

**Descripción de las precauciones y cuidados para el manejo y transporte del concreto en
estado fresco expuesto a zonas de altas temperaturas**

Emerson Jair Otero Bartan y María Camila Chinchilla Urrea

**Trabajo investigativo para optar el título de Especialista en Interventoría y Supervisión
de la Construcción**

Director

German Hernando Acevedo Calderón

Magíster en Ingeniería Estructural en Arquitectura

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura

Especialista en Interventoría y Supervisión de la Construcción

2024

Dedicatoria

Dedico este trabajo a todos los profesionales de la construcción en Colombia, cuyo esfuerzo y dedicación son fundamentales para edificar un futuro más seguro y sostenible. Que esta investigación pueda contribuir a sus labores diarias y promover prácticas seguras y eficientes en la industria de la construcción.

Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Santo Tomás en Bucaramanga por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación y por su constante apoyo en mi desarrollo académico.

También deseo extender mi gratitud al Grupo de docentes por su valioso respaldo, orientación y colaboración durante todo el proceso de investigación. Su experiencia y compromiso fueron fundamentales para el éxito de este proyecto.

Mi más profundo agradecimiento por su contribución a este trabajo y por su continuo compromiso con la excelencia en la educación e investigación.

Contenido

Introducción	11
1. Descripción de las precauciones y cuidados para el manejo y transporte del concreto en estado fresco expuesto a zonas de altas temperaturas	12
1.1 Planteamiento del problema	12
1.2 Justificación	13
1.3.1 Objetivo general	14
1.3.2 Objetivos específicos	14
2. Marco referencial	15
2.1. Antecedentes	15
2.2 Marco teórico	16
2.3 Marco conceptual	19
2.3.1. Norma técnica	20
2.3.2. Concreto fresco	21
2.3.3. Trabajabilidad	21
2.3.4. Aditivos y proporciones materiales	22
2.3.5. Metodologías de diseño de mezclas	22
2.3.6. Transporte adecuado	24
2.3.7. Monitoreo y control	24
2.3.8. Métodos de curado	25
2.3.9. Fraguado y endurecimiento	26
2.3.10. Altas temperaturas	27
2.4 Marco legal	28

2.4.1. Precauciones de mezclado	28
2.4.2. Curado y transporte	30
2.4.3. Evaluaciones	32
3. Método	33
4. Cronograma de Actividades.....	35
5. Presupuesto	36
6. Resultados	38
6.1. Etapa 1. Identificación en la normativa colombiana el manejo del concreto fresco expuesto a zonas de altas temperaturas.	38
6.2. Etapa 2. Reconocimiento de los cuidados para el manejo del concreto fresco mezclado en obra a altas temperaturas	40
6.3. Etapa 3. Identificación de las precauciones para el transporte de concreto fresco premezclado a altas temperaturas.....	45
6.4. Etapa 4. Generación de una cartilla con los principales cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas	47
7. Conclusiones	48
Referencias.....	50
Apéndices.....	52

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Cronograma</i>	35
Tabla 2. <i>Presupuesto</i>	36
Tabla 3. <i>Normativa</i>	38
Tabla 4. <i>Datos generales de accesos a los recursos electrónicos</i>	39

Lista de figuras

Figura 1. <i>Temperatura de concreto fresco</i>	40
Figura 2. <i>Control de las temperaturas en el concreto.</i>	45

Lista de apéndices

Apéndice A. <i>Cartilla para los principales cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas.....</i>	52
---	----

Resumen

Este estudio cualitativo descriptivo se centra en el manejo y transporte del concreto en estado fresco en zonas de altas temperaturas, conforme a la normativa colombiana NTC y el Reglamento NSR-10. Se busca proporcionar una guía integral que identifica las precauciones y cuidados necesarios en tres dimensiones clave: el manejo del concreto fresco expuesto a altas temperaturas, los cuidados para el concreto fresco mezclado en obra en dichas condiciones, y las precauciones específicas para el transporte de concreto fresco premezclado en tales escenarios. El estudio constó de tres etapas fundamentales: en la primera, se realizó una exhaustiva revisión bibliográfica de la normativa colombiana relevante para el manejo del concreto fresco en climas cálidos, identificando las normas pertinentes. En la segunda etapa, se enfocó en el reconocimiento de los cuidados necesarios para el manejo del concreto fresco mezclado en obra en zonas de altas temperaturas, utilizando como base la literatura especializada. Finalmente, la tercera etapa se dedicó a identificar precauciones específicas para el transporte de concreto fresco premezclado en condiciones de altas temperaturas a través de una revisión bibliográfica detallada. Como resultado, se desarrolló una cartilla que resume los cuidados y precauciones clave para el manejo y transporte de concreto fresco en zonas de altas temperaturas, dirigida a profesionales de la construcción, ingenieros y arquitectos, con el objetivo de fomentar prácticas seguras y eficientes en la industria de la construcción en Colombia.

Palabras clave: concreto fresco, altas temperaturas, normativa colombiana, cuidados, precauciones

Abstract

This qualitative descriptive study focuses on the handling and transportation of fresh concrete in high-temperature areas, in accordance with Colombian regulations NTC and NSR-10. The main objective is to provide a comprehensive guide that identifies the precautions and necessary care in three key dimensions: the management of fresh concrete exposed to high temperatures, care for fresh concrete mixed on-site under such conditions, and specific precautions for the transportation of ready-mixed fresh concrete in these scenarios. The study consisted of three fundamental stages: in the first one, an exhaustive literature review of relevant Colombian regulations for the management of fresh concrete in warm climates was conducted, identifying the relevant standards. In the second stage, the focus was on recognizing the necessary care for handling fresh concrete mixed on-site in high-temperature zones, based on specialized literature. Finally, the third stage was dedicated to identifying specific precautions for the transportation of ready-mixed fresh concrete under high-temperature conditions through a detailed literature review. As a result, a booklet summarizing key care and precautions for handling and transporting fresh concrete in high-temperature areas was developed, targeting construction professionals, engineers, and architects, with the aim of promoting safe and efficient practices in the construction industry in Colombia.

Keywords: fresh concrete, high temperatures, Colombian regulations, precautions, care

Introducción

El concreto, un material de construcción ampliamente utilizado en diversas industrias, se caracteriza por su versatilidad, resistencia y durabilidad. No obstante, su calidad y comportamiento están intrínsecamente relacionados con varios factores, siendo las condiciones ambientales uno de los aspectos cruciales a considerar durante su producción, manipulación, transporte y colocación. Dentro de estas condiciones ambientales, la temperatura se erige como un factor determinante que puede influir de manera significativa en el desempeño del concreto.

Este trabajo tiene como propósito principal explorar y comprender los impactos de las altas temperaturas en el concreto en estado fresco, así como presentar una guía que contemple las precauciones y cuidados necesarios para su correcto manejo y transporte en zonas donde se presentan temperaturas elevadas. Con el fin de proporcionar una estructura clara y coherente, la introducción se divide en los siguientes componentes: planteamiento del problema, revisión de antecedentes, objetivos de la investigación y fundamentación que respalda este estudio.

El estudio de los efectos de las temperaturas elevadas en el concreto no es un campo nuevo; de hecho, se ha investigado extensamente a nivel global. Investigadores han abordado esta problemática desde diversas perspectivas, analizando los cambios en las propiedades físicas y químicas del concreto, así como las estrategias para mitigar estos efectos. Los antecedentes de investigación proporcionan una base sólida para comprender y abordar los desafíos planteados por las altas temperaturas en el concreto.

Así pues, estos efectos de las temperaturas en el concreto se van a analizar a partir de varios capítulos implícitos que van desde el problema y objetivos hasta los métodos, resultados y conclusiones.

1. Descripción de las precauciones y cuidados para el manejo y transporte del concreto en estado fresco expuesto a zonas de altas temperaturas

1.1 Planteamiento del problema

Colombia presenta un clima diverso que abarca desde regiones montañosas con temperaturas frías extremas hasta zonas costeras de clima cálido. Esta variabilidad climática plantea desafíos significativos en la construcción, especialmente en relación con el manejo y transporte del concreto en estado fresco. El concreto es el material de construcción más utilizado, pero su calidad y desempeño se ven afectados por las condiciones climáticas, en particular, las altas temperaturas.

