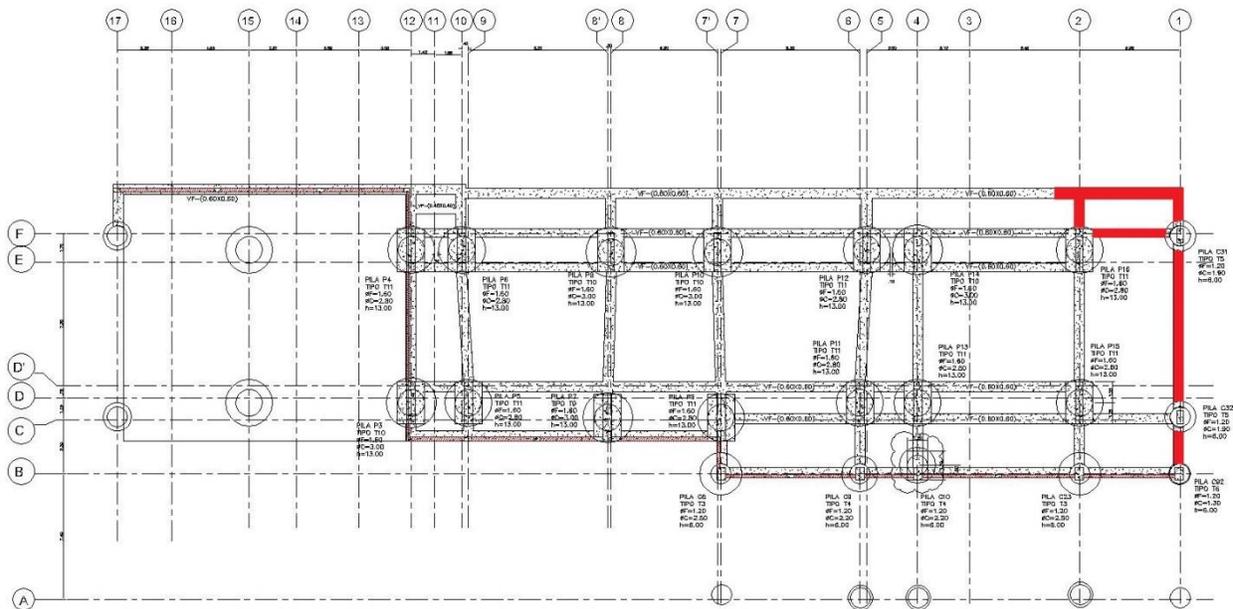
Gráfica de cumplimiento porcentual Concreto 3 000 psi a 28 días



Fuente: Informe Ejecutivo Concreto Vibratto 31122024

El concreto de 21 MPa es utilizado para las vigas de fundación y elementos usados en la compensación anteriormente mencionada (posteriormente se usará también para las escalas de la estructura). En el fragmento del formato mostrado anteriormente se puede ver que la última muestra con registro de falla a los 28 días corresponde a algunos tramos de vigas de fundación en los ejes F, 1 y 2 (Figura 29).

