

EL MÉTODO DEL DISEÑO DE MEZCLAS Y SU IMPACTO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

AUTORES

**REYNALDO MELQUIADES REYES ROQUE
MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA
HIRBIN FELIX CÉSPEDES REYNAGA**

EL MÉTODO DEL DISEÑO DE MEZCLAS Y SU IMPACTO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

AUTORES

**REYNALDO MELQUIADES REYES ROQUE
MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA
HIRBIN FELIX CÉSPEDES REYNAGA**

Editor Chefe

Ivanio Folmer

Bibliotecária

Aline Graziele Benitez

Revisora Técnica

Gabriella Eldereti Machado

Diagramação e Projeto Gráfico

Gabriel Eldereti Machado

Imagem capa

www.canva.com

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva - Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí

Profa. Dra. Alicia Eugenia Olmos - Universidad Católica de Córdoba

Prof. Dr. Astor João Schönell Júnior - Instituto Federal Farroupilha

Prof. Dr. Alan Ricardo Costa - Universidade Federal de Roraima

Prof. Dr. Camilo Darsie de Souza - Universidade de Santa Cruz do Sul

Prof. Dr. Carlos Adriano Martins - Universidade Cidade de São Paulo

Prof. Dr. Christian Dennys Monteiro de Oliveira - Universidade Federal do Ceará

Profa. Dra. Dayse Marinho Martins - Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. Deivid Alex dos Santos - Universidade Estadual de Londrina

Prof. Dr. Dioni Paulo Pastorio - Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Dr. Douglas Manoel Antonio de Abreu Pestana dos Santos - Faculdade Sesi-Sp de Educação

Profa. Dra. Elane da Silva Barbosa - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Profa. Dra. Francielle Benini Agne Tybusch - Universidade Franciscana

Prof. Dr. Francisco Odécio Sales - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará

Prof. Dr. Gilvan Charles Cerqueira de Araújo - Universidade Católica de Brasília

Prof. Dr. Leonardo Bigolin Jantsch - Universidade Federal de Santa Maria

Profa. Dra. Liziany Müller Medeiros - Universidade Federal de Santa Maria

Profa. Dra. Marcela Mary José da Silva - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB

Prof. Dr. Mateus Henrique Köhler - Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Michel Canuto de Sena - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

Profa. Dra. Mônica Aparecida Bortolotti - Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof. Dr. Rafael Nogueira Furtado - Universidade Federal do ABC

Prof. Dr. Roberto Araújo Silva - Centro Universitário Lusíada

Prof. Dr. Sidnei Renato Silveira - Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Thiago Ribeiro Rafagnin - Universidade Federal do Oeste da Bahia

Prof. Dr. Tomás Raúl Gómez Hernández - Universidade Central “Marta Abreu” de Las Villas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Roque, Reynaldo Melquiades Reyes

El método del diseño de mezclas y su impacto en las propiedades del concreto [livro eletrônico] / Reynaldo Melquiades Reyes Roque, Milene Mercedes Sáenz Jamanca, Hirbin Felix Céspedes Reynaga. -- 1. ed. -- Santa Maria, RS : Arco Editores, 2023. PDF

Bibliografia.

ISBN 978-65-5417-162-5

1. Concreto 2. Concreto - Controle de qualidade
3. Concreto - Deterioração 4. Construção civil
5. Engenharia civil I. Jamanca, Milene Mercedes Sáenz. II. Reynaga, Hirbin Felix Céspedes.
III. Título.

23-176708

CDD-620.1370212

Índices para catálogo sistemático:

1. Concreto armado : Normas : Engenharia 620.1370212

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129



10.48209/978-65-5417-162-5

Este livro é o resultado de uma pesquisa científica em atividades de ciência e tecnologia, intitulada Incidencia del método módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto de F'C= 17, 21 y 28 MPA, Huaraz – 2020, realizado na Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Antes de ser publicado, ele foi revisado por colegas acadêmicos externos.



CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I.....	14
NOCIONES GENERALES SOBRE EL CONCRETO.....	14
1.1. Concreto: definición y características.....	15
1.2. Clasificación del concreto.....	16
1.2.1. Según su resistencia.....	16
1.2.2. Según su composición.....	17
1.2.3. Según su aplicación.....	18
1.2.4. Según su peso específico.....	19
1.3. Tipos de concreto.....	20
1.4. Importancia y beneficios del concreto.....	22
CAPÍTULO II.....	25
CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO.....	25
2.1. Concreto fresco y endurecido: características generales.....	26
2.2. Propiedades del concreto fresco.....	27
2.3. Propiedades del concreto endurecido.....	29
2.4. Ensayos al concreto fresco y endurecido.....	32
2.4.1. Prueba de consistencia.....	32
2.4.2. Prueba de resistencia a la compresión del concreto.....	33
CAPÍTULO III.....	36
DISEÑO DE MEZCLAS.....	36
3.1. ¿Qué es el diseño de mezclas?.....	37
3.2. Métodos del diseño de mezclas.....	37

3.2.1. Método del comité 211 del ACI.....	38
3.2.2. Método de finura del agregado global.....	40
3.2.3. Método de Füller.....	41
3.3. Materiales usados para el diseño de mezclas.....	42
3.3.1. Cemento Portland.....	42
3.3.2. Agregados.....	45
3.3.3. Agua.....	47
CAPÍTULO IV.....	48
INCIDENCIA DEL MÉTODO MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE $F'C= 17, 21$ Y 28 MPA, HUARAZ.....	48
CAPÍTULO V.....	128
TECNOLOGÍA Y CALIDAD DEL CONCRETO.....	128
5.1. La naturaleza y su incidencia en el proceso de deterioro del concreto...	129
5.2. Importancia de la tecnología del concreto en la vida útil de la construcción.....	132
5.3. Normativa peruana y la calidad del concreto.....	134
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	51
Tabla 2. Ensayos de laboratorio para el agregado fino.....	56
Tabla 3. Ensayos de laboratorio para el agregado grueso.....	57
Tabla 4. Cuadro de los diseños de mezcla de concreto y las variaciones realizadas al módulo de finura del agregado global.....	58
Tabla 5. Ensayos de laboratorio para las propiedades del concreto fresco.....	60
Tabla 6. Ensayo de laboratorio de resistencia a la compresión del concreto.....	60
Tabla 7. Propiedades físicas de los agregados fino y grueso.....	66
Tabla 8. Granulometría del agregado fino.....	67
Tabla 9. Granulometría del agregado grueso.....	68
Tabla 10. Módulo de finura de los agregados.....	70
Tabla 11. Características físicas y químicas del cemento portland tipo I (cemento sol).....	70
Tabla 12. Diseño de mezclas del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa (comité 211 del ACI).....	71
Tabla 13. Propiedades del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa en estado fresco.....	72
Tabla 14. Resistencia a la compresión del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa, a los 28 días.....	73
Tabla 15. Módulo de finura del agregado global del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa.....	74
Tabla 16. Variación del módulo de finura del agregado global.....	75
Tabla 17. Diseño de mezclas del concreto de $f'c = 17$ MPa para las variaciones de MFG_1	76
Tabla 18. Diseño de mezclas del concreto de $f'c = 21$ MPa para las variaciones de MFG_2	77

Tabla 19. Diseño de mezclas del concreto de $f'c = 28$ MPa para las variaciones de MFG_3	78
Tabla 20. Propiedades del concreto fresco de $f'c = 17$ MPa, para las variaciones del MFG_1	79
Tabla 21. Propiedades del concreto fresco de $f'c = 21$ MPa, para las variaciones del MFG_2	79
Tabla 22. Propiedades del concreto fresco de $f'c = 28$ MPa, para las variaciones del MFG_3	80
Tabla 23. Resistencia a la compresión del concreto de 17 MPa, haciendo la variación del MFG_1	81
Tabla 24. Resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa, haciendo la variación del MFG_2	82
Tabla 25. Resistencia a la compresión del concreto de 28 MPa, haciendo la variación del MFG_3	83
Tabla 26. Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 17 MPa.....	84
Tabla 27. Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 21 MPa.....	85
Tabla 28. Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 28 MPa.....	85
Tabla 29. Resumen de los resultados al determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.....	87
Tabla 30. Prueba de hipótesis de la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.....	113
Tabla 31. Prueba de hipótesis de la temperatura del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.....	115
Tabla 32. Prueba de hipótesis del peso unitario del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.....	117
Tabla 33. Prueba de hipótesis del contenido de aire del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.....	119
Tabla 34. Prueba de hipótesis de la exudación del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.....	121
Tabla 35. Prueba de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva granulométrica del agregado fino.....	68
Figura 2. Curva granulométrica del agregado grueso.....	69
Figura 3. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Asentamiento del concreto.....	86
Figura 4. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto.....	88
Figura 5. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Peso unitario del concreto.....	89
Figura 6. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto.....	90
Figura 7. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Exudación del concreto.....	91
Figura 8. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Resistencia a la compresión del concreto.....	92
Figura 9. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Asentamiento del concreto.....	93
Figura 10. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto.....	94
Figura 11. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Peso unitario del concreto.....	95
Figura 12. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto.....	96
Figura 13. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Exudación del concreto.....	97
Figura 14. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Resistencia a la compresión del concreto.....	98
Figura 15. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Asentamiento del concreto.....	99

Figura 16. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto.....	100
Figura 17. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Peso unitario del concreto.....	101
Figura 18. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto.....	102
Figura 19. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Exudación del concreto.....	103
Figura 20. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Resistencia a la compresión del concreto.....	104
Figura 21. Comparación de la consistencia del concreto por tratamiento.....	114
Figura 22. Comparación de la temperatura del concreto por tratamiento.....	116
Figura 23. Comparación del peso unitario del concreto por tratamiento.....	118
Figura 24. Comparación del contenido de aire del concreto por tratamiento.....	120
Figura 25. Comparación de la exudación del concreto por tratamiento.....	122
Figura 26. Comparación de la resistencia a la compresión del concreto por tratamiento.....	124

RESUMEN

El método de diseño de mezclas es una herramienta esencial para obtener concreto. De este método depende la mejora de las propiedades del hormigón. Para un correcto diseño de mezcla es necesario que los encargados de la construcción utilicen las proporciones adecuadas a fin de obtener mejores resultados, y que se garantice la seguridad de la construcción, pues un concreto que no cumple con las especificaciones de las normas técnicas se encuentra propenso a agrietarse en poco tiempo y a poner en riesgo a los constructores o futuros habitantes del lugar. Ante esto, es preciso dar a conocer las características del concreto y el método de diseño de mezclas para garantizar una obra civil o edificación segura. Este libro se estructura en cinco capítulos, en los que se lleva a cabo una descripción teórica y, posteriormente, se desarrolla la investigación propiamente dicha. Los temas tratados están relacionados con el concreto fresco y endurecido, el diseño de mezclas, la calidad y la tecnología de concreto. Respecto al estudio, se tiene por objetivo comparar la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global (MFG) en las propiedades del concreto patrón y el concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa. Se concluyó que la variación del módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa incide en las propiedades del concreto endurecido y fresco.

Palabras clave: concreto, agregados, diseño de mezcla, calidad del concreto, normas técnicas

ABSTRACT

The method of mix design is an essential aspect for obtaining concrete, and the improvement of concrete properties depends on this method. For a correct mix design it is necessary that those in charge of the construction use the adequate proportions in order to obtain better results, and to guarantee the safety of the construction, since a concrete that does not comply with the specifications of the technical standards is prone to crack in a short time and to put the builders or future inhabitants of the place at risk. In view of this, it is necessary to provide information about concrete and the method of mix design to guarantee a safe civil work or building. This book is structured in five chapters; in four of them, a theoretical description is made and in another one, the research itself is developed. The topics presented are concrete; fresh and hardened concrete; mix design; concrete quality and technology, whose concept, characteristics, methods, properties, types, among other aspects, are developed. Regarding the study, the objective is to compare the incidence of the variation of the fineness modulus of the global aggregate (MFG) in the properties of the standard concrete and the concrete of $f'_c = 17, 21$ and 28 MPa; it was concluded that the variation of the fineness modulus of the global aggregate of the standard concrete of $f'_c = 17, 21$ and 28 MPa affects the properties of the hardened and fresh concrete.

Key words: concrete, aggregates, mix design, concrete quality, technical standards

INTRODUCCIÓN

El concreto es un material esencial para la construcción de obras civiles o edificaciones de diferentes magnitudes; por ello, es importante que la selección de los materiales que componen el hormigón sea de calidad. Asimismo, es fundamental determinar las proporciones de la mezcla, identificar sus propiedades, controlar la calidad de los recursos empleados, aplicar el procedimiento establecido para realizar la mezcla y el mantenimiento correspondiente, con el fin de evitar la aparición de grietas. Dicho de otro modo, existen diversos aspectos y requisitos que deben considerarse para garantizar la eficacia, seguridad y calidad de una construcción, independientemente de la forma o el tamaño que esta posea.

En el Perú, se han creado diversas normas para garantizar el correcto uso de los materiales y el diseño de mezclas, como las normas técnicas peruanas (NTP), que fueron elaboradas basándose en las normas ACI. En la normativa establecida se desarrolló un método de diseño de mezclas en el que se presentan tablas donde se determina el contenido de agua, cemento, aire, cantidad de agregado grueso y fino. Es importante aclarar que, en el diseño de mezclas, son los agregados los que deben ser añadidos con mayor cuidado; de ahí que se haya establecido el método del módulo de finura del agregado global para obtener mejores resultados en dosificación de los materiales utilizados para el concreto y tener una mayor calidad, es decir, que se cumpla con los requisitos establecidos.

Pese a ello, en la práctica es difícil lograr una combinación de agregados que cumpla con la gradación, por lo cual cada cierto periodo se crean tecnologías que faciliten esta labor, y así determinar si la fabricación del concreto es de buena calidad. Además, han surgido nuevos materiales que permiten obtener una mezcla más resistente y apta para cada tipo de construcción, independientemente del área o ambiente donde esta se realice.

CAPÍTULO I

NOCIONES GENERALES SOBRE EL CONCRETO

Cada año se observa la construcción de diversos edificios, casas, carreteras, entre otros, que presentan un determinado fin. En este aspecto, los materiales que se usan deben ser los adecuados, para garantizar que cada obra civil o edificación cumpla con su objetivo. Uno de los materiales más importantes en las construcciones es el concreto, el cual está constituido por arena, grava, agua y aditivos, y se usa con el fin de dar resistencia a las edificaciones.

El concreto es un material que ha sido utilizado desde hace muchos años y ha demostrado ser un recurso indispensable para las diversas construcciones debido a sus características, entre las cuales destaca su tracción, flexión, cohesividad, durabilidad y resistencia. Estas propiedades han logrado situar al concreto como un material apto para la construcción de carreteras, pavimentos, casas, edificios y rascacielos. Además, debido a que es un material que se puede obtener de forma natural, es de fácil elaboración y puede ser fabricado en los diferentes países del mundo; por esta razón, tiene un precio económico que no solo beneficia a los productores, sino también a las familias.

Hoy en día, el concreto ha sido reconocido como el material de construcción de mayor uso en el mundo; sin embargo, su calidad final va a depender del conocimiento que los constructores y el ingeniero posean sobre este material. Es indispensable, entonces, que los encargados de la construcción conozcan los usos, beneficios y desventajas que el concreto posee, de manera que se le brinde una correcta aplicación para que resista cargas muy pesadas (carreteras

y edificios) o soporte el desgaste por la salinidad del agua, la cual ocasiona el agrietamiento y la corrosión del concreto. De este modo, habrá una mayor seguridad en las construcciones y cada una de estas podrá cumplir el objetivo inicial por el que fue creada sin poner en riesgo a las personas.

1.1. Concreto: definición y características

El concreto u hormigón es el material más utilizado para las construcciones porque brinda el soporte necesario para que la estructura de las obras sea resistente; además, es un recurso de fácil uso, tiene alta disponibilidad y el costo de sus componentes es económico, lo cual permite que pueda ser adquirido sin problemas. Destaca por su adaptabilidad y versatilidad, características que permiten que este material pueda ser moldeado en formas y tamaños diferentes para cumplir con los requisitos arquitectónicos particulares de cada obra. Algunas características del concreto son las siguientes:

- Es isótropo, es decir, posee las mismas propiedades físicas en todas las direcciones.
- Es de fácil fabricación
- Sus materias primas son no renovables, pero se encuentran en grandes cantidades en la naturaleza
- Tiene origen artificial
- Es homogéneo cuando hay baja dispersión de sus propiedades.

El concreto ha pasado a ser un material indispensable para el soporte de las construcciones modernas, pues se puede afirmar que muchas de las obras civiles o edificaciones han dependido de este material, al igual que las construcciones de las civilizaciones antiguas, las cuales fueron posibles gracias al uso de materiales cementantes, como el cemento portland, con el que hoy en día se fabrica el concreto moderno (López *et al.*, 2022).

Si bien el concreto se identifica por ser uno de los materiales más resistentes en la actualidad, presenta ciertas desventajas, las cuales no exceden a sus beneficios. Una de esas desventajas es su agrietamiento. Las grietas son una debilidad inherente al concreto, que afecta su durabilidad, razón por la cual se han estado desarrollando métodos y tecnologías para la curación o restauración de las grietas. Las grietas pueden ocurrir en cualquier etapa de la implementación del concreto y se deben a múltiples razones, por ejemplo, la inadecuada mezcla, la deficiente mano de obra, el uso de agregado de mala calidad, entre otros, los cuales se revelan cuando la estructura se somete a más tensión (Muñoz-Pérez *et al.*, 2023). Para evitar este tipo de situaciones, se recomienda contar con un gran capital para contratar la suficiente mano de obra y comprar los recursos adecuados para detener las grietas en las primeras etapas.

En general, el concreto es uno de los materiales más resistentes para las construcciones, lo cual se puede observar en las construcciones antiguas y en su uso continuo en la sociedad actual, debido a que soporta una gran cantidad de peso, es económico y tiene una diversidad de aplicaciones.

1.2. Clasificación del concreto

El concreto se clasifica principalmente en cuatro tipos: de acuerdo a su resistencia, su composición, su aplicación y su peso específico, tal como se detalla en los siguientes acápite.

1.2.1. Según su resistencia

La resistencia es una de las propiedades que más incide en la construcción del diseño y se relaciona directamente con el paso del tiempo (Tejada & Córdoba, 2023). La resistencia depende de cada país, por ejemplo, en Estados Unidos, un concreto de alta resistencia debe estar entre los 11 500 y 14 000 psi; en cambio, en Colombia, entre los 3000 y 6000 psi. El concreto según su resistencia se subdivide en dos clases (Pacheco, 2017):

- Convencional: constituido por 41 % grava, 35 % arena, 15 % cemento y 10 % agua.
- De alta resistencia: constituido por 41 % grava, 28 % arena, 20 % cemento, 5 % agua, 2 % aditivos y 2 % adiciones.

Por otro lado, la resistencia del concreto depende de la resistencia individual de la pasta de cemento endurecido, los agregados y la adherencia de ambos materiales. A estos recursos se les suma el grado de densificación que el concreto fresco puede alcanzar durante su fase de colocación en la estructura (Peralta, 2019).

La resistencia del concreto también se relaciona con los agregados y la pasta de cemento. Respecto a los agregados, estos inciden en el grado de dureza, puesto que, si los agregados son de buena calidad, existe una mayor probabilidad de que las construcciones sean más duraderas y resistentes a las diferentes fuerzas o cargas. Sin embargo, si la mezcla de los agregados no ha sido realizada correctamente o no es de buena calidad, el concreto tendrá menos resistencia, lo cual limitará su uso al no ser apto para soportar todo tipo de cargas. La pasta de cemento adquiere su resistencia cuando es mezclada con el agua inmediatamente después de cuando se realiza el proceso de hidratación de los granos de cemento. Esto es necesario para que se reduzca la porosidad y se incremente su resistencia mecánica (Peralta, 2019).

De ahí que sea importante considerar la adecuada interacción entre los agregados y la pasta de cemento, con la finalidad de que se aporte la resistencia necesaria para soportar grandes cargas.

1.2.2. Según su composición

La composición del concreto es muy importante para el diseño de mezcla y las construcciones. Usualmente, está constituido por agregados (compuestos gruesos) y pasta (compuestos finos, por ejemplo, aire, agua, cemento y aditivos). Los agregados y el cemento componen más del 80 % del concreto. De

acuerdo con De la Cruz *et al.* (2022), es importante conocer la composición del concreto porque esta cumple un rol importante cuando reacciona con el agua hasta lograr una mejor compresión de las propiedades que lo identifican.

Aunque su composición básica contiene agua, cemento y materiales áridos (piedras, grava o arena), puede cambiar dependiendo de la complejidad de la obra, por lo cual suelen agregarse fibras, suplementos y aditivos, por ejemplo, cemento hidráulico, aire aprisionado o granos sintéticos. Por esta razón existen diferentes tipos de concreto que se diferencian por sus propiedades y su composición, los cuales determinan su calidad, resistencia y endurecimiento en las edificaciones.

Por otro lado, el concreto, según su composición o agregados, se subdivide en siete clases (Pacheco, 2017):

- Ordinario: constituido por áridos, aditivos, agua y aglomerante.
- Ciclópeo: constituido por áridos de 50 cm.
- Cascotes: constituido por ladrillos y desechos.
- Inyectado: consiste en meter pasta árida > 25 mm al concreto.
- Con aire incorporado: concreto al cual se le agrega aire > 6 %.

Cada uno posee componentes específicos para ser utilizados en un tipo de construcción en especial y para que respondan adecuadamente a la necesidad por la cual fueron elaborados. Para esto, también se requiere que los materiales sean de buena calidad a fin de aumentar la durabilidad, reducir la inestabilidad de volumen, evitar la corrosión del refuerzo y las manchas.

1.2.3. Según su aplicación

El concreto es un material versátil, duradero y resistente que se utiliza en diferentes proyectos de construcción. Actualmente, existen diversos tipos de concretos en el mercado, los cuales aumentan con los avances de la tecnología para que puedan ser empleados en un sinnúmero de construcciones. En este aspecto,

el hormigón ha sido usado en la construcción de carreteras, puentes y edificios, los cuales muestran una gran resistencia a pesar de las cargas que soportan a diario.

El concreto según su aplicación se subdivide en cuatro clases (Pacheco, 2017):

- Simple: se caracteriza por no tener ninguna armadura y ser resistente a la compresión.
- Armado: posee acero y es resistente a la flexión compresión y la flexión.
- Pretensado: se caracteriza por ser resistente a la tracción de viguetas.
- Postensado: es resistente a la tracción, para lo cual se introducen fundas.

Cada uno de estos tipos de concreto tiene un fin específico. Para ejemplificar, el concreto simple se emplea en puentes, calles, túneles, autopistas, rompeolas, aceras, entre otros; el concreto armado, para las columnas, las vigas y el techo de centros comerciales o residenciales; el concreto pretensado, para los almacenes, los estacionamientos, los suelos de rascacielos y los reactores nucleares (este tipo de hormigón resiste las explosiones y los terremotos); y el concreto postensado, en la construcción de edificios.

1.2.4. Según su peso específico

El peso específico del concreto varía de acuerdo a la cantidad de agregados que se le añade, y es necesario conocerlo porque facilita los cálculos de dosificación del volumen de la masa mezclada. Para conocer el peso de cada tipo de concreto se requiere saber el peso unitario, el cual se define como el peso del agregado que formará parte del concreto. Este peso se mide colocando en un recipiente el agregado considerando el grado de compactación, ya que este cambia el valor del peso unitario. Se requiere tener en cuenta que el peso unitario del agregado depende el contenido de la humedad, por lo que se necesita tener un contenido de humedad constante; además, el valor del peso unitario es

influenciado por el peso de las partículas, principalmente, por su forma (Masías-Mogollón, 2018).

El concreto, según su peso específico, se subdivide en tres clases (Pacheco, 2017):

- Ligero: se caracteriza por tener un peso unitario que se encuentra entre 1200-2000 kg/m³.
- Normal: se caracteriza por tener un peso unitario que se encuentra 2000-2800 kg/m³.
- Pesado: se caracteriza por tener un peso unitario que se encuentra entre > 2800 kg/m³.

Es importante precisar que para determinar el peso específico del concreto se debe considerar la masa unitaria, el peso volumétrico y la densidad, y que dicho peso suele variar usualmente entre los 2200 hasta 2400 kg/m³.

1.3. Tipos de concreto

El concreto ha sido utilizado desde siglos y perdura hasta hoy en día debido a las facilidades que brinda para la construcción de diferentes tipos de obras. Cada obra o edificación posee requisitos específicos para cumplir con las normas nacionales o internacionales, por lo cual, con el paso del tiempo, se han elaborado e implementado diversos tipos de concreto con la finalidad de que la construcción tenga una amplia resistencia y cumpla con su propósito. Si bien existen numerosos tipos de concreto en la actualidad, solo se detallarán los más resaltantes, los cuales se explican a continuación (Concrelab, 2023):

Concreto convencional o normal

Es el tipo de concreto más utilizado en las construcciones porque posee una buena cohesión y manejabilidad, principalmente, cuando se encuentra en estado endurecido y fresco. Está compuesto por agua, grava, arena y cemento

Portland. Es utilizado para la construcción de columnas, cimientos, losas, vigas y paredes.

Concreto reforzado

Es el tipo de concreto que resulta de la incorporación de mallas de acero o barras en la masa del concreto, es decir, es un concreto caracterizado por tener una armadura metálica interna. Se utiliza para la construcción de edificios de gran altura, construcción de puentes, presas, entre otros.

Concreto de alta resistencia

Este tipo de concreto posee una alta resistencia a la compresión. Está compuesto por grava, arena, cemento Portland y aditivos especiales que le confieren alta resistencia. Se utiliza para la construcción de estructuras destinadas a soportar grandes cargas, por ejemplo, presas, puentes y edificios de gran altura.

Concreto liviano

Este tipo de concreto se caracteriza por tener una densidad menor que la del concreto normal. Está compuesto por grava, arena, cemento Portland y un agregado liviano, por ejemplo, la espuma de poliestireno. Se utiliza para la construcción de estructuras ligeras, como pisos, techos y paredes.

Concreto fluido

Este tipo de concreto facilita su colocación y disminuye las necesidades de vibrado, sobre todo para encofrados, los cuales presentan ciertas dificultades debido a la gran cantidad de acero que se emplea o por el poco espacio en el cual va a vaciarse el producto. Conjuntamente, se emplea para elementos esbeltos, elementos a gran altura o lugares de difícil acceso (mampostería estructural).

Concreto autocompactante

Este tipo de concreto puede ser colocado y compactado por sí solo, es decir, sin la necesidad de requerir la vibración o compactación mecánica. Suele utilizarse para construir columnas y sus revestimientos, sistemas industrializados de construcción, o placas aligeradas y macizas. También se utiliza en la

construcción de estructuras en lugares de difícil acceso o con formas complicadas.

Concreto arquitectónico

El concreto arquitectónico, también denominado decorativo o estructural, fue elaborado con el propósito de proporcionar una diversidad de alternativas estéticas respecto a colores y acabados, dependiendo de la necesidad de la obra y del constructor. Se caracteriza por tener diferentes tipos de resistencia, grado de trabajabilidad y tamaño de agregado. Cabe precisar que la resistencia varía según las especificaciones del diseño y, por tanto, también los costos para su adquisición porque se utilizan nuevos pigmentos y por la complejidad logística del proceso de fabricación.

Concreto permeable

Este tipo de concreto también es conocido como concreto verde o ecológico, y se caracteriza por tener una estructura de poros interconectados (Dos Santos & Rojas, 2020). Una de sus particularidades es que no permite el paso del agua pluvial hacia el subsuelo, lo cual garantiza la recuperación de los mantos freáticos. Debido a esta característica suele ser utilizado para la construcción de banquetas, andadores, estacionamientos a cielo abierto y carpetas de rodamiento para tránsito ligero.

1.4. Importancia y beneficios del concreto

De acuerdo con lo expuesto en los párrafos anteriores, existen diferentes tipos de concreto que son utilizados en proyectos específicos. Esta tipología ha sido el resultado de los avances tecnológicos, los cuales han permitido que se añadan aditivos y otros componentes para obtener concretos aptos para cada tipo de construcción.

Según Jaimes *et al.* (2020), la importancia de este material se basa en sus numerosas características y capacidades, que lo posiciona como un recurso in-

dispensable para la construcción de estructuras, ya que tiene una gran resistencia, se adapta a casi cualquier forma, tiene una buena capacidad para trabajar la compresión, una resistencia moderada a la tracción y la flexión (la mejora de la resistencia se logra con la combinando el concreto con un material más dúctil, como el acero), entre otras capacidades que hacen del concreto uno de los materiales esenciales en la construcción de estructuras pequeñas (viviendas) o de edificaciones (rascacielos y edificios de oficinas).

El concreto también es un recurso esencial en la elaboración de materiales prefabricados, los cuales son muy utilizados en la construcción de edificios de oficinas (Jaimes *et al.*, 2020). Asimismo, cabe destacar que el concreto tiene una alta capacidad de resistir a diferentes condiciones de exposición extremas gracias a su durabilidad y es un material que puede ser fabricado en cualquier parte del mundo, lo cual ayuda a la reducción de costos por su fabricación y obtención. Por último, su flexibilidad y sus propiedades estéticas permiten la innovación y variación de diseños arquitectónicos, por lo cual es empleado en obras de diferentes tipos, como carreteras, edificios, museos, entre otros.

En este aspecto, el concreto puede ser fabricado a gran escala, además de ser empleado constantemente en la construcción. Algunos de sus beneficios son los siguientes (Asociación de Productores de Cemento, 2015):

- Bajo mantenimiento: debido a que el concreto es compacto, inerte y no poroso, no pierde sus propiedades con el tiempo ni atrae a los mohos.
- Costo asequible: la elaboración del concreto es menos costoso de producir en comparación con el acero; además, es duradero y asequible.
- Resistencia al fuego: ya que forma una barrera que evita su propagación.
- Relativamente bajas emisiones de CO₂: las emisiones de CO₂ de concreto es pequeña a diferencia de otros materiales usados en la construcción. El 80 % de las emisiones de CO₂ de las construcciones no son consecuencia de

los materiales de construcción, sino de los servicios eléctricos del edificio, por ejemplo, el aire acondicionado, la calefacción y la iluminación.

- Eficiencia energética en la producción: a diferencia de otros materiales de construcción, la producción de concreto emplea menor energía.