Investigaciones previas, como las de Mobasher (2008), han indicado un aumento en la producción de concreto en Colombia en las últimas décadas, incluyendo concreto vibrado y autocompactante. Sin embargo, en climas cálidos, como los que predominan en muchas regiones de Colombia, se presentan problemas durante las etapas de mezclado, vaciado y curado del concreto debido a la alta temperatura ambiental. Estos problemas incluyen una mayor demanda de agua en el concreto, pérdida de asentamiento, fraguado acelerado y reducción en la resistencia mecánica.

Además, la colocación del concreto en temperaturas extremas, ya sean altas o bajas, afecta tanto la calidad del concreto fresco como la del concreto endurecido. Las altas temperaturas pueden provocar un fraguado rápido, grietas en la estructura y una disminución en la resistencia a la compresión. Los cambios bruscos de temperatura también afectan el tiempo de asentamiento del concreto (, 2019). En el mismo contexto, Orozco et al. (2018) indican que, a pesar de la evidente

importancia de este material, los procesos de fabricación, colocación o curado a veces son inadecuados, lo que afecta directamente el comportamiento y la calidad del hormigón.

Los factores que influyen en la calidad del concreto pueden dividirse en materiales, mano de obra, métodos, maquinaria y medio ambiente. El factor medio ambiente, en particular la temperatura durante la fundición del concreto desempeña un papel fundamental. Basándose en una temperatura inicial de 23°C, investigaciones de Burg (1996) han demostrado que por cada aumento o disminución de 10°C, el asentamiento del hormigón disminuye o aumenta en 20 mm, respectivamente. Además, por cada cambio de temperatura de 10°C, el tiempo de asentamiento del concreto varía en un 50%. En cuanto al desarrollo de la resistencia de diseño, el concreto curado a 23°C durante 7 días presenta una resistencia similar al concreto curado a 32°C durante 3 días (Orozco et al., 2018).

1.2 Justificación

La calidad del hormigón es esencial para la seguridad y durabilidad de las estructuras. En Colombia, donde prevalece un clima cálido en muchas regiones, es crucial abordar los desafíos específicos que presenta la producción y colocación de hormigón en condiciones de altas temperaturas. Los problemas relacionados con la temperatura del hormigón pueden tener un impacto significativo en la calidad de las construcciones y en la seguridad de las mismas.

Dado que el hormigón es el material de construcción más utilizado, es esencial comprender y mitigar los efectos de las altas temperaturas en su comportamiento. La falta de una guía clara y completa sobre cómo manejar y transportar el concreto en estado fresco en zonas de altas temperaturas puede llevar a errores costosos y a la disminución de la calidad de las construcciones.

Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo crear una guía informativa que aborde los desafíos específicos de la producción y colocación de hormigón en climas cálidos en Colombia.

Esta guía será de gran utilidad para los profesionales de la construcción, como ejecutores, interventores y supervisores de obras, al proporcionar pautas claras y precauciones para garantizar la calidad y la durabilidad del concreto en condiciones de altas temperaturas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Elaborar una Cartilla que detalla precauciones y cuidados para el manejo y transporte del concreto fresco en altas temperaturas, conforme a la Norma Técnica Colombiana (NTC) y el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10).

1.3.2 Objetivos específicos

Identificar en la NTC y en la NSR-10 de la normativa colombiana el manejo del concreto fresco expuesto a altas temperaturas.

Reconocer los cuidados necesarios para el manejo del concreto fresco mezclado en obra a altas temperaturas mediante la revisión de secciones relevantes del Reglamento NSR-10 como C.1.1.10, C.2.1, C.3.1 y NTC como NTC 3318-19.

Identificar las precauciones específicas para el transporte de concreto fresco premezclado a altas temperaturas, analizando las secciones pertinentes del Reglamento NSR-10, como C.1.1.8, que permite el uso del documento IPS-1 para el diseño simplificado de estructuras y está relacionada con el transporte de concreto.

Generar una cartilla que contenga los principales cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas, basada en la información recopilada de la normativa colombiana.

2. Marco referencial

2.1. Antecedentes

En su artículo, Umiri (2019) proporciona una serie de precauciones y recomendaciones para el manejo de concreto en condiciones de altas temperaturas, velocidad del viento elevada y baja humedad relativa. Estas condiciones pueden afectar el concreto fresco de dos formas importantes: en primer lugar, altas tasas de evaporación pueden ocasionar fisuración prematura debido a la retracción plástica o retracción por secado; en segundo lugar, altas tasas de evaporación pueden eliminar el agua superficial necesaria para la hidratación, a menos que se utilicen métodos alternativos para el curado del concreto. El agrietamiento por calor puede ser causado por una rápida disminución en la temperatura del concreto, como en el caso de losas o paredes de concreto vertidas en un día caluroso seguido de una noche fresca. Además, las altas temperaturas aceleran la hidratación del cemento y contribuyen al agrietamiento térmico latente en grandes estructuras de hormigón.

Orozco et al. (2018) muestran en su estudio una evaluación de las percepciones de diferentes agentes en el sector de la construcción con respecto a varios factores que han sido reportados en la literatura para afectar la calidad del concreto. Fue necesario utilizar un enfoque de encuesta para determinar los factores que son más o menos importantes para la calidad del hormigón con la ayuda de un sistema de análisis estructurado y de acuerdo con el conocimiento de expertos en la materia, concluyendo que, para los factores ambientales, la temperatura es el factor secundario más importante que afecta la calidad del hormigón con un 34.3%.

Según la investigación realizada por Ortiz et al. (2009), se llevó a cabo un estudio experimental con el objetivo de evaluar cómo la temperatura final de varios componentes afectaba

la resistencia a compresión y la trabajabilidad del hormigón. El objetivo principal del estudio fue maximizar el uso de concreto en climas cálidos y sugerir estrategias industriales para reducir los daños en las plantas de concreto premezclado.

En el estudio se observó que la cantidad de cemento en el concreto y las propiedades físicas del agregado de concreto desempeñan un papel crucial en el resultado final de la temperatura. Se encontró que, en condiciones de verano, la consistencia del mortero fue la más afectada, mostrando una menor trabajabilidad.

Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para la industria del concreto, ya que proporcionan recomendaciones para optimizar las mezclas en climas cálidos y reducir los posibles daños en las plantas de concreto premezclado. El estudio subraya la necesidad de considerar cuidadosamente la cantidad de cemento y las propiedades del agregado para garantizar un desempeño óptimo del concreto en condiciones de alta temperatura.

2.2 Marco teórico

El concreto que aún no ha endurecido se conoce como concreto fresco, que es una mezcla de cemento, agua, agregados y aditivos. Por otro lado, se debe utilizar acero de refuerzo para equilibrar los esfuerzos de compresión y tracción para evitar daños estructurales, ya que el hormigón debe cumplir con su resistencia esperada con la edad (Castillo, 2018).

En la mayoría de las obras, el concreto se suministra mediante camiones mezcladores de plantas fuera del proyecto. Sin embargo, los contratistas pueden optar por instalar su propia planta de mezcla en el sitio en proyectos más grandes, como carreteras. Los camiones de concreto premezclado se utilizan para dos funciones: mezclar y agitar. El tamaño del trabajo determinará el método de transporte de concreto, y el objetivo es elegir el más económico y práctico. Camiones

de concreto, bombas de concreto, grúas y botes, toboganes, cintas transportadoras y cabrestantes o montacargas son algunas formas comunes de transportar concreto. En trabajos más pequeños, se puede utilizar una carretilla como el medio más sencillo para transportar el concreto (Construcción de estructura de concreto, s. f.).

Por otra parte, la resistencia a la compresión del concreto se puede definir como la resistencia máxima medida de una probeta de hormigón a las cargas axiales, esta resistencia máxima se da a la edad de 28 días y se expresa mediante el símbolo f'_c . La forma más común de expresarlo es en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²). La Norma NTC 673—Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto—se utiliza en Colombia para medir la resistencia a la compresión. De acuerdo con NTC 673 (2010) Este método de prueba implica aplicar una carga de compresión axial a un cilindro o núcleo fundido a una velocidad específica hasta que ocurre la falla. La medida de la resistencia a la compresión de la probeta se obtiene dividiendo la carga máxima experimentada por el área de la sección transversal de la probeta.

$$f'_c = \frac{P}{A_T}$$

El concreto se presenta en dos estados: fresco y endurecido. La trabajabilidad, que se refiere a la facilidad de manipulación del concreto en estado fresco, es una propiedad crucial para construir diferentes elementos estructurales. Se expresa en términos técnicos, como el asentamiento del concreto, y permite su mezclado, transporte, vertido, consolidación y acabado sin alterar la uniformidad del hormigón (Buenas prácticas para determinar la manejabilidad del concreto - 360 en concreto, s. f.).