Figura 29
Vigas de fundación en tramos de ejes F, 1 y 2



Fuente: Elaboración propia. Planos estructurales Vibratto

7. Discusión

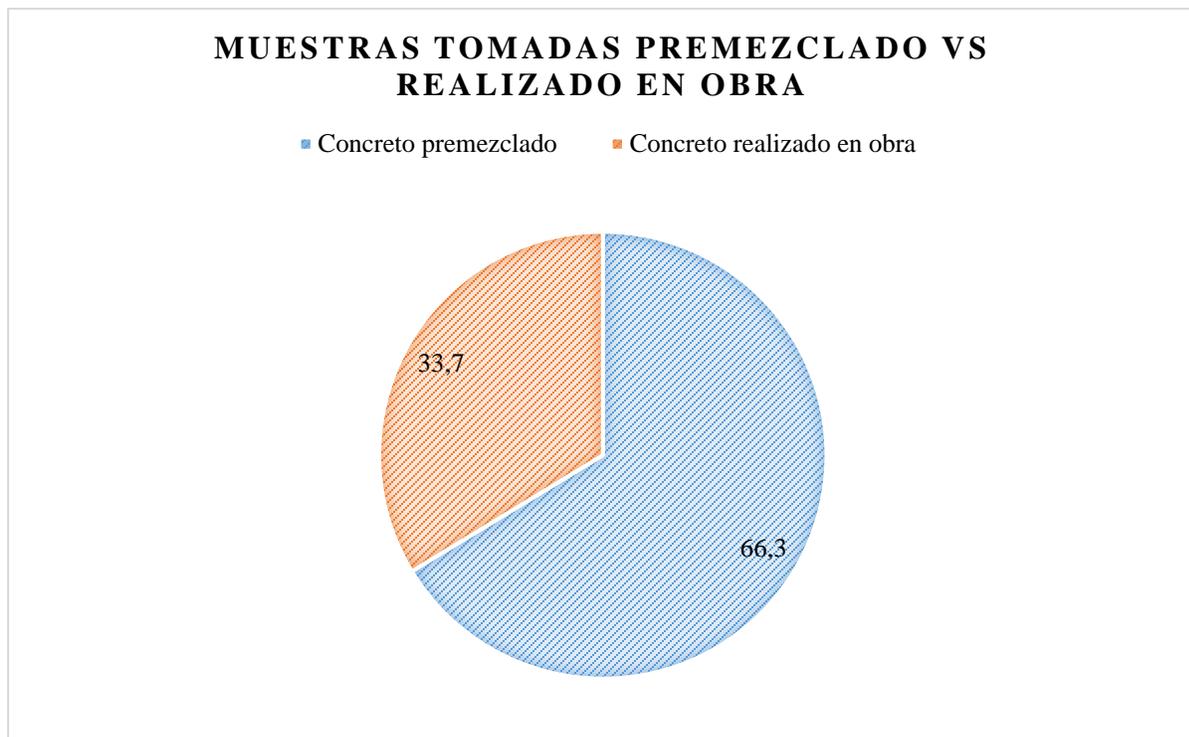
Con base en los datos presentados en el apartado anterior, surgen interrogantes cruciales relacionadas con los resultados de las resistencias utilizadas en el proyecto. Un aspecto central es entender las diferencias en el comportamiento de las muestras realizadas con concreto premezclado frente a aquellas producidas en la planta mezcladora instalada directamente en la obra (Domat), ya que estos métodos pueden generar variaciones en la calidad final del material. Además, es necesario identificar los factores que podrían contribuir a una disminución en la resistencia del concreto, como la dosificación incorrecta, el uso de materiales de baja calidad o errores en el proceso de creación, manipulación y curado de las muestras, dado que cualquier deficiencia en estos aspectos podría comprometer tanto la durabilidad como la seguridad estructural. Finalmente, se plantea la cuestión de cómo abordar resultados insatisfactorios en las pruebas de resistencia, explorando estrategias que permitan garantizar la integridad de la estructura mediante ajustes o correcciones oportunas en los procesos constructivos. Estas preguntas serán analizadas en profundidad a continuación, apoyándonos en los datos obtenidos, las normativas vigentes (como la NSR-10 y la NTC) y la experiencia acumulada en campo.

7.1 Diferencia entre concreto premezclado y realizado en obra con planta mezcladora (Domat)

Para el concreto de 42 MPa contamos con 38 muestras vaciadas con premezclado, del mismo modo, se tienen 5 para el caso de concreto de 35 MPa, 24 para concreto de 28 MPa y 41 para concreto de 21 MPa, para un total de 108 muestras realizadas con premezclado hasta el momento de corte que se está analizando (es decir un 66.3% del total de muestras con resultados hasta el 31 de diciembre de 2024, ver Figura 30) lo cual deja en evidencia que ha sido la principal fuente de abastecimiento de concreto hasta el momento. Esto cobra sentido sabiendo que la planta mezcladora no fue instalada y habilitada para la producción hasta el 8 de octubre de 2024.