- Excelente masa térmica: los muros de concreto al no transferir rápidamente el calor, reduce el cambio de temperatura; por tanto, la necesidad de instalar aire acondicionado o equipos de calefacción. Con esto no solo se ahorra energía, sino también se reduce las emisiones de CO₂.

En efecto, el concreto es un recurso muy útil que ha generado grandes aportes a la sociedad, sobre todo, en lo que respecta a la mejora de la calidad de vida de las personas, ya que gracias a este material se ha logrado construir pasarelas, andenes, autopistas y otras infraestructuras para facilitar la vida de la población.

El uso del concreto ha contribuido en la construcción de diversas obras públicas y privadas de gran resistencia, en especial, aquellas que están destinadas a ser el almacén de productos de primera necesidad, como los supermercados. De ahí que cada año el concreto adquiera una mayor relevancia en el campo de la construcción, no solo por su resistencia o adaptabilidad, sino también por la seguridad que brinda ante cualquier eventualidad y por ser un producto que ayuda a disminuir las emisiones de CO₂.

CAPÍTULO II

CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

El concreto es un elemento indispensable para la construcción porque garantiza su resistencia y da forma a la obra que quiere realizarse. El concreto se presenta en dos estados: fresco y endurecido. El primer estado se caracteriza por tener una consistencia plástica y amoldable, que puede disminuir con el paso de tiempo como consecuencia del aumento de la rigidez de la mezcla, que es causada por el fraguado. Así también, es trabajable, lo cual es muy importante porque depende de esta propiedad para obtener la forma que se requiere. Ahora, el concreto fresco debe ser elaborado siguiendo las normas de construcción y utilizando recursos de calidad para garantizar que, al momento de ser echado en el encofrado, queden vacíos en interior, lo cual puede ocasionar daños en la estructura a futuro (agrietamientos o fisuras) por no adherirse correctamente el acero de refuerzo.

Llegar a obtener un concreto fresco de calidad conlleva a que el endurecimiento de este sea el más adecuado. Para obtener un correcto concreto endurecido también es importante que los obreros a cargo tengan los conocimientos y la práctica suficientes; de lo contrario, puede haber una inadecuada distribución del hormigón que no llegue a cubrir todas las partes de la estructura, lo cual perjudica la resistencia de la obra en general. Por otro lado, para garantizar la dureza del concreto es preciso considerar la temperatura, el nivel de humedad y otros aspectos ambientales o las actividades que se realizan en el área, ya que estos factores inciden en la durabilidad del material y en el tiempo que le tomará endurecerse.

Así, conocer la mezcla y saber aplicar el concreto fresco son aspectos indispensables para garantizar el éxito de la construcción, pues al conocer sobre las normas y los recursos de calidad, así como del proceso de acabado del concreto, hay mayor garantía de que la construcción sea duradera, se evite el agrietamiento a corto plazo y se cumpla con el propósito para el cual fue creada.

2.1. Concreto fresco y endurecido: características generales

El concreto fresco se caracteriza por tener una consistencia blanda. Esta etapa comienza cuando se incorporan los materiales de la mezcla hasta colocarlas en su posición final. Durante esta etapa, es preciso que se evalúen y estudien las propiedades para controlar las propiedades y otros parámetros del concreto endurecido.

Masco (2017) señala que el concreto fresco debe cumplir una serie de condiciones de acuerdo con el tipo de obra que vaya a realizarse, tales como ser trabajable, transportable y de fácil colocación, sin que pierda su homogeneidad. La trabajabilidad del concreto depende de la cohesión y la consistencia. Asimismo, esta consistencia puede ser blanda, plástica y seca, lo cual se conoce mediante la medición del asentamiento en el cono de Abrams. La facilidad con la que un concreto es capaz de segregarse, puede dar idea del tipo de cohesión que posee. Al respecto, hay dos tipos de cohesión: muy cohesivas o viscosas, las cuales no se segregan muy fácilmente; y las poco cohesivas, que son las más propensas a segregarse.

El concreto endurecido es el que luego de ser sometido a un proceso de hidratación pasa del estado plástico al estado rígido. Se caracteriza por ser durable y resistente. Masco (2017) señala que, al igual que el concreto fresco, el concreto endurecido también debe cumplir ciertas condiciones, entre las que destaca su durabilidad, ya que esta propiedad le permitirá resistir a ciertas con-

diciones medioambientales. Además, este tipo de concreto debe ser impermeable, propiedad que tiene una relación directa con la durabilidad y se consigue con la consolidación, una adecuada relación agua/cemento y un conveniente curado, considerando el lugar donde se vaya a llevar acabo la obra.

Es importante destacar que el ensayo de resistencia es una de las pruebas más comunes que se aplican en el concreto para determinar su calidad. La resistencia final del concreto constituye un índice de calidad y se obtiene en función a la relación a/c, al proceso de hidratación del cemento, las condiciones ambientales, el curado y la edad del concreto. De este modo, se garantiza la durabilidad del concreto y, por tanto, de las construcciones.

2.2. Propiedades del concreto fresco

Las propiedades del concreto fresco son las siguientes:

Trabajabilidad

Mediante la trabajabilidad, el concreto puede ser manipulado, compactado, colocado y transportado. Esta propiedad indica la facilidad con la cual el concreto puede ser utilizado. Para lograr una buena trabajabilidad se requiere controlar la cohesividad y la consistencia del concreto; no obstante, hay ocasiones en que no puede cumplirse porque es una mezcla húmeda; en otros términos, tiene tendencia a segregar y, por ende, habrá una trabajabilidad pobre (Godoy & Gándara, 2016). Es importante precisar que esta propiedad depende de la granulometría, el cemento, la cantidad de agua y aire, los agregados, las condiciones ambientales y la presencia de aditivos.

Consistencia

La consistencia es una de las propiedades del concreto que permite controlar la humedad en función de su grado de fluidez. Esta propiedad tiene una relación estrecha con la trabajabilidad, pero no son lo mismo. Para ejemplificar, una mezcla muy trabajable para pavimentos puede tener una alta consistencia,

pero una mezcla con poca trabajabilidad utilizada en estructuras con aceros puede mostrar una consistencia plástica. Para la optimización de la consistencia se emplean aditivos químicos de gran costo, lo que repercute significativamente en el costo total de la construcción (Huerta, 2020).

Segregación

La segregación es la separación de los elementos que conforman la mezcla heterogénea. Esta es consecuencia de la diferencia de densidad y tamaño de las partículas; no obstante, dicha diferencia puede ser controlada por medio de la selección de una adecuada granulometría y manejando el material apropiadamente. La segregación se divide en dos tipos: interna y externa. En el primer tipo, las partículas grandes se separan de las pequeñas por asentamiento o cuando los agregados y la pasta de cemento se separan. El segundo tipo ocurre cuando las fuerzas internas de cohesión son superadas por las fuerzas exteriores que actúan sobre el concreto fresco, lo cual pueden ser consecuencia del transporte (Godoy & Gándara, 2016).

Exudación

El concreto está constituido por componentes de densidades diferentes. Como consecuencia, durante la inactividad que precede al fraguado, las partículas sólidas se asientan en la parte inferior y ocasionan que la superficie acumule agua. A este fenómeno se le denomina exudación, ya que al darse la relación agua-cemento, se genera una menor resistencia y mayor porosidad en el concreto (Godoy & Gándara, 2016).

Peso unitario

El peso unitario es el peso del concreto en un volumen determinado. Sirve para realizar comparaciones entre concretos y verificar si las proporciones de los materiales utilizados para la mezcla son adecuadas. Esta propiedad tiene una relación estrecha con el control de calidad y el diseño de las mezclas de concreto.

Fluidez

La fluidez es la propiedad mediante la cual se determina la manejabilidad de la mezcla por medio de la medición de la consistencia. Se suele utilizar en la mayoría de las construcciones a fin de detectar variaciones en la uniformidad (Guzmán *et al.*, 2017).

Contenido de aire

El contenido de aire es una propiedad indispensable en la mezcla porque una elevada porosidad podría ocasionar un incremento en la absorción del agua, lo cual tiene un efecto perjudicial en el concreto. No obstante, también se requiere que el concreto tenga una determinada cantidad de aire, para así favorecer la resistencia a bajas temperaturas o a la humedad (Fernández, 2022).

Temperatura

Durante la colocación del concreto, la temperatura no debe exceder a 32 °C, caso contrario, es preciso que se tomen las medidas necesarias para proteger la mezcla, porque un desbalance en esta ocasiona la fragua instantánea, la pérdida de asentamiento o ambas (Ministerio de Vivienda, 2019).

2.3. Propiedades del concreto endurecido

Las propiedades del concreto endurecido son cinco, las cuales se detallan a continuación:

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es una de las características principales del concreto. Se refiere a la capacidad que posee el hormigón para soportar determinadas cargas, la cual se expresa en términos de esfuerzo. La resistencia del concreto (f'_c) suele ser obtenida por medio de términos probabilísticos porque solamente un pequeño porcentaje de la muestra se encuentra en el 5 % que logra alcanzar la resistencia especificada. Es preciso destacar que la resis-

tencia del concreto no puede ser probada en condición plástica, pues el proceso que suele aplicarse para su determinación consiste en tomar muestras durante el proceso de mezclado, las cuales serán sometidas a pruebas de compresión (Zambrano *et al.*, 2022).

Zambrano *et al.* (2022) destacan que los valores que se obtengan dependen, en cierta medida, de la geometría del espécimen (forma y tamaño), procedimientos de mezclados, dosificación, métodos de muestreos y otros factores que puedan incidir en el proceso de curado. Otros factores que también influyen en la resistencia del concreto son el tipo de cemento, el contenido de cemento, la relación agua-cemento, el uso inadecuado de los métodos de compactado, el tipo de agregado y las condiciones de curado.

Durabilidad

La durabilidad es la propiedad del concreto por medio de la cual se puede saber si el material es capaz de soportar o no las condiciones de exposición que reducen su capacidad estructural. Esta propiedad es amenazada por factores internos y externos, por ejemplo, los procesos de congelamiento, el secado, el deshielo, el humedecimiento, la exposición a agentes químicos (sulfatos y cloruros), el enfriamiento, la acción de aditivos descongelantes (Rivva, 2010).

Es importante que el concreto tenga la capacidad de soportar las condiciones a las cuales estará expuesto, por ejemplo, el desgaste o los productos químicos. A pesar de que la mayoría de los daños ocasionados al concreto son producto de la descongelación y la congelación, se pueden reducir sus efectos si se incrementa la impermeabilidad cuando se incorpora un 2 a 6 % de aire o se aplica un revestimiento protector a la superficie.

Elasticidad

La elasticidad es la capacidad que posee el concreto para deformarse ante una determinada carga constante. De acuerdo con Saavedra y Ramírez (2017),

la elasticidad es una propiedad mecánica que hace que los cuerpos puedan deformarse y, posteriormente, vuelvan a su forma inicial; todo esto, al aplicar una carga determinada capaz de deformar el cuerpo del concreto. Debe aclararse que el concreto no es un material perfectamente elástico, sino que suele adoptar una forma curva.

Dada esta característica, el concreto no muestra ningún tramo recto; sin embargo, al presentar una curva se asimila a esta como si se tratase de un comportamiento elástico y es allí cuando se logra calcular su módulo elástico para fines prácticos. Cabe precisar que el módulo elástico es inversamente proporcional a la relación agua/cemento y directamente proporcional a la resistencia a compresión.

Impermeabilidad

Es la capacidad que el concreto posee para resistir y prevenir el paso de fluidos como el agua. Para obtener un concreto impermeable, se requiere utilizar una baja relación agua/cemento y disminuir la cantidad de agua que se emplee en la mezcla, ya que este líquido, en grandes cantidades, deja vacíos después de la evaporación y debe asegurar un curado prolongado y adecuado.

Dilatación térmica

La dilatación térmica es uno de los fenómenos físicos más estudiados. Es entendida como la respuesta mecánica de un cuerpo producido por la variación térmica, la cual debe conocer para garantizar el correcto funcionamiento del cuerpo (Götte *et al.*, 2023). En concreto, la dilatación térmica es muy importante y debe ser mínima para evitar cambios en su volumen. El coeficiente de dilatación depende del tipo de cemento que se aplique, las características y volumen de los agregados, las dimensiones de la sección transversal y el nivel de humedad. El coeficiente de dilatación varía entre 0.008 mm y 0.012 mm por cada metro y grado centígrado de cambio en la temperatura (Rivva, 2010).

2.4. Ensayos al concreto fresco y endurecido

Los ensayos realizados a los dos estados del concreto son necesarios para evaluar o determinar sus características mecánicas. A continuación, se detallan los ensayos aplicados respecto a la consistencia y resistencia a la compresión.

2.4.1. Prueba de consistencia

Según Segura (2016), la prueba que se aplica se denomina ensayo del cono de Abrams, también conocida como *slump test*, de asentamiento o de revenimiento. Esta prueba de consistencia consiste en compactar una muestra de concreto fresco en un molde tronco-cónico y medir el asiento o el descenso de la mezcla para su posterior desmoldamiento. Con esta prueba es posible conocer la consistencia del concreto; en otros términos, se puede conocer cuál es la capacidad que posee para adaptarse fácilmente al molde o encofrado y para mantenerse homogéneo con una cantidad mínima de vacíos.

El proceso que se utiliza para aplicar dicho ensayo es el siguiente (Segura, 2016):

Implementación del ensayo

Los equipos utilizados para aplicar este ensayo son los siguientes: un molde con forma de tronco de cono, una wincha, un cucharón para echar la mezcla, una barra de acero y una chapa metálica plana, lisa y resistente.

Procedimiento

1. Se humedece el molde y se coloca sobre una chapa metálica, la cual es colocada sobre una superficie horizontal y plana. Luego, se pisan las aletas para que el molde se mantenga inmóvil. Seguidamente, se vierte una capa de concreto hasta cubrir las tres cuartas partes y se chusea con la varilla. Se aplican 25 golpes, los que se distribuyen de manera uniforme.

2. Con el mismo procedimiento previamente detallado, se agregan otras dos capas de concreto. Cada una ocupa un tercio de la altura del molde para consolidar la mezcla, a fin de que la barra de acero penetre hasta que llegue a la capa inmediata inferior sin penetrarla.

3. Una vez que el molde esté enrasado y lleno, se procede a levantar verticalmente el cono, de manera lenta y cuidadosa.

4. El concreto moldeado se asienta. La diferencia que se observa entre la altura de la mezcla fresca desmoldada se llama asentamiento o *slump*.

5. Este proceso se realiza cada dos minutos, considerando que el desmolde no exceda los cinco segundos.

Luego de culminar el proceso, se procede a determinar el tipo de consistencia según su asentamiento, es decir, seca, plástica o fluida. En la consistencia seca, hay un escaso contenido de agua o un exceso de agregados; en la consistencia plástica, la mezcla se caracteriza por su buena fluidez y por adaptarse a un encofrado sin segregarse; y en la consistencia fluida, la mezcla tiene una elevada proporción de agua, lo cual se observa por la fluidez que presentan dentro de los encofrados. Se debe precisar que la consistencia seca tiene un asentamiento de 0" (0cm) a 2" (5 cm); la consistencia plástica, de 3" (7.5 cm) a 4" (10 cm); la consistencia fluida, $\geq 5"$ (12.5 cm).

2.4.2. Prueba de resistencia a la compresión del concreto

La prueba de resistencia del concreto es realizada con el fin de determinar la resistencia del concreto endurecido antes determinadas cargas. La resistencia depende de diversos elementos, tales como el método de llenado, las condiciones de curado o el acabado, los cuales influyen en el resultado; es decir, la variación de tales elementos ocasiona que el resultado obtenido de la prueba de resistencia carezca de valor al no lograr determinarse si la resistencia es baja,

como consecuencia de una mala calidad del concreto o una inadecuada confección de los cilindros.

Para obtener resultados confiables al realizar la prueba, se deben cumplir los siguientes pasos (Masco, 2017):

1. Usar únicamente moldes no absorbentes: se emplean moldes no deformables ni absorbentes, de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Se requieren dos cilindros, como mínimo, para cada mezcla que será controlada para conocer su resistencia.

2. Toma de muestra: la obtención de la muestra se realiza según lo que se indica en la norma ASTM C31. Cabe precisar que antes del llenado de los moldes, deben remezclarse las muestras en un superficie limpia y no absorbente. Si una parte del agregado es superior a 50 mm, se procederá a cribar el concreto fresco a fin de separar el agregado que no cumpla con lo solicitado.

3. Llenado de los moldes: el llenado de todos los moldes se realiza de manera uniforme, es decir, se coloca y compacta la primera capa en cada uno de ellos; luego, en la segunda capa; y así sucesivamente. Se debe envarillar cada capa con una barra metálica de 16 mm y dar golpes hasta que el molde esté compactado completamente. Si durante la compactación de las capas, las huellas de la barra quedarán marcadas, se debe golpear a cada lado del molde para que desaparezcan. Después de la compactación se retira el concreto sobrante para que cumpla con el acabado.

4. Reposo de los cilindros: los cilindros no deben ser tocados hasta que se hayan endurecido lo suficiente para resistir el manejo, lo cual es posible en un transcurso de 24 horas. Durante el reposo, se debe verificar que la temperatura sea menor a 16 °C y no exceda los 27 °C. El tiempo máximo de permanencia de los cilindros no debe exceder las 48 horas, salvo excepciones.

5. Curado y manejo de los cilindros: después de transcurridas 24 horas desde la confección, se procede a desmoldar los cilindros y colocarlos en am-

biente de saturación o en agua, a una temperatura de $23^{\circ} + 2^{\circ}\text{C}$. Se debe tener cuidado con el manejo de los cilindros para evitar cualquier daño.

6. Uso de una barra redondeada: el envarillamiento del concreto se realiza con el fin de compactarlo y liberarlo de huecos de aire, los cuales se caracterizan por reducir la resistencia. Cabe precisar que muchas personas utilizan la varilla para determinar la resistencia del concreto, pero también se puede golpear el molde.

Es importante precisar que el concreto fresco también puede ser sometido a otras, tales como:

- Ensayo de exudación del concreto
- Ensayo de fragua
- Contenido de aire
- Peso unitario y rendimiento
- Temperatura de concreto

Las otras pruebas que se aplican al estado endurecido son las siguientes:

- Permeabilidad del concreto
- Contracción del secado del concreto
- Análisis petrográfico de probetas del concreto
- Ensayo de flexión del concreto
- Ensayo de tracción del concreto
- Ensayo de contracción del concreto

Ambos estados del concreto son sometidos a ensayos para evaluar sus características mecánicas y determinar si son aptos para ser utilizados, puesto que una mezcla inadecuada de este material puede ocasionar el rápido deterioro del concreto, ya que no podrá resistir cargas pesadas o no podrá trabajarse, lo que ocasiona la pérdida de materiales y el atraso en la construcción.

CAPÍTULO III

DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezclas es un proceso importante en la construcción porque permite formar un concreto que brinde los mejores resultados posibles, lo cual es necesario para que las edificaciones u obras civiles cumplan con las normas técnicas nacionales o internacionales. Asimismo, el diseño de mezclas es relevante, pues garantiza la duración de las construcciones al conseguir una mezcla resistente, durable, estable en el volumen y con una apariencia adecuada. Para lograr una mezcla con tales propiedades es necesario que los encargados de esta labor tengan conocimiento sobre ciertas cuestiones básicas, como la economía, las especificaciones y la tecnología existente.

En la economía se incluyen los materiales, los equipos y la mano de obra, los cuales se optimizan para evitar el mayor gasto posible. En las especificaciones se consideran diversos aspectos, entre los que destacan la máxima relación agua-cemento, el peso unitario mínimo, el uso de aditivos, el contenido de aire incluido, la resistencia a la compresión, los asentamientos máximos y mínimos, entre otros. En la tecnología se considera el mezclado, los sistemas de dosificación, el curado, la colocación y el transporte. Los tres elementos son indispensables para evitar errores en el diseño de mezcla del concreto, además de otros problemas, como el abultamiento o la humedad.

Por otro lado, un correcto diseño de mezclas depende de las proporciones de los agregados, la arena, el cemento y el agua, los cuales deben formar una

mezcla homogénea que garantice la construcción de estructuras, como paredes, cimientos, losas, columnas y otros elementos de construcción. De este modo, las obras civiles o edificaciones pueden ser más resistentes, además de garantizarse su seguridad, porque el diseño de mezcla del concreto cumple con las especificaciones técnicas y, por lo tanto, se obtiene una mayor resistencia para construcciones de pequeña y gran escala.

3.1. ¿Qué es el diseño de mezclas?

El diseño de mezclas del concreto es un proceso por medio del cual se seleccionan los materiales a emplear y las cantidades relativas de cada uno de estos para que la mezcla sea durable, resistente, estable y tenga una buena apariencia. Las principales exigencias que toda mezcla debe cumplir son la durabilidad, la resistencia, la economía y la manejabilidad.

Para esto, se aplica el sistema de prueba y error, que consiste en preparar una mezcla de concreto a la cual se le realizan ensayos de calidad, por ejemplo, masa unitaria, asentamiento, tiempos de fraguado, pérdida de manejabilidad y resistencia a la compresión. Los datos obtenidos son comparados para verificar si cumplen con las expectativas de calidad; caso contrario, se realizan los reajustes necesarios y se elabora nuevamente la mezcla hasta cumplir con los requerimientos exigidos por la especificación.

3.2. Métodos del diseño de mezclas

Independientemente del método elegido, en el diseño de mezclas siempre se considera la relación entre el agua y el cemento; además del contenido de aire, el tamaño máximo del agregado grueso, la resistencia requerida, la exposición del concreto y las condiciones de colocación. Existen varios métodos para dosificar el concreto, los cuales son modificados de acuerdo con las proporciones de los materiales con el fin de alcanzar los resultados esperados.

Debido a esto, ninguno de los métodos debe ser considerado exacto, pues son modificadores para obtener buenos resultados. Los métodos que destacan para el diseño de mezclas son tres: método del comité 211 del ACI, el método módulo de finura del agregado global y el método de Füller.

3.2.1. Método del comité 211 del ACI

Según Rivva (2010), el comité 211 del ACI desarrolló un proceso de diseño de mezclas basándose en una serie de datos para determinar las proporciones de los materiales del concreto. Este método es aplicado en concreto de peso normal, aunque también puede ser aplicado para el diseño de concretos ciclópeos y pesados. Para calcular la cantidad de material que se necesita para producir una unidad cúbica de concreto se aplica una serie de pasos, los cuales dependen de las propiedades de cada material a emplear. Estos pasos son los siguientes (Apaza & Salcedo, 2019; Rivva, 2010):

1. Resistencia promedio: la resistencia promedio (f'_{cr}) es determinada a partir de la resistencia especificada y la desviación estándar. Si no se cuentan con los datos para realizar el cálculo correspondiente de la desviación estándar, se aplican los siguientes valores: un f'_c menos de 210 es igual a un f'_{cr} de $f'_c + 70$; un f'_c de 210 a 350 es igual a un f'_{cr} de $f'_c + 84$; un f'_c mayor que 350 es igual a un f'_{cr} de $f'_c + 98$.

2. Selección del tamaño máximo nominal (TNM) del agregado grueso: en las normas de diseño estructural se recomienda que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea compatible con las características y las dimensiones de la estructura. Cabe precisar que el TNM se determina aplicando el ensayo de granulometría.

3. Selección del asentamiento: También conocido como *slump*. Para la elección del asentamiento se deben considerar las características de los elementos estructurales, la trabajabilidad deseada, la compactación y la facilidad de

colocación del concreto. Así también, debe tenerse en cuenta que la consistencia del concreto se divide en tres tipos, cada uno con un asentamiento determinado: para una consistencia seca se considera un asentamiento de 0" a 2"; para una consistencia plástica, se considera un asentamiento de 3" a 4"; para una consistencia fluida, se considera un asentamiento de ≥ 5 ".

4. Selección del contenido de aire: para esta selección se aplican los siguientes valores: para un TNM del agregado grueso de $3/8$ ", se considera un aire atrapado de 3.0 %; para un TNM de $1/2$ ", se considera un aire de 2.5 %; para un TNM de $3/4$ ", se considera un aire de 2.0 %; para un TNM de 1", se considera un aire de 1.5 %; para un TNM de $1\ 1/2$ ", se considera un aire de 1.0 %; para un TNM de 2", se considera un aire de 0.5 %; para un TNM de 3", se considera un aire de 0.3 %; para un TNM de 6", se considera un aire de 0.2 %.

5. Determinación del volumen de agua: consiste en determinar la cantidad de agua que debe agregarse a la mezcla por cada unidad cúbica de concreto, con el fin de conseguir una consistencia óptima cuando el concreto se encuentre en estado seco. En caso de que el concreto no esté en ese estado, se debe corregir la cantidad de agua teniendo en cuenta el contenido y el porcentaje de absorción de humedad.

6. Selección de la relación agua/cemento: esta selección se realiza considerando la resistencia a la compresión.

7. Cálculo del factor cemento: se determina al dividir el volumen de agua entre la relación a/c.

8. Determinar el contenido de agregado grueso: se determina considerando el TMN del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino.

9. Volumen absoluto: es el resultado de la sumatoria del agua, los volúmenes absolutos del cemento, el agregado grueso y el aire.

10. Determinar el contenido de agregado fino: se halla al restar 1 a la suma de los volúmenes absolutos para obtener el peso del agregado grueso. Dicho resultado se multiplica por el peso específico corriente.

11. Corrección por humedad: las correcciones de absorción y humedad del diseño son realizadas luego de obtener las dosificaciones en seco.

12. Proporciones en peso: se determina en función al cemento.

3.2.2. Método de finura del agregado global

Este método es utilizado para estudiar la conformación de los agregados grueso y fino, con la finalidad de determinar las proporciones adecuadas y garantizar una buena calidad del concreto. Así también, en este método se considera la variación de la resistencia, la cual depende de la relación agua/cemento de la mezcla; dicho de otro modo, si el módulo de finura incrementa, también aumenta la demanda de la pasta; pero si el módulo de finura incrementa y la pasta se mantiene constante, la resistencia disminuirá. Para la aplicación de este método también sigue un determinado proceso, como se señala a continuación (Apaza & Salcedo, 2019; Rivva, 2010):

1. Determinación de la resistencia promedio
2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso
3. Selección del asentamiento
4. Selección del contenido de aire
5. Selección del volumen unitario de agua
6. Relación agua/cemento (a/c)
7. Cálculo del factor cemento
8. Cálculo del volumen absoluto de la pasta: es el resultado de la sumatoria de los volúmenes de los elementos que integran la masa cementante, exceptuando los agregados.
9. Cálculo del volumen absoluto de los agregados: es el resultado de la resta entre la unidad y el volumen absoluto de la pasta.

10. Cálculo del módulo de finura del agregado global: para obtenerlo se requiere saber el TMN del agregado grueso y los valores del contenido del cemento.

11. Cálculo del valor del porcentaje del agregado fino: con la ayuda del valor obtenido en el paso anterior, se determina el porcentaje en función al volumen absoluto de agregados.

12. Cálculo del volumen absoluto de los agregados fino y grueso: se aplica la siguiente ecuación: volumen absoluto del Ag. fino = Vol. absoluto de los agregados x % Ag. fino

13. Cálculo de los pesos secos de los agregados: la ecuación que se aplica es $\text{Peso Ag. Fino o grueso (kg m}^3\text{)} = (\text{Vol. Absoluto del Ag. fino}) \times (\text{Peso específico del Ag. fino})$

14. Corrección por humedad

15. Proporciones en peso

16. Proporciones en volumen

Cabe precisar que los pasos no explicados (los primeros y los últimos) se detallan en el método del comité 211 del ACI.

3.2.3. Método de Füller

El método de Füller se utiliza para determinar la ponderación o la importancia de los materiales, para así identificar cuál es la que posee más peso; es decir, cuál es el recurso más significativo en función de la obra (Ruiz & Pérez, 2017). Este método suele ser aplicado para la mezcla de áridos y consiste en el planteamiento de diversas ecuaciones como áridos que forman parte de la mezcla. Se utiliza cuando los agregados no cumplen con la norma ASTM C33. De acuerdo con Cerda (2023), para realizar el diseño de mezcla mediante el método de Füller se deben seguir los siguientes pasos:

1. Requisitos de desempeño: los requisitos incluyen la trabajabilidad, la resistencia a la compresión deseada, la durabilidad y otras propiedades del concreto.
2. Propiedades de los materiales: se recopila información sobre el agua, los agregados gruesos y finos, y el cemento.
3. Cálculo del volumen absoluto de los materiales: después de conocer las propiedades de los materiales, se calcula el volumen absoluto de los componentes de la mezcla.
4. Cálculo de la cantidad de pasta de cemento: se calcula para llenar los vacíos entre los agregados.
5. Diseño de la curva granulométrica: para esto, se ajustan las proporciones de agregados gruesos y finos, a fin de alcanzar la máxima compacidad y disminuir la cantidad de pasta.
6. Verificación y ajuste: implica modificaciones en las proporciones de los materiales a fin de cumplir los requisitos establecidos.

3.3. Materiales usados para el diseño de mezclas

Para un adecuado diseño de mezcla, se debe disponer de una serie de materiales que son indispensables para que la mezcla tenga una adecuada consistencia. Estos son el cemento Portland, los agregados y el agua.

3.3.1. Cemento Portland

El cemento Portland es uno de los materiales de construcción por excelencia, debido a las buenas prestaciones que posee, su excelente relación calidad/precio y a que las materias primas con las cuales se elabora no son exclusivas de un solo lugar, sino que se encuentran en cualquier parte del mundo (Torres-Carrasco & Puertas, 2017); de ahí que suele ser ampliamente utilizado para la construcción de edificaciones, obras civiles y prefabricados. Este cemento se

caracteriza por ser una combinación de agua, agregados grueso y finos, u otros materiales similares; tiene la propiedad de conformar una mezcla duradera y resistente denominada concreto.

El cemento Portland se divide en cinco tipos, los cuales son (Rojas-Ramos, 2021):

- Tipo I: cemento para uso general.
- Tipo II: cemento para uso general con moderada resistencia al ataque de sulfatos y calor de hidratación menor
- Tipo III: cemento con alta resistencia a temprana edad
- Tipo IV: cemento con bajo calor de hidratación
- Tipo V: cemento con alta resistencia al ataque de sulfatos

El cemento Portland posee una serie de propiedades físicas, las cuales se describen a continuación (Trejo, como se cita en Villao-Vera *et al.*, 2023):

- Hidráulica: la reacción de la hidratación entre el agua y el cemento es única porque el material fragua para, posteriormente, endurecerse. Esta naturaleza hidráulica permite que el cemento logre endurecer, incluso, bajo el agua.
- Estética: antes del fraguado y endurecimiento, el cemento hidratado muestra un comportamiento plástico. Por ende, el cemento puede ser vaciado en moldes de formas diferentes, según lo solicitado por el arquitecto.
- Durabilidad: el cemento utilizado correctamente tiene la capacidad de formar estructura con un largo servicio de vida, pues soporta las agresiones de los agentes químicos y los cambios climáticos.
- Acústica: si los materiales basados en el cemento son utilizados con un adecuado diseño, puede servir para un correcto aislamiento acústico.