La prueba de asentamiento tiene como objetivo determinar la consistencia del concreto, es decir, su movilidad o fluidez relativa. Representa la cantidad de trabajo necesario para manipular

el concreto en estado fresco durante su producción, transporte, instalación, compactación y acabado. Esta propiedad está influenciada principalmente por la pasta del concreto, su contenido de agua y el equilibrio adecuado entre los agregados gruesos y finos. Aunque la consistencia del concreto se ha medido tradicionalmente mediante el asentamiento, esta prueba proporciona una medida limitada y se utiliza más como un criterio de uniformidad que de trabajabilidad. Por lo general, el resultado de esta prueba determina si se acepta o se rechaza el concreto fresco (Aguilar, et al., 2009).

No obstante, durante su estado fresco, el concreto es sensible a factores externos como la temperatura, que puede afectar sus propiedades y rendimiento. De acuerdo con Sukumar et al., (2006) en climas cálidos, la producción de concreto premezclado presenta una variedad de problemas debido a las altas temperaturas del concreto y al aumento de la tasa de evaporación del agua de mezclado, estos problemas surgen durante las etapas de mezclado, colocación y curado de la construcción de concreto. La temperatura del concreto fresco aumenta como resultado de una alta temperatura ambiental porque las temperaturas de sus propios componentes aumentan. Además, esto aumenta la necesidad de agua del concreto, lo que aumenta la velocidad de pérdida de revenimiento y la aceleración del proceso de hidratación, lo que disminuye los tiempos de fraguado y desde el punto de vista técnico.

Asimismo, las altas temperaturas pueden acelerar los procesos de hidratación del cemento, lo que puede reducir el tiempo de fraguado y endurecimiento del concreto. Esto puede resultar en una menor trabajabilidad, menor resistencia final y mayor riesgo de fisuración. Además, las altas temperaturas pueden provocar una mayor pérdida de humedad del concreto, lo que dificulta su curado adecuado y puede afectar negativamente su resistencia y durabilidad.

Como consecuencia a estas temperaturas, el manejo inadecuado del concreto fresco expuesto a ellas puede conducir a una serie de problemas, como segregación, excesiva evaporación del agua de mezcla, agrietamiento y disminución de la resistencia final. Por lo tanto, es fundamental tomar precauciones específicas y seguir cuidados especiales para garantizar un manejo adecuado del concreto en estas condiciones.

Es entonces importante comprender las precauciones y cuidados necesarios para manejar y transportar el concreto en condiciones de altas temperaturas, ya que esto puede tener un impacto significativo en su calidad y durabilidad.

En el marco teórico, se examinarán las normativas y regulaciones relevantes, como el Reglamento NSR-10, para comprender cómo abordan el manejo del concreto fresco expuesto a altas temperaturas. Además, se explorarán investigaciones científicas y estudios previos para obtener una comprensión más profunda de los efectos de las altas temperaturas en el concreto fresco y las prácticas recomendadas para su manejo y transporte en estas condiciones; al describir la importancia del manejo adecuado del concreto fresco en estado fresco expuesto a altas temperaturas, se establecerá una base sólida para el desarrollo de las precauciones y cuidados específicos que se abordarán en los puntos siguientes del marco teórico.

2.3 Marco conceptual

Como parte de la investigación resulta importante establecer el marco conceptual que rige los diferentes conceptos claves a lo largo de la misma. Este proporciona entonces una base sólida para comprender los aspectos clave relacionados con el manejo y transporte del concreto en estado fresco expuesto a altas temperaturas, y orienta hacia la implementación de prácticas adecuadas que garanticen la calidad y durabilidad de las estructuras de concreto en dichas condiciones.

2.3.1. Norma técnica

Inicialmente, en el marco teórico se estableció como base la Norma técnica NSR-10 (Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente). Una Norma técnica es un documento aprobado por un organismo de normalización reconocido a nivel nacional e internacional que determina las normas técnicas y estándares de calidad de un producto, proceso o servicio; su propósito es definir y describir los métodos de muestreo, prueba, inspección y auditoría para el cumplimiento de los requisitos de calidad, uso o desempeño de los productos, procesos o servicios (Biblioteca EPM, s.f.).

Entender lo anterior resulta importante en tanto que el control de calidad durante la etapa de construcción se rige por las Normas Técnicas Colombianas (NTC), establecidas por el país donde se lleva a cabo el proyecto. En el caso de Colombia, las NTC son aplicables para evaluar la trabajabilidad del concreto; se sigue el método de ensayo descrito en la NTC 396 - Ingeniería Civil y Arquitectura. Este método determina el asentamiento del concreto y establece pruebas de campo rutinarias que son fundamentales para la aceptación o rechazo de la calidad del producto. Estas pruebas se realizan tanto en fábrica como en campo, y a menudo pueden surgir desafíos en los procedimientos y aclaraciones que afectan y retrasan el proceso de vertido del concreto. En algunos casos, es necesario ajustar la dosificación de la muestra debido a los resultados iniciales de fraguado (Redacción 360 en Concreto, s.f.).

Como consecuencia, según lo establecido en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 4026, los materiales cementantes que se pueden utilizar para la fabricación de unidades de mampostería de concreto son el cemento Pórtland y el cemento Pórtland blanco. Estos materiales deben cumplir con las NTC 121 (ASTM C 150) y NTC 321 (ASTM C 150), respectivamente. Además, se permite

el uso de cementos adicionados que cumplan con la Norma ASTM C 595. Esta normativa garantiza que los cementos utilizados en la construcción de mampostería de concreto cumplan con los estándares de calidad y rendimiento establecidos por las Normas Técnicas correspondientes.

2.3.2. Concreto fresco

López (2015) establece que:

El concreto, llamado también hormigón, es una mezcla de dos componentes: pasta (compuestos finos) y agregados (compuestos gruesos). La pasta de concreto se compone de cemento, agua, aditivos y aire que se retiene al mezclar los componentes, o es incluido intencionalmente (p.84)

Ahora bien, el enfoque principal de la presente investigación es el manejo del concreto fresco. Éste se refiere a la fase del concreto antes de su fraguado y endurecimiento, donde la trabajabilidad y consistencia son características clave para su correcto manejo y transporte (Osorio, 2022). Lo anterior implica que el concreto fresco debe tener una trabajabilidad y una consistencia ideal para su uso.

2.3.3. Trabajabilidad

En primer lugar, Fuentes et al. (2020) establecen en su artículo que la trabajabilidad del concreto se refiere a su capacidad para ser mezclado, transportado, vertido, consolidado y acabado de manera adecuada. Ésta es una propiedad crucial que está determinada por varios factores, como la relación agua-cemento, las proporciones de agregados y el uso de aditivos. Una buena trabajabilidad garantiza que el concreto pueda fluir fácilmente y llenar correctamente los moldes y estructuras, permitiendo una colocación y compactación eficientes. Asimismo, una

trabajabilidad adecuada facilita el logro de la resistencia y durabilidad deseadas en la estructura final. Por lo tanto, el control y ajuste de la trabajabilidad del concreto son aspectos fundamentales en el proceso de diseño y construcción.

6.3.4. Aditivos y proporciones materiales

Asimismo, para obtener una trabajabilidad ideal se mencionó el uso de aditivos y de proporciones agregadas. Según Fuentes et al. (2020), esta etapa del proceso de construcción hace referencia a la elección cuidadosa de los ingredientes del concreto, como el cemento, los agregados y los aditivos, con el objetivo de obtener una mezcla que tenga las propiedades deseadas y sea adecuada para resistir los efectos de las altas temperaturas.

En ese contexto, es esencial considerar las características de los materiales utilizados en la mezcla. Por ejemplo, se debe seleccionar un tipo de cemento adecuado que tenga un bajo calor de hidratación y una resistencia térmica adecuada. Además, los agregados deben ser de alta calidad y tener una distribución adecuada de tamaños para garantizar una buena compactación y minimizar los efectos negativos de la expansión térmica. Además, la proporción de los materiales también es un factor crítico a tener en cuenta; la relación agua-cemento es especialmente importante, ya que una proporción inadecuada puede afectar negativamente la resistencia y durabilidad del concreto, así como su respuesta a las altas temperaturas.