Figura 30

Comparación de muestras realizadas con concreto premezclado vs hecho en obra con planta mezcladora

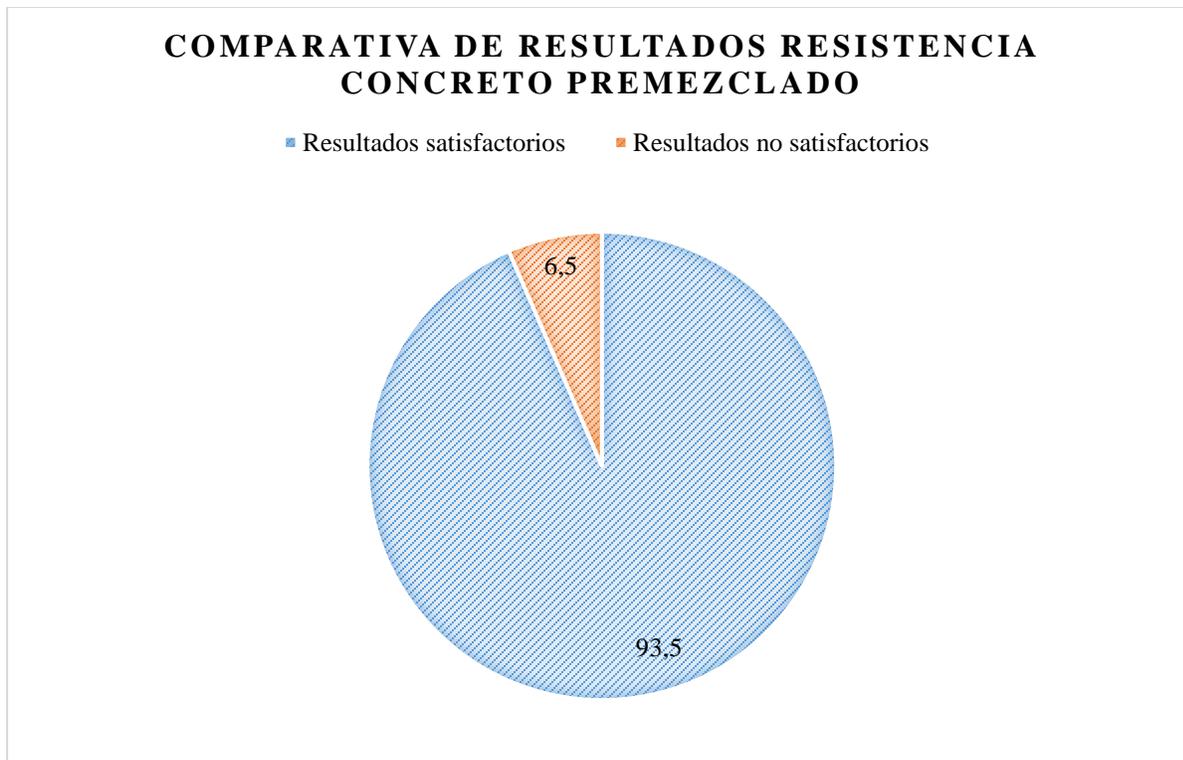


Fuente: Elaboración propia

Del concreto premezclado tenemos un 6.5% de muestras con resistencias por debajo de las esperadas según el diseño estructural (7 muestras) frente a un 93.5% de muestras con resistencias satisfactorias (101 muestras). Esto se puede visualizar mejor en la Figura 31.

Figura 31

Comparación de resultados de muestras realizadas con concreto premezclado a 28 días

