

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS:

**INCIDENCIA DEL MÉTODO MÓDULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO DE $F'C= 17, 21$ Y 28 MPA,
HUARAZ - 2020**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERA CIVIL**

**PRESENTADO POR LA BACHILLER:
SÁENZ JAMANCA, MILENE MERCEDES**

ASESOR:

Dr. Ing. REYES ROQUE, REYNALDO MELQUIADES

**HUARAZ – ANCASH - PERÚ
2022**

DEDICATORIA

A mi madre, Marcelina Jamanca Henostroza, por su cariño y comprensión, por siempre creer en mí y apoyarme, brindándome su amor incondicional.

A mi padre, Jaime Sáenz Paredes, por sus palabras de aliento y sus sabios consejos, por brindarme su fortaleza y motivación.

A mis hermanas, Adelaida y Kelly, por ser mis ejemplos de superación, por trazarme el camino que debo seguir y siempre animarme a cumplir mis metas.

A mis familiares, por su estima, preocupación y motivación constante.

AGRADECIMIENTO

A Dios y al Señor de los Milagros de Ranrahirca, por siempre escucharme, brindarme fuerzas en los momentos que más lo necesitaba y por guiar mis pasos.

A la remembranza del Dr. Ing. Jorge Emiliano Bedón López, una gran persona y excelente profesional, con quien compartí gratos momentos en la Universidad y mi primer asesor, quien me ayudó a colocar los cimientos de la presente investigación.

A mis padres, Jaime Sáenz y Marcelina Jamanca, por darme la vida y por los sacrificios realizados en bien de sus hijas. A mis hermanas, Adelaida y Kelly, por su cariño, respaldo y apoyo para cumplir mis anhelos.

A la memoria de mi abuelita Mercedes Paredes, por cuidar de la familia y de mí, desde el cielo. A mis familiares, mis tías Ana y Elsa Sáenz, mi tío Wilfredo Cabrera, mis primas Dolly y Melvi, y a mi sobrina Shirley; gracias por su afecto, preocupación constante y los gratos momentos compartidos.

A mis maestros de la gloriosa Facultad de Ingeniería Civil, por compartir sus conocimientos y experiencias en el proceso de enseñanza desarrollado a lo largo de estos años de formación académica.

A mi asesor de tesis, el Dr. Ing. Reynaldo Reyes Roque, por haberme guiado y apoyado en el desarrollo de la presente investigación y en la ejecución de los ensayos de laboratorio, en base a su experiencia y conocimientos. Asimismo, agradezco a los miembros del Jurado Examinador, por su disposición, tiempo y aporte en mejoras de mi tesis y al Sr. Jaime López, técnico de laboratorio de la FIC, por su apoyo en la realización de los ensayos de laboratorio.

A mis amigos, por su cariño y estima, con quienes compartí innumerables momentos agradables, alegrías y motivación durante los años de la Universidad.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE	iv
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	1
1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	3
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.3.1. General	5
1.3.2. Específicos	5
1.4. JUSTIFICACIÓN	5
1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES	7
1.5.1. Hipótesis	7
1.5.2. Variables	8
1.6. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	8
1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.7.1. Objetivo General	10
1.7.2. Objetivos Específicos	10
1.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA	11
1.9. OPERALIZACIÓN DE VARIABLES	12
1.10. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.10.1. Locales	13
1.10.2. Regionales	14
1.10.3. Nacionales	14
CAPÍTULO II	16
PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO.....	16
2.1. CONCRETO	16
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO	17
2.3. TIPOS DE CONCRETO	17
2.4. MATERIALES DEL CONCRETO	19
2.4.1. Cemento portland	19

2.4.2. Agregados	21
2.4.3. Agua	26
2.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO	27
2.5.1. Trabajabilidad	27
2.5.2. Consistencia	28
2.5.3. Segregación	29
2.5.4. Exudación	29
2.5.5. Peso unitario	30
2.5.6. Fluidéz	31
2.5.7. Contenido de aire	32
2.5.8. Temperatura	33
2.6. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO	33
2.6.1. Resistencia a la compresión	34
2.6.2. Durabilidad	35
2.6.3. Elasticidad	36
2.6.4. Impermeabilidad	36
2.6.5. Dilatación térmica	37
CAPÍTULO III	38
DISEÑO DE MEZCLAS	38
3.1. INFORMACIÓN NECESARIA	39
3.2. MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS	40
3.3. MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI	40
3.4. MÉTODO MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL	47
CAPÍTULO IV	51
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	51
4.1. PERSPECTIVA METODOLÓGICA	51
4.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	51
4.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	52
4.4. LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN	52
4.4.1. Limitación espacial	52
4.4.2. Limitación temporal	53
4.4.3. Limitación temática	53
4.5. CONTEXTO	53
4.6. UNIDAD DE ANÁLISIS: POBLACIÓN Y MUESTRA	54
4.6.1. Población	54
4.6.2. Muestra	54
4.7. MÉTODOS Y RECURSOS EMPLEADOS	55
4.7.1. Métodos	55
4.7.2. Recursos Empleados	56
4.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	57
4.8.1. Recolección de información	57

4.8.2. Procesamiento de Datos	62
4.8.3. Análisis	63
4.8.4. Prueba de hipótesis	66
CAPÍTULO V.....	67
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	67
5.1. 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.	67
5.1.1. Ensayos de laboratorio de los agregados	67
5.1.2. Características del cemento	72
5.1.3. Diseño de mezclas del concreto patrón	73
5.1.4. Propiedades del concreto patrón en estado fresco	74
5.1.5. Resistencia a la compresión del concreto patrón	74
5.2. 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.	76
5.2.1. Cálculo del módulo de finura del agregado global	76
5.2.2. Variación del módulo de finura del agregado global	76
5.2.3. Diseño de mezclas del concreto usando el método del módulo de finura del agregado global	77
5.2.4. Propiedades del concreto en estado fresco	80
5.3. 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.	82
5.3.1. Resistencia a la compresión de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG ₁ de 17 MPa	83
5.3.2. Resistencia a la compresión de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG ₂ de 21 MPa	84
5.3.3. Resistencia a la compresión de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG ₃ de 28 MPa	85
5.4. 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.	86
5.4.1. Comparación de los diseños de mezclas de concreto realizados	86
5.4.2. Resumen de resultados de los ensayos realizados	88
5.4.3. Gráficos comparativos de los resultados	90
5.4.4. Determinación de la incidencia del MFG en las propiedades del concreto	108
5.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS	116
CONCLUSIONES	131
RECOMENDACIONES	132
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	133
ANEXOS	135