2.3.5. Metodologías de diseño de mezclas

Según Huanca (2006), el diseño de mezclas es un proceso sistemático utilizado en ingeniería civil y construcción para determinar las proporciones óptimas de los materiales en una

mezcla de concreto. El objetivo es cumplir con los requisitos de resistencia, durabilidad y trabajabilidad para una aplicación específica. Para llevar a cabo este diseño, se deben seguir varias etapas, que incluyen recopilar datos específicos. Esto incluye el análisis granulométrico de los agregados, el peso unitario compactado de los agregados finos y gruesos, el conocimiento de su contenido de humedad y porcentaje de absorción, y la evaluación de su perfil y textura. Es importante tener en cuenta el tipo y marca de cemento utilizado, así como su peso específico. Además, es importante considerar las diferentes combinaciones de cemento y agregados y sus relaciones con la resistencia y la relación agua/cemento. Estos datos son cruciales para cumplir con los estándares y lograr una mezcla de concreto ideal.

Ahora bien, los métodos se basan en principios científicos y experimentales, así como en normas y especificaciones técnicas. Uno de los métodos es el Método de Füller, el cual se basa en la Ley de Füller. De acuerdo con esta ley, la cantidad de agua requerida para una mezcla de concreto debe ser proporcional a la cantidad de cemento y agregado fino. Este método utiliza el tamaño máximo nominal del agregado y el módulo de fineza del agregado fino para determinar el contenido de cemento y agua.

El método del Comité 211 del American Concrete Institute (ACI) es otro método ampliamente utilizado. Este método se basa en el uso de una tabla creada por el Comité 211 del ACI para calcular el contenido de agregado grueso. El tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino se toman en cuenta en la tabla.

Otro método para el diseño de mezclas es el módulo de fineza de la combinación de agregados. Este método determina el módulo de fineza de la combinación de agregados y la relación agua/cemento para una resistencia de diseño específica. Estos valores se utilizan para

determinar la cantidad de cemento, agua y agregados que se requieren para crear una mezcla de concreto.

Además, el método de Walker se basa en calcular la cantidad de cemento y agua necesarias para una mezcla de concreto teniendo en cuenta la resistencia deseada y la relación agua/cemento. Se calcula la cantidad de agregados necesarios para la mezcla a partir de estos valores.

Es importante destacar que cada método tiene sus ventajas y desventajas, y la elección del método adecuado dependerá de diversos factores, como la economía, la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad requeridas para el proyecto en particular. El diseño de mezclas de concreto es un proceso iterativo que requiere experiencia y conocimientos técnicos para lograr mezclas de concreto óptimas y de calidad.

2.3.6. Transporte adecuado

Ahora bien, los aditivos y los materiales básicos no son los únicos factores que influyen en la calidad del cemento fresco y su correcto manejo; otro factor crucial es el transporte. El Instituto Nacional de Vías (2013) establece así que la elección de un medio de transporte adecuado se refiere a seleccionar el método de transporte que permita mantener la temperatura y consistencia del concreto durante todo el trayecto, evitando pérdidas de calor excesivas o cambios indeseables en su estado fresco.

2.3.7. Monitoreo y control

Paralelamente, el monitoreo y control continuo de la temperatura del concreto durante el transporte son fundamentales para garantizar que se mantenga dentro de los rangos adecuados. Esto, según el Texas Department of Insurance (2022) se refiere al uso de sensores de temperatura

incorporados en el concreto o colocados estratégicamente en la mezcla permite obtener datos precisos en tiempo real pues la exposición prolongada a altas temperaturas puede provocar la evaporación rápida del agua en el concreto, lo que resulta en una pérdida de trabajabilidad y dificulta su colocación adecuada.

2.3.8. Métodos de curado

Por otro lado, es esencial aplicar métodos de curado adecuados para asegurar la óptima calidad del concreto. Los métodos de curado adecuados se refieren a las técnicas y procedimientos utilizados para proporcionar las condiciones óptimas de humedad, temperatura y tiempo durante la etapa de curado del concreto. El objetivo principal del curado es asegurar que el concreto alcance su resistencia y durabilidad máxima, permitiendo que se complete adecuadamente el proceso de hidratación del cemento (Texas Department of Insurance, 2022). Como consecuencia, existen diferentes métodos de curación que según Euclid Toxement (2014) son 4.

El curado adecuado del concreto puede llevarse a cabo mediante diferentes métodos. El curado con agua consiste en mantener el concreto constantemente húmedo mediante la aplicación de agua a través de aspersión, inmersión o sistemas de riego. Esto previene la rápida evaporación del agua y crea un entorno propicio para la hidratación del cemento.

Otro método es el curado mediante el uso de membranas impermeables, como láminas de plástico o compuestos químicos. Estas membranas se colocan sobre la superficie del concreto para evitar la pérdida de humedad. De esta manera, se retiene la humedad necesaria y se protege el concreto de las condiciones ambientales adversas.

En condiciones de altas temperaturas, se puede recurrir al curado con vapor. Este método implica la aplicación de vapor de agua sobre el concreto para mantener una temperatura elevada y controlada durante el proceso de curado. El vapor ayuda a acelerar la hidratación del cemento y mejorar la resistencia temprana del concreto en situaciones de altas temperaturas.

Por último, el curado con compuestos químicos es otro enfoque utilizado. Se emplean productos químicos especiales que controlan la evaporación del agua y reducen la temperatura del concreto durante el proceso de curado. Estos compuestos se pueden aplicar mediante rociado, inmersión o añadiéndolos directamente a la mezcla de concreto.

2.3.9. Fraguado y endurecimiento

Una vez se inicia este proceso, comienza el tiempo de fraguado y endurecimiento del concreto. Éste es un factor fundamental en su proceso de transformación desde un estado líquido a uno sólido y resistente; los dos conceptos están relacionados, pero se refieren a procesos distintos.

El tiempo de fraguado se refiere al intervalo en el cual el concreto pasa de ser una mezcla fluida a adquirir una consistencia plástica (Fuentes, et al., 2020). Durante esta etapa, se produce la hidratación, una reacción química en la cual los componentes del cemento se combinan con agua para formar una masa sólida. A medida que avanza el fraguado, el concreto adquiere una rigidez inicial y deja de ser moldeable y fácilmente deformable.

Por otro lado, el tiempo de endurecimiento es la etapa posterior al fraguado en la cual el concreto continúa ganando resistencia y desarrollando sus propiedades mecánicas (Fuentes, et al., 2020). Durante este período, la hidratación continúa, y los cristales de cemento se fortalecen y se interconectan, creando una estructura sólida y resistente. El proceso de endurecimiento puede

tomar días, semanas o incluso meses, dependiendo de la composición de la mezcla y las condiciones ambientales.

Es importante tener en cuenta que el tiempo de fraguado y endurecimiento puede variar según los materiales utilizados en la mezcla de concreto, las condiciones de curado y las temperaturas ambientales. Estos tiempos son esenciales en la construcción, ya que afectan la manipulación, colocación y desmoldeo del concreto, así como su capacidad para soportar cargas y resistir los efectos del ambiente a lo largo del tiempo.

2.3.10. Altas temperaturas

Durante el proceso y etapas anteriormente descritas se presentan constantemente temperaturas altas, especialmente en climas cálidos como el de Colombia. Para ello, las "altas temperaturas" se refieren a condiciones en las que la temperatura ambiente o la temperatura del entorno en el que se encuentra el concreto fresco supera los valores considerados normales o estándar (Umiri, 2019). Estas temperaturas elevadas pueden variar según el contexto y el propósito específico, pero generalmente se considera que superan los 30°C (86°F). No obstante, es importante tener en cuenta que las altas temperaturas pueden ser relativas y dependen del clima, la ubicación geográfica y las condiciones estacionales.

No obstante, se debe aclarar que lo que se considera una alta temperatura en un lugar puede ser una temperatura promedio en otro. Sin embargo, en el contexto del concreto fresco, se considera que las temperaturas por encima de los 30°C (86°F) pueden afectar su comportamiento y rendimiento.

2.4 Marco Normativo

El Reglamento NSR-10, conocido como Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, establece los requisitos para el diseño y construcción de estructuras resistentes al sismo en Colombia. Aunque no aborda directamente el manejo y transporte del concreto en altas temperaturas, es relevante porque establece pautas generales para el diseño de estructuras de concreto que requieren un manejo adecuado del concreto en estado fresco.

En el contexto específico del manejo del concreto fresco expuesto a altas temperaturas en Colombia, existen otras normas y estándares aplicables. La NTC 673 establece requisitos y procedimientos para el transporte y manejo del concreto fresco, mientras que el American Concrete Institute (ACI) proporciona estándares como el ACI 305R-10, que ofrece recomendaciones para el manejo del concreto en altas temperaturas, incluyendo el uso de aditivos, control de temperatura y técnicas de curado adecuadas.