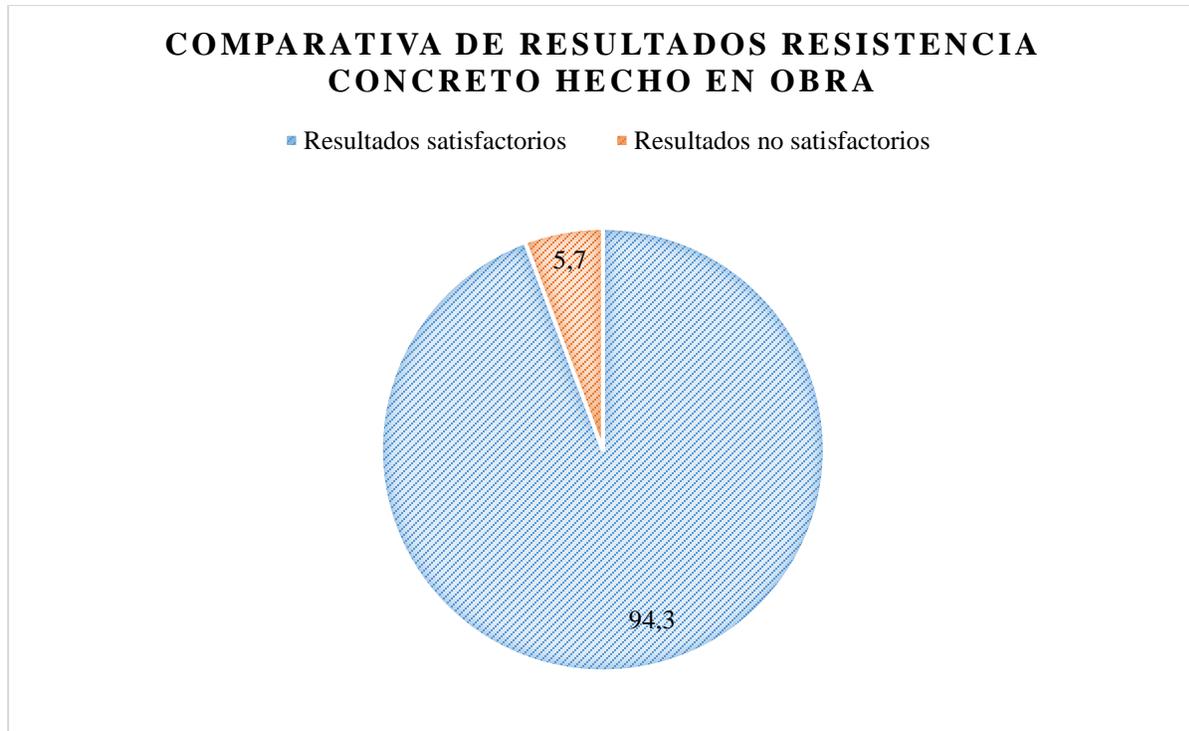


Fuente: Elaboración propia

Por parte del concreto realizado en obra con planta mezcladora (Domat) se cuenta con 53 resultados de resistencia, de los cuales el 5.7% registraron una capacidad menos a la esperada (3 muestras, en cambio se obtuvo un total de 50 resultados con resistencia mayor a la esperada, lo que representa un 94.3% de resultados favorables, como se ilustra en la Figura 32.

Figura 32

Comparación de resultados de muestras realizadas con concreto realizado en obra a 28 días



Fuente: Elaboración propia

Si bien durante el presente informe se han presentado las muestras que obtienen resultado promedio por debajo del promedio como insatisfactorias, todas cumplen con los numerales a y b de la NSR-10 C.5.6.3.3 (a excepción del caso particular de la muestra 144 que se presentará más adelante), los cuales declaran: “(a) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos (véase C.5.6.2.4) es igual o superior a $f'c$. (b) Ningún resultado del ensayo de resistencia (véase C.5.6.2.4) es menor que $f'c$ por más de 3.5 MPa cuando $f'c$ es 35 MPa o menor; o por más de $0.1f'c$ cuando $f'c$ es mayor a 35 MPa.”, considerando de esta manera satisfactorias la gran mayoría de muestras realizadas en el proyecto Vibratto hasta la fecha final de estudio presentada.

7.2 Elementos que influyen en la calidad de las muestras de concreto

Los resultados desfavorables obtenidos durante el desarrollo de la obra pueden tener diversas causas, las cuales requieren un análisis exhaustivo para identificar la raíz del problema y así implementar medidas correctivas adecuadas. Uno de los primeros pasos consiste en evaluar los proveedores de concreto en el caso de mezclas premezcladas, así como los materiales utilizados en la elaboración del concreto en obra y el diseño de mezcla adoptado para las distintas resistencias requeridas.

En el proyecto Vibratto, se emplearon dos proveedores de concreto premezclado: Cemex y Alión, empresas reconocidas por operar bajo los estándares de calidad. Para la producción de concreto en obra mediante la planta Domat, los agregados son suministrados por Canteras del Cauca S.A.S., que extrae material de la cantera Piedra Verde. Además, el cemento y los aditivos necesarios son provistos por Cemex, quienes también diseñaron las mezclas considerando las condiciones específicas de la obra. Este diseño se basó en ensayos previos realizados sobre los materiales a emplear, como análisis de granulometría, caracterización, absorción, resistencia a compresión, entre otros, fundamentales para garantizar el desempeño óptimo del concreto dosificado según las recomendaciones técnicas. La selección de estos agentes externos se llevó a cabo con rigor, buscando asegurar la calidad del producto final.