Por otro lado, es necesario considerar la aplicación de una serie de etapas para que el cemento obtenga óptimas cualidades para su uso. Las fases para la fabricación del cemento son las siguientes:

1. Extracción de materia prima: esta extracción se realiza durante la excavación de la arcilla y la caliza a cielo abierto, y utilizando excavadoras para materiales blandos y de difícil extracción.

2. Almacenamiento y preparación de la materia prima: para pequeñas cantidades, se realiza en tolvas o silos y para cantidades con un mayor volumen, se apila en campos cubiertos. La preparación depende del mineral que se emplee, aunque muchos de estos deben pasar por diversos tratamientos para que se cumpla con el tamaño del grado a fin de lograr una mezcla homogénea. Esta etapa se subdivide en cuatro fases:

- a. Cribado: los granos de mayor tamaño se separarán utilizando cedazos de diferentes tamaños.
- b. Trituración: en esta etapa los trozos grandes pasan por chancadoras para reducir su tamaño. En caso de que los trozos presenten consistencia, se utiliza el molino para la trituración de la materia prima.
- c. Prehomogeneización: en esta fase se clasifica la materia primera y se distribuye según su tamaño y composición química.
- d. Secado: si la materia prima contiene agua, se utiliza el horno para eliminarla, a partir del cual se obtiene un polvo fino.

2. Cocción del crudo: los materiales homogeneizados son colocados dentro del horno, el cual se gradúa a una temperatura que oscila entre 1400 y 1500 °C. A partir de este proceso se producen las reacciones químicas que forman el clínker. Cabe precisar que dentro del horno se generan una serie de cambios, como descomposición del carbonato cálcico en dióxido de carbono y óxido cálcico.

Actualmente, se han logrado grandes avances en la adición de materiales a la mezcla de cemento, con el fin de obtener un mejor resultado en la resistencia del cemento. De este modo, al obtener una adecuada combinación, hay mayor posibilidad de que se beneficie la producción del concreto, además de evitar un mayor gasto económico.

3.3.2. Agregados

Los agregados o áridos son un elemento esencial del hormigón porque garantizan la resistencia, la durabilidad y el volumen del concreto. Este material repercute considerablemente en las propiedades del concreto. Una de las contribuciones más importantes la realiza en las propiedades mecánicas del hormigón, ya que se adhiere a diversos componentes externos, como la fibra de vidrio, la cual tiene resistencia química aceptable y resistencia a la tracción (Escobar-Hurtado *et al.*, 2023).

Los agregados son partículas de diferentes tamaños que se producen en la naturaleza, como gravas o arenas, o como el resultado de la trituración de rocas. Si el agregado es formado por la desintegración de las rocas o por la influencia de agentes naturales, se denomina agregado natural; en cambio, si el agregado está formado por la desintegración hecha por el hombre, se denomina agregado triturado. Los agregados que más se emplean en la construcción son las rocas metamórficas, sedimentarias e ígneas.

Ahora, los agregados se dividen en dos tipos: fino y grueso. Según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] (2009), los dos materiales deben ser tratados por separados, es decir, cada uno debe procesarse, manipularse, transportarse, pesarse y almacenarse, de tal manera que se mantenga la uniformidad, se minimice la pérdida de finos y esté libre de sustancias extrañas o contaminantes que segreguen o agrieten el material.

Agregado fino

Es el agregado que proviene de la desintegración artificial o natural, que pasa por el tamiz 3/8" o 9.5 mm (MVCS, 2009). En la NTP 400.037, se detalla que el agregado fino está compuesto por arena manufacturada, arena natural o la combinación de ambas. Así también, se especifica que debe tener las siguientes características (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [Indecopi], 2014):

- Análisis granulométrico: un tamiz de 9.5 mm excede el 100; de 4.75, del 95 a 100 %; de 2.36 mm, del 80 a 100 %; 1.18 mm, del 50 a 85 %; de 600 μ m, de 25 a 60 %; de 300 μ m, de 05 a 30 %; de 150 μ m, de 0 a 10 %. Si el agregado fino presenta dificultades de bombeo, trabajabilidad y excesiva exudación, se le puede agregar aditivos o minerales.

- Sustancias deletéreas: el agregado fino no debe tener impurezas orgánicas. Si el agregado produce un color más oscuro al estándar, deberá ser desechado.

- Inalterabilidad: el agregado que va a utilizarse en el concreto debe cumplir con los requisitos de ser resistentes al deshielo y la congelación, además de tener resistencia a la desintegración por soluciones saturadas de sulfato de magnesio o sodio.

Agregado grueso

Es el agregado que proviene de la desintegración artificial o natural, y es retenido en el tamiz 4.75 mm. En la NTP 400.037, se detalla que el agregado fino está compuesto por concreto reciclado, piedra chancada, grava o la combinación de estos (Indecopi, 2014):

- Análisis granulométrico: si el agregado no cumple con las especificaciones y se pretende usarlo, este deberá ser sometido a estudios que garanticen que tendrá la resistencia requerida.

- Sustancias deletéreas: el agregado grueso que se usa de forma permanente en la humedad o tenga contacto con una superficie humedad no deberá ser reactivo porque podrían producirse expansiones excesivas en el concreto.

- Inalterabilidad: el agregado que va a utilizarse en el concreto debe cumplir con los requisitos de ser resistente al deshielo y a la congelación, además de tener resistencia a la desintegración por soluciones saturadas de sulfato de magnesio o sodio.

Por último, en la norma E.060 se recomienda que el tamaño máximo nominal del agregado grueso no debe exceder $1/3$ de la altura de la losa o $3/4$ del espaciamiento libre mínimo entre alambres de refuerzo o barras, ni el $1/5$ de la distancia más pequeña entre los lados del encofrado. Estas restricciones pueden excluirse si la compactación y la trabajabilidad son apropiadas para la colocación del concreto y se garantice que no produzcan cangrejas (MVCS, 2009).

3.3.3. Agua

El agua en el concreto es un recurso primordial porque, cuando se mezcla con el concreto, determina la resistencia del concreto y su durabilidad. En la NTP 339.088, se indica que el agua empleada en la fabricación y en el curado del concreto debe cumplir las siguientes especificaciones (Indecopi, 2006):

- El agua potable puede ser utilizada en la mezcla de concreto sin que se requiera aplicar pruebas que determinen si cumplen con la norma.
- El agua procedente de trabajos de producción de concreto o fuentes no potables puede ser utilizada en ciertas proporciones a fin de cumplir con la norma.

En la norma E.060 se señala que es recomendable utilizar agua limpia y libre de ácidos, aceites, álcalis, materia orgánica y sales, ya que son elementos que pueden dañar el acero de refuerzo o el concreto. En un periodo de 7 a 28 días, el concreto elaborado con agua no potable debe mostrar una resistencia mínima de 90 %. Si el agua no cumple con las especificaciones establecidas en el lavado de agregados o el curado del concreto, será descartada (MVCS, 2009). En este aspecto, se hace evidente que el diseño de mezclas es un proceso que debe cumplir con ciertos parámetros y procesos a fin de que se cumpla con las especificaciones técnicas y se evite que el concreto perjudique las futuras construcciones.

CAPÍTULO IV

INCIDENCIA DEL MÉTODO MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE $F'C = 17, 21$ Y 28 MPA, HUARAZ

Una adecuada selección de los materiales que componen el concreto es importante para garantizar la construcción de una estructura duradera, segura, eficiente y de calidad. Debido a esto, es importante que los profesionales encargados de la elección de los materiales evalúen cada recurso a utilizar, sobre todo la calidad del concreto, para evitar el derrumbe o colapso de la edificación. En Áncash se observa que la cantidad de construcciones, como obras civiles y edificaciones, han incrementado con el paso del tiempo. Estos tipos de construcciones son realizados principalmente con concreto, que es un material compuesto por agua, cemento, agregados grueso y fino, además de aditivos para mejorar sus propiedades.

El concreto ha estado perfeccionándose con el tiempo para reducir los costos de producción y brindar una mejor calidad, durabilidad, resistencia, trabajabilidad, entre otras características; todo esto con el objetivo de que cumpla con los requerimientos de los proyectos de construcción, es decir, con las especificaciones técnicas de una determinada obra para que las construcciones sean estables y brinden seguridad no solo a los obreros, sino también a la población que posteriormente hará uso de dicha construcción. De ahí que es importante aplicar un método de selección eficaz para obtener un concreto que satisfaga las especificaciones técnicas de las obras civiles, y las construcciones cumplan con los servicios y las funciones para las cuales fueron diseñadas.

En esta investigación se aborda el problema del incremento acelerado de construcciones en Huaraz. Esta problemática ha generado la búsqueda de alternativas para modificar o mejorar las propiedades del concreto endurecido y fresco (por medio de la aplicación de determinados procedimientos) para obtener concretos de calidad y resistentes, que cumplan su objetivo en una determinada obra de construcción civil.

Objetivos

Objetivo general

Comparar la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa y el concreto patrón.

Objetivos específicos

- Determinar la incidencia del diseño de mezclas utilizando el método del comité 211 del ACI en las propiedades del concreto patrón de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.
- Determinar la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto fresco de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.
- Determinar la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en la resistencia a la compresión del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.
- Determinar la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto fresco y endurecido de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa en comparación al concreto patrón.

Hipótesis

Hipótesis general

La variación del módulo de finura del agregado global mejora las propiedades del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.

Hipótesis específica

- El diseño de mezclas utilizando el método del comité 211 del ACI garantiza que las propiedades del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa cumplan los parámetros establecidos en estado fresco y endurecido.
- La variación del módulo de finura del agregado global mejora la consistencia y el peso unitario del concreto fresco de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, cumpliendo los parámetros establecidos.
- La variación del módulo de finura del agregado global mejora la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, cumpliendo los parámetros establecidos.
- La variación del módulo de finura del agregado global mejora la consistencia, el peso unitario y la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa en comparación al concreto patrón.

Operacionalización de variables

Las variables utilizadas para este estudio son dos:

- Variable independiente: módulo de finura del agregado global
- Variable dependiente: propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa

En la Tabla 1 se describen la definición conceptual y operacional, los indicadores y los índices de ambas variables.

Tabla 1. Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Índices
Variable independiente: módulo de finura del agregado global.	Es la suma de los productos de los módulos de finura del agregado grueso y el agregado fino, los cuales se multiplican por su porcentaje de participación en el volumen absoluto total de agregados (Rivva, 2010).	Constante adimensional que, cuando disminuye a una décima (máximo en tres oportunidades) cambia las propiedades del concreto patrón de $f'c= 17, 21$ y 28 mpa.	- Módulo de finura del agregado grueso. - Módulo de finura del agregado fino. - Porcentaje de participación de cada agregado con relación al volumen absoluto total de los agregados.	- Módulo de finura (adimensional) - % de distribución de agregados
Variable dependiente: propiedades del concreto de $F'c= 17, 21$ y 28 mpa.	La dosificación de los materiales para el concreto debe ser establecida con el fin de lograr la consistencia y trabajabilidad que permitan la fácil colocación del concreto, sin exudación ni segregación excesiva. Así también, para lograr la resistencia a las condiciones especiales de exposición y se acaten con todos los requisitos de resistencia a la Compresión (Ministerio de Vivienda, 2009)	Cualidades o características del concreto, las cuales se miden en estado endurecido y fresco, y se modifican cuando se varía el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17, 21$ y 28 mpa.	Consistencia	1" £ slump £ 4
			Temperatura	10 °c £ t £ 32 °c
			Peso unitario	Kg/m ³
			Contenido de aire en la mezcla	% contenido de aire
			Exudación	MI/cm ²
			Resistencia a la compresión	$F'c \geq 17$ mpa
				$F'c \geq 21$ mpa
				$F'c \geq 28$ mpa

Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental por el tipo de consistencia que se planteó para el desarrollo del estudio. La variable independiente fue manipulada intencionalmente para mejorar las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco; es decir, se varió el módulo de finura del agregado global y, posteriormente, se midieron los efectos que se produjeron en la variable dependiente, esto es, las propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa. Para ello, en primer lugar, se interpretaron numéricamente los resultados de los ensayos de gabinete y de laboratorio de cada diseño de mezcla; en segundo lugar, se comparó la influencia de la variación del módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto patrón y el concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Enfoque de investigación

El enfoque es cuantitativo, pues se recolectaron datos para probar la hipótesis basándose en los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio. Cabe precisar que los ensayos fueron procesados por medio de un análisis numérico en gabinete. El estudio es aplicado, pues se tiene como propósito mejorar las propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa basándose en los conocimientos existentes, por ejemplo, el módulo de finura del agregado global y los métodos de diseños de mezclas del comité 211 del ACI.

Diseño de investigación

El diseño es experimental porque se contemplaron dos grupos de investigación: experimental y de control. El primer grupo está constituido por el concreto, el cual fue aplicado efectuando la variación del módulo de finura del agregado global, es decir, tuvo un tratamiento experimental. El segundo grupo está constituido por el concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, el cual fue realizado con un diseño de mezclas utilizando el método del comité 211 del ACI, con el fin de que, después de manipular la variable independiente, se pudiera administrar a los grupos una medición sobre la variable dependiente, esto es, las propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Población, muestra y muestreo

Población

La población está constituida por las canteras de origen natural del río Santa, las cuales se ubican en la provincia de Huaraz.

Muestra

La población está compuesta por el concreto con resistencias específicas de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa. Cabe precisar que el concreto fue elaborado con agregado grueso (piedra chancada) y agregado fino (arena gruesa); ambos provienen de la cantera de Tacllán, Huaraz.

La muestra es el concreto con resistencias específicas de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa elaborado con agregado fino (arena gruesa) y agregado grueso (piedra chancada), provenientes de la cantera de Tacllán, del distrito de Huaraz.

Muestreo

El muestreo es no probabilístico por conveniencia y fue utilizado para elegir la cantera a emplear. Para el muestreo de los dos tipos de agregados se utilizó la NTP 400.037; para la toma de las muestras representativas y la ejecución de los ensayos de las propiedades del concreto en el estado fresco se usó la Norma NTP 339.036; para el muestreo, la elaboración y el curado de especímenes de concreto en estado endurecido se empleó la NTP 339.183.

En la Norma NTP 339.183 se especifica que el número de especímenes depende del tipo de ensayo y de la naturaleza del programa de ensayos. Usualmente la cantidad de especímenes suele ser de tres a más, los cuales deben moldarse para cada condición de prueba y edad.

En la Norma E.060 (MVCS, 2009) se manifiesta que un ensayo de resistencia es el promedio de las resistencias de tres probetas cilíndricas hechas a partir de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días.

Con las recomendaciones brindadas por las normas técnicas se realizaron seis especímenes para cada uno de los diseños de mezclas de concreto. La cantidad se duplicó a lo solicitado para obtener más información y desarrollar

apropiadamente el estudio. Los especímenes fueron ensayados a los 28 días de edad y se realizaron 12 diseños de mezcla; por ende, se elaboró un total de 72 briquetas de concreto.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas

1. Para los ensayos en laboratorio de los agregados

Los procedimientos y los métodos aplicados para realizar los ensayos y determinar las propiedades de los agregados grueso y fino fueron realizados aplicando las normas internacionales como de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) o las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

2. Para el diseño de mezclas del concreto patrón

La selección de las proporciones de la mezcla de concreto patrón fue efectuada utilizando el método del comité 211 del ACI.

3. Para el diseño de mezclas realizando la variación del módulo de finura

La selección de las nuevas proporciones de la mezcla de concreto fue efectuada utilizando el método del módulo de finura del agregado global.

4. Para la determinación de las propiedades del concreto

Los procedimientos y los métodos aplicados para realizar los ensayos y determinar las propiedades de los agregados endurecido y fresco fueron realizados aplicando las normas internacionales de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) o las Normas Técnicas Peruanas (NTP).

Instrumentos

1. Para la toma de agregados de la cantera de Tacllán

- Cámara fotográfica
- Costales
- Lampa
- La persona responsable de la investigación y el personal en campo

2. Para los ensayos de laboratorio

- La persona responsable de la investigación y el personal técnico calificado

- Cámara fotográfica

- Equipos de laboratorio en buen estado y debidamente calibrados, para garantizar la validez y la exactitud de los resultados de ensayos. Los equipos fueron los siguientes: horno eléctrico, balanza, tamices NTP, probetas graduadas, mezcladora de concreto, máquina vibradora de agregados, barra compactadora, cono de Abrams, moldes cilíndricos para briquetas, enrasador, wincha, cronómetro, molde metálico para peso unitario, medidor de temperatura, pipeta, máquina de prueba de compresión y pozas de curado de concreto.

3. Para los trabajos en gabinete

- Bibliográficamente, se consultaron y analizaron diversas fuentes de investigación relacionadas con el tema de estudio, por ejemplo, artículos científicos, libros, Normas Técnicas Peruanas e Internacionales (ASTM), manuales de laboratorio, y tesis de diferentes universidades.

- Para el procesamiento de los datos recolectados y la obtención de los resultados de los ensayos de laboratorio se utilizaron diversos recursos: impresora, computadora portátil y útiles de escritorio. Así también, se emplearon programas informáticos: Excel y Word de Microsoft Office para la redacción del estudio y la creación de hojas de cálculo.

- Respecto a los recursos humanos, se requirió la intervención y el apoyo del asesor para guiar la elaboración de la investigación.

Procedimiento de recolección y procesamiento de datos

Recolección de información

La recolección de datos fue realizada siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Toma de datos en campo

- Reconocimiento y evaluación de la cantera de Tacllán para extraer los agregados naturales.
- Identificación de la cantera para extraer el agregado grueso (piedra chancada) o agregado fino (arena gruesa), los cuales fueron empleados para diseñar y elaborar las mezclas de concreto.
- Estudio de la cantera y toma de muestras representativas de los agregados, con el fin de efectuar los respectivos ensayos de laboratorio.
- Caracterización de los agregados grueso y fino, considerando las siguientes propiedades: peso unitario suelto, análisis granulométrico, peso unitario compactado, porcentaje de absorción, peso específico, módulo de finura y contenido de humedad.

2. Realización de ensayos de laboratorio de los agregados

Para evaluar el agregado fino de la cantera de Tacllán se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

Tabla 2. *Ensayos de laboratorio para el agregado fino*

Ensayos estándar	Normativa
Análisis granulométrico por tamizado	NTP 400.012
Peso unitario suelto y peso unitario compactado	NTP 400.017
Peso específico	NTP 400.022
Porcentaje de absorción y contenido de humedad	NTP 400.022
Material que pasa la malla n.º 200	NTP 400.018

Para estudiar el agregado fino de la cantera de Tacllán se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio.

Tabla 3. *Ensayos de laboratorio para el agregado grueso*

Ensayos estándar	Normativa
Análisis granulométrico	NTP 400.012
Peso unitario suelto y peso unitario compactado	NTP 400.017
Peso específico	NTP 400.021
Porcentaje de absorción y contenido de humedad	NTP 400.021
Tamaño máximo nominal	NTP 400.012

1. Diseño de mezclas de concreto patrón

- Después de obtener las características de los agregados, basándose en los ensayos previamente señalados, se continuó con el diseño de mezclas de concreto. Para la dosificación de los materiales del concreto se empleó el cemento portland tipo I.

- Se realizó el diseño de mezclas del concreto patrón considerando los procedimientos y las condiciones sugeridos por el método de comité 211 del ACI.

- Se efectuó el diseño de mezclas a fin de que el concreto (antes y después el mezclado) cumpla con los siguientes requisitos: $f'c = 17,21$ y 28 MPa, asentamiento máximo = $3''$ a $4''$ y sin aire incorporado.

- El diseño del concreto patrón fue útil para comparar las propiedades del concreto endurecido y fresco.

Variación del módulo de finura del agregado global (MFG)

- Las propiedades conseguidas de los agregados permitieron calcular el módulo de finura del agregado global (MFG) del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa. Para esto, se aplicó la siguiente ecuación: $MFG = rf \times mf + rg \times mg$.

- Dicha ecuación permite conocer los valores de los módulos de finura de los agregados grueso (mg) y fino (mf), los cuales fueron conseguidos en los ensayos de laboratorio de análisis granulométrico de los agregados. Así tambi-

én, se calcularon los porcentajes de los agregados grueso (rg) y fino (rf) respecto al volumen absoluto total del agregado presente en el diseño de mezclas.

- Luego de obtener dicho valor, se procedió con la obtención de la variación del módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$, 21 y 28 MPa.

- El valor del módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$, 21 y 28 MPa fue reducido una décima de forma gradual y en tres oportunidades hasta disminuir en tres décimas a la variable independiente. Debido al cambio producido se generaron nuevas proporciones de los agregados grueso y fino presentes en los diseños de mezclas del concreto patrón que se obtuvieron en un inicio.

Tabla 4. Cuadro de los diseños de mezcla de concreto y las variaciones realizadas al módulo de finura del agregado global

Diseño de mezclas de concreto	$f'c$ (MPa)	Variación del módulo de finura del agregado global
A	17	MFG_1
B		$MFG_1 - 0.10$
C		$MFG_1 - 0.20$
D		$MFG_1 - 0.30$
E	21	MFG_2
F		$MFG_2 - 0.10$
G		$MFG_2 - 0.20$
H		$MFG_2 - 0.30$
I	28	MFG_3
J		$MFG_3 - 0.10$
K		$MFG_3 - 0.20$
L		$MFG_3 - 0.30$

Nota. MFG_1 , MFG_2 , MFG_3 : son los módulos de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$, 21 y 28 MPa, correspondientemente. A, E, I: son los diseños de mezclas del concreto patrón al aplicar el método del comité 211 del ACI. B, C, D, F, G, H, J, K, L: son los diseños de mezclas del concreto cuando se varía el módulo de finura del agregado global.

- La reducción en una décima del módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa permite la modificación controlada de las propiedades del concreto en los estados endurecido y fresco, sin que dicho cambio afecta sus características intrínsecas (trabajabilidad y fluidez). La adopción de una décima fue efectuada basándose en la revisión bibliográfica de investigaciones con temas de estudio similares al actual, en las cuales el valor es suficiente para cambiar las proporciones de los agregados grueso y fino en el diseño de mezclas. Se precisa que en este estudio se planteó mantener fijas las cantidades de cemento y agua.

1. Determinación de las nuevas proporciones de los materiales del concreto

- La variación del módulo de finura del agregado global permitió la obtención de nuevas proporciones de los agregados grueso y fino, sin modificar las cantidades de cemento y agua establecidas en el diseño. Con esto, se determinaron las nuevas proporciones de los materiales utilizados en la mezcla de concreto.

- Dicho procedimiento fue aplicado en las otras resistencias específicas del concreto; además, se varió (en tres oportunidades) el módulo de finura del agregado global a fin de obtener las nuevas proporciones de los agregados.

- Posteriormente, para realizar los ensayos necesarios, se elaboró la mezcla del concreto, teniendo en cuenta a las mezclas deseadas.

2. Determinación de las propiedades del concreto fresco

- Basándose en la NTP 339.036, se tomaron muestras representativas de concreto fresco y se realizaron los ensayos que se muestran a continuación:

Tabla 5. *Ensayos de laboratorio para las propiedades del concreto fresco*

Ensayos estándar	Normativa
Consistencia	NTP 339.035
Temperatura	NTP 339.077
Peso unitario	NTP 339.046
Contenido de aire	NTP 339.046
Exudación	NTP 339.077

1. Determinación de las propiedades del concreto endurecido

- La resistencia a la compresión del concreto es la propiedad más valiosa porque brinda una imagen general de la calidad del concreto.
- Basándose en la NTP 339.183, en el laboratorio se elaboraron seis especímenes por cada diseño de mezcla de concreto; es decir, se hicieron 72 briquetas en total. Se continuó con el curado y después se ensayaron a los 28 días de edad. El ensayo que se realizó fue el siguiente.

Tabla 6. *Ensayo de laboratorio de resistencia a la compresión del concreto*

Ensayos estándar	Normativa
Resistencia a la compresión a los 28 días	NTP 339.034

Procesamiento de datos

La calidad del concreto fue determinada con la realización de ensayos del concreto en sus estados endurecido y fresco, con el fin de apreciar los cambios que las propiedades del concreto sufren al variar el módulo de finura y sus las proporciones de los agregados grueso y fino. Para procesar la información se siguieron los siguientes pasos:

- Realización de los ensayos de laboratorio con el fin de determinar las propiedades de los agregados grueso y fino.

- Elaboración de la tabulación y la curva granulométrica de las propiedades de los agregados grueso y fino.
- Realización del diseño de mezcla del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.
- Variación del módulo de finura del agregado global del concreto patrón en una décima, hasta en tres oportunidades, a fin de calcular las nuevas proporciones de los agregados de la mezcla de concreto.
- Elaboración de tablas comparativas con las cantidades o las proporciones de materiales que componen el concreto y se obtienen en los diferentes diseños de mezclas.
- Elaboración de muestras de concreto, utilizando las proporciones conseguidas.
- Toma de muestras del concreto fresco y ejecución de ensayos de temperatura, consistencia, peso unitario, exudación y contenido de aire de la muestra de concreto fresco. Las pruebas se efectuaron dentro de los 5 minutos después de que se realizó la toma de la muestra.
- Elaboración y curado de briquetas de concreto en el laboratorio. Los especímenes fueron realizados dentro de los 15 minutos después de que se realizó la toma de la muestra.
- Ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto a los 28 días de edad.
- Elaboración de gráficos y tablas comparativas en hojas de cálculo Excel, en función a los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados.
- Elaboración de gráficos módulo de finura del agregado global vs. temperatura, asentamiento, peso unitario, exudación, porcentaje de aire atrapado y resistencia a la compresión a los 28 días, en Excel y Word.

Análisis de datos

Para cumplir los objetivos del estudio, se sistematizó el problema general. Para esto, cada objetivo específico fue desarrollado, y se analizaron e interpretaron los datos conseguidos en la medición de la variable dependiente del siguiente modo:

Objetivo específico 1

Determinar la incidencia del diseño de mezclas utilizando el método del comité 211 del ACI en las propiedades del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Indicadores: Consistencia, peso unitario, temperatura, exudación, contenido de aire en la mezcla y resistencia a la compresión.

Índices: $10\text{ }^{\circ}\text{C} \leq t \leq 32\text{ }^{\circ}\text{C}$, kg/m^3 , $1'' \leq \text{slump} \leq 4''$, % contenido de aire, ml/cm^2 y $f'c \geq 17, 21$ y 28 MPa.

Análisis e interpretación de datos:

- El método del comité 211 del ACI empleado para diseñar el concreto patrón fue utilizado para determinar las proporciones de los materiales de la mezcla.
- Los resultados de los ensayos efectuados a las muestras del concreto patrón (endurecido y fresco) proporcionaron los valores requeridos para estudiarlos y analizarlos.
- Los resultados de los ensayos efectuados al concreto patrón (endurecido y fresco) cumplieron con los parámetros establecidos.

Objetivo específico 2

Determinar la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto fresco de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Indicadores: Consistencia, peso unitario, temperatura, exudación y contenido de aire en la mezcla

Índices: $10^{\circ}\text{C} \leq t \leq 32^{\circ}\text{C}$, kg/m^3 , $1'' \leq \text{slump} \leq 4''$, % contenido de aire y ml/cm^2 .

Análisis e interpretación de datos:

- La variación del módulo de finura del agregado global provocó cambios en las proporciones de los agregados grueso y fino de la mezcla.
- A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio para las muestras de concreto fresco, se comprobó que los valores estén dentro de los parámetros establecidos.
- Los resultados de los ensayos efectuados a las muestras del concreto fresco brindaron los valores solicitados para estudiarlos y analizarlos.

Objetivo específico 3

Determinar la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en la resistencia a la compresión del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa .

Indicadores: Resistencia a la compresión.

Índices: $f'_c \geq 17, 21$ y 28 MPa

Análisis e interpretación de datos:

- La variación del módulo de finura del agregado global ocasionó cambios en las proporciones de los agregados grueso y fino de la mezcla del concreto.
- A partir de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio sobre resistencia a la compresión de los especímenes de concreto, se comprobó que los valores cumplan con 28 MPa y $f'_c \geq 17, 21$.
- Los resultados obtenidos en los ensayos efectuados a los especímenes de concreto proporcionaron los valores solicitados para ser estudiados y analizados.

Objetivo específico 4

Determinar la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto fresco y endurecido de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa en comparación al concreto patrón.

Análisis e interpretación de datos:

- Se describieron y compararon los resultados logrados en los objetivos específicos anteriores, para realizar una comparación de las propiedades del concreto endurecido y fresco, que se obtuvieron al emplear el método módulo de finura del agregado global y el método de diseño de mezclas del comité 211 del ACI.

- Luego de alcanzar los objetivos específicos, se procedió con el contraste de cada hipótesis específica. Con la prueba de hipótesis, se cumplió el fin del estudio.

Prueba de hipótesis

El objetivo principal de un estudio experimental es responder las interrogantes determinadas. El investigador presenta ciertas hipótesis *a priori*, las cuales deben ser comprobadas; para esto, se plantean las hipótesis estadísticas: una hipótesis alternativa (H_A) y la hipótesis nula (H_0) (Gutiérrez & De la Vara, 2008).

Para el desarrollo de la presente investigación se planteó la siguiente ecuación:

$$H_0 : r_0, r_1, r_2, \dots, r_i = 0 \quad , \quad i = 0, 1, 2, \dots, 11$$

$$H_A : r_i \neq 0 \text{ para algún } i$$

Donde:

r_i : incidencia (reducción o incremento) del tratamiento

i : variación del módulo de finura del agregado global sobre la variable dependiente (propiedades del concreto $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa).

En caso de aceptar la hipótesis nula (H_0), se asevera que la variación del módulo de finura del agregado global no influye en las propiedades del concreto 28 MPa y $f'_c = 17, 21$ y que los resultados obtenidos son consecuencia del error de los ensayos y no del tratamiento realizado. En caso de aceptar la hipótesis alternativa (H_A), se afirma que, por lo menos, una incidencia difiere

de cero; con esto se comprueba la hipótesis de estudio. Cabe precisar que, para esto, se debe asumir una significancia de $\alpha = 0.05$, que es la probabilidad para rechazar la H_0 pese a que es verdadera.