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de consistencia.	11
Tabla 2. Matriz de operalización de variables.....	12
Tabla 3. Requerimiento de granulometría para el agregado fino.....	23
Tabla 4. Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	25
Tabla 5. Resistencia promedio a la compresión requerida, según la Norma E.060.....	41
Tabla 6. Asentamientos recomendados según el tipo de construcción.....	42
Tabla 7. Volumen de agua, según el tamaño máximo del agregado grueso y el asentamiento.....	43
Tabla 8. Contenido de aire atrapado.....	43
Tabla 9. Relación agua/cemento por resistencia.....	44
Tabla 10. Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	45
Tabla 11. Ensayos de laboratorio para el agregado fino.....	58
Tabla 12. Ensayos de laboratorio para el agregado grueso.....	58
Tabla 13. Cuadro de los diseños de mezcla de concreto y las variaciones realizadas al módulo de finura del agregado global.....	60
Tabla 14. Ensayos de laboratorio para las propiedades del concreto fresco.....	61
Tabla 15. Ensayo de laboratorio de resistencia a la compresión del concreto.....	62
Tabla 16. Propiedades físicas de los agregados fino y grueso.....	68
Tabla 17. Granulometría del agregado fino.....	69
Tabla 18. Granulometría del agregado grueso.....	70
Tabla 19. Módulo de finura de los agregados.....	72
Tabla 20. Características físicas y químicas del cemento portland tipo I (cemento sol).	72
Tabla 21. Diseño de mezclas del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa (comité 211 del ACI).	73
Tabla 22. Propiedades del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa en estado fresco.....	74
Tabla 23. Resistencia a la compresión del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa, a los 28 días.....	75
Tabla 24. Módulo de finura del agregado global del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa.....	76
Tabla 25. Variación del módulo de finura del agregado global.....	77
Tabla 26. Diseño de mezclas del concreto de $f'c = 17$ MPa para las variaciones de MFG_1	78
Tabla 27. Diseño de mezclas del concreto de $f'c = 21$ MPa para las variaciones de MFG_2	79

Tabla 28. <i>Diseño de mezclas del concreto de $f'c= 28$ MPa para las variaciones de MFG₃.</i>	80
Tabla 29. <i>Propiedades del concreto fresco de $f'c= 17$ MPa, para las variaciones del MFG₁.</i>	81
Tabla 30. <i>Propiedades del concreto fresco de $f'c= 21$ MPa, para las variaciones del MFG₂.</i>	81
Tabla 31. <i>Propiedades del concreto fresco de $f'c= 28$ MPa, para las variaciones del MFG₃.</i>	82
Tabla 32. <i>Resistencia a la compresión del concreto de 17 MPa, haciendo la variación del MFG₁.</i>	83
Tabla 33. <i>Resistencia a la compresión del concreto de 21 MPa, haciendo la variación del MFG₂.</i>	84
Tabla 34. <i>Resistencia a la compresión del concreto de 28 MPa, haciendo la variación del MFG₃.</i>	85
Tabla 35. <i>Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 17 MPa. ...</i>	86
Tabla 36. <i>Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 21 MPa. ...</i>	87
Tabla 37. <i>Diseño de mezclas de concreto obtenidos para la resistencia de 28 MPa. ...</i>	87
Tabla 38. <i>Resumen de los resultados al determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.</i>	89
Tabla 39. <i>Prueba de hipótesis de la consistencia del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.</i>	116
Tabla 40. <i>Prueba de hipótesis de la temperatura del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.</i>	118
Tabla 41. <i>Prueba de hipótesis del peso unitario del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.</i>	120
Tabla 42. <i>Prueba de hipótesis del contenido de aire del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.</i>	122
Tabla 43. <i>Prueba de hipótesis de la exudación del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.</i>	124
Tabla 44. <i>Prueba de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.</i>	126

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Curva granulométrica del agregado fino.	70
Figura 2. Curva granulométrica del agregado grueso.	71
Figura 3. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Asentamiento del concreto.	90
Figura 4. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto.	91
Figura 5. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Peso unitario del concreto.	92
Figura 6. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto.	93
Figura 7. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Exudación del concreto.	94
Figura 8. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 17 MPa – Resistencia a la compresión del concreto.	95
Figura 9. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Asentamiento del concreto.	96
Figura 10. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto.	97
Figura 11. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Peso unitario del concreto.	98
Figura 12. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto.	99
Figura 13. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Exudación del concreto.	100
Figura 14. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 21 MPa – Resistencia a la compresión del concreto.	101
Figura 15. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Asentamiento del concreto.	102
Figura 16. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Temperatura de la mezcla de concreto.	103
Figura 17. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Peso unitario del concreto.	104
Figura 18. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Contenido de aire presente en la mezcla de concreto.	105
Figura 19. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Exudación del concreto.	106
Figura 20. Gráfico del módulo de finura del agregado global de 28 MPa – Resistencia a la compresión del concreto.	107

Figura 21. Comparación de la consistencia del concreto por tratamiento.	117
Figura 22. Comparación de la temperatura del concreto por tratamiento.	119
Figura 23. Comparación del peso unitario del concreto por tratamiento.	121
Figura 24. Comparación del contenido de aire del concreto por tratamiento.	123
Figura 25. Comparación de la exudación del concreto por tratamiento.	125
Figura 26. Comparación de la resistencia a la compresión del concreto por tratamiento.	127

RESUMEN

En la presente tesis se compara la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global (MFG) en las propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa y el concreto patrón. En base a los lineamientos metodológicos de una investigación aplicada con un enfoque cuantitativo y diseño experimental. Se eligió a la cantera de Tacllán como fuente del agregado fino (arena gruesa) y agregado grueso (piedra chancada), realizando una caracterización de estos materiales. Se elaboró el diseño de mezclas del concreto patrón utilizando el método del comité 211 del ACI y se seleccionó las nuevas proporciones de los materiales después de realizar la variación del módulo de finura del agregado global, para luego determinar la incidencia en las propiedades del concreto de cada método utilizado y finalmente comparar los resultados. Estos valores muestran que, al disminuir el módulo de finura del agregado global, se logra una mezcla más consistente y una disminución del contenido de aire presente en las mezclas de concreto; asimismo, se alcanzó un incremento gradual en el peso unitario al comparar las características obtenidas con el concreto patrón de $17, 21$ y 28 MPa. También, se logró incrementar la resistencia a la compresión del concreto patrón de 17 MPa en 15.52% (20.1 MPa) al disminuir dos décimas el MFG_1 ; para el concreto patrón de 21 MPa, en 12.72% (25.7 MPa) al disminuir dos décimas el MFG_2 y para el concreto patrón de 28 MPa, en 16.49% (33.2 MPa) al disminuir tres décimas el MFG_3 .