Es importante establecer que es responsabilidad de los profesionales de la construcción consultar y aplicar estas normas y estándares, considerando las condiciones específicas del proyecto, para garantizar el adecuado manejo y transporte del concreto en estado fresco expuesto a altas temperaturas en Colombia.

2.4.1. Precauciones de mezclado

Ahora bien, ésta responsabilidad de la aplicación de normas, etc., se puede ver aplicada en los procesos de mezcla pues durante el proceso de mezclado del concreto, es necesario tomar precauciones y tener cuidados específicos para asegurar la calidad y el rendimiento óptimo del material en estado fresco; Moreno (2022) establece diferentes medidas.

En primer lugar, es fundamental realizar una selección adecuada de los materiales y determinar las proporciones correctas de la mezcla. Se deben utilizar materiales de calidad, como cemento, agregados y agua, que cumplan con las especificaciones requeridas. Además, es necesario dosificar los componentes de la mezcla de manera precisa, considerando las propiedades deseadas del concreto y las condiciones ambientales a las que estará expuesto.

Otro aspecto importante es controlar la temperatura del agua de mezcla y de los agregados. La temperatura del agua utilizada puede afectar las propiedades y el tiempo de fraguado del concreto. Por lo tanto, es necesario asegurarse de que la temperatura del agua se encuentre dentro de los rangos recomendados para evitar posibles efectos negativos en la resistencia y durabilidad del concreto. Asimismo, es importante prestar atención a la temperatura de los agregados, evitando su exposición a condiciones extremas que puedan comprometer la calidad de la mezcla.

Además, se pueden utilizar aditivos y adiciones en el concreto para mejorar su trabajabilidad y controlar su temperatura. Estos productos pueden facilitar el manejo y la colocación del concreto durante la construcción. Algunos aditivos también pueden ayudar a controlar la temperatura del concreto, especialmente en situaciones de altas temperaturas.

Los aditivos, según la norma técnica colombiana NTC 1299, se clasifican en distintos tipos, cada uno desempeñando un papel específico en la modificación de las propiedades del concreto. El Tipo A, conocido como plastificante, tiene la capacidad de reducir la cantidad de agua requerida para lograr una consistencia específica en el concreto. Por otro lado, el Tipo B, denominado retardante, retrasa el proceso de fraguado del material. El Tipo C, designado como acelerante, desempeña una función dual al acelerar tanto el proceso de fraguado como el desarrollo de resistencia a una edad temprana. Además, hay variantes combinadas, como el Tipo D (plastificante retardante) que no solo disminuye la cantidad de agua necesaria, sino que también retrasa el

fraguado. El Tipo E (plastificante acelerante) logra una mezcla con consistencia específica mientras acelera tanto el fraguado como la resistencia a edad temprana. Asimismo, el Tipo F, Superplastificante, permite reducir en más del 12% el agua de mezcla para obtener la consistencia deseada en el concreto. Por último, los tipos G y H son variantes del superplastificante, el primero con capacidad retardante y el segundo con capacidad acelerante, ambos manteniendo la capacidad de reducir significativamente la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida en el concreto (Silva, 2022) .

Es fundamental seguir las recomendaciones del fabricante y las normas aplicables al utilizar aditivos y adiciones, asegurando su compatibilidad con los demás componentes de la mezcla y evaluando su impacto en las propiedades del concreto.

En Colombia, las medidas de seguridad y atención tomadas durante el proceso de mezclado del concreto ayudan a lograr una mezcla homogénea, con una trabajabilidad adecuada y un control eficiente de la temperatura. Esto mejora el desempeño y la calidad del concreto tanto fresco como endurecido. Para garantizar la implementación adecuada de estas medidas en la práctica constructiva, es necesario contar con personal capacitado y seguir las normas y estándares técnicos pertinentes, como el Reglamento NSR-10 y las NTC.

2.4.2. Curado y transporte

Además Moreno (2022), brinda una base teórica para el proceso de vaciado y transporte del concreto, según esto, es esencial tomar medidas y precauciones específicas durante el proceso de vaciado y transporte del concreto para garantizar su máxima calidad y rendimiento.

En primer lugar, es crucial seleccionar métodos de transporte adecuados que sean compatibles con las propiedades del concreto y las condiciones del proyecto. Estos métodos

pueden incluir camiones mezcladores, bombas de concreto y transportadores de cinta. Es importante considerar que algunos métodos de transporte pueden generar más calor durante el proceso, lo que podría afectar la temperatura del concreto. Por lo tanto, es esencial evaluar cuidadosamente las condiciones y seleccionar el método de transporte más apropiado para evitar cambios indeseables en la temperatura del concreto durante el traslado.

Además, se debe proteger el concreto fresco contra la radiación solar directa y el calor ambiental durante su transporte. La exposición prolongada a altas temperaturas puede acelerar el proceso de fraguado y comprometer la calidad del concreto; se recomienda utilizar sombras, lonas o sistemas de enfriamiento para minimizar la exposición del concreto a temperaturas elevadas y la radiación solar intensa.

Asimismo, es fundamental realizar un monitoreo constante y controlar la temperatura del concreto durante el transporte. El uso de sensores de temperatura y termómetros en la mezcla proporciona información valiosa sobre posibles cambios significativos en la temperatura durante el proceso. Si se detecta un aumento excesivo de la temperatura, se deben tomar medidas correctivas, como el enfriamiento del concreto con agua o el uso de aditivos retardantes, para controlar el proceso de fraguado y mantener la temperatura dentro de los límites aceptables anteriormente expuestos.

En cuanto al curado del concreto expuesto a altas temperaturas, también se deben tener precauciones y cuidados específicos. Durante esta etapa, es importante utilizar métodos de curado adecuados para reducir la pérdida de humedad y controlar la temperatura del concreto. Se pueden emplear técnicas tradicionales de curado, como la aplicación de membranas o el uso de sistemas de rociado o nebulización, para mantener la humedad y evitar una evaporación rápida en

condiciones de altas temperaturas. Asimismo, se deben implementar medidas para controlar la temperatura del concreto y evitar cambios excesivos que podrían afectar su desarrollo adecuado.

En climas con temperaturas especialmente altas, dos técnicas efectivas para el curado del cemento son la aplicación de compuestos de curado que forman una barrera protectora contra la evaporación, y el uso de coberturas reflectantes sobre la superficie del concreto. Los compuestos de curado actúan reteniendo la humedad esencial para el proceso de hidratación, mientras que las coberturas reflectantes reducen la absorción de calor y reflejan la radiación solar, manteniendo condiciones más moderadas durante el proceso de curado, estas estrategias combinadas contribuyen a asegurar un curado óptimo en entornos cálidos, preservando la resistencia y durabilidad del concreto.

2.4.3. Evaluaciones

No obstante, en caso tal que el concreto fresco se vea expuesto a altas temperaturas como fenómeno natural, es importante implementar evaluaciones de calidad y propiedades del mismo para su posterior uso, establece que durante éstas evaluaciones, es fundamental utilizar métodos de medición adecuados para monitorear y controlar su temperatura (Orjuela & López, 2018). Algunos métodos comunes incluyen el uso de termómetros de inserción, sensores de temperatura y termografía infrarroja, que permiten obtener lecturas precisas de la temperatura del concreto en diferentes puntos.

Además de la temperatura, es necesario realizar pruebas y controles para evaluar la trabajabilidad y resistencia del concreto en condiciones de altas temperaturas. La trabajabilidad se puede evaluar utilizando pruebas como el asentamiento del cono de Abrams, de acuerdo con Penagos (2017) es un ensayo que se realiza al concreto en estado fresco para medir la consistencia, que miden la capacidad de flujo y la facilidad de colocación del concreto. Para evaluar la

resistencia, se pueden realizar pruebas de compresión y flexión en muestras representativas del concreto fresco.

Durante la evaluación, también se deben tener en cuenta posibles efectos adversos que podrían surgir debido a las altas temperaturas. Estos efectos pueden incluir la pérdida de asentamiento, que se refiere a la disminución del asentamiento del concreto debido a la evaporación rápida del agua en condiciones calurosas. Asimismo, la aparición de grietas y la disminución de la resistencia son aspectos a evaluar. Se pueden realizar pruebas de resistencia a la compresión y análisis visual para identificar posibles deficiencias en la calidad del concreto debido a las altas temperaturas.