La prueba de hipótesis fue realizada mediante un análisis de varianza (ANOVA) de un factor; la evaluación de los tratamientos fue efectuada con el método de Tukey, además de presentar un diagrama de caja simultáneo a fin verificar si los tratamientos son similares o diferentes.

Análisis e interpretación de resultados

Incidencia del diseño de mezclas utilizando el método del comité 211 del ACI en las propiedades del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa

El estudio comenzó con el diseño de mezclas del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa , el cual fue utilizado como base para elaborar otros diseños de mezclas. Para esto, se estudiaron las propiedades de los materiales que constituyen la mezcla de concreto. Para conocer las propiedades de los agregados grueso y fino estos fueron ensayados en el laboratorio. Cabe resaltar que la elaboración del concreto fue efectuada utilizando agua potable y las características del cemento portland tipo I son brindadas por el fabricante.

1. Ensayos de laboratorio de los agregados

Para la obtención de agregados se escogió a la cantera de Tacllán, como proveedora. Se estableció que el agregado grueso sería la piedra chancada y el agregado fino, la arena gruesa. El proceso aplicado para definir las propiedades físicas de los agregados fue efectuado de acuerdo con las normas ASTM y las NTP vigentes.

a. Propiedades físicas de los agregados

Los agregados utilizados en el estudio constituyen un elemento esencial del volumen total de concreto y de otras propiedades que conforman la mezcla, sobre todo las mecánicas, porque estas se relacionan de manera directa con las propiedades físicas de los agregados. Por esto, para tener un estricto control de

calidad se efectuaron diversos ensayos mediante los cuales se determinaron sus características.

En la Tabla 7 se muestran los resultados de ensayos de laboratorio obtenidos para la determinación de las propiedades físicas de los agregados.

Tabla 7. *Propiedades físicas de los agregados fino y grueso*

Descripción	Agregado	
	Fino	Grueso
Peso unitario suelto, kg/m ³	1582	1397
Peso unitario compactado, kg/m ³	1836	1615
Peso específico, tn/m ³	2.62	2.63
Porcentaje de Absorción, %	2.56	1.13
Contenido de humedad, %	7.79	4.21

a. Análisis granulométrico de los agregados

La granulometría de los agregados se relaciona con el requerimiento de agua, la trabajabilidad del concreto, la resistencia a la compresión del concreto y la compacidad. En la NTP 400.037 se establecen los límites granulométricos para los agregados grueso y fino.

En la Tabla 8 se presentan los resultados del análisis granulométrico del agregado fino empleado para la mezcla de concreto.

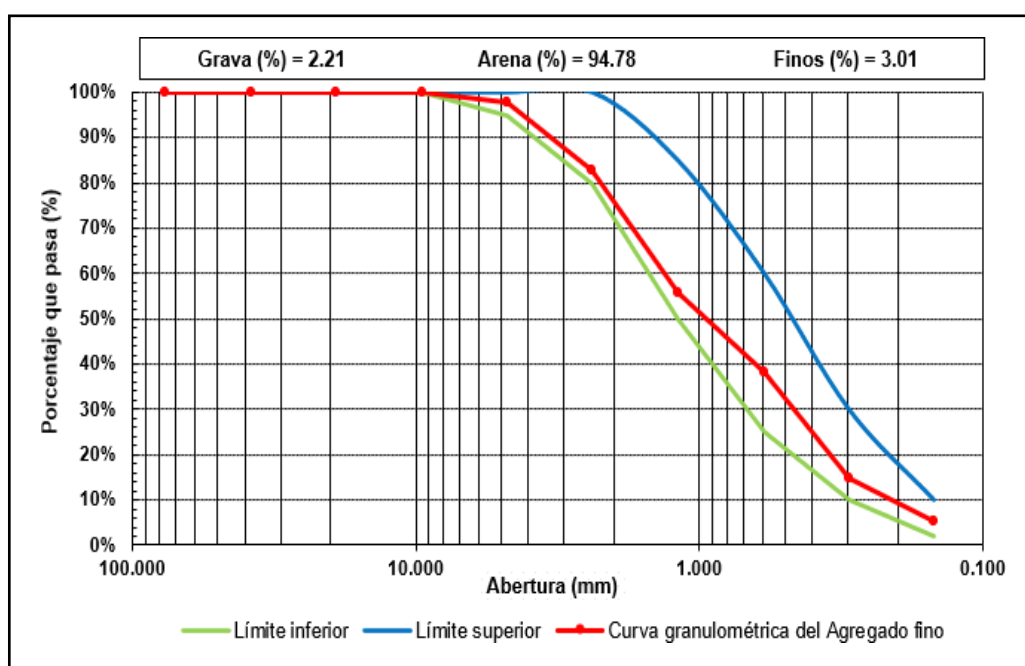
Tabla 8. *Granulometría del agregado fino*

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje acumulado que pasa
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
N.º 4	4.760	48.50	2.21	2.21	97.79
N.º 8	2.380	331.00	15.10	17.31	82.69
N.º 16	1.190	592.10	28.20	43.30	56.70
N.º 30	0.590	380.20	17.34	60.64	39.36
N.º 50	0.297	513.60	24.46	85.10	14.90
N.º 100	0.149	211.80	9.66	94.76	5.20
N.º 200	0.074	48.90	2.23	96.99	3.01
> N.º 200	0.000	1.90	0.09	97.08	
Total		2128.00	97.08		

Nota. Los porcentajes acumulados que pasan cumplen los requisitos de granulometría para el agregado fino.

En la Figura 1 se muestra la curva granulométrica del agregado fino.

Figura 1. *Curva granulométrica del agregado fino*



Los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso empleado para la mezcla de concreto se muestran en la Tabla 9.

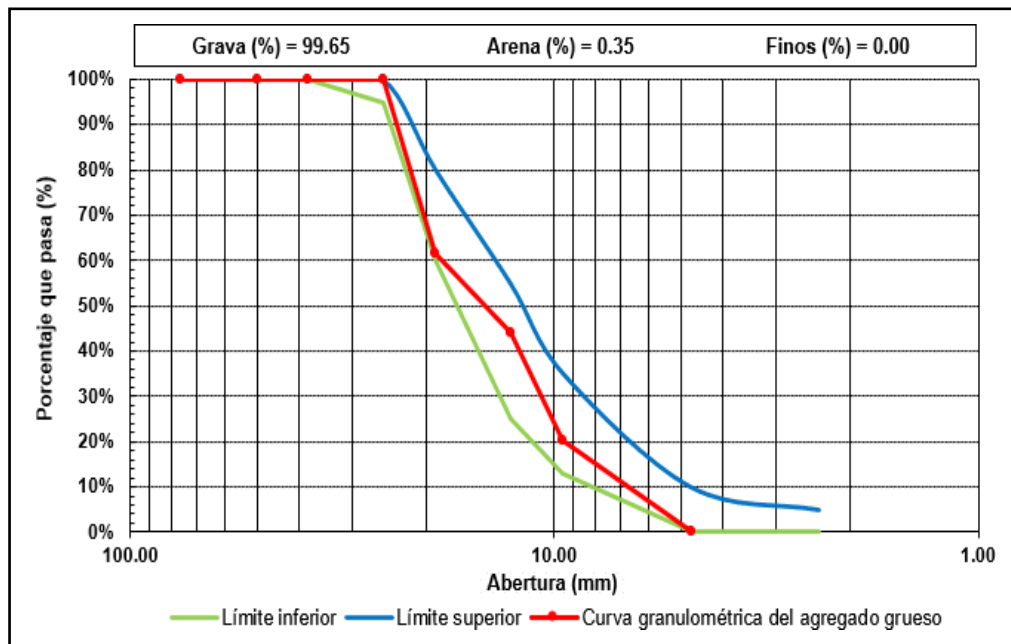
Tabla 9. *Granulometría del agregado grueso*

Tamiz	Abertura	Peso retenido	Porcentaje retenido parcial	Porcentaje retenido acumulado	Porcentaje acumulado que pasa
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	1187.60	38.31	38.31	61.69
1/2"	12.700	549.90	17.74	56.05	43.95
3/8"	9.525	731.50	23.60	79.65	20.35
Nº 4	4.760	620.00	20.00	99.65	0.35
Total	3089.00		99.65		

Nota. Los % acumulados que pasan cumplen los requisitos de granulometría para el agregado grueso.

En la Figura 2 se muestra la curva granulométrica del agregado grueso.

Figura 2. *Curva granulométrica del agregado grueso*



a. Módulo de finura de los agregados

El módulo de finura fue calculado basándose en el análisis granulométrico de los agregados. El valor obtenido es el resultado de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices:

MF

$$= \frac{\sum \% \text{retenido acumulado } (3" + 1 \frac{1}{2}" + 3/4" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

El cálculo del módulo de finura de los agregados es el siguiente:

$$MF(\text{agregado fino}) = \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 2.21 + 17.31 + 43.30 + 6.64 + 85.10 + 94.76}{100}$$

$$MF(\text{agregado fino}) = 3.03$$

$$MF(\text{agregado grueso}) = \frac{0 + 0 + 38.31 + 79.65 + 99.65 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100}{100}$$

$$MF(\text{agregado grueso}) = 7.18$$

En la Tabla 10 se presenta el módulo de finura de los agregados grueso y fino.

Tabla 10. *Módulo de finura de los agregados*

Descripción	Normativa	Resultado	Intervalo permitido
Módulo de finura del agregado fino	NTP 400.037	3.03	2.30 a 3.10
Módulo de finura del agregado grueso	NTP 400.037	7.18	No especifica

Nota. Los resultados cumplen los valores establecidos.

1. Características del cemento

La fabricación de las mezclas de concreto fue realizada con el cemento portland tipo I de la marca Cemento Sol (bolsas de 42.50 kg). En la Tabla 22 se detallan sus características químicas y físicas.

Tabla 11. *Características físicas y químicas del cemento portland tipo I (cemento sol)*

Descripción	Valor	Requisito según la NTP 334.002
Peso específico (tn/m ³)	3.15	No especifica
Contenido de aire (%)	6.62	Máximo 12
f'c a 3 días (kg/cm ²)	296	Mínimo 122
f'c a 7 días (kg/cm ²)	357	Mínimo 194
f'c a 28 días (kg/cm ²)	427	Mínimo 285
Fraguado Vicat inicial (min)	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final (min)	305	Máximo 375
Óxido de Magnesio (MgO)	2.93	Máximo 6 %
Trióxido de Azufre (SO ₃)	3.00	Máximo 3.5 %

Nota. La información presentada fue proporcionada por el fabricante.

1. Diseño de mezclas del concreto patrón

El diseño de mezclas del concreto patrón de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa fue realizado aplicando los procedimientos y las condiciones recomendados por el método del comité 211 del ACI.

En la Tabla 12 se presentan los valores de los diseños de mezclas.

Tabla 12. *Diseño de mezclas del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa (comité 211 del ACI)*

Descripción	Diseño de mezclas		
	^a	^b	^c
Valores de diseño en peso seco			
Cemento, kg/m ³	306	351	421
Agua de diseño, lt/m ³	193	193	193
Ag. fino seco, kg/m ³	780.80	744.10	683.80
Ag. grueso seco, kg/m ³	1044.90	1044.90	1044.90
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados			
Cemento, kg/m ³	306	351	421
Agua efectiva, lt/m ³	120	121.90	125.10
Ag. fino húmedo, kg/m ³	841.60	802.05	737.10
Ag. grueso húmedo, kg/m ³	1088.90	1088.90	1088.90
Proporciones, C/C: Fino/C: Grueso/C			
En peso	1: 2.75: 3.56	1: 2.29: 3.10	1: 1.75: 2.59
En volumen	1: 2.61: 3.83	1: 2.17: 3.33	1: 1.66: 2.78

Nota. ^a $f'_c = 17$ MPa, ^b $f'_c = 21$ MPa, ^c $f'_c = 28$ MPa.

1. Propiedades del concreto patrón en estado fresco

Las propiedades del concreto patrón de 28, 21 y 17 MPa que fueron medidas en estado fresco son la temperatura, la consistencia, el peso unitario, la exudación y el contenido de aire.

En la Tabla 22 se presentan los resultados de las propiedades medidas en los ensayos de laboratorio.

Tabla 13. *Propiedades del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa en estado fresco*

Propiedad	Diseño de mezclas		
	^a	^b _E	^c _I
Consistencia, pulg (mm)	3 (76.20)	2.75 (69.85)	2.75 (69.85)
Temperatura, °C	20.5	20.5	21.0
Peso unitario, kg/m ³	2306.18	2326.73	2338.05
Contenido de aire, %	2.13	1.57	1.43
Exudación, ml/cm ²	0.113	0.118	0.115

Nota. ^a f'c= 17 MPa, ^b f'c= 21 MPa, ^c f'c= 28 MPa.

Resistencia a la compresión del concreto patrón

El ensayo de resistencia a la compresión fue efectuado en briquetas de concreto de 6x12 pulgadas (150x300 mm). En las pozas de agua se curaron los especímenes a los 28 días. En la Tabla 14 se detallan los resultados.

Tabla 14. Resistencia a la compresión del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa, a los 28 días

f'c (MPa)	Diseño de mezclas	Briqueta	Carga (kg)	f'c (MPa)	f'c promedio (MPa)
17 ^a	A	1	30569	17.0	17.4
		2	31570	17.6	
		3	31800	17.7	
		4	30720	17.1	
		5	31730	17.7	
		6	31110	17.3	
21 ^b	E	1	40818	22.7	22.8
		2	41370	22.9	
		3	41850	22.3	
		4	40610	22.6	
		5	39730	22.1	
		6	41110	22.9	
28 ^c	I	1	55890	28.3	28.5
		2	51370	28.6	
		3	51800	28.8	
		4	50720	28.2	
		5	51730	28.8	
		6	51110	28.4	

Nota. ^a: Fecha de moldeo y rotura 23/02/22 y 23/03/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

^b: Fecha de moldeo y rotura 10/03/22 y 07/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

^c: Fecha de moldeo y rotura 24/03/22 y 21/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

Incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto fresco de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa

A partir del diseño de mezclas del concreto patrón, se calculó el módulo de finura del agregado global. Luego, se realizó la variación de este valor hasta disminuir en una décima en tres oportunidades, con el objetivo de obtener nuevos valores del módulo de finura del agregado global. Basándose en los nuevos valores, se calcularon las nuevas proporciones de los materiales; además, se elaboraron las mezclas de concreto y se determinaron las propiedades del concreto fresco.

1. Cálculo del módulo de finura del agregado global

Con la aplicación de esta fórmula $MFG = rf \times mf + rg \times mg$, se calculó el módulo de finura del agregado global considerando el diseño de mezclas del concreto patrón 28, 21 y 17 MPa, y los módulos de finura de los agregados grueso y fino conseguidos en los ensayos. En la Tabla 15 se detallan los valores calculados.

Tabla 15. *Módulo de finura del agregado global del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa*

$f'c$ (MPa)	Descripción	Resultado
17 MPa	Módulo de finura del agregado global (MFG_1)	5.40
21 MPa	Módulo de finura del agregado global (MFG_2)	5.46
28 MPa	Módulo de finura del agregado global (MFG_3)	5.54

Variación del módulo de finura del agregado global

Esta variación fue efectuada con el concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa. En el proceso se disminuyó una décima en tres oportunidades hasta llegar a 3 décimas. En la Tabla 16 se detallan las variaciones realizadas.

Tabla 16. *Variación del módulo de finura del agregado global*

f'c (MPa)	Diseño de mezcla	Variación del módulo de finura del agregado global	Resultado
17	A	MFG_1	5.40
	B	$MFG_1 - 0.10$	5.30
	C	$MFG_1 - 0.20$	5.20
	D	$MFG_1 - 0.30$	5.10
21	E	MFG_2	5.46
	F	$MFG_2 - 0.10$	5.36
	G	$MFG_2 - 0.20$	5.26
	H	$MFG_2 - 0.30$	5.16
28	I	MFG_3	5.54
	J	$MFG_3 - 0.10$	5.44
	K	$MFG_3 - 0.20$	5.34
	L	$MFG_3 - 0.30$	5.24

Nota: MFG_1 , MFG_2 , MFG_3 son los módulos de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, correspondientemente

1. Diseño de mezclas del concreto usando el método del módulo de finura del agregado global

Después de efectuar la variación de la variable independiente se determinaron las nuevas proporciones de los materiales, se mantuvo fija la relación agua/cemento del diseño y se empleó el método de diseño de mezclas del módulo de finura del agregado global.

a. Diseño de mezclas haciendo la variación del MFG_1 de 17 MPa

Después de efectuar la variación del módulo de finura del agregado glo-

bal de 17 MPa (MFG_1) se logró disminuir una décima en tres oportunidades y se determinaron las nuevas proporciones de los materiales que componen el concreto. En la Tabla 17 se muestra el diseño de muestras.

Tabla 17. *Diseño de mezclas del concreto de $f'_c = 17$ MPa para las variaciones de MFG_1*

Descripción	Diseño de mezclas		
	B^a	C^b	D^c
Valores de diseño en peso seco			
Cemento, kg/m^3	306	306	306
Agua de diseño, lt/m^3	193	193	193
Ag. fino seco, kg/m^3	825.30	869.85	911.80
Ag. grueso seco, kg/m^3	999.40	954.70	912.60
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados			
Cemento, kg/m^3	306	306	306
Agua efectiva, lt/m^3	119.10	118.10	117.20
Ag. fino húmedo, kg/m^3	889.60	937.60	982.80
Ag. grueso húmedo, kg/m^3	1041.50	994.90	951.00
Proporciones, C/C: Fino/C: Grueso/C			
En peso	1: 2.91: 3.40	1: 3.06: 3.25	1: 3.21: 3.11
En volumen	1: 2.76: 3.66	1: 2.91: 3.50	1: 3.05: 3.34

Nota. $^a MFG_1 - 0.10$, $^b MFG_1 - 0.20$, $^c MFG_1 - 0.30$

a. Diseño de mezclas haciendo la variación del MFG_2 de 21 MPa

Después de efectuar la variación del módulo de finura del agregado global de 21 MPa (MFG_2) se logró disminuir una décima en tres oportunidades y se determinaron las nuevas proporciones de los materiales que componen el concreto. En la Tabla 18 se muestra el diseño de muestras.

Tabla 18. *Diseño de mezclas del concreto de $f'_c = 21$ MPa para las variaciones de MFG_2*

Descripción	Diseño de mezclas		
	F^a	G^b	H^c
Valores de diseño en peso seco			
Cemento, kg/m ³	351	351	351
Agua de diseño, lt/m ³	193	193	193
Ag. fino seco, kg/m ³	786.00	827.90	869.80
Ag. grueso seco, kg/m ³	1002.03	959.95	917.90
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados			
Cemento, kg/m ³	351	351	351
Agua efectiva, lt/m ³	121.03	120.13	119.20
Ag. fino húmedo, kg/m ³	847.20	892.40	937.60
Ag. grueso húmedo, kg/m ³	1044.20	1000.36	956.50
Proporciones, C/C: Fino/C: Grueso/C			
En peso	1: 2.41: 2.97	1: 2.54: 2.85	1: 2.67: 2.73
En volumen	1: 2.29: 3.20	1: 2.41: 3.06	1: 2.54: 2.93

Nota. ^a $MFG_2 - 0.10$, ^b $MFG_2 - 0.20$, ^c $MFG_2 - 0.30$ del MFG_3 de 28 MPa

Después de efectuar la variación del módulo de finura del agregado global de 28 MPa (MFG_3) se logró disminuir una décima en tres oportunidades y se determinaron las nuevas proporciones de los materiales que componen el concreto. En la Tabla 19 se muestra el diseño de muestras.

Tabla 19. *Diseño de mezclas del concreto de $f'_c = 28$ MPa para las variaciones de MFG_3*

Descripción	Diseño de mezclas		
	j^a	k^b	L^c
Valores de diseño en peso seco			
Cemento, kg/m ³	421	421	421
Agua de diseño, lt/m ³	193	193	193
Ag. fino seco, kg/m ³	725.74	767.66	809.60
Ag. grueso seco, kg/m ³	1002.03	959.95	917.90
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados			
Cemento, kg/m ³	421	421	421
Agua efectiva, lt/m ³	124.20	123.30	122.40
Ag. fino húmedo, kg/m ³	782.30	827.50	872.65
Ag. grueso húmedo, kg/m ³	1044.20	1000.36	956.50
Proporciones, C/C: Fino/C: Grueso/C			
En peso	1: 1.86: 2.48	1: 1.97: 2.38	1: 2.07: 2.27
En volumen	1: 1.76: 2.67	1: 1.87: 2.55	1: 1.97: 2.44

Nota. a $MFG_3 - 0.10$, b $MFG_3 - 0.20$, c $MFG_3 - 0.30$ del MFG_3

4. Propiedades del concreto en estado fresco

a. Diseño de mezclas haciendo la variación del MFG_1 de 17 MPa

En la Tabla 20 se muestran las propiedades en estado fresco conseguidas para cada diseño de mezclas de concreto elaborado después de efectuar la variación del módulo de finura del agregado global de 17 MPa (MFG_1).

Tabla 20. *Propiedades del concreto fresco de $f'c = 17$ MPa, para las variaciones del MFG1*

Propiedad	Diseño de mezclas		
	b^a	c^b	d^c
Consistencia, pulg (mm)	2.75 (69.85)	2.50 (63.50)	2.375 (60.33)
Temperatura, °C	20.0	21.0	21.5
Peso unitario, kg/m ³	2321.70	2341.40	2345.60
Contenido de aire, %	1.46	0.64	0.48
Exudación, ml/cm ²	0.111	0.111	0.115

Nota. a MFG1 – 0.10, b MFG1 – 0.20, c MFG1 – 0.30

b. Diseño de mezclas haciendo la variación del MFG2 de 21 MPa

En la Tabla 21 se muestran las propiedades en estado fresco conseguidas para cada diseño de mezclas de concreto elaborado después de efectuar la variación del módulo de finura del agregado global de 21 MPa (MFG2).

Tabla 21. *Propiedades del concreto fresco de $f'c = 21$ MPa, para las variaciones del MFG2*

Propiedad	Diseño de mezclas		
	f^a	g^b	h^c
Consistencia, pulg (mm)	2.50 (63.50)	2.375 (60.33)	2.25 (57.15)
Temperatura, °C	20.0	21.5	20.5
Peso unitario, kg/m ³	2335.01	2356.60	2357.44
Contenido de aire, %	1.20	0.31	0.29
Exudación, ml/cm ²	0.115	0.115	0.113

Nota. a MFG2 – 0.10, b MFG2 – 0.20, c MFG2 – 0.30

a. Diseño de mezclas haciendo la variación del MFG_3 de 28 MPa

En la Tabla 22 se muestran las propiedades en estado fresco conseguidas para cada diseño de mezclas de concreto elaborado después de efectuar la variación del módulo de finura del agregado global de 28 MPa (MFG_3).

Tabla 22. *Propiedades del concreto fresco de $f'c = 28$ MPa, para las variaciones del MFG_3*

Propiedad	Diseño de mezclas		
	J^a	K^b	L^c
Consistencia, pulg. (mm)	2.50 (63.50)	2.25 (57.15)	2.25 (57.15)
Temperatura, °C	22.0	21.0	20.5
Peso unitario, kg/m ³	2342.45	2350.42	2359.01
Contenido de aire, %	1.23	0.91	0.57
Exudación, ml/cm ²	0.113	0.11	0.113

Nota. ^a $MFG_3 - 0.10$, ^b $MFG_3 - 0.20$, ^c $MFG_3 - 0.30$

Incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa

Luego de efectuar la variación del módulo de finura del agregado global se elaboraron las mezclas de concreto por medio de la realización del ensayo de resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de 6x12 pulgadas (150 x 300 mm). En las pozas de agua se curaron los especímenes a los 28 días.

1. Resistencia a la comparación de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG_1 de 17 MPa

En la Tabla 23 se presentan las resistencias a la compresión conseguidas para cada diseño de mezclas de concreto, para lo cual se realizó la variación del módulo de finura del agregado global de 17 MPa (MFG_1).

Tabla 23. Resistencia a la compresión del concreto de 17 MPa, haciendo la variación del MFG_1

Variación del MFG	Diseño de mezclas	Briqueta	Carga (kg)	f'c (MPa)	f'c promedio (MPa)
$MFG_1 - 0.10^a$	B	1	33043	18.4	18.7
		2	33370	18.5	
		3	33600	18.6	
		4	33720	18.7	
		5	33930	18.8	
		6	34110	18.9	
$MFG_1 - 0.20^b$	C	1	35870	19.9	20.1
		2	35370	19.6	
		3	35600	20.3	
		4	36720	20.4	
		5	36730	20.4	
		6	36110	20.0	
$MFG_1 - 0.30^c$	D	1	34633	19.2	19.1
		2	34370	19.0	
		3	34600	19.2	
		4	34720	19.2	
		5	34830	19.3	
		6	34110	18.9	

Nota. ^a: Fecha de moldeo y rotura 28/02/22 y 28/03/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

^b: Fecha de moldeo y rotura 02/03/22 y 30/03/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

^c: Fecha de moldeo y rotura 04/03/22 y 01/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

1. Resistencia a la comparación de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG_2 de 21 MPa

En la Tabla 24 se presentan las resistencias a la compresión conseguidas para cada diseño de mezclas de concreto, para lo cual se realizó la variación del módulo de finura del agregado global de 21 MPa (MFG_2).

Tabla 24. Resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa, haciendo la variación del MFG_2

Variación del MFG	Diseño de mezclas	Briqueta	Carga (kg)	f'c (MPa)	f'c promedio (MPa)
$MFG_2 - 0.10^a$	F	1	43115	23.9	24.5
		2	43270	24.0	
		3	44600	24.7	
		4	43620	24.2	
		5	45930	25.5	
		6	44110	24.5	
$MFG_2 - 0.20^b$	G	1	45765	25.4	25.7
		2	45370	25.2	
		3	46600	25.9	
		4	46720	25.9	
		5	46730	25.9	
		6	46110	25.6	
$MFG_2 - 0.30^c$	H	1	44705	24.8	24.7
		2	44370	24.6	
		3	44600	24.7	
		4	44720	24.8	
		5	44730	24.8	
		6	44110	24.5	

Nota. ^a: Fecha de moldeo y rotura 15/03/22 y 12/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

^b: Fecha de moldeo y rotura 16/03/22 y 13/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

^c: Fecha de moldeo y rotura 17/03/22 y 14/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

1. Resistencia a la comparación de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG_3 de 28 MPa

En la Tabla 25 se presentan las resistencias a la compresión conseguidas para cada diseño de mezclas de concreto, para lo cual se realizó la variación del módulo de finura del agregado global de 28 MPa (MFG_3).

Tabla 25. Resistencia a la compresión del concreto de 28 MPa, haciendo la variación del MFG_3

Variación del MFG	Diseño de mezclas	Briqueta	Carga (kg)	f'c (MPa)	f'c promedio (MPa)
$MFG_3 - 0.10^a$	J	1	54070	30.0	30.4
		2	54370	30.2	
		3	54600	30.3	
		4	54750	30.4	
		5	54930	30.5	
		6	56110	31.2	
$MFG_3 - 0.20^b$	K	1	57428	31.9	31.9
		2	58370	32.4	
		3	57600	32.0	
		4	56720	31.5	
		5	56730	31.5	
		6	58110	32.3	
$MFG_3 - 0.30^c$	L	1	59496	33.1	33.2
		2	60320	33.5	
		3	59600	33.1	
		4	58920	32.7	
		5	59930	33.3	
		6	60110	33.4	

Nota. ^a: Fecha de moldeo y rotura 29/03/22 y 26/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

^b: Fecha de moldeo y rotura 31/03/22 y 28/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

^c: Fecha de moldeo y rotura 01/04/22 y 29/04/22, respectivamente; área = 176.7 cm².

Incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto fresco y endurecido de f'c= 17, 21 y 28 MPa en comparación al concreto patrón

1. Comparación de los diseños de mezclas de concreto realizados

En la Tabla 26 se muestran las proporciones por metro cúbico de los materiales constituyentes del concreto. Dichas cantidades se obtuvieron para cada diseño de mezclas, para lo cual se realizó la variación del módulo de finura del agregado global de 17 MPa.

Tabla 26. *Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 17 MPa*

Diseño de mezclas	A (patrón)	B	C	D
Variación	MFG_1	$MFG_1 - 0.10$	$MFG_1 - 0.20$	$MFG_1 - 0.30$
MFG	5.40	5.30	5.20	5.10
Cemento (kg)	306.00	306.00	306.00	306.00
Agua (l)	120.00	119.10	118.10	117.20
Arena (kg)	841.60	889.60	937.60	982.80
Piedra (kg)	1088.90	1041.50	994.90	951.00

En la Tabla 27 se presentan las proporciones por metro cúbico de los materiales constituyentes del concreto. Dichas cantidades se obtuvieron para cada diseño de mezclas, para lo cual se realizó la variación del módulo de finura del agregado global de 21 MPa.

Tabla 27. *Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 21 MPa*

Diseño de mezclas	E (patrón)	F	G	H
Variación	MFG_2	$MFG_2 - 0.10$	$MFG_2 - 0.20$	$MFG_2 - 0.30$
MFG	5.46	5.36	5.26	5.16
Cemento (kg)	351.00	351.00	351.00	351.00
Agua (l)	121.90	121.03	120.13	119.20
Arena (kg)	802.05	847.20	892.40	937.60
Piedra (kg)	1088.90	1044.20	1000.36	956.50

En la Tabla 28 se presentan las proporciones por metro cúbico de los materiales constituyentes del concreto. Dichas cantidades se obtuvieron para cada diseño de mezclas, para lo cual se realizó la variación del módulo de finura del agregado global de 28 MPa.

Tabla 28. *Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 28 MPa*

Diseño de mezclas	I (patrón)	J	K	L
Variación	MFG_3	$MFG_3 - 0.10$	$MFG_3 - 0.20$	$MFG_3 - 0.30$
MFG	5.54	5.44	5.34	5.24
Cemento (kg)	421.00	421.00	421.00	421.00
Agua (l)	125.10	124.20	123.30	122.40
Arena (kg)	737.110	782.30	827.50	872.65
Piedra (kg)	1088.90	1044.20	1000.36	956.50

1. Resumen de resultados de los ensayos realizados

La ejecución de los ensayos de laboratorio y la determinación de las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco fueron efectuadas bajo los procedimientos señalados en las NTP. En la Tabla 29 se describen las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco.