Palabras clave: Concreto, módulo de finura, agregado global.

ABSTRACT

In this thesis, the incidence of the variation of the modulus of fineness of the global aggregate (MFG) in the properties of the concrete of $f'c = 17, 21$ and 28 MPa and the standard concrete is compared. Based on the methodological guidelines of applied research with a quantitative approach and experimental design. The Tacllán quarry was chosen as the source of fine aggregate (coarse sand) and coarse aggregate (crushed stone), characterizing these materials. The mix design of the standard concrete was elaborated using the method of the ACI 211 committee and the new proportions of the materials were selected after making the variation of the fineness modulus of the global aggregate, to later determine the incidence in the properties of the concrete of each method used and finally compare the results. These values show that, by decreasing the fineness modulus of the global aggregate, a more consistent mix is achieved and a decrease in the air content present in the concrete mixtures; Likewise, a gradual increase in unit weight was achieved when comparing the characteristics obtained with the standard concrete of $17, 21$ and 28 MPa. In addition, it was possible to increase the compressive strength of the standard concrete of 17 MPa by 15.52% (20.1 MPa) by reducing the MFG_1 by two tenths; for the standard concrete of 21 MPa, by 12.72% (25.7 MPa) when decreasing the MFG_2 by two tenths and for the standard concrete of 28 MPa, by 16.49% (33.2 MPa) by decreasing the MFG_3 by three tenths.

Keywords: Concrete, fineness modulus, global aggregate.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación aborda el problema del incremento acelerado de construcciones de diferentes tipos de edificaciones y obras civiles en la ciudad de Huaraz, que ha generado una búsqueda de alternativas para mejorar o modificar ciertas propiedades del concreto fresco y endurecido, mediante procedimientos que nos conduzcan a determinar las proporciones adecuadas de los materiales que constituyen el concreto, para lograr concretos de calidad.

La importancia de este estudio es determinar 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, a fin de mejorar ciertas propiedades del concreto patrón en estudio. La investigación persigue brindar beneficios al utilizar este método de diseño de mezclas; por lo tanto, contribuir de manera significativa con los profesionales y estudiantes de Ingeniería interesados en realizar futuras investigaciones en la tecnología del concreto y también poder brindar una alternativa de mejora para la población que se encuentra dedicada al sector de la construcción, para la formulación y ejecución de obras públicas y privadas al momento de realizar el diseño de mezclas de concreto, efectuando el uso del módulo de finura del agregado global, y así determinar una adecuada proporción de los agregados que permita fabricar un concreto de buena calidad.

La investigación está dividida en los siguientes capítulos:

En el Capítulo I. Planteamiento de la Investigación, se enfoca los antecedentes del problema, la situación problemática y formulación del problema, la justificación de la investigación, hipótesis y variables, definición de términos, asimismo, los objetivos y antecedentes de la investigación.

En los Capítulos II y III. Bases Teóricas, se encuentran los conceptos que describen las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido y también, se muestran los métodos de diseño de mezclas del concreto, siendo el objeto de investigación la utilización del método del comité 211 del ACI y el método del módulo de finura del agregado global.

El Capítulo IV. Metodología de la Investigación, presenta la perspectiva metodológica, tipo y diseño de la investigación, límites de la investigación, contexto y unidad de análisis, métodos y recursos empleados, además del procedimiento de recolección, procesamiento y análisis de datos.

El Capítulo V. Resultados y Discusión, se exponen los resultados del desarrollo sistematizado de los objetivos específicos a fin de alcanzar el objetivo general, asimismo se presenta la discusión de dichos resultados, la prueba de hipótesis y la contrastación de las hipótesis planteadas.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

La correcta selección de los materiales que componen el concreto, el diseño de las proporciones de la mezcla, la determinación de sus propiedades, el control de calidad del concreto, el proceso de puesta en obra y los procedimientos más apropiados para el mantenimiento y reparación de la estructura, son aspectos que deben tenerse en cuenta a la hora de construir una estructura de concreto que cumpla con los requisitos de calidad, seguridad y eficacia (Rivva, 2010, p.4).

Para el ingeniero proyectista es primordial conocer la dosificación del concreto, ya que le permite especificar el tipo de concreto que se usará en el diseño, para que sus propiedades cumplan con las condiciones del proyecto y normativas vigentes. Asimismo, para el ingeniero ejecutor de la obra le permite fabricar un concreto con las propiedades requeridas. En ambos casos, el objetivo es predecir las propiedades del concreto con la mayor precisión posible (García, 1981, p. 4).

El comité 211 del ACI desarrolló un método de diseño de mezclas basado en tablas que proporcionan las dosificaciones de los materiales que componen una unidad cúbica de concreto, donde se determina el contenido de agua, aire, cemento, agregado grueso y la cantidad de agregado fino se obtiene a partir de la diferencia de la suma de los volúmenes absolutos respecto a la unidad. Así, independientemente de la resistencia requerida, siempre que el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de finura del agregado fino permanezcan constantes, el contenido de agregado grueso en la mezcla será el mismo; esto ha generado diversas interrogantes, con el fin de buscar formas de determinar las proporciones de los agregados fino y grueso según el contenido de cemento presente en la pasta, porque es difícil aceptar la misma cantidad de agregado grueso para diferentes resistencias y riquezas de la mezcla de concreto (Rivva, 2010, p. 105).

En la actualidad, el método del módulo de finura del agregado global brinda mejores resultados en la dosificación de los materiales que componen el concreto, debido a que consigue un enfoque técnico para el control de calidad del diseño de mezclas, cumple con la mayoría de requisitos del concreto deseado, son fáciles de calcular y de utilizar para un tamaño máximo de agregado establecido; además, nos permite una aproximación a la granulometría óptima para obtener mezclas más densas y trabajables. Sin embargo, en la práctica es difícil lograr una combinación de agregados que cumpla perfectamente con dicha gradación, debido a que es ideal (Gonzales, 2003, p.17).