No obstante, uno de los factores más complejos de controlar es la intervención humana en procesos sensibles, como la elaboración de muestras de concreto. Es fundamental cumplir estrictamente con las normativas para garantizar que las muestras reflejen con precisión las propiedades del concreto y presenten la menor variabilidad posible en los resultados esperados. Errores como no obtener una muestra representativa, fabricar cilindros con defectos (rugosidades, dimensiones inconsistentes, grietas, entre otros), llevar a cabo un curado inadecuado de las mismas, y un mal procedimiento en la forma de transportar las muestras (control de humedad, movimientos o cargas durante el traslado) suelen ser causas comunes de resultados de resistencia reducidos. Estos resultados, a su vez, pueden generar alarmas sobre posibles riesgos estructurales que no necesariamente corresponden a la realidad de la construcción.

Es importante mencionar que este cuidado especial de las muestras debe ir de la mano con una correcta protección de los concretos en la obra para obtener resultados representativos; acciones como curar los elementos por lo menos 15 días posteriores a la fundida, construir barreras contra el viento y aplicar productos que retengan en cierta medida el agua que por proceso exotérmico exuda el concreto son primordiales para asegurar que se logrará la resistencia máxima que la mezcla puede proveer, y así conseguir resultados en laboratorio cercanos a la resistencia real que poseen los elementos en la estructura.

7.3 Estrategias de gestión y corrección ante resultados no conformes

En el momento de recibir un resultado insatisfactorio sobre la resistencia de los concretos utilizados en la obra, se debe comenzar un plan de acción que permita asegurar la integridad estructural de los elementos en cuestión. Uno de los criterios con los que el ingeniero calculista a cargo de la obra puede determinar si se acepta un resultado por debajo del valor requerido es verificar nuevamente la resistencia del concreto a estudiar a una edad de 56 días; es por esto por lo que, al momento de vaciar las muestras, se dejan 3 cilindros a modo de testigos, estos serían fallados a los 56 días de su creación, esperando que, en este periodo de tiempo, el concreto supere el 100% de la resistencia requerida por diseño estructural. Otra clave para determinar si un concreto está dentro del rango de la norma es precisamente remitirse a ella; la NSR-10 C.5.6.3.3 párrafo (b) expresa: “Ningún resultado del ensayo de resistencia (véase C.5.6.2.4) es menor que f'_c por más de 3.5 MPa cuando f'_c es 35 MPa o menor; o por más de $0.1f'_c$ cuando f'_c es mayor a 35 MPa.” (NSR-10, Sección C.5.6.3.3, párrafo b) es decir que se debe verificar el resultado de la falla a 28 días de cada cilindro que compone la muestra y así determinar si se encuentra en un estado crítico (fuera de los rangos establecidos por la norma) o no. Luego de verificarse lo anterior, y además descartar otras razones como los proveedores del concreto, materiales utilizados o procedimiento de creación de muestras (relatados con más detalle anteriormente) se procede, por parte del ingeniero calculista, que acciones se deben tomar al respecto del resultado en cuestión, este determinará si se puede liberar la muestra, basado en los criterios presentados, o por el contrario hay que tomar acciones en obra.

Existe una gran variedad de ensayos que pueden ayudar a determinar con más precisión si un elemento efectivamente cuenta con una resistencia menor a la esperada, estos pueden desarrollarse de manera no destructiva o de manera destructiva, la elección de qué camino tomar será determinada por factores como la gravedad de la situación, la importancia del elemento, el costo, entre otras variables que deben ser estudiadas con detenimiento para asegurar la calidad y la economía del proyecto. Un caso que sirve para ejemplificar esto puede ser la muestra 144, como se muestra en la Tabla 8 esta muestra cuenta con un resultado particularmente bajo respecto al esperado, obteniendo solo el 87.0% de la resistencia determinada para el diseño (promedio de 3 resultados individuales de cilindros).