2. Gráficos comparativos de los resultados

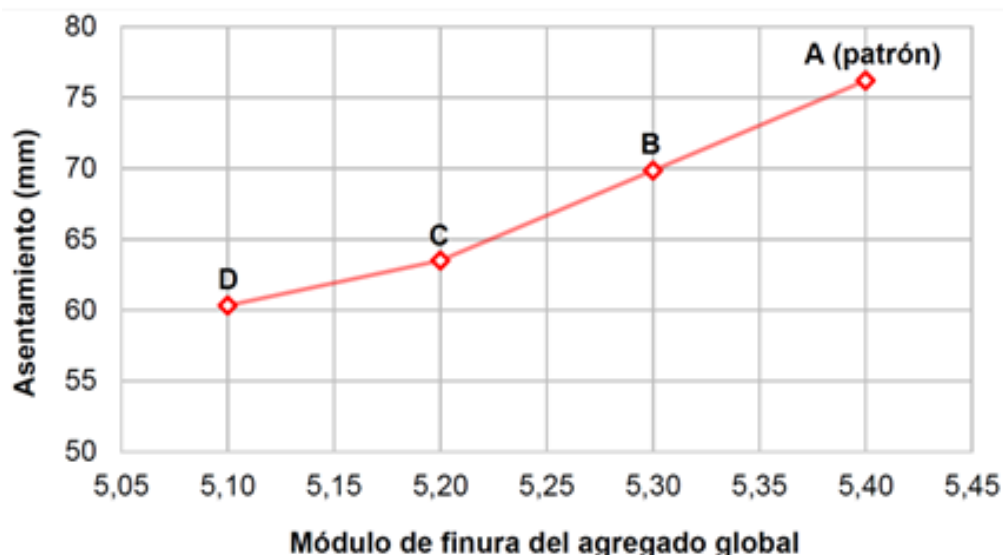
a. Propiedades del concreto de 17 MPa

Las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco para los diseños de mezclas de 17 MPa se describen a continuación:

- Consistencia

En la Figura 3 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 17$ MPa. En dicha figura, en el diseño A se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un asentamiento de 76.20 mm (3") y un $MFG_1 = 5.40$. En el diseño B, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, el asentamiento también disminuye a 69.85 mm (2.75"). En el diseño C, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, el asentamiento también disminuye a 63.50 mm (2.50"). En el diseño D, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, el asentamiento también disminuye a 60.33 mm (2.375"). En conclusión, se observa que el asentamiento disminuye cuando el módulo de finura del agregado global también disminuye.

Figura 3. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Asentamiento del concreto



Nota. A: Diseño del concreto patrón de 17 MPa. B, C, D: Diseños de mezclas modificando el módulo de finura del agregado global.

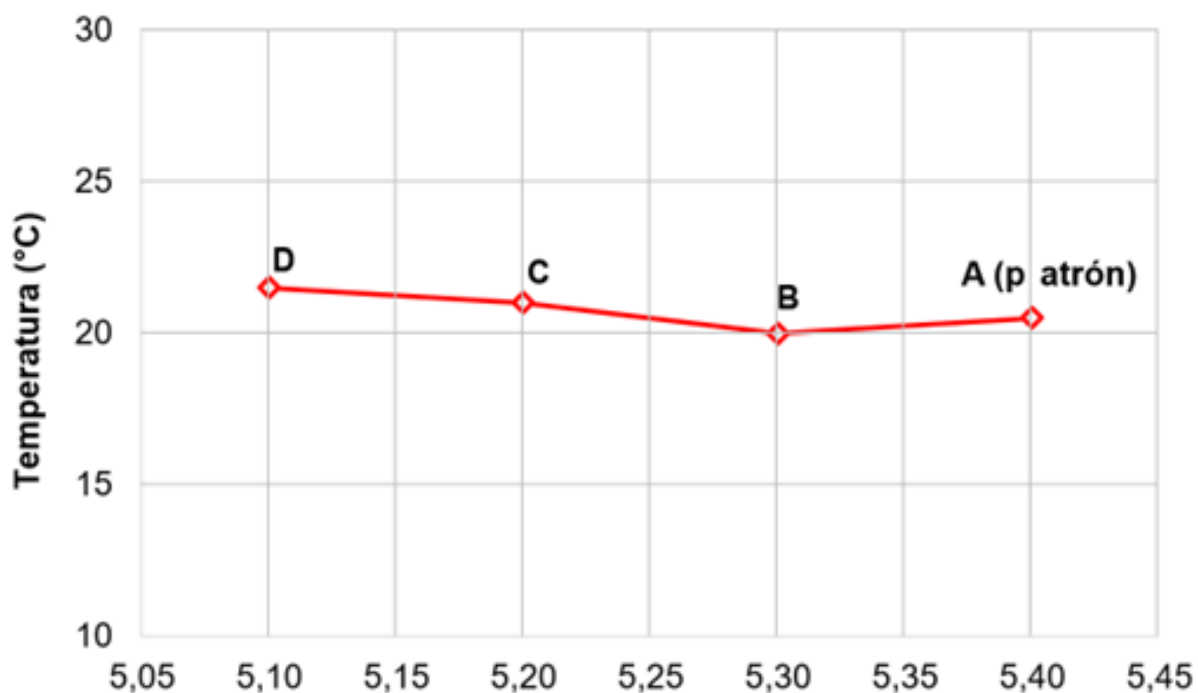
Tabla 29. *Resumen de los resultados al determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido*

f'c	Diseño de mezclas	Módulo de finura del agregado global	Consistencia (mm)	Temperatura (°C)	Peso unitario (kg/m³)	Contenido de aire (%)	Exudación (ml/cm²)	Resistencia a la compresión (MPa)
17 MPa	A (patrón)	5.40	76.20	20.5	2306.18	2.13	0.113	17.4
	B	5.30	69.85	20.00	2321.70	1.46	0.11	18.70
	C	5.20	63.50	21.00	2341.40	0.64	0.11	20.10
	D	5.10	60.33	21.50	2345.60	0.48	0.12	19.10
21 MPa	E (patrón)	5.46	69.85	20.5	2326.73	1.57	0.118	22.8
	F	5.36	63.50	21.00	2335.01	1.20	0.12	24.50
	G	5.26	60.33	21.50	2356.60	0.31	0.12	25.70
	H	5.16	57.15	20.50	2357.44	0.29	0.11	24.70
28 MPa	I (patrón)	5.44	69.85	21.0	2338.05	1.43	0.115	28.5
	J	5.44	63.50	22.00	2342.45	1.23	0.11	30.40
	K	5.34	57.15	21.00	2350.42	0.91	0.11	31.90
	L	5.24	57.15	20.50	2359.01	0.57	0.11	33.20

- Temperatura

En la Figura 4 se comparan los diseños de mezclas para un $f'_c = 17$ MPa. En dicha figura, en el diseño A, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una temperatura de 20.5 °C y un $MFG_1 = 5.40$. En el diseño B, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, la temperatura también baja a 20.0 °C. En el diseño C, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, la temperatura sube a 21.0 °C. En el diseño D, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, la temperatura sube a 21.5 °C. En conclusión, se observa que la temperatura varía si disminuye el módulo de finura del agregado global.

Figura 4. *Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto*



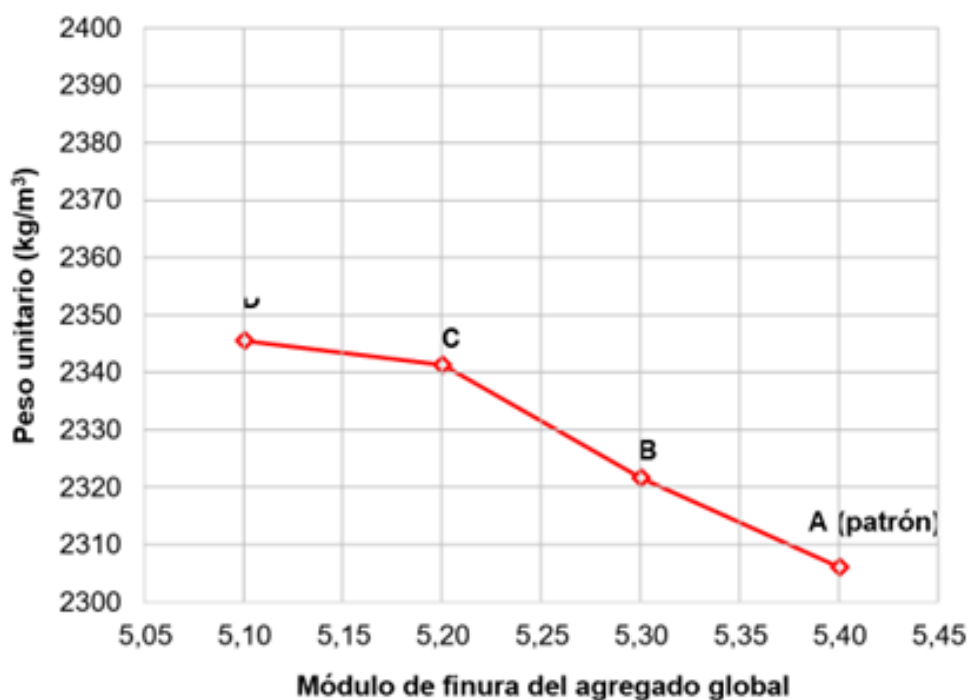
Nota. A: Diseño del concreto patrón de 17 MPa. B, C, D: Diseños de mezclas modificando el módulo de finura del agregado global.

- Peso unitario

En la Figura 5 se comparan los diseños de mezclas para un $f'_c = 17$ MPa. En dicha figura, en el diseño A se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un peso unitario de 2306.18 kg/m³ y un $MFG_1 = 5.40$. En el

diseño B, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, el peso unitario incrementa a 2321.70 kg/m^3 . En el diseño C, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, el peso unitario incrementa a 2341.40 kg/m^3 . En el diseño D, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, el peso unitario incrementa a 2345.60 kg/m^3 . En conclusión, se observa el aumento del peso unitario cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 5. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Peso unitario del concreto



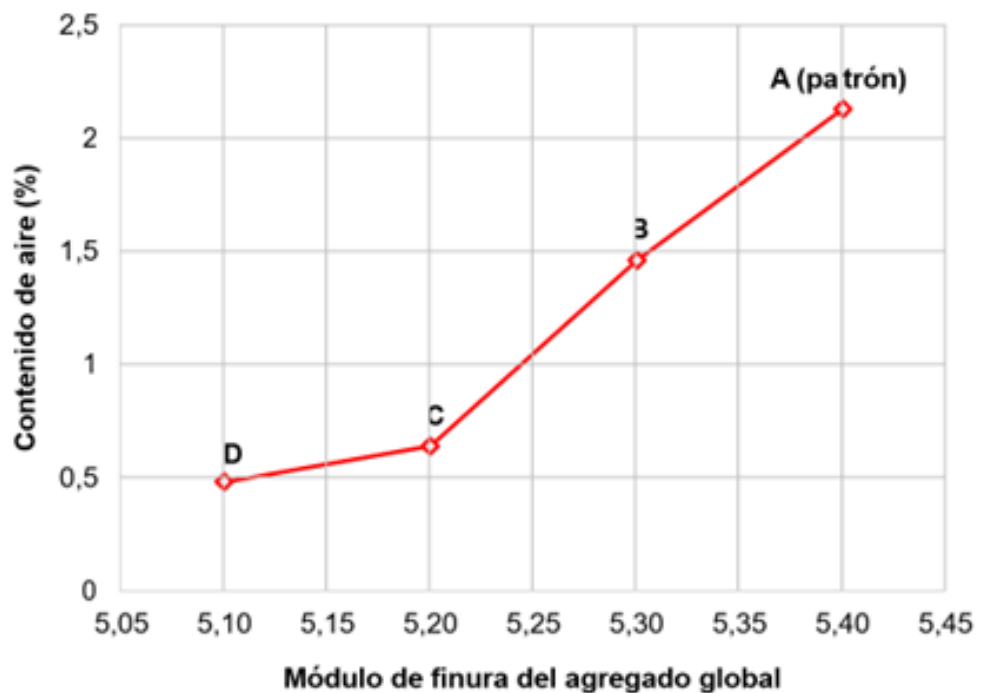
Nota. A: Diseño del concreto patrón de 17 MPa. B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

- Contenido de aire

En la Figura 6 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 17 \text{ MPa}$. En dicha figura, en el diseño A se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un contenido de aire de 2.13 % y un $MFG_1 = 5.40$. En el diseño B, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, el contenido de aire disminuye a 1.46 %. En el diseño C, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, el contenido de aire disminuye a 0.64 %. En el diseño D, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, el contenido de aire disminuye a 0.48 %. En conclusión, se observa que

el contenido de aire disminuye cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 6. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto

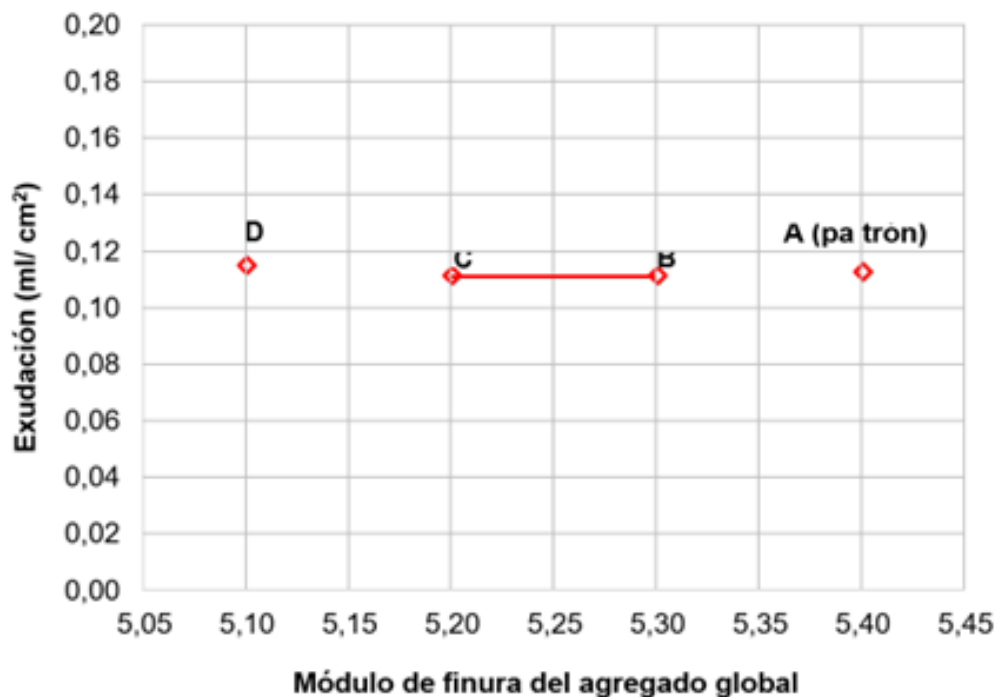


Nota. A: Diseño del concreto patrón de 17 MPa. B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Exudación

En la Figura 7 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 17$ MPa. En dicha figura, en el diseño A, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una exudación de 0.113 ml/cm^2 y un $MFG_1 = 5.40$. En el diseño B, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, la exudación disminuye a 0.111 ml/cm^2 . En el diseño C, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, la exudación se mantiene en 0.111 ml/cm^2 . En el diseño D, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, la exudación incrementa a 0.115 ml/cm^2 . En conclusión, se observa que la exudación no muestra una importante variación cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 7. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Exudación del concreto

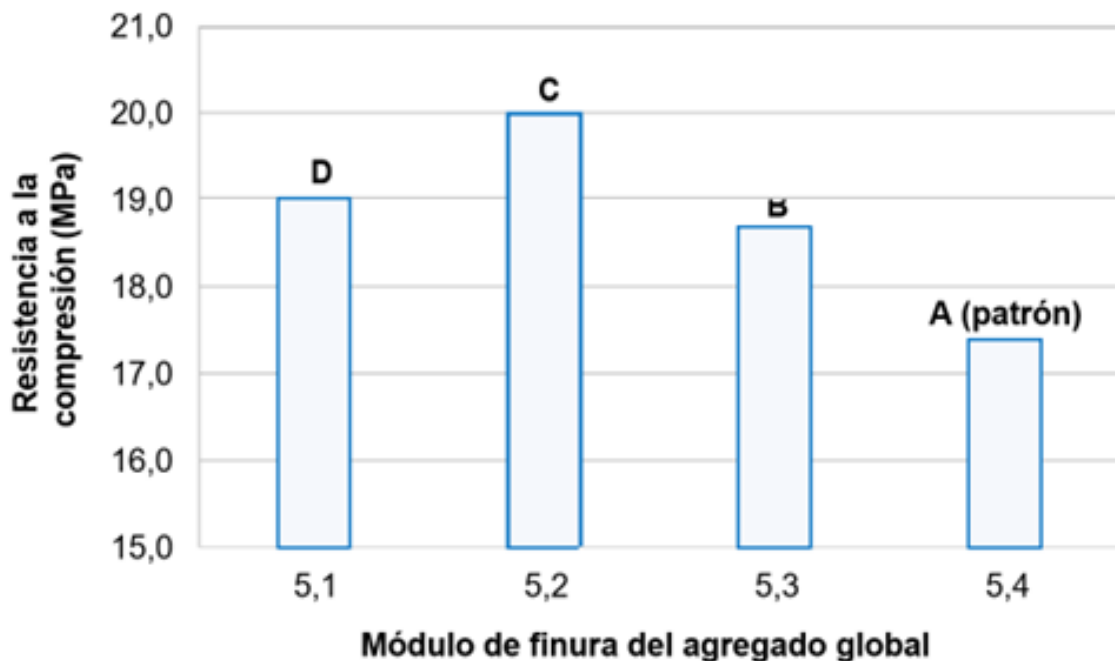


Nota. A: Diseño del concreto patrón de 17 MPa. B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Resistencia a la compresión

En la Figura 8 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 17$ MPa. En dicha figura, en el diseño A, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una resistencia a la compresión de 17.4 MPa (177 kg/cm²) y un $MFG_1 = 5.40$. En el diseño B, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, la resistencia a la compresión incrementa a 18.7 MPa (190 kg/cm²). En el diseño C, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, la resistencia a la compresión incrementa a 20.1 MPa (205 kg/cm²). En el diseño D, cuando disminuye el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, la resistencia a la compresión disminuye a 19.1 MPa (195 kg/cm²). En conclusión, se observa el aumento de la resistencia a la compresión es favorecido por la disminución del módulo de finura del agregado global.

Figura 8. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Resistencia a la compresión del concreto



Nota. A: Diseño del concreto patrón de 17 MPa. B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

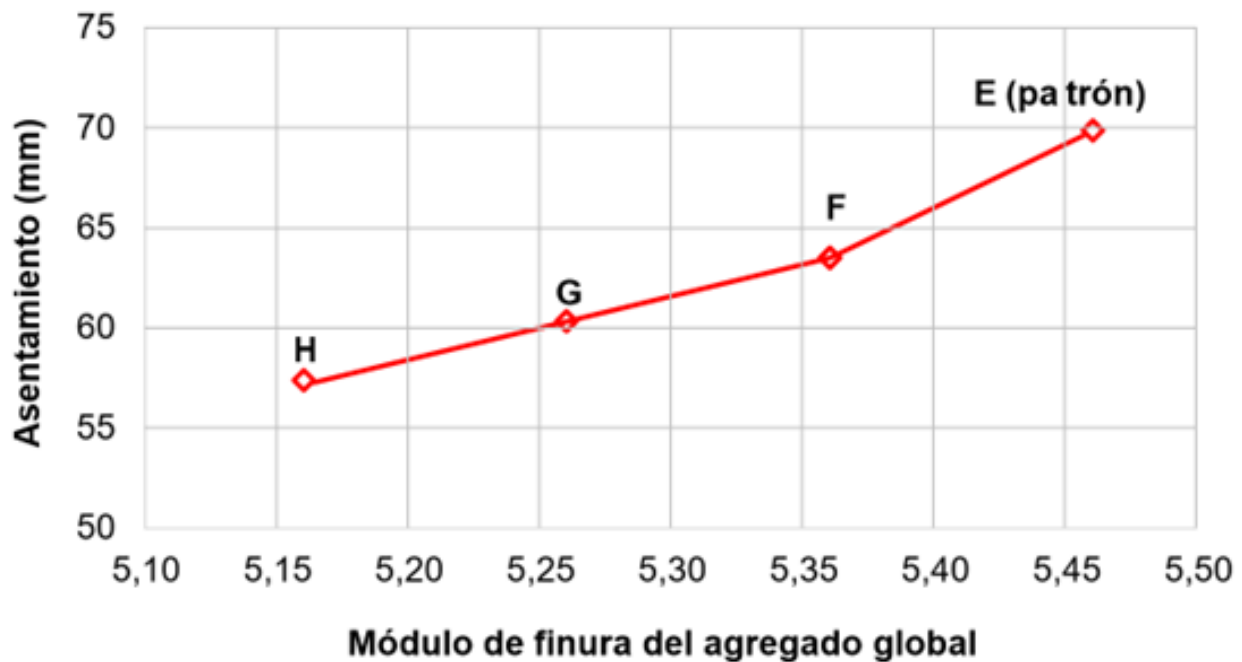
a. Propiedades del concreto de 21 MPa

Las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco fueron determinadas para los diseños de mezclas de 21 MPa, tal como se describen en los siguientes párrafos:

- Consistencia

En la Figura 9 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa. En dicha figura, en el diseño E, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un asentamiento de 69.85 mm (2.75") y un $MFG_2 = 5.46$. En el diseño F, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, el asentamiento disminuye a 63.50 mm (2.50"). En el diseño G, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, el asentamiento disminuye a 60.33 mm (2.375"). En el diseño H, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, el asentamiento disminuye a 57.15 mm (2.25"). En conclusión, se observa la disminución del asentamiento cuando el valor del módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 9. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Asentamiento del concreto

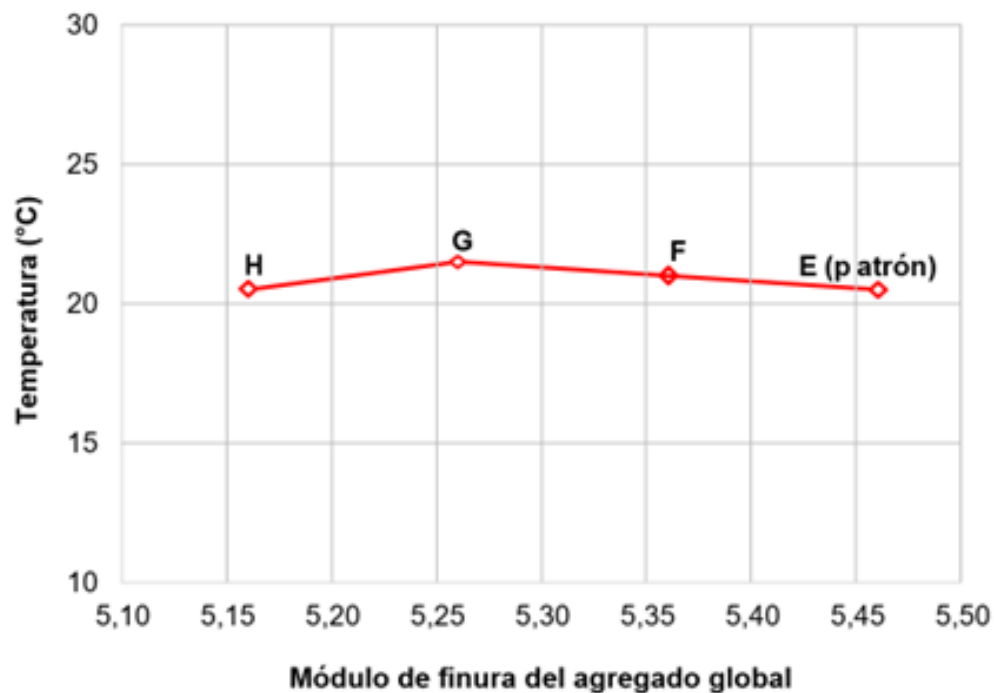


Nota. E: Diseño del concreto patrón de 21 MPa. F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

- Temperatura

En la Figura 10 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa. En dicha figura, en el diseño E, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una temperatura de 20.5°C y un $\text{MFG}_2 = 5.46$. En el diseño F, cuando disminuye el $\text{MFG}_2 - 0.10 = 5.36$, la temperatura aumenta a 21.0°C . En el diseño G, cuando disminuye el $\text{MFG}_2 - 0.20 = 5.26$, la temperatura aumenta a 21.5°C . En el diseño H, cuando disminuye el $\text{MFG}_2 - 0.30 = 5.16$, la temperatura disminuye a 20.5°C . En conclusión, se observa que la temperatura no muestra una importante variación cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 10. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto

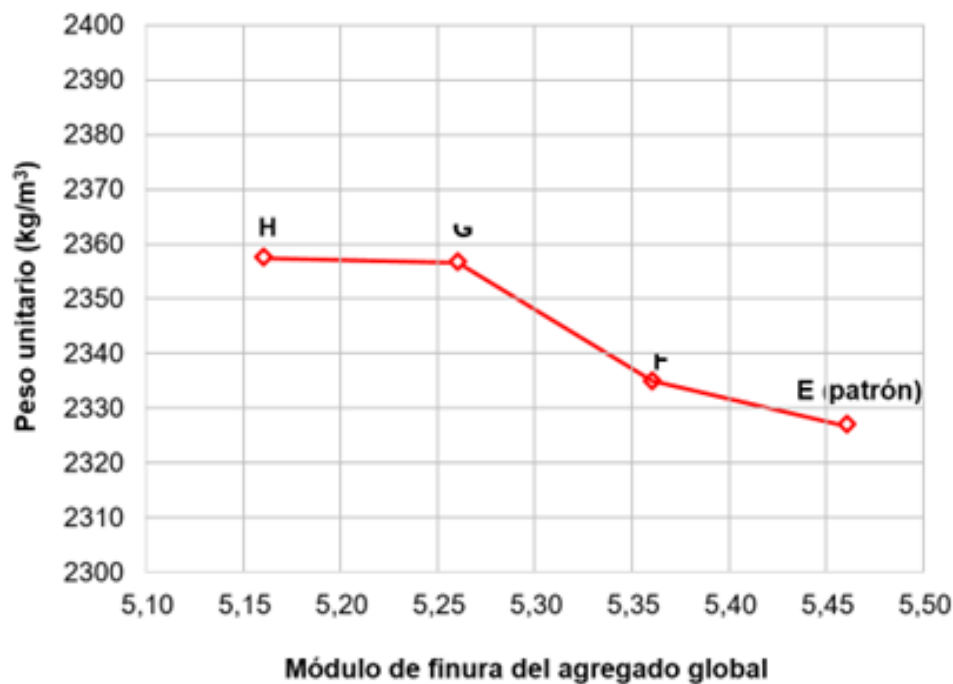


Nota. E: Diseño del concreto patrón de 21 MPa. F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

- **Peso unitario**

En la Figura 11 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa. En dicha figura, en el diseño E, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un peso unitario de 2326.73 kg/m^3 y un $MFG_2 = 5.46$. En el diseño F, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, el peso unitario incrementa a 2335.01 kg/m^3 . En el diseño G, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, el peso unitario incrementa a 2356.60 kg/m^3 . En el diseño H, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, el peso unitario incrementa a 2357.44 kg/m^3 . En conclusión, se observa un aumento del peso unitario cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 11. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Peso unitario del concreto

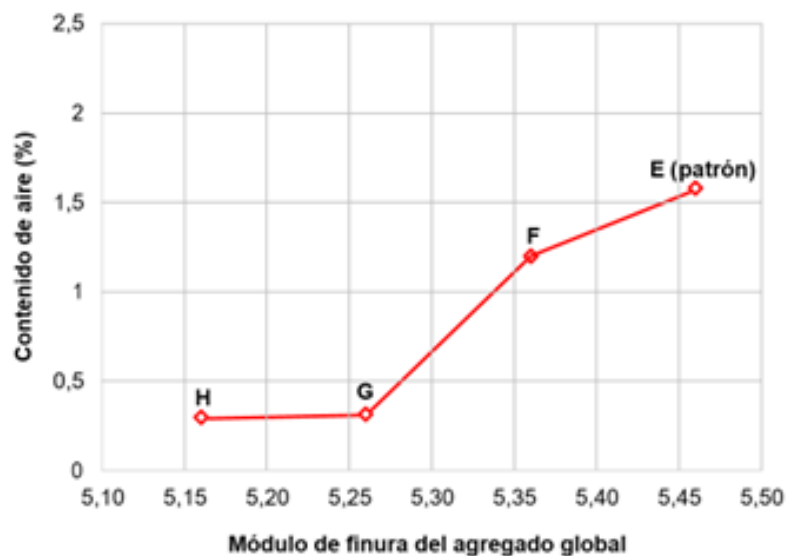


Nota. E: Diseño del concreto patrón de 21 MPa. F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Contenido de aire

En la Figura 12 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa. En dicha figura, en el diseño E, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un contenido de aire de 1.57 % y un $MFG_2 = 5.46$. En el diseño F, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, el contenido de aire se reduce a 1.20 %. En el diseño G, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, el contenido de aire se reduce a 0.31 %. En el diseño H, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, el contenido de aire se reduce a 0.29 %. En conclusión, se observa una reducción del contenido de aire cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 12. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto

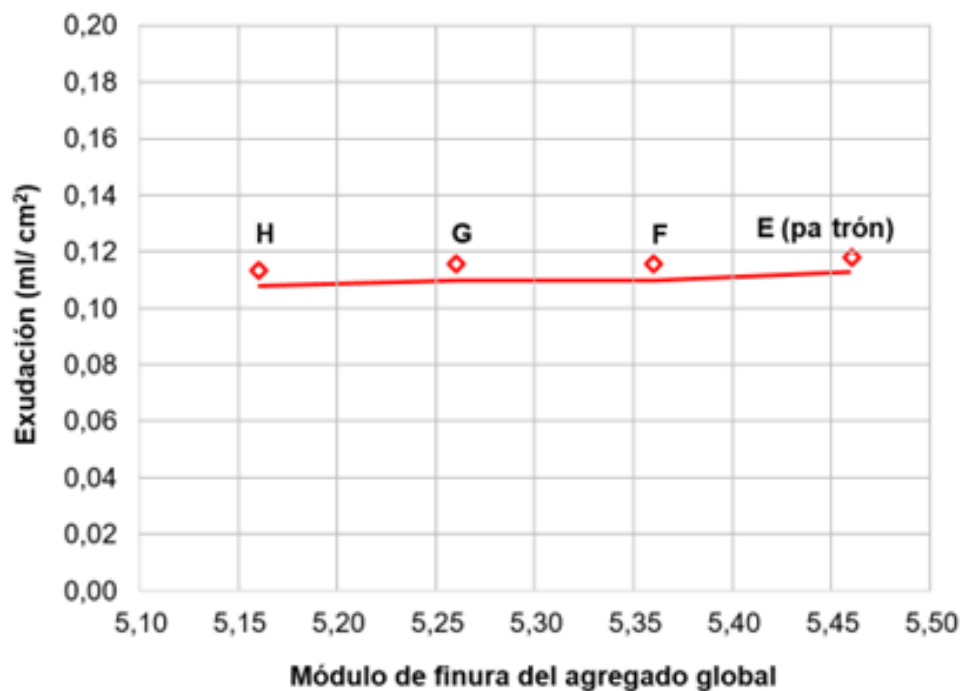


Nota. E: Diseño del concreto patrón de 21 MPa (método del comité 211 del ACI). F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Exudación

En la Figura 13 se comparan los diseños de mezclas para un $f'_c = 21$ MPa. En dicha figura, en el diseño E, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una exudación de 0.118 ml/cm^2 y un $\text{MFG}_2 = 5.46$. En el diseño F, cuando disminuye el $\text{MFG}_2 - 0.10 = 5.36$, la exudación se reduce a 0.115 ml/cm^2 . En el diseño G, cuando disminuye el $\text{MFG}_2 - 0.20 = 5.26$, la exudación no varía y se mantiene en 0.115 ml/cm^2 . En el diseño H, cuando disminuye el $\text{MFG}_2 - 0.30 = 5.16$, la exudación se reduce a 0.113 ml/cm^2 . En conclusión, se observa que la exudación no muestra una importante variación cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 13. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Exudación del concreto

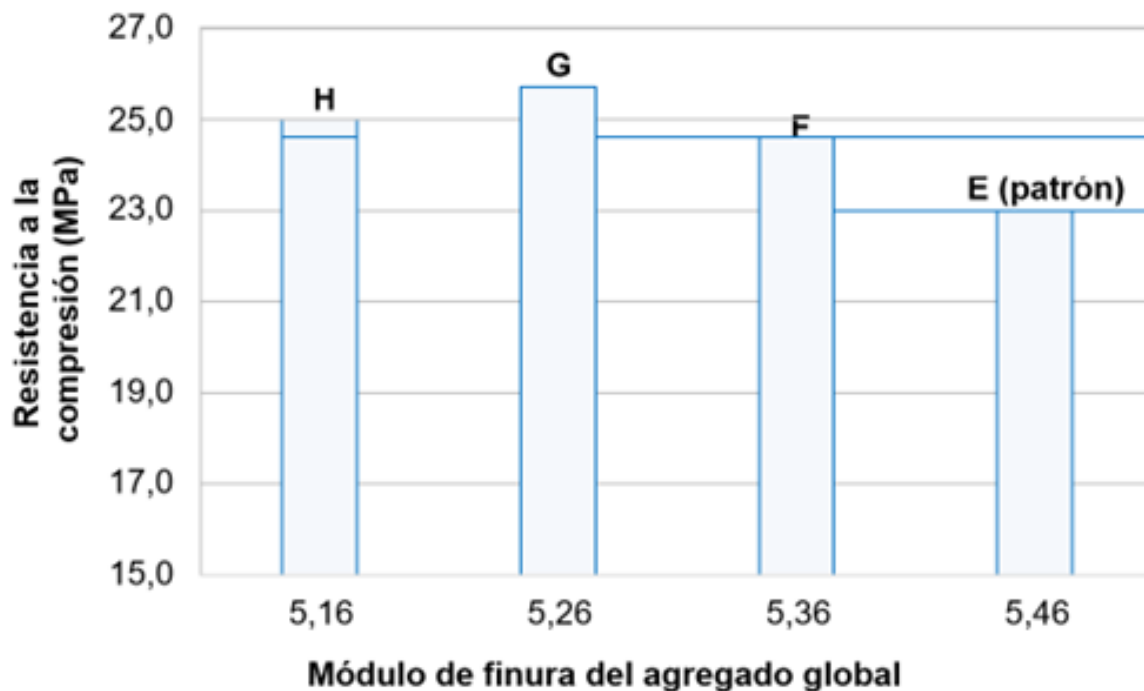


Nota. E: Diseño del concreto patrón de 21 MPa. F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

- Resistencia a la compresión

En la Figura 14 se comparan los diseños de mezclas para un $f'_c = 21$ MPa. En dicha figura, en el diseño E, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una resistencia a la compresión de 22.8 MPa (232 kg/cm²) y un $MFG_2 = 5.46$. En el diseño F, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, la resistencia a la compresión incrementa a 24.5 MPa (250 kg/cm²). En el diseño G, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, la resistencia a la compresión incrementa a 25.7 MPa (262 kg/cm²). En el diseño H, cuando disminuye el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, la resistencia a la compresión incrementa a 24.7 MPa (252 kg/cm²). En conclusión, se observa que el incremento de la resistencia a la compresión es favorecido por el módulo de finura del agregado global.

Figura 14. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Resistencia a la compresión del concreto



Nota. E: Diseño del concreto patrón de 21 MPa. F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

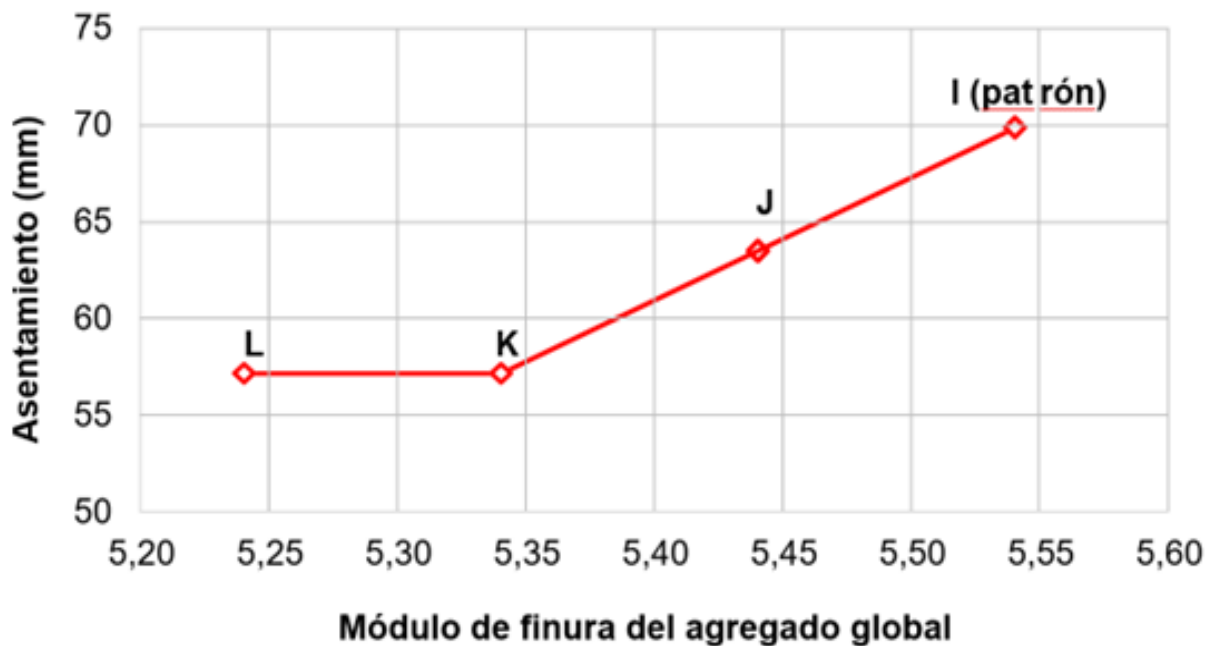
a. Propiedades del concreto de 28 MPa

Las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco determinados para los diseños de mezclas de 28 MPa se describen a continuación:

- Consistencia

En la Figura 15 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 28$ MPa. En dicha figura, en el diseño I, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un asentamiento de 69.85 mm (2.75") y un $MFG_3 = 5.54$. En el diseño J, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.10 = 5.44$, el asentamiento disminuye a 63.50 mm (2.50"). En el diseño K, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.20 = 5.34$, el asentamiento disminuye a 57.15 mm (2.25"). En el diseño L, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.30 = 5.24$, el asentamiento no varía y se mantiene en 57.15 mm (2.25"). En conclusión, se observa que el asentamiento disminuye cuando el valor del módulo de finura del agregado global también disminuye.

Figura 15. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Asentamiento del concreto

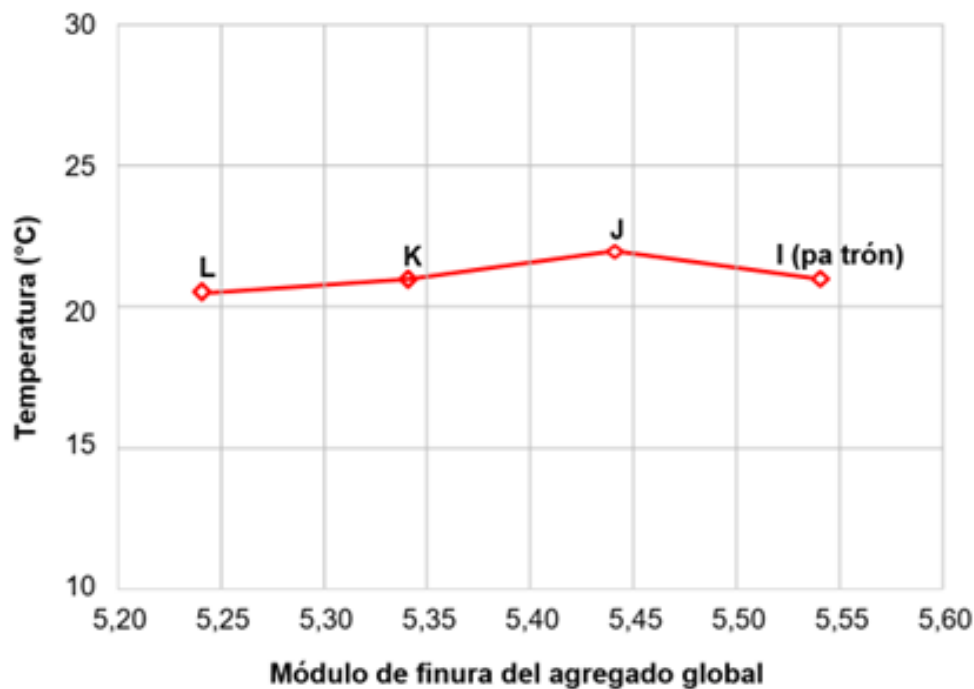


Nota. I: Diseño del concreto patrón de 28 MPa. J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

- Temperatura

En la Figura 16 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 28$ MPa. En dicha figura, en el diseño I, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una temperatura de 21.0°C y un $\text{MFG}_3 = 5.54$. En el diseño J, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.10 = 5.44$, la temperatura se aumenta a 22.0°C . En el diseño K, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.20 = 5.34$, la temperatura disminuye a 21.0°C . En el diseño L, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.30 = 5.24$, la temperatura disminuye a 20.5°C . En conclusión, se observa que la temperatura no muestra una importante variación cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 16. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto

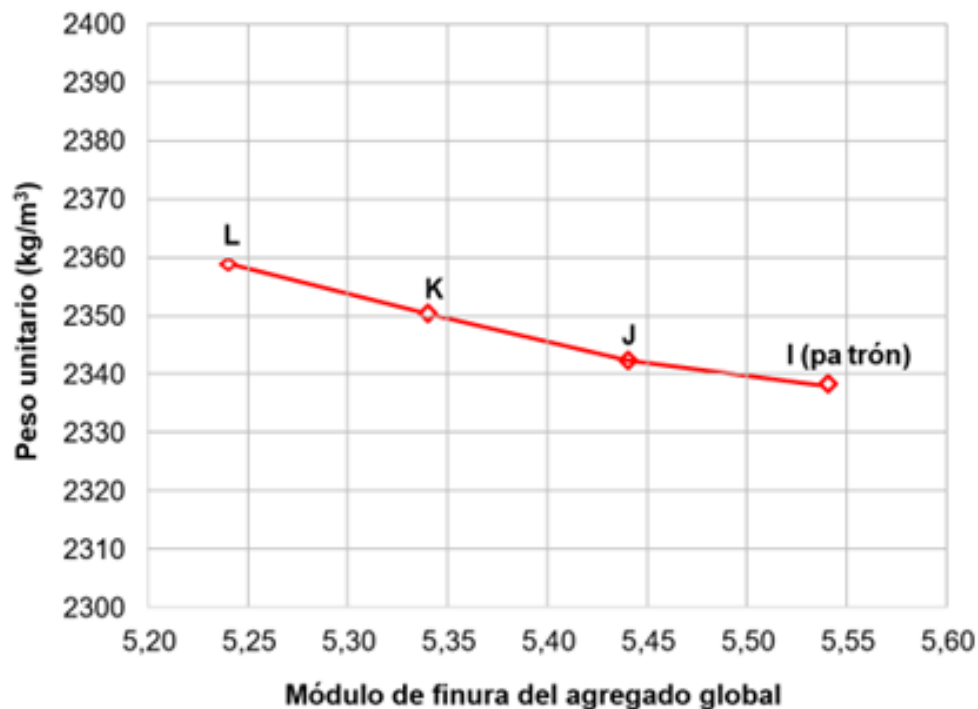


Nota. I: Diseño del concreto patrón de 28 MPa (método del comité 211 del ACI). J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

- **Peso unitario**

En la Figura 17 se comparan los diseños de mezclas para un $f'_c = 28$ MPa. En dicha figura, en el diseño I, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un peso unitario de 2338.05 kg/m^3 y un $\text{MFG}_3 = 5.54$. En el diseño J, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.10 = 5.44$, el peso unitario incrementa a 2342.45 kg/m^3 . En el diseño K, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.20 = 5.34$, el peso unitario incrementa a 2350.42 kg/m^3 . En el diseño L, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.30 = 5.24$, el peso unitario incrementa a 2359.01 kg/m^3 . En conclusión, se observa que el peso unitario incrementa cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 17. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Peso unitario del concreto

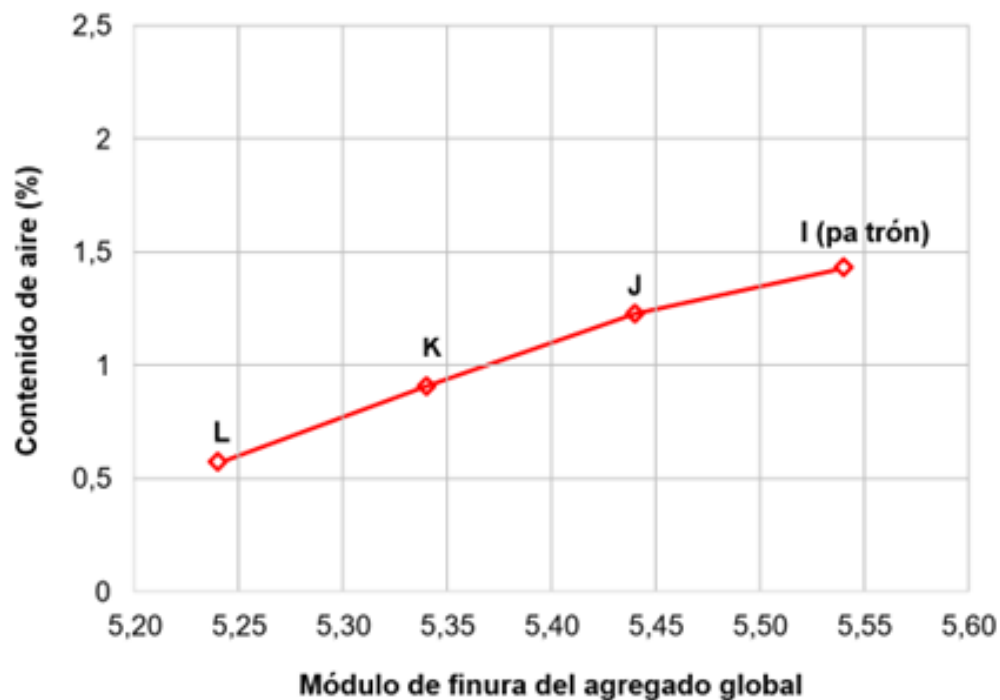


Nota. I: Diseño del concreto patrón de 28 MPa (método del comité 211 del ACI). J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

- Contenido de aire

En la Figura 18 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 28$ MPa. En dicha figura, en el diseño I, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene un contenido de aire de 1.43 % y un $MFG_3 = 5.54$. En el diseño J, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.10 = 5.44$, el contenido de aire se reduce a 1.23 %. En el diseño K, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.20 = 5.34$, el contenido de aire se reduce a 0.91 %. En el diseño L, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.30 = 5.24$, el contenido de aire se reduce a 0.57 %. En conclusión, se observa que el contenido de aire disminuye cuando el módulo de finura del agregado global también disminuye.

Figura 18. *Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto*

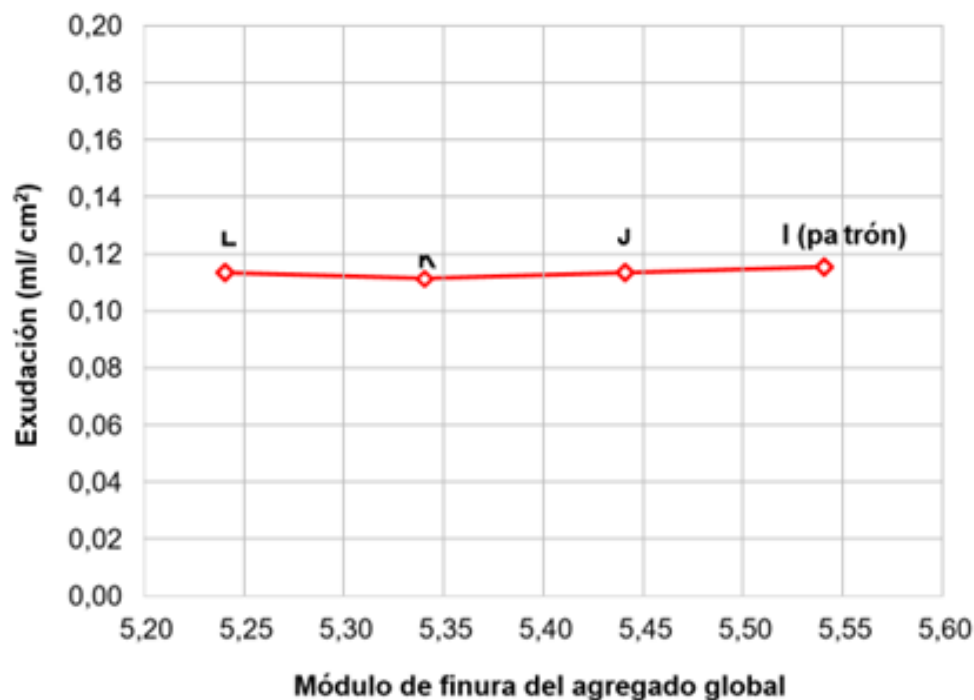


Nota. I: Diseño del concreto patrón de 28 MPa. J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

• Exudación

En la Figura 19 se comparan los diseños de mezclas para un $f'c = 28$ MPa. En dicha figura, en el diseño I, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una exudación de 0.115 ml/cm^2 y un $\text{MFG}_3 = 5.54$. En el diseño J, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.10 = 5.44$, la exudación se reduce a 0.113 ml/cm^2 . En el diseño K, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.20 = 5.34$, la exudación se reduce a 0.111 ml/cm^2 . En el diseño L, cuando disminuye el $\text{MFG}_3 - 0.30 = 5.24$, la exudación incrementa a 0.113 ml/cm^2 . En conclusión, se observa que la exudación no muestra una importante variación cuando el módulo de finura del agregado global disminuye.

Figura 19. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Exudación del concreto

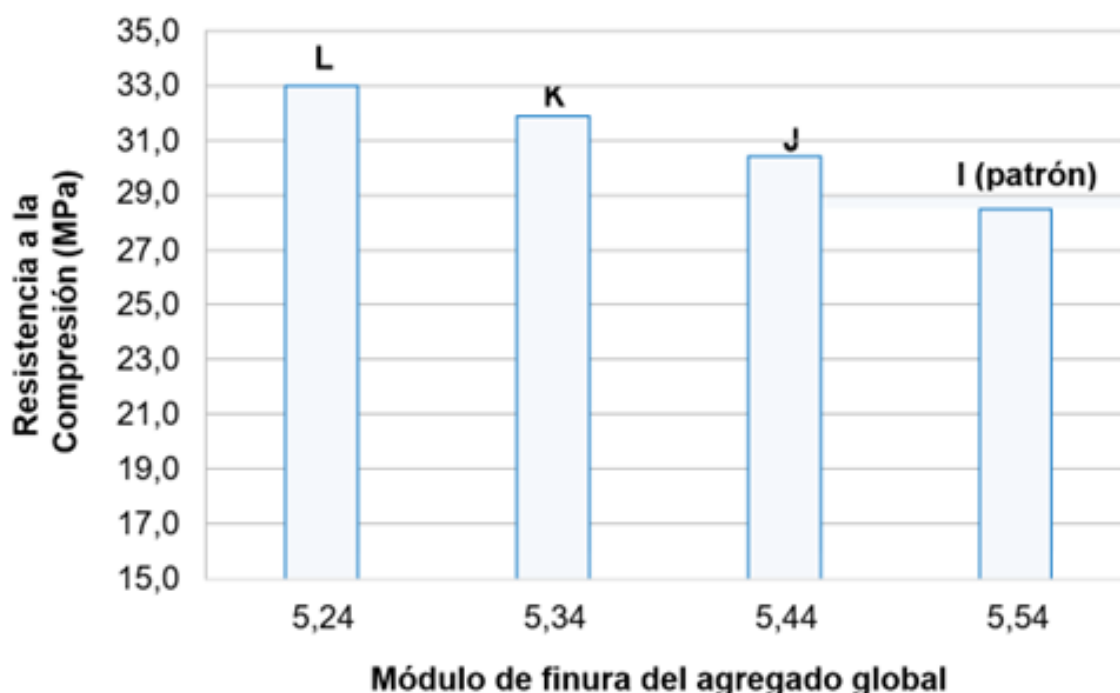


Nota. I: Diseño del concreto patrón de 28 MPa. J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

- Resistencia a la compresión

En la Figura 20 se comparan los diseños de mezclas para un $f'_c = 28$ MPa. En dicha figura, en el diseño I, se muestra que el diseño de mezclas del concreto patrón tiene una resistencia a la compresión de 28.5 MPa (290 kg/cm²) y un $MFG_3 = 5.54$. En el diseño J, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.10 = 5.44$, la resistencia a la compresión incrementa a 30.4 MPa (310 kg/cm²). En el diseño K, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.20 = 5.34$, la resistencia a la compresión incrementa a 31.9 MPa (325 kg/cm²). En el diseño L, cuando disminuye el $MFG_3 - 0.30 = 5.24$, la resistencia a la compresión incrementa a 33.2 MPa (338 kg/cm²). En conclusión, se observa que el incremento de la resistencia a la compresión del concreto patrón es favorecido por la disminución del módulo de finura del agregado global.

Figura 20. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Resistencia a la compresión del concreto



Nota. I: Diseño del concreto patrón de 28 MPa. J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global

1. Determinación de la incidencia del MFG en las propiedades del concreto

a. Incidencia de la variación del MFG en la consistencia

La incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global fue determinada en la consistencia de la mezcla de concreto partiendo de los resultados mostrados en la Tabla 29.

Respecto al concreto de $f'_c = 17$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la consistencia de la mezcla es incidiada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), por lo que el valor inicial se reduce en 8.33 %.
- Cuando se disminuye dos décimas, la consistencia de la mezcla es incidiada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), por lo que el valor inicial se reduce en 16.67 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la consistencia de la mezcla es incidi-
da por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=$
17 MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), por lo que el valor inicial se reduce en 20.83 %.

Respecto al concreto de $f'c= 21$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la consistencia de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=$
21 MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), por lo que el valor inicial se reduce en 9.09 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, la consistencia de la mezcla es in-
cidida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=$
21 MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), por lo que el valor inicial se reduce en 13.63 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la consistencia de la mezcla es in-
cidida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=$
21 MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), por lo que el valor inicial se reduce en 18.18 %.

Respecto al concreto de $f'c= 28$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la consistencia de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=$
28 MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), por lo que el valor inicial se reduce en 9.09 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, la consistencia de la mezcla es in-
cidida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=$
28 MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), por lo que el valor inicial se reduce en 18.18 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la consistencia de la mezcla es in-
cidida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=$
28 MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), por lo que el valor inicial se reduce en 18.18 %.

b. Incidencia de la variación del MFG en la temperatura

La incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global fue determinada en la temperatura de la mezcla de concreto realizada en los ensayos.

Respecto al concreto de $f'c = 17$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la temperatura de la mezcla es incidi-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c =$
17 MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), por lo que el valor inicial se reduce en 2.44 %.
- Cuando se disminuye dos décimas, la temperatura de la mezcla es in-
cidida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c =$
17 MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), por lo que el valor inicial se reduce en 2.44 %.
- Cuando se disminuye tres décimas, la temperatura de la mezcla es in-
cidida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c =$
17 MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), por lo que el valor inicial se reduce en 4.88 %.

Respecto al concreto de $f'c = 21$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la temperatura de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c =$
21 MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), por lo que el valor inicial se reduce en 2.44 %.
- Cuando se disminuye dos décimas, la temperatura de la mezcla es in-
cidida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c =$
21 MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), por lo que el valor inicial se reduce en 4.88 %.
- Cuando se disminuye tres décimas, la temperatura de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$
MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), por lo que se mantiene el valor inicial.

Respecto al concreto de $f'c = 28$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la temperatura de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c =$
28 MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), por lo que el valor inicial se reduce en 4.76 %.
- Cuando se disminuye dos décimas, la temperatura de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$
MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), por lo que se mantiene el valor inicial.

- Cuando se disminuye tres décimas, la temperatura de la mezcla es incida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), por lo que el valor inicial se reduce en 2.38 %.

c. Incidencia de la variación del MFG en el peso unitario

La incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global fue determinada en el peso unitario de la mezcla de concreto.

Respecto al concreto de $f'c=17$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, el peso unitario de la mezcla es incido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), por lo que el valor inicial incrementa en 0.67 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, el peso unitario de la mezcla es incido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), por lo que el valor inicial incrementa en 1.53 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, el peso unitario de la mezcla es incido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), por lo que el valor inicial incrementa en 1.71 %.

Respecto al concreto de $f'c=21$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, el peso unitario de la mezcla es incido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), por lo que el valor inicial incrementa en 0.36 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, el peso unitario de la mezcla es incido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), por lo que el valor inicial incrementa en 1.28 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, el peso unitario de la mezcla es incido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), por lo que el valor inicial incrementa en 1.32 %.

Respecto al concreto de $f'c = 28$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, el peso unitario de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), por lo que el valor inicial incrementa en 0.19 %.
- Cuando se disminuye dos décimas, el peso unitario de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), por lo que el valor inicial incrementa en 0.53 %.
- Cuando se disminuye tres décimas, el peso unitario de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), por lo que el valor inicial incrementa en 0.90 %.

d. Incidencia de la variación del MFG en el contenido de aire

La incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global fue determinada en el contenido de aire de la mezcla de concreto a partir de los ensayos.

Respecto al concreto de $f'c = 17$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), por lo que el valor inicial se reduce en 31.46 %.
- Cuando se disminuye dos décimas, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), por lo que el valor inicial se reduce en 69.95 %.
- Cuando se disminuye tres décimas, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), por lo que el valor inicial se reduce en 77.46 %.

Respecto al concreto de $f'c = 21$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), por lo que el valor inicial se reduce en 23.57 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), por lo que el valor inicial se reduce en 80.25 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), por lo que el valor inicial se reduce en 81.53 %.

Respecto al concreto de $f'c = 28$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), por lo que el valor inicial se reduce en 13.99 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), por lo que el valor inicial se reduce en 36.36 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, el contenido de aire de la mezcla es incidido por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), por lo que el valor inicial se reduce en 60.14 %.

e. Incidencia de la variación del MFG en la exudación

La incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global fue determinada en la exudación de la mezcla de concreto a partir de los ensayos.

Respecto al concreto de $f'c = 17$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la exudación de la mezcla es incidi-
da por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), por lo que el valor inicial se reduce en 1.77 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, la exudación de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), por lo que el valor inicial se reduce en 1.77 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la exudación de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), por lo que el valor inicial incrementa en 1.77 %.

Respecto al concreto de $f'c = 21$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la exudación de la mezcla es incidi-
da por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), por lo que el valor inicial se reduce en 2.54 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, la exudación de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), por lo que el valor inicial se reduce en 2.54 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la exudación de la mezcla es inci-
dida por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), por lo que el valor inicial se reduce en 4.24 %.

Respecto al concreto de $f'c = 28$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la exudación de la mezcla es incidi-
da por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.42$), por lo que el valor inicial se reduce en 2.54 %.

por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), por lo que el valor inicial se reduce en 1.74 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, la exudación de la mezcla es iniciada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), por lo que el valor inicial se reduce en 3.48 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la exudación de la mezcla es iniciada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), por lo que el valor inicial se reduce en 1.74 %.

f. Incidencia de la variación del MFG en la resistencia a la compresión

La incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global fue determinada en la resistencia a la compresión del concreto a partir de los ensayos.

Respecto al concreto de $f'_c = 17$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la resistencia a la compresión es iniciada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), por lo que el valor inicial incrementa en 7.47 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, la resistencia a la compresión es iniciada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), por lo que el valor inicial incrementa en 15.52 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la resistencia a la compresión es iniciada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), por lo que el valor inicial incrementa en 9.77 %.

Respecto al concreto de $f'_c = 21$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la resistencia a la compresión es iniciada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de

$f'_c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), por lo que el valor inicial incrementa en 7.46 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, la resistencia a la compresión es incitada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), por lo que el valor inicial incrementa en 12.72 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la resistencia a la compresión es incitada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), por lo que el valor inicial incrementa en 8.33 %.