Utilizar el método del módulo de finura del agregado global, nos conducen a determinar parámetros adecuados para estudiar la combinación de los agregados fino y grueso, de tal manera que podamos predecir la fabricación de un concreto de buena calidad (Cachay, 1992, p. 93).

1.2. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

En nuestra región Ancash, precisamente en la ciudad de Huaraz se nota un incremento acelerado de construcciones de diferentes tipos de edificaciones y obras civiles, que en su mayoría son realizadas de concreto, material heterogéneo compuesto principalmente de la combinación de cemento, agua, agregados fino y grueso, además de un volumen de aire atrapado o incorporado; también se pueden adicionar aditivos para mejorar o modificar las propiedades del concreto. Este material usado en la construcción, ha sido perfeccionado con el tiempo, brindando mejor calidad y bajando los costos de producción, con características de facilidad de colocación, trabajabilidad, velocidad de fraguado, resistencia y durabilidad, siguiendo un protocolo de diseño y producción según las normas establecidas, para los propósitos y usos que se requieran en un determinado proyecto.

Este crecimiento en la construcción ha generado una búsqueda de alternativas para mejorar o modificar ciertas propiedades del concreto fresco y endurecido, a través de estudios, investigaciones, ensayos experimentales y procedimientos que nos conduzcan a determinar las proporciones más apropiadas de los materiales que constituyen el concreto, de tal forma que se pueda obtener concretos de buena calidad, que cumplan con las características y propiedades señaladas en los planos y en las especificaciones técnicas de una determinada obra.

El diseño de mezclas es la selección de las proporciones de los materiales que componen una unidad cúbica de concreto, es un procedimiento para determinar la combinación más adecuada, conveniente y económica de sus componentes; con el objetivo de lograr un concreto que tenga suficiente trabajabilidad y consistencia en el estado fresco y que en el estado endurecido cumpla con los requisitos señalados en los planos y/o especificaciones indicadas por el proyectista (Rivva, 2010, p. 13).

Actualmente, se logró optimizar paulatinamente los métodos de diseño de mezclas del concreto; gracias a un mejor conocimiento práctico, apoyado en un procedimiento experimental. La selección del método de diseño de mezcla es fundamental, porque nos permite obtener de manera más eficaz y económica un concreto que satisfaga las especificaciones técnicas de las obras civiles; con la finalidad de que las construcciones cumplan con las funciones, los servicios y la vida útil para las que fueron diseñadas.

Existen diversos métodos de diseño de mezclas para la fabricación del concreto, pero en la mayoría de casos, es aplicado el método de diseño del comité 211 del ACI; las investigaciones sobre el desarrollo de la tecnología del concreto realizadas en la ciudad de Huaraz, se basan principalmente en el estudio y aplicación de este método, a pesar de que el método del módulo de finura del agregado global, incide en la optimización de la granulometría del agregado global (mezcla de los agregados fino y grueso), con el objetivo de mejorar la eficiencia del concreto. Esto ha motivado a plantear la presente investigación usando cemento portland tipo I, en la que fijando constante la relación agua/cemento y variando el módulo de finura del agregado global se pueda mejorar las propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, de modo que se consiga aportar metodologías teóricas y prácticas de diseño en la fabricación del concreto.

El módulo de finura del agregado global está vinculado a los agregados, si conseguimos que los agregados fino y grueso cumplan con las especificaciones requeridas, se podrá mezclar el concreto por diversos medios mecánicos, usando la mezcladora, trompo y mixer, además que podrá ser transportado para su colocación mediante baldes, carretillas, canaletas y por bombeo; para esto debemos variar el módulo de finura del agregado global, con la finalidad de mejorar las propiedades deseadas, teniendo en cuenta que el concreto en estado fresco sea trabajable, fluido

y cumpla con las demás propiedades deseadas, así como en estado endurecido cumpla con la resistencia, durabilidad y elasticidad requerida en una determinada obra de construcción civil (Cachay, 1992, p. 2).

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. General

¿Cuál es 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?.

1.3.2. Específicos

- a. ¿Cuál es 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?.
- b. ¿Cuál es 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?.
- c. ¿Cuál es 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?.
- d. ¿Cuál es 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?

1.4. JUSTIFICACIÓN

Justificación práctica. Debido al incremento acelerado de construcciones de diferentes tipos de edificaciones y obras civiles de concreto que se presenta en la ciudad de Huaraz, se realiza la presente investigación que busca determinar 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, a fin de mejorar ciertas

propiedades del concreto patrón en estudio. La investigación brindará beneficios de utilizar este método de diseño de mezclas; por lo tanto, se podrá contribuir de manera significativa con los profesionales y estudiantes de Ingeniería interesados en realizar futuras investigaciones en la tecnología del concreto.

Justificación metodológica. La investigación servirá como una guía y fuente de información para crear un aporte en la tecnología del concreto; además podrá ser utilizada como antecedente y permitirá enriquecer las bases teóricas de futuros estudios asociados con el tema. Igualmente servirá como referencia en la ciudad de Huaraz, para la formulación y ejecución de obras públicas y privadas al momento de realizar el diseño de mezclas de concreto, efectuando el uso del método del módulo de finura del agregado global, y así determinar una adecuada proporción de agregados que permita predecir la fabricación de un concreto de buena calidad.

Justificación económica. La presente investigación busca obtener una alternativa de menor costo económico, con la finalidad de determinar una adecuada proporción de agregados y mejorar ciertas propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, realizando la variación del módulo de finura del agregado global, esto será de ayuda sobre todo para aquellas personas dedicadas a la formulación y ejecución de obras civiles, en el sector público y privado en la ciudad de Huaraz. Puesto que, al predecir la fabricación de un concreto de buena calidad, se contribuirá con la reducción de costos en la construcción, ya que no será necesario el uso de aditivos que puedan modificar o mejorar ciertas propiedades del concreto: por ejemplo, acrecentar la resistencia a la compresión o mejorar la consistencia de la mezcla.

Justificación social. Se justifica a nivel social en poder brindar una alternativa de mejora para la población que se encuentra dedicada al sector de la construcción, que muchas veces no realiza un diseño de mezclas y tampoco un control de calidad

del concreto; obteniendo así un concreto de mala calidad y sin cumplir los requisitos necesarios de resistencia o ciertas especificaciones técnicas que hacen del concreto un material eficiente.

Justificación ambiental. La presente investigación, determinará 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, utilizando agregados naturales de la zona no tóxicos en el diseño de mezclas que durante el proceso de extracción de la cantera y el desarrollo de la investigación cumpla con el cuidado del medio ambiente y reduzcan la emisión de polvo generado por la mezcla, evitando problemas de salud en la población.