Tabla 8

Fragmento de informe ejecutivo de concretos utilizado para registro de resultados en obra Vibratto donde se visualiza muestra 144

N°	Localización	Asenta Miento (cm)	Fecha Rotura	Código Mezcla	Edad (días)	Resistencia Nominal (MPa)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	Resistencia (kg/cm2)	% obtenido	Concretera	Tipo de falla	Resistencia Nominal (MPa)
143	Columnas F5, C5 y B7 (P2)	20	11/22/2024	6 000	7	42	36.9	5 346.7	376	88	DOMAT	2	42
143	Columnas F5, C5 y B7 (P2)	20	11/22/2024	6 000	7	42	35.4	5 128.9	361	84	DOMAT	3	42
143	Columnas F5, C5 y B7 (P2)	20	11/22/2024	6 000	7	42	38.7	5 606.1	394	92	DOMAT	2	42
143	Columnas F5, C5 y B7 (P2)	20	12/13/2024	6 000	28	42	48.2	6 990.0	491	115	DOMAT	3	42
143	Columnas F5, C5 y B7 (P2)	20	12/13/2024	6 000	28	42	49.4	7 159.8	503	118	DOMAT	3	42
143	Columnas F5, C5 y B7 (P2)	20	12/13/2024	6 000	28	42	49.8	7 226.3	508	119	DOMAT	3	42
144	Columnas C5 y F5 (P2)	20	11/23/2024	6 000	7	42	36.9	5 352.9	376	88	DOMAT	3	42
144	Columnas C5 y F5 (P2)	20	11/23/2024	6 000	7	42	34.9	5 062.1	356	83	DOMAT	3	42
144	Columnas C5 y F5 (P2)	20	11/23/2024	6 000	7	42	34.4	4 988.5	351	82	DOMAT	3	42
144	Columnas C5 y F5 (P2)	20	12/14/2024	6 000	28	42	34.8	5 053.3	355	83	DOMAT	2	42
144	Columnas C5 y F5 (P2)	20	12/14/2024	6 000	28	42	36.6	5 308.8	373	87	DOMAT	2	42
144	Columnas C5 y F5 (P2)	20	12/14/2024	6 000	28	42	37.9	5 503.0	387	90	DOMAT	2	42
145	Nudos columnas losa piso 3 (9/3-7/3)	20	11/25/2024	6 000	7	42	37.9	5 500.4	387	90	ALION	3	42
145	Nudos columnas losa piso 3 (9/3-7/3)	20	11/25/2024	6 000	7	42	37.0	5 370.3	378	88	ALION	2	42

N°	Localización	Asenta Miento (cm)	Fecha Rotura	Código Mezcla	Edad (días)	Resistencia Nominal (MPa)	Resistencia (MPa)	Resistencia (psi)	Resistencia (kg/cm2)	% obtenido	Concretera	Tipo de falla	Resistencia Nominal (MPa)
145	Nudos columnas losa piso 3 (9/3- 7/3)	20	11/25/2024	6 000	7	42	37.4	5 428.5	382	89	ALION	3	42
145	Nudos columnas losa piso 3 (9/3- 7/3)	20	12/16/2024	6 000	28	42	39.9	5 789.1	407	95	ALION	2	42
145	Nudos columnas losa piso 3 (9/3- 7/3)	20	12/16/2024	6 000	28	42	41.8	6 058.3	426	99	ALION	1	42
145	Nudos columnas losa piso 3 (9/3- 7/3)	20	12/16/2024	6 000	28	42	41.1	5 966.1	419	98	ALION	2	42

Fuente: Informe Ejecutivo Concreto Vibratto 31122024

Además de gestionar la falla de los testigos a 56 días, también se decidió realizar un ensayo de ultrasonido (Figura 33) a las columnas correspondientes a la muestra 144 (columnas C4 y F4 del piso 2). El ensayo de ultrasonido para concreto es un método no destructivo utilizado para evaluar la calidad, homogeneidad, integridad y resistencia aproximada del concreto. Este ensayo mide la velocidad de propagación de ondas ultrasónicas a través del material, lo que permite identificar posibles defectos internos, como grietas, vacíos o zonas de baja densidad. esta velocidad se compara con un elemento cercano que haya cumplido satisfactoriamente con la resistencia necesaria y así permite dar una idea de si realmente el elemento cuenta con una resistencia reducida. Para el caso de las columnas estudiadas se obtuvo un resultado muy similar entre el elemento con sospecha de resistencia insuficiente y el elemento con resistencia óptima, lo cual puede significar que la muestra no es representativa del elemento.