Es importante destacar que el uso de métodos de evaluación adecuados y la realización de pruebas en laboratorios especializados contribuyen a identificar posibles problemas y garantizar la calidad del concreto en estado fresco expuesto a altas temperaturas. Estos análisis permiten tomar las medidas necesarias para corregir y mejorar la mezcla, asegurando un desempeño adecuado del concreto en condiciones desafiantes.

3. Método

El enfoque de este estudio es cualitativo descriptivo. A continuación, se describen las etapas para cumplir los objetivos del proyecto de investigación:

1. Identificación en la normativa colombiana el manejo del concreto fresco expuesto a zonas de altas temperaturas.
 - Revisión bibliográfica de normativa colombiana para el manejo actual del concreto fresco expuesto a zonas de altas temperaturas.

- Descripción de normas sobre manejo de concreto fresco expuesto a zonas con altas temperaturas teniendo en cuenta normativa actual.

2. Reconocimiento de los cuidados para el manejo del concreto fresco mezclado en obra a altas temperaturas.

- Revisión bibliográfica de cuidados para el manejo del concreto fresco mezclado en obra a altas temperaturas.
- Selección de los posibles cuidados para el manejo de concreto fresco mezclado en obra en zonas con altas temperaturas teniendo en cuenta las referencias bibliográficas.

3. Identificación de las precauciones para el transporte de concreto fresco premezclado a altas temperaturas.

- Revisión bibliográfica de precauciones para el transporte de concreto fresco premezclado a altas temperaturas.
- Selección de las posibles precauciones para el transporte de concreto fresco premezclado en zonas con altas temperaturas teniendo en cuenta las referencias bibliográficas.

4. Generación de una cartilla con los principales cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas.

- Clasificación de conceptos principales para cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas.
- Proposición de una cartilla con los principales cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas teniendo en cuenta las referencias bibliográficas.

4. Cronograma de Actividades

Para el desarrollo del cronograma se relaciona el tiempo empleado para cada una de las etapas que conforman el proyecto de investigación.

Tabla 1. Cronograma

ITEM	Actividad	Duración	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Revisión bibliográfica de normativa colombiana para el manejo del concreto fresco expuesto a zonas de altas temperaturas.	1	x															
2	Descripción de normas sobre manejo de concreto fresco expuesto a zonas con altas temperaturas teniendo en cuenta normativa actual.	2		x	x													
3	Revisión bibliográfica de cuidados para el manejo del concreto fresco mezclado en obra a altas temperaturas.	2				x	x											
4	Selección de los posibles cuidados para el manejo de concreto fresco mezclado en obra en zonas con altas temperaturas teniendo en cuenta las referencias bibliográficas.	2						x	x									
5	Revisión bibliográfica de precauciones para el transporte de concreto fresco premezclado a altas temperaturas.	2								x	x							

ITEM	Actividad	Duración	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4			
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
6	Selección de las posibles precauciones para el transporte de concreto fresco premezclado en zonas con altas temperaturas teniendo en cuenta las referencias bibliográficas.	2									x	x						
7	Clasificación de conceptos principales para cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas.	2											x	x				
8	Proposición de una cartilla con los principales cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas teniendo en cuenta las referencias bibliográficas.	3													x	x	X	

5. Presupuesto

Tabla 2. Presupuesto

		Presupuesto				
ITEM	Descripción	Entidad que cubre	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1. Recurso humano						
1.1	Asesoría director de proyecto	USTA	Horas	16	\$ 110,000	\$ 1,760,000
1.2	Estudiante	Estudiante	Horas	336	\$ 50,000	\$ 16,800,000
					Subtotal	\$ 18,560,000

Presupuesto						
ITEM	Descripción	Entidad que cubre	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
2. Equipo						
2.1	Computador portátil Acer	Estudiante	Unidad	1	\$ 3,000,000	\$ 3,000,000
2.2	Software/Licencias	Estudiante	Mes	4	\$ 32,000	\$ 128,000
2.3	USB	Estudiante	Unidad	1	\$ 30,000	\$ 30,000
Subtotal						\$ 3,158,000
3. Materiales						
3.1	Fotocopias	Estudiante	Mes	4	\$ 15,000	\$ 60,000
3.2	Bases de datos	USTA	Unidad	1	\$ 2,000,000	\$ 2,000,000
3.3	Impresiones	Estudiante	Mes	4	\$ 10,000	\$ 40,000
Subtotal						\$ 2,100,000
4. Otros						
4.1	Wifi	Estudiante	Mes	4	\$ 30,000	\$ 120,000
4.2	Energía Eléctrica	Estudiante	Mes	4	\$ 37,000	\$ 148,000
4.3	Imprevistos	Estudiante	Unidad	1	\$ 500,000	\$ 500,000
Subtotal						\$ 768,000
					USTA	\$ 3,760,000
					Estudiante	\$ 20,826,000
					TOTAL	\$ 24,586,000

6. Resultados

6.1. Identificación en la normativa colombiana el manejo del concreto fresco expuesto a zonas de altas temperaturas.

Es importante tener en cuenta los efectos de las temperaturas elevadas en el concreto fresco, tanto en su estado plástico como endurecido, y tomar medidas para mitigar y controlar estos efectos. Existen documentos que establecen parámetros de temperatura máxima para el concreto en estado fresco, así como recomendaciones de precauciones a seguir. Es fundamental estar informado sobre estos aspectos para garantizar la calidad y durabilidad del concreto.

Tabla 3. Normativa Colombiana para el manejo del concreto

Documento	Sección	Numeral	Temperatura máxima	Descripción
Invias 2013	Art. 630	630.4.18	32°C	Para evitar pérdidas de asentamiento, fraguado falso o juntas frías, la temperatura durante la colocación no debe exceder los 32°C..
NTC 3318-19	Cap. 12	12.11	Sujeto a aprobación del cliente	En temporadas cálidas, el productor debe entregar el concreto a temperaturas tan bajas como sea viable, sujeto a la aprobación del usuario. En algunas ocasiones se pueden encontrar problemas cuando las temperaturas del concreto se acercan a los 32°C.
ASTM C94/C94M-19a	Cap. 12	12.12	Sujeto a aprobación del cliente	Se aborda los requisitos para el suministro de concreto fresco en obra, en algunas ocasiones difícilmente se encuentra un aprovechamiento a 32°C.
ACI 318 S-19	Cap. 26	R26.5.5.1	35°C	ACI 301 Y ACI 305.1 limitan la temperatura máxima del concreto entregado no debe exceder los 35°C
ACI 301S-10	Sec.4	4.2.2.6	35°C	A menos que se especifique o permia lo contrario, la temperatura del concreto entregado no debe exceder los 35°C.

Documento	Sección	Numeral	Temperatura máxima	Descripción
NSR-10	Titulo C	C.1.3.3	No especifica	Es necesario llevar un registro de las temperaturas del concreto y la protección que recibió durante su colocación y curado si la temperatura ambiente es inferior a 4°C o superior a 35°C.
ACI 305R-10	Sec.5	5.2	No Especifica	El concreto se puede producir en climas cálidos sin límites máximos de temperatura de vaciado y se desempeñara satisfactoriamente si se tomas las precauciones adecuadas en cuanto a la dosificación, producción, entrega, colocación, acabado y curado.
NRMCA	CIP 12es	--	No Especifica	El comprador puede descartar los limites sobre la temperatura máxima del concreto si la consistencia del concreto es adecuada para el vaciado y no se requiere una excesiva adición de agua.

Nota: Normativa. *Adaptado de:* (Claros, 2022)

De igual forma, es pertinente resaltar la normativa que se emplea en Colombia para la producción de concreto:

Tabla 4. Normativa en Colombia para la producción de concreto

Norma	Objetivo	Aplicación	Contenido
NTC 673: Concreto - Requisitos	Establece requisitos y especificaciones técnicas para el concreto utilizado en obras de construcción en Colombia.	Se aplica en proyectos de construcción de edificaciones, infraestructuras y otras estructuras de concreto en el país.	Directrices sobre selección de materiales, diseño de mezclas, proporciones de componentes, ensayos de control de calidad, y requisitos para documentación técnica de proyectos.
Reglamento NSR-10: Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente	Establece normas para el diseño y la construcción de estructuras sismo resistentes en Colombia.	Se aplica en todo el país para garantizar la seguridad de las estructuras ante eventos sísmicos en proyectos de construcción de edificaciones, puentes, presas y otras infraestructuras.	Aspectos como diseño estructural, resistencia de materiales, sistemas de cimentación, geotecnia y medidas para mitigación del riesgo sísmico.