1.5. HIPÓTESIS Y VARIABLES

1.5.1. Hipótesis

1.5.1.1. General

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

1.5.1.2. Específicas

- a. 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.
- 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, cumpliendo los parámetros establecidos.

- 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, cumpliendo los parámetros establecidos.
- 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.

1.5.2. Variables

Las variables identificadas en la presente investigación son:

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

1.6. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

Aditivo. Material componente del concreto, que se agrega antes o durante el mezclado para cambiar o variar sus propiedades (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 25).

Agregado. Material granular para fabricar concreto al ser mezclado con el cemento. Puede ser arena, grava, piedra chancada o escoria de hierro (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 25).

Agregado fino. Material granular que proviene de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz 3/8" (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 25).

Agregado global. Está compuesto por la combinación de los agregados fino y grueso, que origina un concreto de máxima compacidad (NTP 400.037, 2018, p. 7).

Agregado grueso. Material que proviene de la desintegración natural o mecánica de las rocas, que es retenido en el tamiz N° 4 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 25).

Arena. Agregado fino, causado por la desintegración natural de las rocas (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 26).

Cemento portland. Producto resultante de la molienda del clinker portland al que se le añade sulfato de calcio. Se permite adicionar otros productos que deberán ser pulverizados juntamente con el Clinker, que no superen el 1% del peso total y siempre y cuando su adición no afecte a las propiedades del cemento obtenido (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 26).

Concreto. Mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua, que no necesariamente puede contener aditivos (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 26).

Grava. Agregado grueso que resulta de la desintegración de materiales pétreos, ubicados naturalmente en canteras y lechos de ríos (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 27).

Módulo de finura. Es la centésima parte del valor que resulta de la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados del grupo de tamices estándares utilizados en el análisis granulométrico (Cachay, 1992, p. 6).

Piedra triturada o chancada. Agregado grueso, que es producido mediante la trituración artificial de canteras de rocas o gravas (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 28).

Resistencia especificada a la compresión del concreto (f'_c). Máximo esfuerzo que puede soportar el concreto sin llegar a la fractura, empleada en el diseño y evaluada de acuerdo a ciertas especificaciones, expresado en MPa (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 29).

1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.7.1. 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.

1.7.2. Objetivos Específicos

- a. 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.
- b. 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.
- c. 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.
- d. 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.

1.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 1

Matriz de consistencia.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema general:	Objetivo general:	Hipótesis general:		
¿Cuál es 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?	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.	La variación del módulo de finura del agregado global mejora las propiedades del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.	<p>Variable independiente: Módulo de finura del agregado global.</p> <p>Variable dependiente: Propiedades del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.</p>	<p>Enfoque: Cuantitativo.</p> <p>Orientación de la investigación: Aplicada.</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Población: Canteras de origen natural del río Santa ubicadas en la provincia de Huaraz.</p> <p>Muestra: Concretos con resistencias específicas de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa, elaborados con agregados naturales de la cantera de Taclán, del distrito de Huaraz.</p> <p>Tipo de muestreo: No probabilístico, por conveniencia.</p> <p>Técnicas de recolección de datos: Métodos y procedimientos de ensayos de laboratorio de los agregados y propiedades del concreto fresco y endurecido, en concordancia con las Normas Técnicas Peruanas.</p>
Problemas específicos:	Objetivos específicos	Hipótesis específicas:	Indicadores:	
a. ¿Cuál es 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?	a. 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.	a. 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.	<p>Indicadores:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Consistencia - Temperatura - Peso unitario - Contenido de aire en la mezcla - Exudación - Resistencia a la compresión. 	
b. ¿Cuál es 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?	b. 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.	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, cumpliendo los parámetros establecidos.		
c. ¿Cuál es 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?	c. 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.	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, cumpliendo los parámetros establecidos.		
d. ¿Cuál es 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?	d. 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.	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.		

1.9. OPERALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2

Matriz de operalización de variables.

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	INDICADORES	ÍNDICES
<p>Variable independiente: Módulo de finura del agregado global.</p>	<p>Es igual a la sumatoria de los productos de los módulos de finura del agregado fino y del agregado grueso, multiplicados por su porcentaje de participación en el volumen absoluto total de agregados (Rivva, 2010, p. 106).</p>	<p>Constante adimensional que, al ser disminuido en una décima, hasta en tres oportunidades, modifica las propiedades del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de finura del agregado fino. - Módulo de finura del agregado grueso. - Porcentaje de participación de cada agregado en relación al volumen absoluto total de los agregados. 	<ul style="list-style-type: none"> - Módulo de finura (adimensional). - % de distribución de agregados.
<p>Variable dependiente: Propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.</p>	<p>La dosificación de los materiales para el concreto debe establecerse para permitir que se logre la trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto, sin segregación ni exudación excesiva. Además, se logre la resistencia a las condiciones especiales de exposición y cumpla con los requisitos de resistencia a la compresión (MVCS, 2009, p. 40).</p>	<p>Características o cualidades del concreto, medidas tanto en estado fresco como endurecido, que se modifican al variar el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.</p>	Consistencia	$1'' \leq \text{slump} \leq 4''$
			Temperatura	$10\text{ }^\circ\text{C} \leq t \leq 32\text{ }^\circ\text{C}$
			Peso unitario	kg/m^3
			Contenido de aire en la mezcla	% contenido de aire
			Exudación	ml/cm^2
			Resistencia a la compresión	$f'c \geq 17\text{ MPa}$ $f'c \geq 21\text{ MPa}$ $f'c \geq 28\text{ MPa}$

1.10. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se tomaron como antecedentes diversas tesis de investigaciones sustentadas y aprobadas en universidades públicas y privadas, similares al tema en estudio y también, aquellas que usaron agregados de las canteras ubicadas en la ciudad de Huaraz, que brindaron los conocimientos necesarios para desarrollar la presente investigación. Así como la información referente al diseño de mezclas del concreto y el método módulo de finura del agregado global.