Respecto al concreto de $f'_c = 28$ MPa, se deduce lo siguiente:

- Cuando se disminuye una décima, la resistencia a la compresión es incitada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), por lo que el valor inicial incrementa en 6.67 %.

- Cuando se disminuye dos décimas, la resistencia a la compresión es incitada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), por lo que el valor inicial incrementa en 11.93 %.

- Cuando se disminuye tres décimas, la resistencia a la compresión es incitada por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), por lo que el valor inicial incrementa en 16.49 %.

Prueba de hipótesis

Para la consistencia de la mezcla de concreto

En la Tabla 30 se detalla la prueba de hipótesis ANOVA de un factor para la consistencia de la mezcla de concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa

Tabla 30. *Prueba de hipótesis de la consistencia del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa*

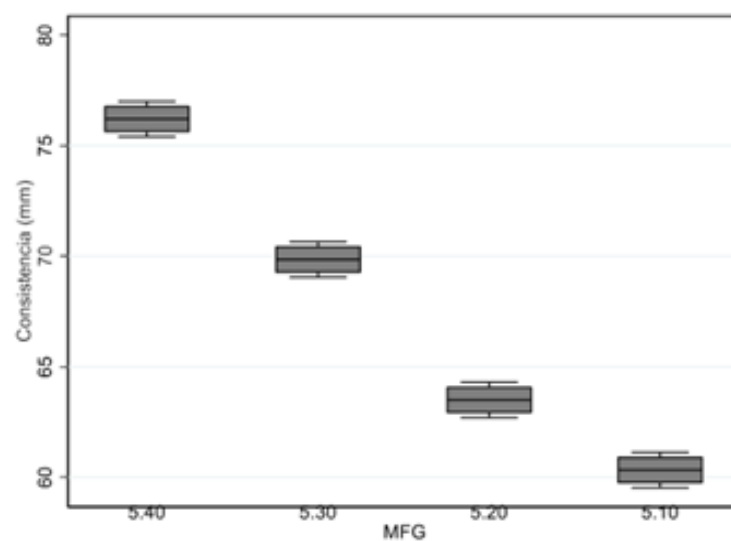
$f'c$	F_0	$p_{\text{-valor}}$	R^2	R^2_{aj}	[95% intervalo de confianza]
17 MPa	640.59	0.0000 ^a	0.9897	0.9882	0.9743111
21 MPa	380.09	0.0000 ^a	0.9828	0.9802	0.9571091
28 MPa	477.96	0.0000 ^a	0.9862	0.9842	0.9657299

Nota. R^2 : Coeficiente de determinación. R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado.
^a: Significativo.

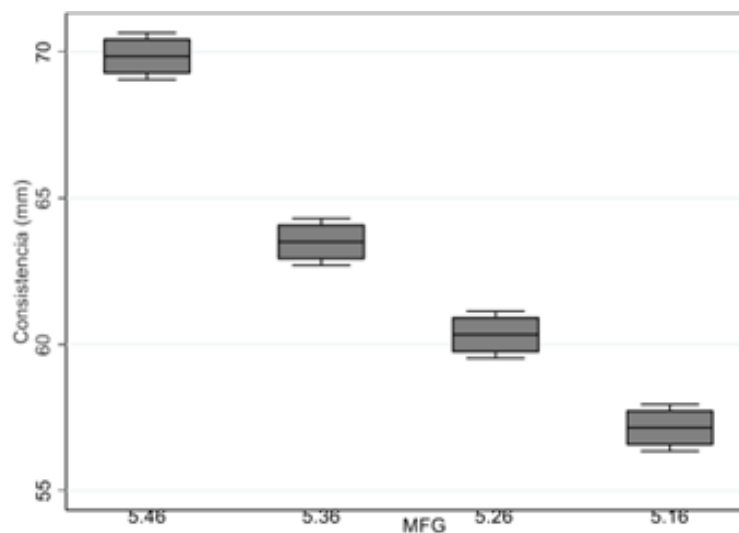
En la Tabla 30 se observa que hay una significancia de $p\text{-valor} < \alpha = 0.05$. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa; es decir, la consistencia del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa es modificada por la variación del módulo de finura del agregado global.

Para reafirmar la hipótesis alternativa se utiliza la prueba Tukey, que es un método utilizado para comparar pares de medias de los tratamientos. En la Figura 21 se presenta el diagrama de caja, en el cual se comparan los tratamientos de la consistencia del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa .

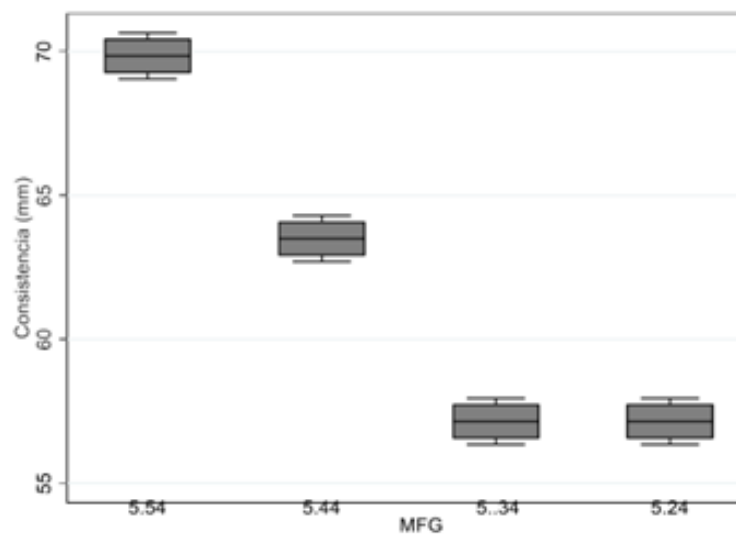
Figura 21. Comparación de la consistencia del concreto por tratamiento



(a)



(b)



(c)

Nota. (a) 17 MPa, (b) 21 MPa, (c) 28 MPa

Después de aplicar la prueba de Tukey, se reafirma la aceptación de la hipótesis alternativa y el rechazo de la hipótesis nula. Dicho de otro modo, la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa es incidida significativamente por la variación del módulo de finura del agregado global.

Para la temperatura de la mezcla de concreto

En la Tabla 31 se detalla la prueba de hipótesis ANOVA de un factor para la temperatura de la mezcla de concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Tabla 31. Prueba de hipótesis de la temperatura del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa

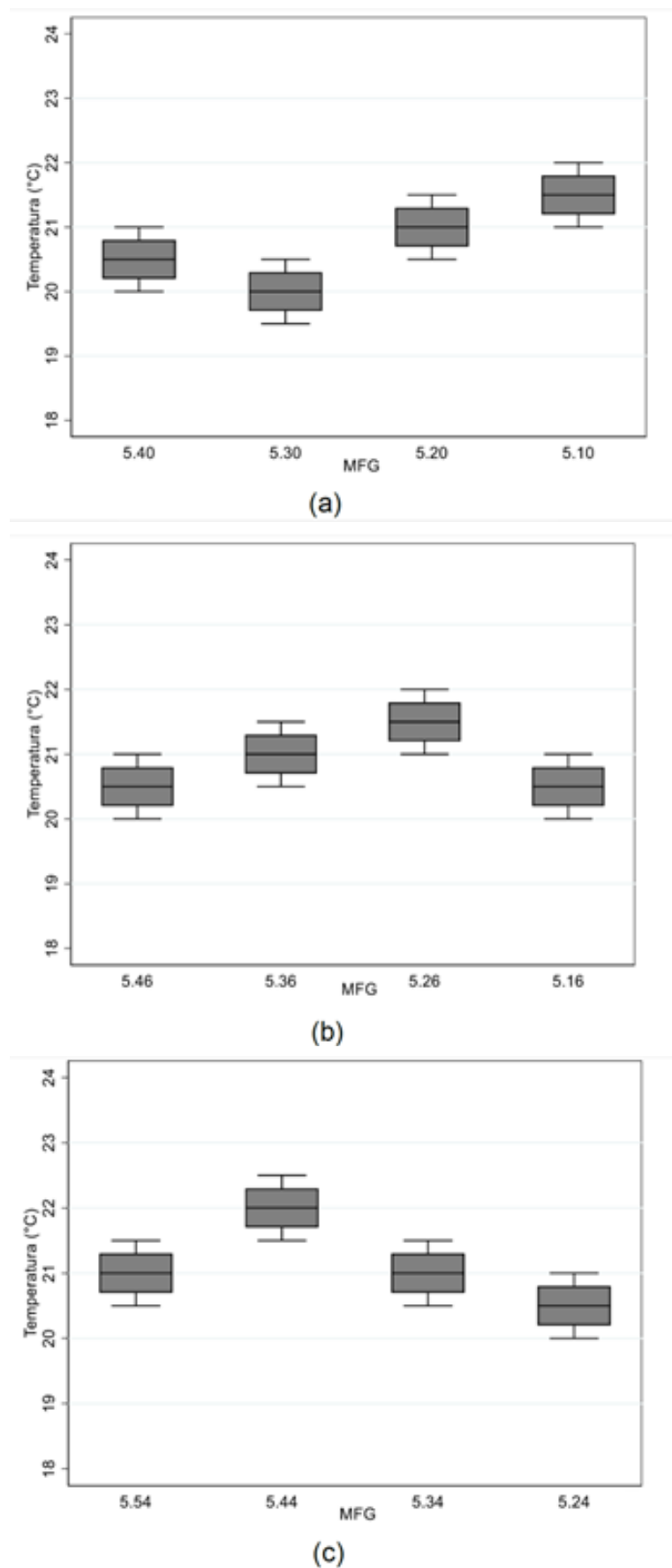
$f'c$	F_0	p_{-valor}	R^2	R^2_{aj}	[95 % intervalo de confianza]	
17 MPa	17.86	0.09487	0.7282	0.6874	0.4098886	0.8113562
21 MPa	9.82	0.08723	0.5957	0.5350	0.2074773	0.7183090
28 MPa	16.96	0.09521	0.7179	0.6756	0.3920208	0.8042194

Nota. R^2 : Coeficiente de determinación. R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado.

En la Tabla 31 se observa que hay una significancia de $p\text{-valor} < \alpha = 0.05$. Por tanto, se rechaza la hipótesis alternativa y se acepta la hipótesis nula; es decir, la exudación del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa no es modificada por la variación del módulo de finura del agregado global.

Debido a que la prueba de hipótesis ANOVA resultó no significativa no se precisó aplicar la prueba de Tukey. En la Figura 22 se presenta el diagrama de caja, en el cual se comparan los tratamientos de la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa; además, se aprecia que los tratamientos no varían y son casi constantes.

Figura 22. Comparación de la temperatura del concreto por tratamiento



Nota. (a) 17 MPa, (b) 21 MPa, (c) 28 MPa

De este modo, se reafirma la aceptación de la hipótesis nula y el rechazo de la hipótesis alternativa. Dicho de otro modo, la temperatura del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa no es incidida por la variación del módulo de finura del agregado global. Cabe precisar que las variaciones de los resultados de la exudación pueden ser consecuencia de los errores en la medición, pero no del tratamiento aplicado.

Para el peso unitario de la mezcla de concreto

En la Tabla 32 se detalla la prueba de hipótesis ANOVA de un factor para el peso unitario de la mezcla de concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Tabla 32. Prueba de hipótesis del peso unitario del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa

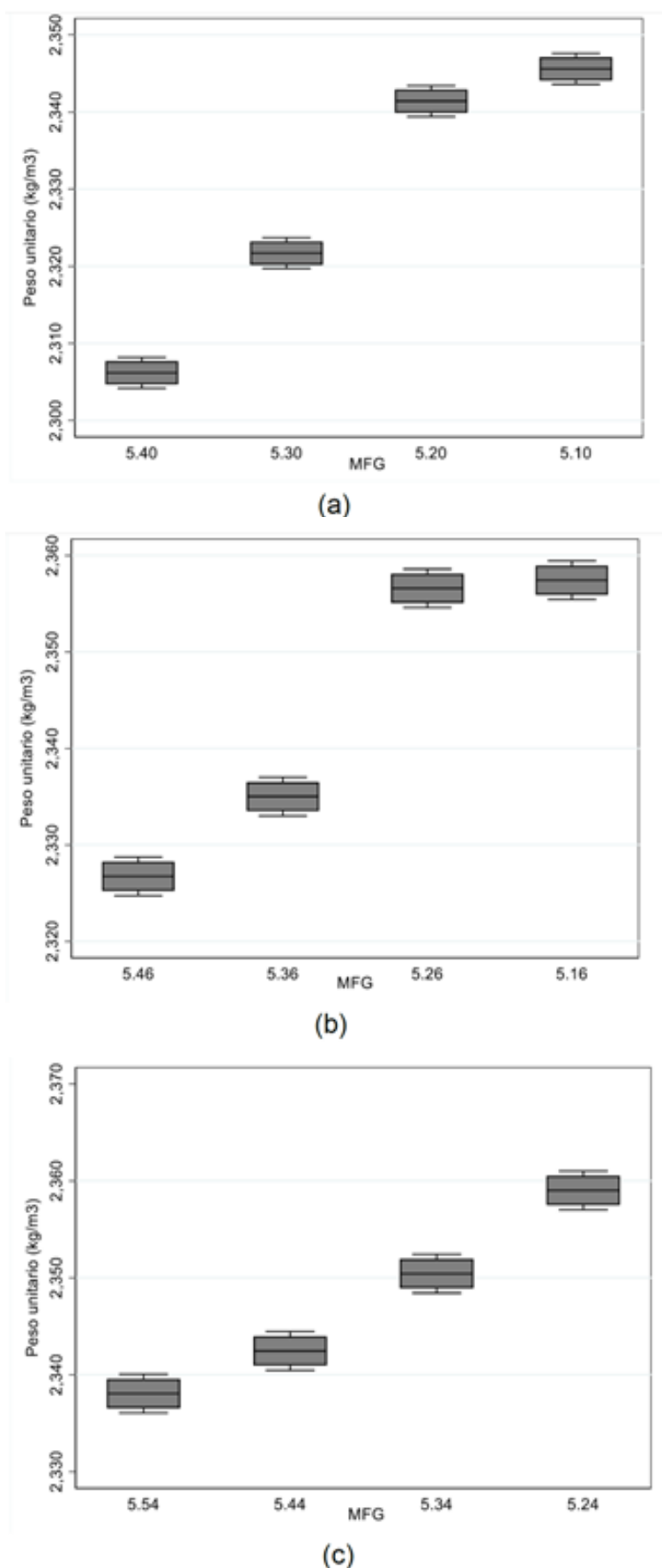
$f'c$	F_0	p_{-valor}	R^2	R^2_{aj}	[95 % intervalo de confianza]	
17 MPa	691.76	0.0000 ^a	0.9905	0.9890	0.976187	0.993301
21 MPa	495.49	0.0000 ^a	0.9867	0.9847	0.966920	0.990685
28 MPa	176.42	0.0000 ^a	0.9636	0.9581	0.910019	0.974501

Nota. R^2 : Coeficiente de determinación. R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado.
a: Significativo.

En la Tabla 32 se observa que hay una significancia de $p\text{-valor} < \alpha = 0.05$. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa; es decir, la consistencia el peso unitario del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa es modificado por la variación del módulo de finura del agregado global.

Para reafirmar la hipótesis alternativa se utiliza la prueba Tukey, que es un método utilizado para comparar pares de medias de los tratamientos. En la Figura 23 se presenta el diagrama de caja, en el cual se comparan los tratamientos de la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Figura 23. Comparación del peso unitario del concreto por tratamiento



Nota. (a) 17 MPa, (b) 21 MPa, (c) 28 MPa

Después de aplicar la prueba de Tukey, se reafirma la aceptación de la hipótesis alternativa y el rechazo de la hipótesis nula. Dicho de otro modo, el peso unitario del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa es incidido de forma significativa por la variación del módulo de finura del agregado global.

Para el contenido de aire de la mezcla de concreto

En la Tabla 33 se detalla la prueba de hipótesis ANOVA de un factor para el contenido de aire de la mezcla de concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Tabla 33. Prueba de hipótesis del contenido de aire del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa

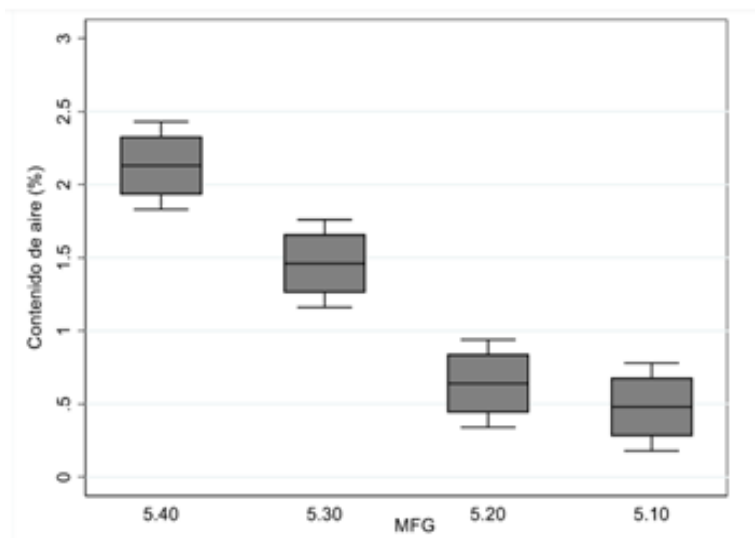
$f'c$	F_0	$p_{\text{-valor}}$	R^2	R^2_{aj}	[95 % intervalo de confianza]	
17 MPa	62.95	0.0000 ^a	0.9042	0.8899	0.769244	0.933204
21 MPa	67.18	0.0000 ^a	0.9097	0.8962	0.781919	0.937014
28 MPa	36.11	0.0000 ^a	0.8441	0.8208	0.635940	0.891614

Nota. R^2 : Coeficiente de determinación. R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado. a: Significativo.

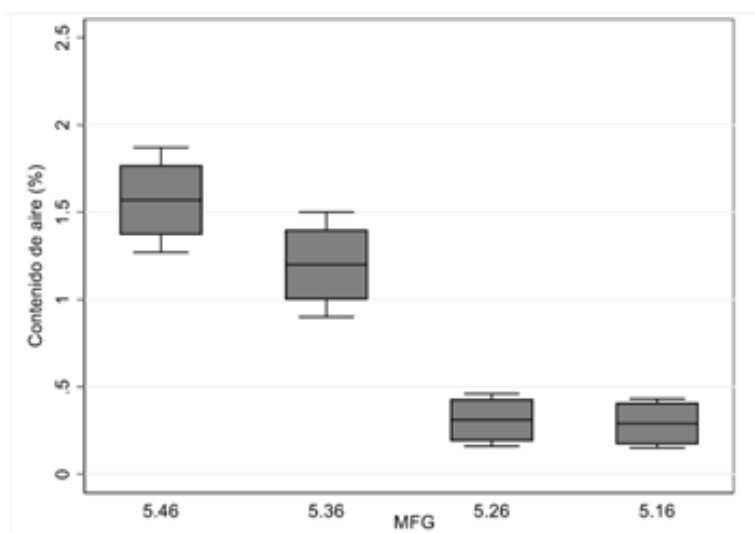
En la Tabla 33 se observa que hay una significancia de $p\text{-valor} < \alpha = 0.05$. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa; es decir, el contenido de aire del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa es modificado por la variación del módulo de finura del agregado global.

Para reafirmar la hipótesis alternativa se utiliza la prueba Tukey, que es un método utilizado para comparar pares de medias de los tratamientos. En la Figura 24 se presenta el diagrama de caja, en el cual se comparan los tratamientos de la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

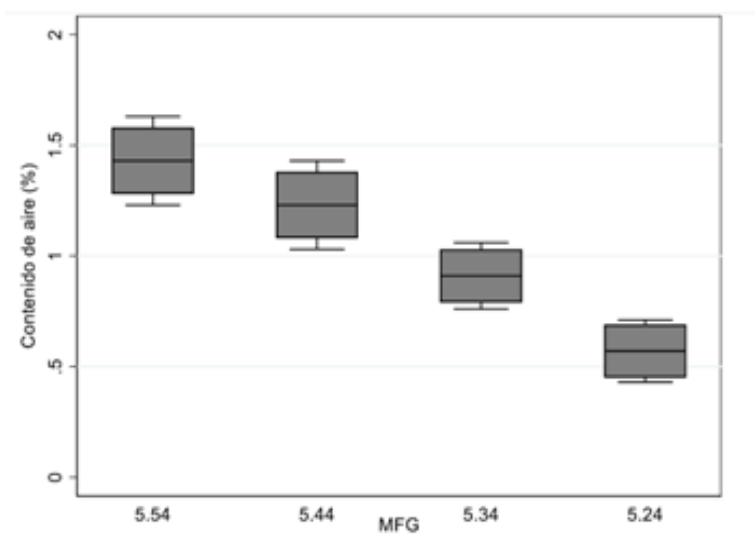
Figura 24. Comparación del contenido de aire del concreto por tratamiento



(a)



(b)



(c)

Nota. (a) 17 MPa, (b) 21 MPa, (c) 28 MPa

Después de aplicar la prueba de Tukey se reafirma la aceptación de la hipótesis alternativa y el rechazo de la hipótesis nula. Dicho de otro modo, el contenido de aire del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa es incidido de forma significativa por la variación del módulo de finura del agregado global.

Para la exudación de la mezcla de concreto

En la Tabla 34 se detalla la prueba de hipótesis ANOVA de un factor para la exudación de la mezcla de concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Tabla 34. Prueba de hipótesis de la exudación del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa

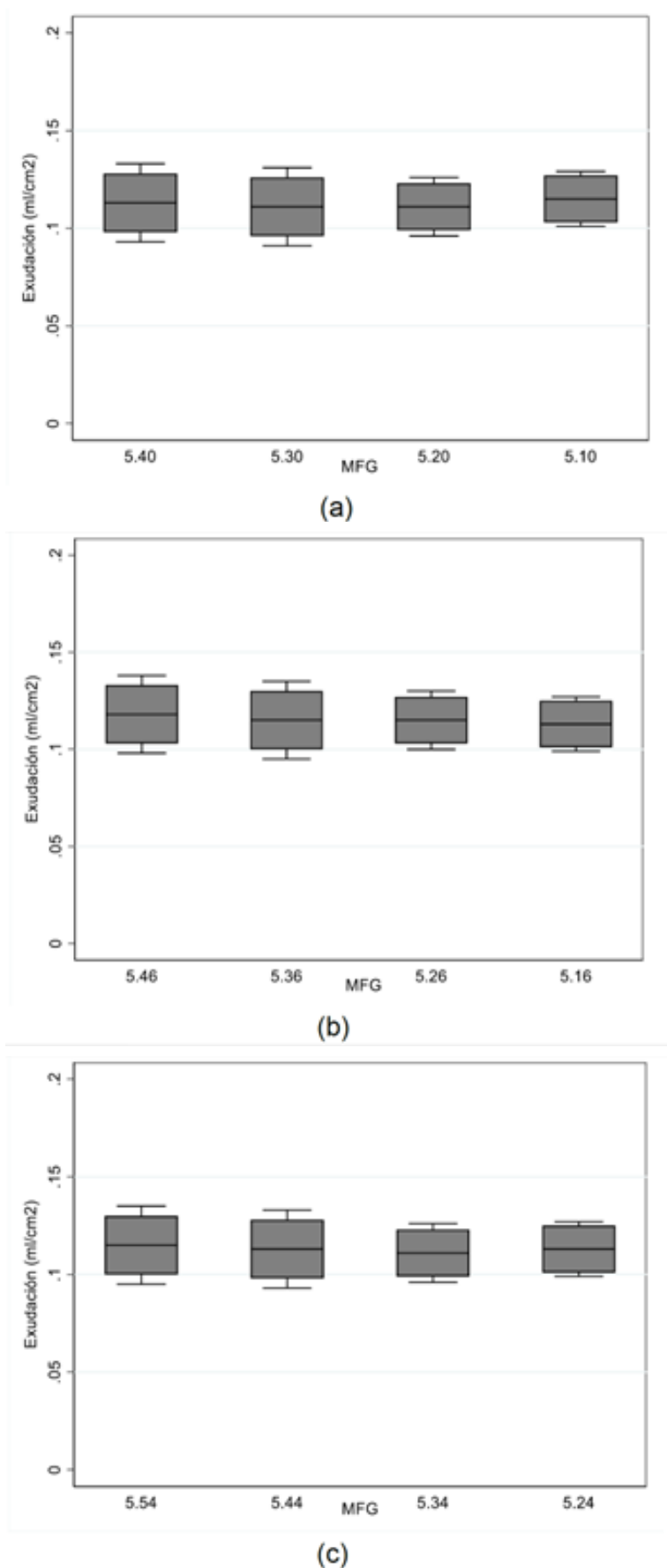
$f'c$	F_0	p_{-valor}	R^2	R^2_{aj}	[95 % intervalo de confianza]	
17 MPa	0.09	0.9629	0.0138	-0.1341	0.000	0.033913
21 MPa	0.11	0.9544	0.0160	-0.1317	0.000	0.051238
28 MPa	0.07	0.9764	0.0101	-0.1384	0.000	0.010071

Nota. R^2 : Coeficiente de determinación. R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado.
a: Significativo.

En la Tabla 34 se observa que hay una significancia de $p\text{-valor} < \alpha = 0.05$. Por tanto, se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa; es decir, la exudación del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa no es modificada por la variación del módulo de finura del agregado global.

Debido a que la prueba de hipótesis ANOVA resultó no significativa no se precisó aplicar la prueba de Tukey. En la Figura 25 se presenta el diagrama de caja, en el cual se comparan los tratamientos de la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa; además, se aprecia que los tratamientos no varían y son casi constantes.

Figura 25. Comparación de la exudación del concreto por tratamiento



Nota. (a) 17 MPa, (b) 21 MPa, (c) 28 MPa

De este modo, se reafirma la aceptación de la hipótesis nula y el rechazo de la hipótesis alternativa. Dicho de otro modo, la exudación del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa no es incidida por la variación del módulo de finura del agregado global. Cabe precisar que las variaciones de los resultados de la exudación pueden ser consecuencia de los errores en la medición, pero no del tratamiento aplicado.

Para la resistencia a la compresión del concreto

En la Tabla 35 se detalla la prueba de hipótesis ANOVA de un factor para la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Tabla 35. *Prueba de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa*

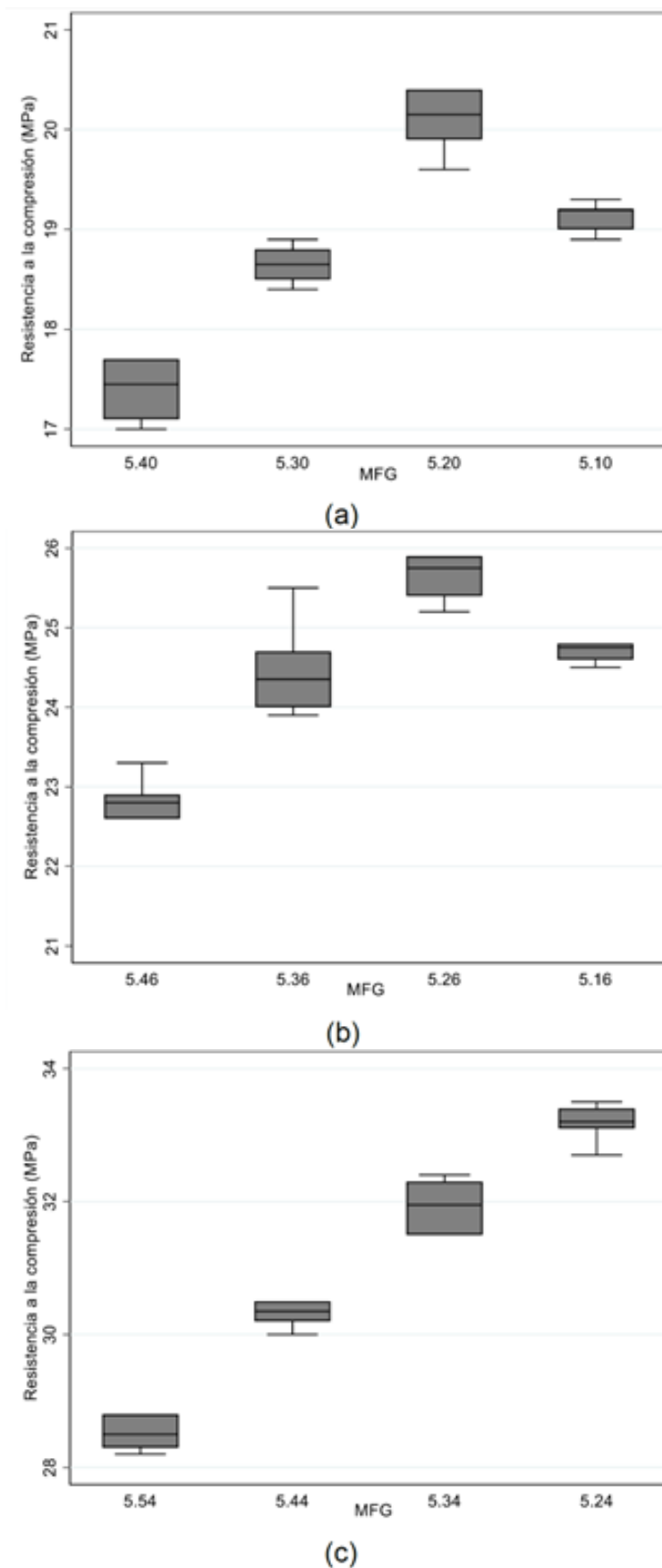
$f'c$	F_0	p_{-valor}	R^2	R^2_{aj}	[95 % intervalo de confianza]	
17 MPa	117.42	0.000 ^a	0.9463	0.9382	0.868131	0.962425
21 MPa	57.18	0.000 ^a	0.8956	0.8799	0.749453	0.927210
28 MPa	208.75	0.000 ^a	0.9691	0.9644	0.923368	0.978319

Nota. R^2 : Coeficiente de determinación. R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado.
a: Significativo.

En la Tabla 35 se observa que hay una significancia de $p\text{-valor} < \alpha = 0.05$. Por tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa; es decir, la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa es modificada por la variación del módulo de finura del agregado global.