Nota: Normativa producción de concreto. Adaptado de NTC 673; Reglamento NSR-10

6.2. Reconocimiento de los cuidados para el manejo del concreto fresco mezclado en obra a altas temperaturas

El manejo del concreto fresco en obras a altas temperaturas es una consideración crítica en la construcción, y el Reglamento NSR-10 proporciona pautas específicas para abordar este desafío. En la sección C.1.1.10, que trata sobre disposiciones para la resistencia sísmica, se destaca la importancia de entender y gestionar la capacidad de disipación de energía en el diseño estructural, esta capacidad se clasifica en niveles como DMI, DMO y DES, y la atención a estos detalles es esencial para garantizar la integridad de las estructuras en condiciones sísmicas, sin embargo, en el contexto de altas temperaturas, surge una consideración adicional: el impacto potencial en las propiedades del concreto fresco (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 1997).

El reconocimiento de la notación específica del Título C del Reglamento NSR-10 (C.2.1) se convierte en un componente crucial para el diseño del concreto estructural, la notación proporciona un lenguaje común para comunicar aspectos clave del diseño, y en situaciones donde las temperaturas elevadas pueden afectar la reología del concreto, la correcta interpretación y aplicación de esta notación se vuelve aún más vital, esto asegura que los profesionales de la construcción estén alineados en cuanto a las expectativas y los requisitos de diseño, especialmente cuando se abordan las complejidades introducidas por las altas temperaturas.

En el ámbito de los cuidados para el manejo del concreto fresco a altas temperaturas, la sección C.3.1 se centra en los ensayos de materiales, estos ensayos son fundamentales para garantizar que los materiales utilizados cumplan con las especificaciones requeridas. La obligación de realizar ensayos sobre muestras representativas de los materiales de construcción se convierte en un componente clave del control de calidad, además, el reconocimiento de que estos ensayos deben realizarse de acuerdo con normas técnicas colombianas (NTC) y otras normativas

internacionales especificadas en C.3.8 refuerza la necesidad de adoptar estándares reconocidos internacionalmente para evaluar la calidad del concreto en condiciones de altas temperaturas.

Como tal, el reconocimiento y la comprensión de las disposiciones en los numerales mencionados del Reglamento NSR-10 no solo son esenciales para abordar los desafíos sísmicos, sino también para gestionar adecuadamente el concreto fresco en entornos de altas temperaturas. Este enfoque integral garantiza la durabilidad y seguridad de las estructuras de concreto, considerando tanto los aspectos sísmicos como las complejidades introducidas por las condiciones térmicas específicas de la obra.

Figura 1. *Temperatura de concreto fresco*



Nota: Medición de la temperatura del concreto. Tomado de Marquez, J. (2021)

Asimismo, el artículo de Umiri. (2019) presenta reflexiones valiosas sobre las precauciones y recomendaciones esenciales al manejar concreto fresco en zonas de altas temperaturas. Las sugerencias ofrecen un enfoque completo para preservar la integridad del concreto en condiciones desafiantes, la propuesta de emplear agua fría, posiblemente con la adición de hielo durante el mezclado, no solo aborda el control de la temperatura del concreto, sino que también resalta la necesidad de adaptarse a condiciones climáticas variables.

La inclusión de aditivos reductores de agua y retardantes subraya la importancia de ajustar la composición de la mezcla para contrarrestar los impactos del calor. Prácticas como el uso de coberturas móviles y láminas de plástico revelan un conocimiento profundo sobre la influencia directa del sol y el viento en la humedad del concreto. La aplicación de películas de curado basadas en resinas muestra una perspectiva innovadora para proteger la superficie del concreto de la pérdida de agua.

Como tal, las reflexiones de Umiri resaltan la necesidad de una mano de obra capacitada y consciente, crucial no solo para la colocación y el acabado del concreto, sino también para el éxito del proceso de curado. Estas recomendaciones forman un marco integral que aborda los desafíos de las altas temperaturas, destacando la importancia de la planificación, la adaptabilidad y la experiencia en el manejo del concreto en obra.

6.2.1. Adición de Puzolanas

Las puzolanas se pueden utilizar en concreto masivo para reducir la generación de calor, mejorar la trabajabilidad y reducir la posibilidad de daño por reactividad álcali-agregado y ataque de sulfatos.

6.2.2. Adición de Escoria

Si se emplea cemento portland Tipo I, se puede agregar hasta el 70% de la escoria pulverizada final del material cementoso total, lo que reduce la velocidad de generación de calor.

6.2.3. Enfriamiento de los áridos por evaporación

Puede enfriar los acopios de áridos simplemente con agua, pero este proceso es efectivo solo si el nivel de humedad relativa es alto. Debido a una mayor humedad relativa y una menor evaporación, un árido húmedo no se enfría tanto en un clima húmedo. Además, al usar este método de enfriamiento de áridos, su temperatura no podrá bajar más allá de la temperatura ambiental medida con un bulbo húmedo.

6.2.4. Utilización de agua fría

Para crear hormigón preparado, se puede usar agua fría de dos maneras: primero, se ponen los áridos en agua fría por un tiempo o se les rocía directamente. La trabajabilidad y la resistencia serán más difíciles de controlar, por lo que en ambos casos se debe dar el tratamiento un tiempo suficiente para que el agua excedente se evapore.

6.2.5. Adición de hielos

Para reducir la temperatura del concreto, se puede agregar hielo para reemplazar parcial o completamente el agua de la mezcla.

6.2.6. Uso de Aditivos

Los aditivos, ya sean orgánicos o inorgánicos, pueden alterar las propiedades del concreto y, por lo tanto, garantizar la calidad del concreto.

algunas recomendaciones para evitar los efectos negativos del calor en la colocación del hormigón, especialmente en relación con el uso de aditivos:

1. Planificación adecuada:

- Antes de comenzar con la colocación del hormigón, es crucial realizar una planificación detallada, teniendo en cuenta las condiciones climáticas previstas. Evita trabajar en horas de máximo calor si es posible.

2. Monitoreo de la temperatura ambiente:

- Mantener un registro constante de la temperatura ambiente durante la colocación del hormigón, esto te permitirá tomar medidas preventivas en caso de condiciones climáticas extremas.

3. Uso de aditivos reductores de agua:

- Considera la posibilidad de utilizar aditivos reductores de agua de alto rango. Estos aditivos no solo mejoran la trabajabilidad del hormigón, sino que también reducen la cantidad de agua necesaria, disminuyendo así la posibilidad de fisuración y otros efectos adversos.

4. Aditivos reductores de temperatura:

- Utiliza aditivos reductores de temperatura para contrarrestar el aumento de la temperatura durante la hidratación del cemento, estos aditivos pueden ayudar a mantener la temperatura del hormigón dentro de rangos seguros.

5. Enfriamiento del agregado y agua:

- En días extremadamente calurosos, considerar enfriar los agregados y el agua antes de mezclarlos con el cemento, esto puede ayudar a reducir la temperatura general de la mezcla de hormigón.

6.3. Identificación de las precauciones para el transporte de concreto fresco premezclado a altas temperaturas

Cuando se trata del control de la temperatura del hormigón, se refiere a la capacidad de controlar las propiedades de la mezcla en su estado fresco para crear el equilibrio térmico de la estructura fundida, de acuerdo con (Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2022) y la reflexión de este trabajo se encuentra la necesidad de conocer la temperatura a la que se someterá el concreto, realizar cálculos teóricos precisos para anticipar y controlar la temperatura, y aplicar estrategias específicas como enfriar el agua, incorporar hielo, reducir la temperatura de los agregados y monitorear las condiciones de humedad. Además, se destaca la importancia de considerar aspectos detallados, como el método de dosificación del hielo, el almacenamiento adecuado de los materiales y la exploración de alternativas en los métodos de enfriamiento.

Figura 2. *Control de las temperaturas en el concreto.*



Nota: control de las Temperaturas en el Concreto. Tomado de Asocreto (s.f)

En entornos de construcción con condiciones climáticas adversas, especialmente en regiones donde las altas temperaturas son una constante, es esencial adoptar prácticas

recomendadas para trabajar con concreto y garantizar la integridad estructural de las obras. De acuerdo con Quimbay (2009), existen precauciones específicas que deben considerarse, especialmente durante el transporte de concreto fresco premezclado en condiciones de altas temperaturas.