1.10.1. Locales

Bedón (2017), tomó como referencia a la ciudad de Huaraz para diseñar un tipo de concreto de alta resistencia que satisfaga las necesidades de las obras civiles en las zonas altoandinas del Perú. Con base en estudios experimentales a nivel de laboratorio y utilizando agregados de la cantera Orión (Carhuaz), se determinó la dosificación para lograr concretos con resistencias mayores a 280 kg/cm². Obteniendo que, a partir del concreto patrón, la dosis óptima de microsílíce encontrada es de 12 % por peso del cemento y con la adición de un aditivo superplastificante a una dosificación del 2.3 % por peso del cemento; resultó la máxima resistencia a la compresión de 784 kg/cm² a los 28 días y de 915 kg/cm², a los 90 días. Por otro lado, sin la adición de aditivos y microsílíce, se encontró que la resistencia del concreto alcanzó 585 kg/cm² a los 28 días y de 615 kg/cm², a los 90 días (p. 83).

Villegas y Corrales (2012), con la finalidad de estudiar las ventajas de resistencia y los beneficios económicos del concreto fabricado con piedra partida y canto rodado de la cantera Taclán, utilizando el método del comité 211 del ACI para diseñar concretos de resistencias a la compresión de 175, 210 y 280 kg/cm². Elaboraron especímenes que fueron ensayadas en la máquina de carga uniaxial

y también analizaron el costo unitario. Concluyendo que, los concretos fabricados con piedra partida y ensayados a los 28 días, tienen en promedio 15 % mayor resistencia a la compresión y un 7.80 % mayor costo unitario que los concretos fabricados con canto rodado (p. 13).

1.10.2. Regionales

Benites (2014), determinó el factor de modificación del concreto (λ), utilizando agregados de las canteras del Río Puchka (Huari), caracterizó las propiedades físicas de los agregados y determinó la resistencia a la compresión del concreto. Concluyendo que, el valor de λ depende del método de curado de los especímenes y resulta menor cuando las muestras son tratadas mediante el curado por aspersion. Además, se observó que la resistencia a compresión de las briquetas curadas por inmersión y protegidas del sol cumplen con la resistencia de diseño, mientras que las muestras curadas por aspersion y las que no fueron curadas, no cumplen con el diseño; lo que indica que el concreto debe ser tratadas mediante el curado por inmersión (p. 201).

1.10.3. Nacionales

Cachay (1992), estudió el uso del método de módulo de finura de los agregados en el diseño y dosificación del concreto, con el fin de variar o modificar las propiedades del concreto de mediana a alta resistencia referido a relaciones agua/cemento de 0.55, 0.50, 0.45 y 0.40. Concluyendo que, el uso de este método, a partir de las proporciones obtenidas con el diseño del método del comité 211 del ACI, permite modificar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido de una forma controlada; permiten mejorar la eficiencia de la mezcla incrementando la resistencia del concreto endurecido, además, disminuye sensiblemente la consistencia y fluidez de la mezcla como aspectos externos, pero

mejorando la capacidad interna de la mezcla (por lubricación interna), permitiendo un mejor transporte mediante tubería (bombeo) y ser compactada con menor energía vibratoria (p. 92).

Gonzales (2003), con base a la aplicación del método del módulo de finura agregado global, desarrolló un trabajo experimental de dosificación de mezclas de concreto, que permita mejorar la calidad del diseño de mezclas en la ciudad de Tarapoto. Utilizó agregado grueso del río Huallaga y agregado fino del río Cumbaza, con el fin de determinar la granulometría más adecuada y elaborar briquetas de ensayo para tres diferentes módulos de finura global. Llegó a la conclusión de que la combinación granulométrica más adecuada es 37% de arena con 63% de piedra, resultando un módulo de finura global igual a 5.48. Esto da como resultado una mezcla de concreto más densa, más cohesiva y con mayor uniformidad (p. 306).

CAPÍTULO II

PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO Y ENDURECIDO

2.1. CONCRETO

El Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, en la Norma E.060 (2009) define el concreto como una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua, que no necesariamente contiene aditivos (p. 26).

El concreto es un material heterogéneo formado a partir de una mezcla de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, que contiene un volumen de aire atrapado o puede contener aire que ha sido introducido intencionalmente usando un aditivo (Rivva, 2010, p. 12).

El volumen del concreto está compuesto de 70 a 80% de agregados (grava y arena) y el resto es pasta de cemento. La pasta, a su vez, está constituido por un 30 a 50% del volumen de cemento y el resto es agua. El agregado ocupa el mayor volumen del concreto, este material es uno de los más abundantes en la corteza terrestre, aunque no necesariamente el más económico, sobre todo si tiene que someterse a un proceso de trituración o lavado. El cemento es, sin duda, el

ingrediente más caro utilizado para la fabricación del concreto. La mayor parte del conocimiento disponible en la tecnología del concreto está enfocado al uso racional de este material, que debe ser utilizado en cantidades razonables para lograr la resistencia y durabilidad del diseño (Gómez, 2013, p. 89).

2.2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

Abanto (2009, p.11) menciona que los factores que hacen del concreto un material de construcción universal, son los siguientes:

- a. Se puede colocar fácilmente en moldes o encofrados de cualquier forma, siempre que conserve su consistencia plástica.
- b. Debido a su alta resistencia a la compresión, es un material adecuado para elementos estructurales que normalmente estén sometidos a compresión.
- c. Material de alta resistencia al fuego e impermeable.

Por otro lado, el concreto también presenta desventajas Abanto (2009, p.11):

- a. Por lo general, el concreto se prepara en circunstancias donde el control de calidad es casi inexistente y no se tiene un responsable de su fabricación.
- b. El concreto es un material con baja resistencia a la tracción. Esto dificulta su empleo en elementos estructurales que estén sometidos completamente a tracción; por ello, es necesario el uso del acero, debido a su elevada resistencia a la tracción. La combinación de ambos materiales es denominado concreto armado y permite su utilización masiva en la construcción de obras civiles.

2.3. TIPOS DE CONCRETO

La Norma E.060 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p.26), señala los siguientes tipos:

2.3.1. Concreto estructural

Se utiliza en la construcción de elementos estructurales, puede ser el concreto simple o el concreto reforzado.

2.3.2. Concreto armado

Es la combinación del concreto con al menos la mínima cantidad de acero, que puede estar o no pretensado.

2.3.3. Concreto simple

Es el concreto estructural sin el uso de acero o con menos del refuerzo mínimo requerido para lograr un concreto armado.

2.3.4. Concreto de peso normal

El peso aproximado de este tipo de concreto es de 2300 Kg/m³.

2.3.5. Concreto ciclópeo

Resulta de la combinación del concreto simple con piedras grandes.

2.3.6. Concreto de cascote

Está compuesto por cemento, agua, agregado fino y cascote de ladrillo.