Figura 33

Encargados de laboratorios SGS S.A.S. realizando ensayo de ultrasonido en columna C4



Fuente: Elaboración propia

En el caso más desfavorable se puede llegar a que el elemento efectivamente no cumple con la resistencia de diseño, siendo así necesario tomar acciones para repotenciar el elemento. Estos procesos pueden llegar a ser variados, tanto en su complejidad, su destructividad y su valor económico, por lo cual se requiere un buen criterio para elegir la mejor manera de garantizar la integridad estructural de una manera óptima.

8. Conclusiones

A lo largo de este proyecto, se ha confirmado que el control de calidad del concreto ya sea premezclado o producido en obra, es un componente esencial para garantizar la seguridad y eficiencia estructural de cualquier proyecto de construcción. En el caso del proyecto Vibratto, el análisis de las muestras de concreto, acompañado de un seguimiento riguroso, permitió no solo validar la resistencia de los elementos estructurales, sino también identificar áreas de mejora en los procesos.

Los resultados demuestran que, en general, las resistencias especificadas para el concreto se cumplieron satisfactoriamente en la mayoría de los casos, destacando el desempeño del concreto producido en obra mediante planta mezcladora, que presentó un alto porcentaje de conformidad, sin embargo, cabe resaltar que las muestras de concreto premezclado superan en cantidad a las muestras de concreto realizado en obra, por lo que se hace necesario continuar el registro y verificar si la proporción mostrada en los resultados presentados hasta la fecha de corte mantienen su comportamiento.

Por otro lado, las pocas muestras que no alcanzaron la resistencia requerida resaltaron la necesidad de implementar estrategias de mitigación oportunas. Estas incluyeron la realización de ensayos complementarios y el análisis detallado de las posibles causas, como errores en el curado de las muestras o variaciones en los materiales. Estas estrategias resultaron fundamentales para evitar riesgos mayores y asegurar la calidad en cada etapa del proyecto.

El enfoque sistemático y meticuloso aplicado durante este trabajo no solo contribuyó al éxito del proyecto Vibratto, sino que también proporciona una guía práctica para la implementación de controles de calidad en futuros proyectos. Así, se reitera la importancia de la capacitación continua del personal, la aplicación de normas técnicas como la NSR-10 y las NTC, y la adopción de buenas prácticas en la supervisión de los procesos constructivos.

Finalmente, este estudio deja en evidencia que el compromiso con la calidad no solo garantiza estructuras seguras y duraderas, sino que también optimiza recursos y refuerza la confianza en las técnicas constructivas empleadas. Este aprendizaje es un aporte valioso para la ingeniería civil y su búsqueda constante de excelencia.

Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2012). *NSR10, Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá, Colombia.
- Fco. de Borja Varona Moya, J. A. (2012). *Apuntes de Hormigón Armado. Adaptados a la Instrucción EHE-08*. San Vicente del Raspeig, España.
- ICONTEC. (1992). *Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto. Norma técnica colombiana NTC 396*. Bogotá, Colombia: Instituto de Normas Técnicas y Certificación.
- ICONTEC. (2000). *Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra. NTC 550*. Bogotá, Colombia: Instituto de Normas Técnicas y Certificación.

Supervisión de la producción y vaciado de concreto hidráulico en el proyecto Vibratto a cargo de constructora Centro Sur: Análisis de la eficiencia y calidad del concreto premezclado y producido en obra mediante planta mezcladora

ESTUDIANTE: Juan Camilo Zapata Ortiz

PROGRAMA: Ingeniería civil

ASESOR(ES): Edwin Fabián García Aristizábal
Lina María Gómez Gómez

SEMESTRE: 2025-1

Introducción

Este trabajo aborda la importancia del control y supervisión continua en proyectos de construcción para mitigar los imprevistos que pueden afectar su éxito. En particular, el objetivo es supervisar la calidad del concreto en la obra Vibratto, ubicada en Copacabana y desarrollada por Centro Sur S.A.S. Esto incluye la toma de muestras representativas del concreto, su procesamiento, análisis y trazabilidad para garantizar un desarrollo adecuado de la obra.

El trabajo se centra en el ensayo de compresión uniaxial en cilindros de concreto de 4x8 pulgadas, evaluando los resultados a los 28 días según la norma NSR-10 y la NTC 550, que especifican procedimientos para la elaboración y curado de especímenes. Este proyecto busca contribuir a estrategias de control de calidad más efectivas, beneficiando tanto la obra en cuestión como el sector de la construcción en general.