Dentro de las precauciones recomendadas, se destaca la importancia de utilizar camiones con revestimiento térmico, que ayudan a mantener la temperatura del concreto dentro de rangos controlados durante el transporte. Asimismo, la adición de aditivos específicos para el control de la temperatura del concreto puede ser una práctica eficaz.

Otro aspecto crucial abordado por Quimbay es la importancia de emplear equipos de mezclado y transporte adecuados para evitar la segregación del concreto. La correcta combinación de aditivos y prácticas operativas puede ayudar a mantener la homogeneidad de la mezcla, garantizando así la consistencia y calidad del concreto en condiciones ambientales desafiantes.

Según Ortiz et al. (2009), existen varias formas de reducir los efectos negativos del clima en las características del hormigón fabricado en climas cálidos, como puede ser que el contenido de cemento se reduce y se utiliza puzolana en parte para reemplazar el cemento, o:

- Utilizando cemento de hidratación de bajo calor.
- Mantener la forma y el grosor de las partículas de cemento.
- Aumentar las propiedades de los agregados.
- Mantener los agregados bajo control térmico mediante sombras y rociado con agua fría.
- Agregar hielo triturado o agua helada al concreto.
- El uso de nitrógeno líquido para enfriar el concreto fresco, entre otras cosas.

Esto revela la complejidad y la creatividad inherente a la adaptación del proceso de producción de hormigón a climas cálidos. La reducción del contenido de cemento y la inclusión de puzolana

como sustituto son enfoques innovadores que no solo buscan mejorar la durabilidad del hormigón, sino que también responden a consideraciones medioambientales, así mismo, estas estrategias reflejan un enfoque holístico y proactivo para mitigar los desafíos del clima cálido en la producción de hormigón, ofreciendo una perspectiva optimista hacia la mejora continua de la calidad y las propiedades del material en condiciones climáticas adversas.

6.4. Generación de una cartilla con los principales cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas

La cartilla propuesta, detallada en el Apéndice 1, emerge como un recurso esencial destinado a interventores y supervisores de obras, ofreciendo una guía integral para el manejo y transporte de concreto fresco en condiciones de altas temperaturas. En sus apartes, se destacan cuidados fundamentales respaldados por información recopilada de diversas fuentes bibliográficas durante las Etapas 1 y 2.

Entre los aspectos clave abordados en la cartilla se encuentran estrategias específicas para controlar la temperatura del concreto, tales como el uso de agua fría y la adición de hielo durante el mezclado, asimismo, se subraya la importancia de aditivos reductores de agua y retardantes para contrarrestar los efectos del calor, la implementación de técnicas como el enfriamiento de los agregados y el control térmico mediante sombras y agua fría reflejan la atención a la temperatura durante todo el proceso.

La cartilla también abarca prácticas de curado efectivas, como el uso de compuestos de curado a base de resinas para prevenir la pérdida de agua. Se destaca, además, la necesidad de una logística eficiente en el suministro de materiales y el manejo durante la carga, transporte y colocación del concreto, como tal, la cartilla constituye una herramienta valiosa, consolidando

medidas proactivas respaldadas por la investigación, diseñadas para optimizar el rendimiento y la durabilidad del concreto en ambientes cálidos, y garantizando la calidad de las construcciones.

7. Conclusiones

En conclusión, la investigación resalta la presencia de múltiples normativas colombianas y estándares internacionales que establecen límites y recomendaciones sobre la temperatura máxima para el concreto fresco, no obstante, se identifica una falta de especificidad en las precauciones y cuidados para el manejo y transporte del concreto fresco expuesto a zonas de altas temperaturas, esta diversidad de criterios y ausencia de directrices específicas representa un desafío en la gestión efectiva del concreto en condiciones ambientales desfavorables.

Los resultados reflejan la necesidad de adaptar los métodos de producción de concreto a las condiciones climáticas, enfocándose en la reducción del contenido de cemento, la inclusión de puzolanas, la utilización de aditivos específicos, así como la gestión térmica de los agregados y el agua. Estas estrategias representan un enfoque holístico y proactivo para contrarrestar los efectos adversos del calor en el concreto.

Se identifican una serie de prácticas y recomendaciones provenientes de diversas fuentes bibliográficas, como el enfriamiento de agregados y agua, la adición de hielo o aditivos reductores de temperatura, y el control riguroso de la logística de transporte, estas prácticas ofrecen un panorama amplio de las medidas preventivas que pueden implementarse para preservar la calidad y durabilidad del concreto en entornos de altas temperaturas.

Se destaca la relevancia de la información, la capacitación y la concientización del personal involucrado en la manipulación y transporte del concreto fresco en condiciones climáticas

adversas, el conocimiento y la implementación efectiva de las medidas preventivas son fundamentales para garantizar la eficacia de las estrategias propuestas.

Asimismo, existen diferentes criterios y especificaciones en cuanto a la temperatura máxima del hormigón según la normativa vigente, pero no estipulan precauciones o cuidados para el manejo y transporte del concreto en estado fresco expuesto a zonas de altas temperaturas (CLAROS, s. f.).

Como tal, los hallazgos revelan la complejidad de gestionar el concreto en ambientes de altas temperaturas, enfatizando la necesidad de directrices más específicas y la importancia de estrategias adaptativas para mejorar la calidad y durabilidad del concreto en condiciones desafiantes. Además, subrayan la importancia de la capacitación del personal y la difusión de buenas prácticas para enfrentar estos desafíos de manera efectiva en entornos constructivos.

Referencias

- Asociación Colombiana de Productores de Concreto. (2022, julio 21). CONTROL DE LAS TEMPERATURAS EN EL CONCRETO. 360 EN CONCRETO. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/control-de-las-temperaturas-en-el-concreto/>
- Claros, E. (2022, junio 8). ¿CUÁL DEBE SER LA TEMPERATURA MÁXIMA DEL CONCRETO FRESCO? 360 EN CONCRETO. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/cual-debe-ser-la-temperatura-maxima-del-concreto-fresco/>
- Huanca, S. L. (2006). Diseño de Mezclas de Concreto. *Universidad Nacional del Altiplano*. <https://topodata.com/wp-content/uploads/2019/09/Dise%C3%B1o-de-Mezclas-de-Concreto-Ing.-Samuel-Laura-Huanca.pdf>
- Instituto Nacional de Vías. (2013). *Normas de Ensayo de materiales para carreteras*. 400. https://www.umv.gov.co/sisgestion2019/Documentos/APOYO/GLAB/GLAB-DE-003_V1_Normas_Invias_Seccion_400-13.pdf
- López, T. P. (2015). Concreto armado. Caracterización y alteraciones. *Publicaciones Digitales ENCRyM*. <https://revistas.inah.gob.mx/index.php/digitales/article/view/5422>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (1997). *Decreto 1401 de 2023 Nivel Nacional*. <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=145699&dt=S>
- Moreno, A. (2022, junio 9). RECOMENDACIONES PARA LA COLOCACIÓN DE CONCRETO EN AMBIENTES FRÍOS Y CÁLIDOS. 360 EN CONCRETO. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/recomendaciones-para-la-colocacion-de-concreto-en-ambientes-frios-y-calidos/>

- Orjuela, D. C. F., & López, J. S. B. (2018). *EVALUACIÓN Y DIAGNÓSTICO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y A FLEXIÓN DEL CONCRETO SIMPLE DESPUÉS DE EXPUESTO A 450°C.*
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., Parody, A., Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S., & Parody, A. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: Una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. *Revista ingeniería de construcción*, 33(2), 161-172. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732018000200161>
- Osorio, J. D. (2022, junio 1). Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. 360 *EN CONCRETO*. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion/>
- Penagos, M. J. R. (2017). *TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA.*
- Quimbay, R. (2009). 2. MADUREZ DEL CONCRETO. *Universidad Nacional de Colombia*, 20.
- Silva, O. J. (2022, junio 3). GENERALIDADES Y TIPOS DE ADITIVOS PARA EL CONCRETO SEGÚN LA NTC 1299. 360 *EN CONCRETO*. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/generalidades-tipos-de-aditivos-para-el-concreto/>
- Sukumar, A. P., Seabrook, P., Sherstobitoff, J., & Huber, F. (2006). Reconstruction of the Little Mountain Reservoir. *Concrete International*, 28(2), 44-49.

Apéndices

Apéndice A. *Cartilla para los principales cuidados y precauciones para el manejo y transporte de concreto a altas temperaturas.*