2.3.7. Concreto premezclado

Concreto fabricado en planta, que puede ser mezclado en la misma o en un camión mixer y que es transportado hasta el lugar de su colocación.

2.3.8. Concreto preesforzado

Concreto estructural al que se le añade refuerzos internos para reducir los posibles esfuerzos de tracción debidos a las cargas a las que está sometido.

2.3.9. Concreto prefabricado

Son elementos que se fabrican en un lugar diferente de su posición final en la estructura, pueden ser de concreto simple o de concreto armado.

2.3.10. Concreto bombeado

Se transporta por medio de tuberías hasta su ubicación final.

2.4. MATERIALES DEL CONCRETO

A continuación, se presenta las características y recomendaciones a tenerse en cuenta acerca de los materiales necesarios para realizar el diseño de mezclas de concreto.

2.4.1. Cemento portland

Es un material elaborado a partir de una mezcla química a altas temperaturas de materiales calcáreos y arcillosos. Este nuevo producto reacciona al contacto con el agua y se endurece con el tiempo, por lo que también es llamado cemento hidráulico. El inglés Joseph Aspdin en 1824, descubrió el proceso básico para la fabricación del cemento portland y lo nombró así por el parecido del cemento endurecido con las canteras de la isla de Portland en Inglaterra. Este producto se ha convertido en un material importante en la construcción, que a la fecha tiene una amplia gama de aplicaciones (Gómez, 2013, p. 48).

El cemento portland cuando se mezcla con agua, que puede ser solo o en combinación con los agregados fino y grueso u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente hasta lograr una masa endurecida. Básicamente, es un Clinker molido que se obtiene al someter a elevadas

temperaturas, mezclas de cal, alúmina, fierro y sílice en determinadas proporciones (Abanto, 2009, p. 15).

El cemento empleado en la fabricación del concreto deberá cumplir con las especificaciones de las siguientes normas:

- a. Los cementos portland normal Tipo I, II o IV cumplirán con los requisitos de la Norma NTP 334.009 o ASTM C 150.
- b. Los cementos portland puzolánicos Tipo IP y IPM cumplirán con los requerimientos de la Norma NTP 334.090 o ASTM C 595.

Gómez (2013, p.52) establece que el tipo de cemento utilizado en una determinada construcción depende de las propiedades físicas y químicas que pueda solicitar el concreto. Cabe señalar que en el sitio de construcción se requiere el mismo tipo y marca de cemento que se utilizó para seleccionar las proporciones de la mezcla de concreto. Los tipos de cemento son:

- a. El tipo I es el cemento normal de uso común. Se utiliza en construcciones que no requieran una protección especial o no estén expuestas a condiciones climáticas adversas y tampoco en contacto a sustancias dañinas como los sulfatos.
- b. El tipo II es conocido como cemento portland con moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos. Se utiliza en grandes columnas o muros muy anchos para evitar el agrietamiento del concreto debido a sus cambios térmicos durante la hidratación. Además, es usado en estructuras que necesiten una moderada protección de sulfatos, así como en cimientos y muros subterráneos, donde la concentración de sulfatos no es demasiado alta.
- c. El cemento tipo III se caracteriza por su rápido fraguado, utilizado en los casos en que es necesario agilizar otros trabajos y ponerlos en funcionamiento lo

- antes posible. La resistencia desarrollada durante los primeros siete días es considerable.
- d. El tipo IV o cemento de bajo calor de hidratación, se caracteriza por desarrollar su resistencia más lento que el de tipo normal. Es utilizado en la construcción de grandes estructuras, como las presas, donde el calor de hidratación debe ser controlado al mínimo para evitar el agrietamiento.
 - e. El tipo V o cemento resistente a los sulfatos, es utilizado en construcciones expuestas al ataque severo de los sulfatos y en ambientes industriales agresivos, se caracteriza por un moderado incremento de la resistencia a edades tempranas y por desarrollar una buena resistencia a edades tardías.

El cemento es mezclado con una cantidad adecuada de agua para formar una pasta, los compuestos del cemento reaccionan para formar una estructura cristalina de agentes cementantes que se adhieren a las partículas de los agregados fino y grueso. De esta manera, la masa desarrolla resistencia y dureza, mientras exista humedad, la reacción continuará, de ahí la importancia del curado (Abanto, 2009, p. 18).

2.4.2. Agregados

Los agregados, también conocidos como áridos, son materiales inertes que se mezclan con los aglomerantes, como el cemento y la cal, y que al adicionar el agua forman concretos y morteros. La importancia de los agregados es que constituyen alrededor del 75% del volumen de la mezcla de concreto. Por lo tanto, es importante que los agregados tengan buena resistencia y durabilidad y que además estén libres de impurezas o contaminantes como barro, limo y materia orgánica, que debilitan su unión con la pasta de cemento (Abanto, 2009, p. 23).

Los agregados es un conjunto de partículas de diferentes tamaños que se producen de manera natural, en forma de arenas y gravas o como resultado de la trituración de rocas. Cuando el agregado se forma por la desintegración de rocas y la influencia de diversos agentes naturales, se le denomina agregado natural, y cuando se forma por la desintegración hecha por el hombre, se le nombra agregado triturado, porque este método es el que se suele utilizar para obtener el tamaño correcto. Los agregados más utilizados en la construcción son las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, y se espera que los agregados conserven las propiedades físicas y mecánicas de la roca madre (Gómez, 2013, p. 63).

Los agregados empleados en la producción del concreto normal (2300 a 2500 kg/m³) deben cumplir con los requisitos de la norma NTP 400.037 o ASTM C33 y con las especificaciones del proyecto.

La norma E.060 de concreto armado (MVCS, 2009, p.30), señala que el agregado fino y el agregado grueso deben tratarse como materiales separados. Cada uno debe manipularse, procesarse, transportarse, almacenarse y pesarse de manera que se minimice la pérdida de finos, se mantenga la uniformidad y esté libre de contaminantes o sustancias extrañas que causen agrietamientos o segregación.

Los agregados naturales se clasifican en:

2.4.2.1. Agregado fino

Es un material que pasa por el tamiz 3/8" (9.5 mm), que se origina por la desintegración natural o artificial de rocas y cumple con los requisitos señalados en la Norma NTP 400.037.