Objetivos

Objetivo general:

Supervisar la producción y vaciado de concreto hidráulico en el proyecto Vibratto para garantizar su calidad y cumplimiento con el diseño estructural y la normativa NSR-10.

Objetivos específicos:

- Verificar las resistencias del concreto mediante análisis de ensayos de compresión.
- Implementar un sistema de registro y monitoreo para garantizar la trazabilidad del concreto.
- Comparar el desempeño del concreto premezclado y el producido en obra.
- Detectar y corregir desviaciones en los procesos de producción, transporte y vaciado.
- Elaborar un informe técnico con conclusiones y recomendaciones para mejorar el control de calidad en futuros proyectos.



Figura 1: Jerarquía de objetivos. Fuente: Elaboración propia

Metodología

La metodología del trabajo se centra en el control y evaluación de la calidad del concreto en la obra Vibratto. Inicialmente, se define la resistencia requerida para cada elemento estructural, según el diseño. Luego, se selecciona la procedencia del concreto (premezclado o producido en obra) dependiendo de la etapa del proyecto y la disponibilidad de planta mezcladora.

Antes del vaciado, se realizan pruebas de asentamiento siguiendo la norma NTC 396, y posteriormente, se toman muestras para elaborar cilindros que serán sometidos a ensayos de resistencia a distintas edades (3, 7, 28 y 56 días), conforme a la norma NTC 550. Las muestras se curan en un tanque especial en la obra y se envían a un laboratorio externo (SGS S.A.) para las pruebas de compresión.



Figura 2: Toma de asentamiento y muestras cilíndricas para compresión. Fuente: Elaboración propia

Se lleva un registro detallado de los resultados mediante formatos preestablecidos que permiten la trazabilidad y análisis de la calidad del concreto. Además, se contempla la capacitación constante del personal encargado del manejo de las muestras para garantizar la precisión de los procedimientos y resultados.



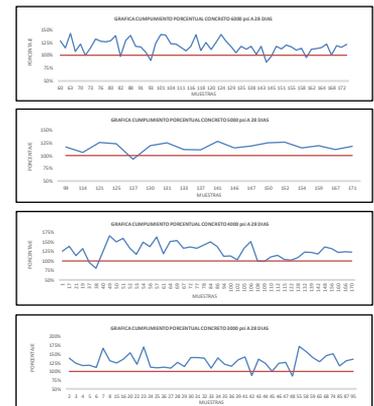
Figura 3: Esquema de flujo para ilustrar la metodología de trabajo. Fuente: Elaboración propia

Resultados

Se analizaron 163 muestras de concreto en la obra Vibratto, distribuidas en cuatro resistencias principales:

- 42 MPa (36.6%): 91.4% de las muestras cumplieron, utilizadas en columnas y nudos estructurales.
- 35 MPa (11%): 94.4% cumplió la resistencia; aplicadas en vigas principales y columnas superiores.
- 28 MPa (27%): 93.2% cumplieron; empleadas en losas, nervios y pilas.
- 21 MPa (26.4%): 95.3% alcanzaron la resistencia requerida; usadas en vigas de fundación y escalas.

El concreto premezclado (66.3% de las muestras) tuvo un 93.5% de resultados satisfactorios, mientras que el producido en obra (33.7%) logró un 94.3%, mostrando un desempeño uniforme con ligeras variaciones atribuibles al proceso de manejo y dosificación. Las muestras que no alcanzaron el 100% de la resistencia esperada a 28 días fueron enviadas como testigos para fallar a 56 días, y finalmente, analizadas por el ingeniero calculista para su aprobación o plan de acción en la estructura.



Figuras 4, 5, 6 y 7: Gráfica de cumplimiento porcentual de concretos utilizados en obra. Fuente: INFORME EJECUTIVO CONCRETO VIBRATTO 31012025

Conclusiones

El control de calidad del concreto en la obra Vibratto aseguró el cumplimiento de la mayoría de las resistencias especificadas, destacando la eficacia de los procesos implementados. Las muestras con resultados insatisfactorios evidenciaron la importancia de medidas correctivas como ensayos complementarios y análisis de causas para minimizar riesgos.

El trabajo resalta la relevancia de la capacitación del personal, la aplicación de normas como la NSR-10 y las NTC, y el uso de buenas prácticas constructivas, proporcionando una base sólida para la supervisión de calidad en futuros proyectos.