Para reafirmar la hipótesis alternativa se utiliza la prueba Tukey, que es un método utilizado para comparar pares de medias de los tratamientos. En la Figura 26 se presenta el diagrama de caja, en el cual se comparan los tratamientos de la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Figura 26. Comparación de la resistencia a la compresión del concreto por tratamiento



Nota. (a) 17 MPa, (b) 21 MPa, (c) 28 MPa

Después de aplicar la prueba de Tukey se reafirma la aceptación de la hipótesis alternativa y el rechazo de la hipótesis nula. Dicho de otro modo, la resistencia a la compresión del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa es incidida de forma significativa por la variación del módulo de finura del agregado global.

Contrastación de hipótesis

Contrastación de hipótesis específicas

a. Al utilizar el método del comité 211 del ACI, el diseño de mezclas asegura que los parámetros establecidos en estado endurecido y fresco sean cumplidos por las propiedades del concreto patrón de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.

La hipótesis sobre la calidad del diseño de mezclas del concreto patrón de $17, 21$ y 28 MPa es aceptada luego de utilizar el método del comité 211 del ACI. Esto se debe a que en los ensayos aplicados para determinar las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco (temperatura, asentamiento, peso unitario, resistencia a la compresión, exudación y contenido de aire) cumplieron con los parámetros establecidos para cada indicador medido en el laboratorio.

b. La variación del módulo de finura del agregado global mejora la consistencia y el peso unitario del concreto fresco de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa, por lo que se cumplen los parámetros establecidos.

La hipótesis sobre la mejora de las propiedades del concreto en estado fresco es aceptada luego de realizar la variación del módulo de finura del agregado global. También se señala que se logró reducir el contenido de aire presente en la mezcla de concreto, pero no se consiguió mejorar el peso unitario y la consistencia. Para determinar las propiedades del concreto en estado fresco, en los ensayos de laboratorio se observó una reducción del contenido de aire y del asentamiento cuando se disminuyó el módulo de finura del agregado global y se incrementó ligeramente el peso unitario al disminuir el módulo de finura del agregado global.

c. La variación del módulo de finura del agregado global mejora la resistencia a la compresión del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa, por lo que se cumplen los parámetros establecidos.

La hipótesis sobre la mejora de la resistencia a la compresión del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa es aceptada luego de la variación del módulo de finura del agregado global. Esto se debe a que, en los ensayos aplicados para determinar las propiedades del concreto en especímenes cilíndricos sometidos a carga a los 28 días de edad y curados en pozas de agua, se observó que el incremento de la resistencia a la compresión del concreto es favorecido por la reducción del módulo de finura del agregado global.

d. La variación del módulo de finura del agregado global mejora la consistencia, el peso unitario y la resistencia a la compresión del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa en comparación al concreto patrón.

La hipótesis es aceptada porque, cuando se realizó un cotejo de las propiedades del concreto patrón y se compararon con los resultados de las mezclas de concreto, se observó la mejora de las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco. Las propiedades mejoradas fueron el peso unitario, el asentamiento, la resistencia a la compresión y el contenido de aire. Así también, se evidenció la disminución del asentamiento y el contenido de aire presente en la mezcla del concreto; el aumento de la resistencia a la compresión y del concreto del peso unitario del concreto al disminuir el valor del módulo de finura del agregado global.

Contrastación de hipótesis general

La variación del módulo de finura del agregado global mejora las propiedades del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.

La hipótesis es aceptada porque se mejoraron las propiedades del concreto: el peso unitario, el asentamiento, la resistencia a la compresión y el contenido de aire. Por tanto, se determinó que la hipótesis planteada es verdadera, real y coherente.

Se precisa que, para aceptar la hipótesis planteada, se realizó un cotejo de las propiedades del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa en comparación con los resultados de las mezclas de concreto a fin de evidenciar la reducción del asentamiento y el contenido de aire presente en la mezcla del concreto; además de un aumento del peso unitario y la resistencia a la compresión del concreto al disminuir el valor del módulo de finura del agregado global.

Por otro lado, se aplicó el método de Tukey y la prueba de hipótesis ANOVA, con los cuales se concluyó que la variación del módulo de finura del agregado global incide de forma significativa en el peso unitario, la consistencia, la resistencia a la compresión y el contenido de aire del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.

Conclusiones

1. La variación del módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa incide de manera significativa en las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco. El tratamiento óptimo para esto es disminuir tres décimas para conseguir una mezcla más consistente y con un menor contenido de aire, a fin de incrementar la resistencia a la compresión y el peso unitario conforme se disminuye el valor del módulo de finura del agregado global, y no se incide en exudación de la mezcla ni en la temperatura.

2. Cuando se disminuye tres décimas, la consistencia de la mezcla es incida de forma significativa por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa, por lo que los valores iniciales de 76.20 mm, 69.85 mm y 69.85 mm se reducen en 20.83 %, 18.18 % y 18.18 %, correspondientemente.

3. Cuando se disminuye tres décimas, el peso unitario de la mezcla es incidido de forma significativa por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa, por lo que los valores iniciales de 2306.18 kg/m³, 2326.73 kg/m³ y 2338.05 kg/m³ incrementan en 1.71 %, 1.32 %, y 0.90 %, correspondientemente.

4. Cuando se disminuye tres décimas, el contenido de aire de la mezcla es incidido de forma significativa por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, por lo que los valores iniciales de 2.13% , 1.57% y 1.43% y 77.46% se reducen en 77.46% , 81.53% y 60.14% , correspondientemente.

5. Cuando se disminuye tres décimas, la resistencia a la compresión es incida de forma significativa por el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, por lo que los valores iniciales de 17.4 MPa, 22.8 MPa y 28.5 MPa incrementan en 15.52% , 12.72% y 16.49% , correspondientemente.

Recomendaciones

1. Se recomienda emplear el método del módulo de finura del agregado global para el diseño de mezclas, a fin de poder analizar el comportamiento de los agregados grueso y fino; con ello, se trata de optimizar las propiedades del concreto en estado endurecido y fresco.

2. Se recomienda realizar más investigaciones sobre el método del módulo de finura del agregado global para establecer parámetros y criterios que permitan que las Normas Técnicas Peruanas puedan ser aplicadas al diseño de mezclas de concreto.

3. Se recomienda continuar con el estudio para verificar otras propiedades, como el módulo de elasticidad y la flexión; además de las ya estudiadas (la temperatura, el asentamiento, el peso unitario, la exudación, el contenido de aire y la resistencia a la compresión).

4. Se recomienda continuar con el estudio para evaluar el comportamiento de la resistencia del concreto respecto al tiempo y ensayar probetas para edades de 7 y 14 días.

CAPÍTULO V

TECNOLOGÍA Y CALIDAD DEL CONCRETO

El concreto es uno de los materiales más importantes en la construcción porque se utiliza como cimiento para soportar el movimiento de las estructuras y el peso de las cargas. Asimismo, su relevancia se debe a que tiene diversas aplicaciones, por ejemplo, puede ser utilizado para construir losas, muros, entrepisos, estructuras decorativas, puentes, entre otras obras. Debido a su importancia, es necesario asegurar la calidad del concreto, y así garantizar que las construcciones no sufran daños químicos, biológicos, físicos o naturales, los cuales suelen ocasionar agrietamientos al adherirse a la superficie de la construcción y, posteriormente, llevar al colapso de la edificación.

En este aspecto, el concreto requiere ser elaborado con materiales de calidad; asimismo, es preciso que los constructores tengan conocimiento sobre las normas técnicas peruanas, pues en estas se detallan los aspectos que se deben considerar para los agregados, el cemento, los aditivos y otros componentes que se utilizan para hacer la mezcla. Si bien las normas y la calidad de los constituyentes del concreto son esenciales para todos los tipos de construcciones, también es importante considerar la tecnología con la cual es posible determinar la resistencia y durabilidad del concreto, y saber si será capaz de resistir a grandes cargas, altas o bajas temperaturas, o a la humedad, que son factores que suelen incrementar el deterioro del concreto y agrietarlo en poco tiempo.

Al considerar la tecnología y los componentes de calidad para la mezcla, se garantiza la obtención de un concreto de calidad, además de cumplir con las

especificaciones de las normas técnicas peruanas. De este modo, la edificaciones u obras civiles pueden tener una mayor duración y resistencia.

5.1. La naturaleza y su incidencia en el proceso de deterioro del concreto

El concreto es uno de los materiales más usado en las construcciones; pese a esto, se encuentra propenso a sufrir daños con el transcurso del tiempo, como los agrietamientos, que son consecuencia del exceso de carga o por las bajas temperaturas. El deterioro del concreto tiene una relación directa con su durabilidad, es decir, con la capacidad que el concreto posee para resistir a la acción del medioambiente, de los ataques biológicos y químicos, y de cualquier otro mecanismo que provoque el deterioro de las estructuras. Según Laguna-Chite *et al.* (2020), el deterioro del concreto tiene causas químicas, físicas, estructurales y fisicoquímicas; sin embargo, el deterioro que demanda un mayor costo y genera grandes complicaciones es el de origen químico, el cual se manifiesta por la presencia de agua, la cual ocasiona altos niveles de humedad.

Otra de las reacciones químicas que ocasionan el deterioro del hormigón es la reactividad álcali agregado (RAA), la cual ha sido estudiada en las últimas décadas. Desde una perspectiva general, este problema se presenta en un tiempo de 1 a 12 años y surge como consecuencia de la interacción de agregados inestables con el álcali en un ambiente húmedo, los cuales forman un gel y ocasionan el agrietamiento del concreto; además de disminuir su resistencia (Moreno *et al.*, 2019).

La naturaleza cumple un rol esencial en el proceso de deterioro del concreto porque hay sustancias que afectan su durabilidad. Los factores que inciden en el deterioro son los siguientes (Flores, s/f):

- Acciones biológicas: los organismos o microorganismos adheridos a la superficie del concreto comienzan a deteriorar y a corroer el acero. La acción

metabólica de los organismos favorece la formación de una biocapa constituida por excreciones de polisacáridos y sustancia ácidas, lo cual es apoyado por la descomposición de organismos muertos. La biocapa formada se fija en la superficie y genera el deterioro del concreto. Debido a esto, es importante limpiar periódicamente la superficie para evitar la proliferación de los microorganismos y controlar la humedad.

- **Polución del medioambiente:** la contaminación del aire es causada por las partículas de polvo y residuos procedentes del tránsito de vehículos, los cuales se depositan en la superficie del concreto por acción del viento. A esto se suman las lluvias y la humedad que ingresan al concreto mediante los poros superficiales y contaminan el concreto hasta iniciar el proceso de deterioro.

- **Cultivos biológicos:** el concreto es un material biorreceptivo debido a su rugosidad. Dicha característica ayuda a que en su superficie se formen y aparezcan colonias de microorganismos que no solamente manchan la superficie, sino también deterioran el concreto al ingresar por los mismos poros.

- **Eflorescencias:** son los depósitos de determinados que se forman en la parte superficial del concreto. Usualmente, los depósitos están compuestos de sales de calcio (sulfatos o carbonatos), de metales alcalino (potasio o sodio) o son la mezcla de los dos. El carbonato de calcio ocasiona la carbonatación y, como es poco soluble en agua, tiende a adherirse a la superficie del concreto por un tiempo prolongado.

Otros de los factores que también inciden en el proceso de deterioro del concreto son los siguientes (Flores, s/f):

- **Acciones químicas:** el concreto puede estar expuesto a ataques químicos, como ácidos, sulfatos, la carbonatación, la lixiviación por aguas blandas, la formación de sales expansivas, entre otros, los cuales descomponen el concreto dependiendo de la permeabilidad que posea.

- **Acciones mecánicas:** se relacionan con la aparición de fisuras, fallas o microfisuras en el concreto, las cuales son consecuencia de la exposición a sobrecargas o cargas pesadas; impactos imprevistos o previstos; deflexiones y movimientos excesivos; vibraciones; mecanismos de abrasión; entre otros. Las fisuras también aparecen por ineficiente durabilidad del concreto, pues ayuda a la penetración de sustancias agresivas, las que, a su vez, disminuyen la resistencia del concreto.

- **Acciones físicas:** algunas de las acciones físicas que inciden en el deterioro del concreto son los cambios de humedad, la congelación, la temperatura, el deshielo, entre otros. Para evitar estos aspectos, se debe limitar la relación agua/cemento durante la mezcla y un correcto curado, a fin de disminuir la permeabilidad de la pasta y la porosidad al interior del material.

Para evitar que factores naturales o antropogénicos deterioren el concreto o, en su defecto, restaurarlo, se han establecido una serie de soluciones, las cuales se describen a continuación (Flores, s/f):

- **Preservación:** consiste en mantener en buenas condiciones la estructura, con el fin de evitar su deterioro; para esto, se recomienda que la superficie sea lavada a presión.

- **Restauración:** consiste en utilizar materiales para restablecer la estructura en cuanto a su forma o apariencia y puedan cumplir con su fin original.

- **Reparación:** es decir, reemplazar los elementos o materiales dañados, lo cual suele ser realizado mediante la técnica de la inyección de fisuras.

- **Rehabilitación:** es modificar una estructura para llevarla a la condición deseada, la cual suele diferir de la original.

- **Reforzamiento:** consiste en incrementar la resistencia de una estructura para que pueda soportar cargas mayores, por ejemplo, los puentes.

- **Demolición:** es retirar elementos dañados para evitar que sigan deteriorando la estructura.

Si bien la naturaleza incide en el deterioro del concreto, no se trata del único factor, ya que las actividades antropogénicas también juegan un rol importante. En este aspecto, es preciso que la mezcla del concreto sea realizada cumpliendo los estándares establecidos, además de hacer mantenimiento a la estructura para identificar si hay fisuras y comenzar con el procedimiento de restauración correspondiente.

5.2. Importancia de la tecnología del concreto en la vida útil de la construcción

El concreto se caracteriza por tener una estructura compleja y heterogénea, por lo que es difícil conocer cuál será su comportamiento en un futuro. Esto se debe a que el concreto no se mantiene estable, debido a que evoluciona con el paso del tiempo por la humedad y la temperatura que lo rodea. Ahora, la durabilidad del concreto no solo es afectada por los factores previamente indicados, sino también por la aplicación incorrecta del proceso de mezclado que ocasiona una durabilidad insuficiente o a la calidad de los materiales empleados; de ahí que al elegir los materiales a usar se debe verificar sus propiedades para evitar el deterioro del concreto en un futuro.

En la actualidad, las tecnologías de producción del concreto han mostrado un nuevo nivel no con el objetivo de facilitar el proceso de elaboración, sino con el fin de aportar mejoras a las propiedades del concreto y reducir la contaminación ambiental, ya que los recursos utilizados para la mezcla suelen influir negativamente en el medioambiente (Muñoz *et al.*, 2021). Uno de los objetivos de la mejora de la tecnología es alcanzar una mayor eficiencia energética y reducir el consumo de materiales no renovables, el agua y los minerales. A su vez, la perfección de la tecnología tiene como finalidad influir positivamente en la durabilidad de las obras y evitar que estas sean afectadas por la agresividad del medioambiente (el clima) o por las actividades antropogénicas, tales como el uso de químicos, o por las partículas procedentes del tránsito de vehículos,

las cuales se adhieren a la superficie del concreto hasta ocasionar su deterioro. En este aspecto, las nuevas tecnologías hacen énfasis en la conservación de las construcciones para garantizar su uso prolongado.

Al seleccionar una tecnología de concreto, es fundamental que no solo garantice la estabilidad dimensional, el módulo elástico, módulo elástico, sino también su durabilidad para garantizar su vida útil. Al respecto, es preciso especificar que la durabilidad del concreto tiene una estrecha relación con su permeabilidad, su porosidad y su compacidad. Por este motivo, es necesario que los avances tecnológicos a emplear en el proyecto de la obra sean evaluados minuciosamente para garantizar las cualidades exigidas al concreto o evitar su deterioro a corto plazo.

Uno de los avances tecnológicos en el campo de la construcción es Kryton, lanzado por Hard-Cem, que ofrece una mezcla durable de concreto para incrementar su resistencia a la erosión y la abrasión, además de elevar la vida útil hasta seis veces más de lo normal. Para las empresas constructoras, este recurso puede ser una gran alternativa de solución para superar las deficiencias de los endurecedores aplicados en la superficie y prevenir la aparición de fisuras, que suelen mostrarse por cargas pesadas como consecuencia de la baja calidad o el uso inadecuado de los recursos de construcción (Asociación de Productores de Cemento, 2018).

Otras tecnología importante es la denominada “tecnología del concreto inteligente”, que consiste en un nuevo método para monitorear la situación de las estructuras de concreto reforzado. Esta tecnología permite detectar imperfecciones estructurales antes de que se conviertan en un peligro para la construcción. Las tecnologías presentadas han evolucionado para ofrecer mejores beneficios en la construcción y garantizar estructuras duraderas mientras son monitoreadas durante la edificación, a fin de que obras de gran o pequeña escala tengan una larga vida útil y, sobre todo, cumplan con su propósito inicial.

5.3. Normativa peruana y la calidad del concreto

La elaboración del concreto tiene un elevado nivel de normalización porque cuenta con 140 normas sobre especificaciones, inspección y muestreo. El marco legal en el que cada una de las normas fue desarrollada se basa en códigos, acuerdos, normas internacionales y supranacionales. La normalización fue efectuada por el Comité Técnico Permanente de Normalización de Agregados, Concreto, Concreto Armado y Concreto Pretensado, que se encuentra bajo la dirección de la Asociación de Productores de Cemento.

En un inicio, las normas fueron elaboradas tomando como referencia al ASTM. La primera entidad encargada de normalizar fue el Instituto Nacional de Normas Técnicas Industriales y Certificación; posteriormente, la entidad fue reemplazada por el Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas. El actual Comité de Concreto está constituido por los siguientes sectores: sector producción (Corporación Aceros Arequipa, Unicon, Cementos Pacasmayo, entre otros), sector técnico (PUCP, Universidad Ricardo Palma, Universidad Nacional de Ingeniería, entre otros), sector consumo (Ministerio de Transporte, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, entre otros), sector producción (Unacem, Cementos Pacasmayo, entre otros) y sector técnico (Sencico, Asocem, ARPL, entre otros) (Asociación de Productores de Cemento, 2014).

Las normas de concreto son desarrolladas según lo establecido por el Indecopi a través de la adopción de normas regionales o internacionales. Hasta el momento, la mayoría de las normas fueron elaboradas basándose en las normas ASTM de los Estados Unidos, como respuesta a que la tecnología del concreto y de concreto armado fue desarrollada por empresas norteamericanas durante 1929 y 1930. Algunas de las normas que destacan son las siguientes (Asociación de Productores de Cemento, 2014):

- Agregados finos y gruesos: la NTP 400.012:2013. Agregados, que especifica sobre el análisis granulométrico de los agregados grueso, fino y global. La NTP 400.016:2011. Agregados, por medio de la cual se determina la inalterabilidad de los agregados. La NTP 400.017:2011. Agregados, que especifica sobre el método de ensayo para determinar el peso unitario.
- Aditivos: La NTP 334.088:2006. Cementos, que especifica sobre los aditivos químicos en morteros, pastas y concreto. La NTP 334.089:2010. Cementos.
- Cemento (requisitos): La NTP 334.009:2013. Cementos, que especifica sobre los requisitos del cemento Portland. La NTP 334.097:2006. Cementos, que especifica sobre la arena normalizada.
- Resistencia: La NTP 339.078:2012. Hormigón, que especifica sobre el método de ensayo para determinar la resistencia del concreto. La NTP 339.212:2007. Hormigón, que especifica sobre el método de ensayo para determinar la edad de agrietamiento del concreto y sus características de esfuerzo.
- Curado: La NTP 339.223:2009. Hormigón, que especifica sobre los compuestos que posee las propiedades necesarias para curar y sellar el concreto. La NTP 339.224:2009. Hormigón, que especifica sobre el método de ensayo para determinar la retención de agua y proceder con el curado del concreto.

Estas son algunas de las normas que las empresas constructoras deben considerar al momento de comenzar con las obras públicas o edificaciones. Sin estas normas, no se garantiza que la construcción sea segura y confiable, al contrario, habría preocupaciones constantes porque podrías ocasionar daños graves, como la muerte, al no ser resistente a grandes pesos o ante la humedad. La implementación de las normas de construcción cumple un rol significativo en la seguridad de los trabajadores y en los ocupantes de los edificios, ante cualquier desastre natural o antropogénico.

Conjuntamente, dichas normas, al establecer especificaciones, se enfocan en garantizar la calidad de las construcciones, sobre todo, si se trata de obras públicas, como carreteras, edificios, calles, alumbrado, entre otros, pues son construcciones realizadas con el fin de servir a la comunidad. Asimismo, con dichas normas se asegura que las empresas constructoras utilicen recursos de calidad y, por tanto, que la mezcla de concreto sea apta para resistir las altas o bajas temperaturas, la humedad, elementos químicos, entre otros.

De este modo, la normativa establecida es un recurso importante en las construcciones porque con ella se logra que las obras sean de calidad y seguras; además, con la aplicación de las normas también se garantiza que el concreto no se deteriore durante sus primeros años, como consecuencia de las acciones químicas, biológicas o por la misma naturaleza. En este contexto, es necesario que los constructores conozcan la normativa establecida, además de utilizar recursos de buena calidad para que la mezcla de concreto sea consistente, durable y se evite la aparición de fisuras. Finalmente, es preciso que se realice mantenimiento a las obras para limpiarlas de los agentes químicos o biológicos que se adhieren a la superficie y ocasionan el rápido deterioro del concreto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apaza, E., & Salcedo, J. (2019). *Influencia de la Ceniza de Hoja de Maíz, Cáscara de Cebada y Bagazo de Caña de Azúcar (Materiales Puzolánicos Artificiales), Como Sustitutos Parciales del Cemento en la Resistencia del Concreto Para Diseños: $f'c = 175 \text{ kgf/cm}^2$, $f'c = 210 \text{ kgf/cm}^2$, $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ y $f'c = 350 \text{ kgf/cm}^2$ en la Ciudad de Arequipa* [tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio Institucional UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/8803>

Asociación de Productores de Cemento. (2014). *Catálogo de normas técnicas peruanas de concreto*. Asociación de productores de cemento. https://issuu.com/trialh/docs/cat__logo_de_normas_de_t__cnicas_pe

Asociación de Productores de Cemento. (2018, 26 de abril). *Las nuevas tecnologías del concreto aumentan la vida útil*. <http://www.asocem.org.pe/noticias-internacionales/las-nuevas-tecnologias-del-concreto-aumentan-la-vida-util>

Asociación de Productores de Cemento. (2015, 4 de septiembre). *La Sostenibilidad de Concreto como beneficio para la Sociedad*. <http://www.asocem.org.pe/productos-b/la-sostenibilidad-de-concreto-como-beneficio-para-la-sociedad>

Cerda, D. (2023, 8 de junio). *Diseño de mezclas de concreto por el método de Fuller*. Civil Blogs. <https://ingcerdablogs.com/blog/>

Concrelab. (2023, 16 de abril). *Los diferentes tipos de concreto y sus usos*. <https://www.concrelab.com/los-diferentes-tipos-de-concreto-y-sus-usos/>

De la Cruz, S., La Borda, L., Mendoza, C., & Garrido, J. (2022). Resistencia a compresión simple del concreto con yeso y residuos de conchas de abanico. *Revista Boliviana de Química*, 39(1). <https://doi.org/10.34098/2078-3949.39.1.1>

Dos Santos, F., & Rojas, M. (2020). *Métodos de dosificación de concreto permeable-Revisión de Estado del Arte*. IX Congreso Internacional y 23ª Reunión Técnica. <https://acortar.link/1olNh4>

Escobar-Hurtado, J., Guerra-Mera, J., & Eguez-Álava, H. (2023). Tamaño máximo del agregado y su influencia en la porosidad de un hormigón elaborado con fibra de vidrio. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación.*, 6(11). <http://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/122>

Fernández, L. (2022). *Uso de residuos plásticos para el desarrollo de hormigones sostenible* [tesis de fin de grado, Universidad Nacional de Mar del Plata]. Repositorio Institucional UNMP. <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/handle/123456789/681>

Flores, L. (s/f). *Entendiendo la naturaleza y el proceso de deterioro del concreto*. TopConsult. Recuperado el 13 de agosto de 2023, de https://www.topconsult.com.pe/articulos/Fibra_carbono_Peru_-_Entendiendo_naturaleza_y_proceso_deterioro_concreto.pdf

Godoy, M., & Gándara, C. (2016). El uso de ceniza volante y aditivos en la elaboración del concreto como solución ecológica. *Revista DELOS Desarrollo Local Sostenible*, 31. <https://www.eumed.net/rev/delos/31/maria-godoy2.html>

Götte, A., Alarcón, R., Beltrame, C., Romero, G., Vincitorio, F., Ramil, A., & López, A. (2023). Visualización de procesos de microdilatación inducidos por láser mediante el uso de interferometría holográfica digital. *Anales AFA*, 34(1), 1-7. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2023.34.1.1>

Gutiérrez, H., & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2da ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Guzmán, B., Cuevas, A., Barragán, R., & Sánchez, M. (2017). Incidencia de los componentes en la resistencia del mortero utilizado en Chilpancingo Guerrero. *Revista Innova Ingeniería*, 1(2), 1-5. <https://innovaingenieria.uagro.mx/innova/index.php/innova/article/view/8>

Huerta, M. (2020). *Uso del extracto del mucilago del cactus como aditivo y su influencia en la consistencia y en la resistencia a la compresión del concreto* [tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. Repositorio Institucional UNFV. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/4363?show=full>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2006). *Norma Técnica Peruana 339.088*. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-nacional-del-santa/ingenieria-civil/norma-tecnica-peruana-ntp-339088-concreto-pdf-free-download/32184983>

Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. (2014). *Norma Técnica Peruana 400.037*. Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. <https://es.slideshare.net/hersacs/ntp-400-037-2014especificacionesagregados>

Jaimes, D., García, J., & Rondón, J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Revista Formación Estratégica*, 1(2), 1-13. <https://www.formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/18>

Laguna-Chite, M., Mamani-Antipuerta, A., & Cruz-Espinoza, C. (2020). Evaluación y diagnóstico de elementos de concreto localizados en ambiente marino del distrito de Ite, Tacna. *Ingeniería Investiga*, 2(2), 453–474. <https://doi.org/10.47796/ing.v2i2.418>

López, L., Duran, A., & González, J. (2022). Estado del desarrollo y aplicaciones de la tecnología del concreto. *Ciencia Nicolaita*, 85. <https://doi.org/10.35830/cn.vi85.619>

Masco. (2017). *Manual de consejos prácticos sobre el concreto*. Masco. <https://masco2017.files.wordpress.com/2017/06/manual-del-concreto.pdf>

Masías-Mogollón, K. (2018). *Resistencia a la flexión y tracción en el concreto usando ladrillo triturado como agregado grueso* [tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio Institucional UP. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3484>

Ministerio de Vivienda, C. y S. (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. https://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/E060_CONCRETO_ARMADO.pdf

- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2019). *Propuesta de Norma E.060 Concreto Armado*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- Moreno, F., Villa, J., & Álvarez, C. (2019). Reactividad álcali agregado la principal causa de deterioro en el concreto. *Revista de Investigación Científica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chihuahua*, 5(16), 6-7. <https://vocero.uach.mx/index.php/finguach/article/view/349>
- Muñoz, S., Vidaurre, J., Asenjo, J., & Gavidia, R. (2021). Pérez, S. P. M., Valde-
ra, J. D. V., Bustamante, J. S. A., & Paredes, R. G. (2021). El uso del caucho de
neumáticos triturados y aplicados al concreto: Una revisión literaria. *Revista de
Investigación Talentos*, 8(1), 36-51. <https://doi.org/10.33789/talentos.8.1.142>
- Muñoz-Pérez, S., Carlos-Sánchez, J., & Peralta-Sánchez, M. (2023). Influencia
de las bacterias en la autocuración del concreto. *Revista UIS Ingenierías*, 22(1).
<https://doi.org/10.18273/revuin.v22n1-2023007>
- Pacheco, L. (2017). *Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido*
[tesis de licenciatura, Universidad José Carlos Mariátegui]. Repositorio Insti-
tucional UJCM. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/226>
- Peralta, M. (2019). *Evaluación de la incidencia del tamaño máximo nominal
del agregado grueso en los resultados de los ensayos de resistencia a com-
presión del concreto empleando cilindros de diferentes dimensiones* [tesis de
licenciatura, Universidad de la Costa]. Repositorio Institucional UC. [https://
repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/5540](https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/5540)
- Rivva, E. (2010). *Diseño de Mezclas*. Instituto de Construcción y Gerencia.
- Rojas-Ramos, A. (2021). Vidrio molido como tecnología sostenible en el con-
creto hidráulico. *Revista Tecnología en Marcha*. [https://doi.org/10.18845/tm.
v34i5.5907](https://doi.org/10.18845/tm.v34i5.5907)
- Ruiz, J., & Pérez, M. (2017). Gestión del costo por actividades en el sector ho-
telero. *Res Non Verba*, 7(1), 31-52.
- Saavedra, C., & Ramírez, D. (2017). *Influencia del módulo de elasticidad en el
análisis de la deriva de edificios de concreto en el Perú, 2017* [tesis de licen-
ciatura, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional UCP. [http://
repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/212](http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/212)

Segura, J. (2016). Adiós al 2016. *Construyendo*, 30, 1-10.

Tejada, L., & Córdoba, J. (2023). Influencia del curado por inmersión a la intemperie en la resistencia a la compresión del concreto en la ciudad de Quibdó-Chocó. *Ingeniería y Competitividad*, 25(2), 1-8. <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i2.11818>

Torres-Carrasco, M., & Puertas, F. (2017). La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente o geopolímeros. *Revista Ingeniería de Construcción*, 32(2), 5-12. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732017000200001>

Villao-Vera, R., Barba-López, R., & Mármol-Acosta, X. (2023). Influencia del vidrio templado en las mezclas de concreto con cemento Portland. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 6(11), 30-43.

Zambrano, L., Alava, R., Ruíz, W., & Menéndez, E. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35-47. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>

SOBRE OS AUTORES

Reynaldo Melquiades Reyes Roque

Afiliación: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

Correo: rreyesr@unasam.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9408-0069>

Milene Mercedes Sáenz Jamanca

Afiliación: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo

Correo: mmsaenzj@unasam.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8700-6148>

Hirbin Felix Céspedes Reynaga

Correo institucional: hcespedes@pucp.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6895-7608>

EL MÉTODO DEL DISEÑO DE MEZCLAS Y SU IMPACTO EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO

www.arcoeditores.com
contato@arcoeditores.com
(55)99723-4952