El agregado fino puede ser arena de origen natural o artificial o una combinación de ambas, formado por la desintegración natural de rocas, que son acumuladas por corrientes de aire o ríos. Sus partículas deben ser limpias, de perfil angular, compactas, resistentes y estarán libres de contaminantes tales como polvo, terrones, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras partículas perjudiciales para la mezcla de concreto (Rivva, 2010, p. 18).

La norma NTP 400.037 (2018, p.8) señala que el agregado fino debe cumplir las siguientes especificaciones:

- a. Debe tener la granulometría según los límites indicados en la Tabla 3.

Tabla 3

Requerimiento de granulometría para el agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (N° 4)	95 a 100
2,36 mm (N°8)	80 a 100
1,18 mm (N° 16)	50 a 85
600 μ m (N° 30)	25 a 60
300 μ m (N° 50)	5 a 30
150 μ m (N° 100)	0 a 10
75 μ m (N° 200)	0 a 3,0 ^{a, b}

Nota: NTP 400.037 (2018).

^a Para concreto no sujeto a la abrasión, el límite para el material más fino que el tamiz 75 μ m (N° 200) debe ser máximo 5%.

^b Para agregado fino artificial u otros reciclados, si el material más fino que el tamiz 75 μ m (N° 200) consiste en polvo de trituración, esencialmente libre de arcilla o esquistos, este límite debe ser 5% para concreto sujeto a abrasión y máximo 7% para concreto no sujeto a abrasión.

- b. No debe exceder el 45% que pasa por cualquier tamiz y retenido en la siguiente malla consecutiva, y su módulo de finura no debe ser inferior a 2.3 ni superior a 3.1.
- c. Se permite el uso de agregados que no cumplan con la granulometría requerida, siempre que se realicen estudios para garantizar que el material producirá un concreto con propiedades similares al concreto deseado.

2.4.2.2. Agregado grueso

Es un material retenido en el tamiz N° 4 (4.75 mm) y cumple con los requisitos señalados en la norma NTP 400.037.

El agregado grueso puede ser grava natural o triturada, piedra partida o chancada. Debe estar compuesto por partículas limpias, de perfil angular o semiangular, de estructura firme, compacta, resistente, rugosa y exenta de tierra, polvo, limo, materia orgánica, sales u otras partículas perjudiciales para la mezcla de concreto (Rivva, 2010, p. 20).

Abanto (2009, p. 26) refiere que las gravas son denominadas canto rodado, una serie de pequeños trozos que se encuentran a menudo en canteras y cauces naturales. Se forman como resultado de la desintegración natural de las rocas, por efecto del hielo y otros agentes atmosféricos, cada fragmento de roca ha perdido sus bordes puntiagudos, por lo que se encuentran más o menos redondeadas.

La piedra partida o chancada es un material obtenido por trituración artificial de rocas o gravas y puede utilizarse siempre que esté limpio, sea duro y resistente. Su principal función es aportar volumen y resistencia. Las

investigaciones realizadas muestran que la piedra chancada o partida produce concretos más resistentes que los son realizados con canto rodado (Abanto, 2009, p. 26).

La Norma NTP 400.037 (2018, p.13) señala que el agregado grueso debe cumplir las siguientes especificaciones:

a. Deberá cumplir con los requerimientos de la Tabla 4.

Tabla 4

Requisitos granulométricos del agregado grueso.

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in)	90 mm (3 1/2 in)	75 mm (3 in)	63 mm (2 1/2 in)	50 mm (2 in)	37.5 mm (1 1/2 in)	25 mm (1 in)	19 mm (3/4 in)	12.5 mm (1/2 in)	9.5 mm (3/8 in)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 um (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: NTP 400.037 (2018).

b. El agregado grueso usado en concretos que están constantemente expuestos a la humedad o en contacto con suelos húmedos no deberán ser reactivos porque al mezclarse químicamente con los álcalis del cemento, causará una expansión excesiva del concreto o mortero.

La norma E.060 concreto armado (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p.30) recomienda que el tamaño máximo nominal del agregado grueso no exceda $1/5$ de la distancia más pequeña entre los lados del encofrado, $1/3$ de la altura de la losa o $3/4$ del espaciamiento libre mínimo entre barras o alambres de refuerzo. Estas restricciones pueden no aplicarse si la trabajabilidad y la compactación son adecuadas para colocar el concreto sin la presencia de vacíos o cangrejas.

2.4.3. Agua

El agua es un factor esencial en la fabricación del concreto y está relacionada con la resistencia, la trabajabilidad y las propiedades del concreto endurecido (Abanto, 2009, p. 21).

El agua utilizada en la fabricación y en el curado del concreto debe cumplir con las especificaciones de la norma NTP 339.088:

- a. Se puede usar agua potable en la mezcla de concreto sin la necesidad de efectuar pruebas para evaluar su conformidad con esta norma.
- b. El agua de fuentes no potables o de trabajos de producción de concreto, puede usarse en ciertas proporciones para cumplir con los criterios y especificaciones de esta norma.

La norma E.060 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p.30) recomienda usar agua no potable cuando esté limpia y libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materia orgánica, que pueda dañar al concreto o al acero de refuerzo. El concreto elaborado con agua no potable deberá tener después de 7 y 28 días una resistencia de al menos el 90% de muestras similares hechas con agua potable. No se empleará aquella agua que no cumpla las especificaciones indicadas en el curado del concreto o en el lavado de agregados.

2.5. PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

El concreto fresco comienza cuando se incorporan todos los materiales de la mezcla hasta el momento que es colocado en la posición final. Es muy importante estudiar y evaluar las propiedades del concreto en estado fresco; porque nos permiten controlar las propiedades y otros parámetros del concreto endurecido.

La norma NTP 339.036 (2017, p. 2) establece procedimientos para la toma de muestras representativas de concreto fresco con fines de ensayos y control de calidad. El tiempo transcurrido entre la obtención de las porciones inicial y final de la muestra no debe superar los 15 minutos. Los ensayos de asentamiento, temperatura y contenido de aire deben efectuarse dentro de los 5 minutos posteriores al muestreo. El moldeo de especímenes para el ensayo de resistencia debe realizarse dentro de los 15 minutos posteriores al muestreo y luego serán protegidos del sol, el viento y otras fuentes de evaporación y contaminación.

2.5.1. Trabajabilidad

La trabajabilidad define la capacidad del concreto para ser manipulado, transportado, colocado y compactado; así como para brindar un acabado sin presentar segregación. Está relacionado con el concepto de fluidez con énfasis en la plasticidad y la uniformidad, que influyen en el comportamiento y acabado del proyecto. La trabajabilidad depende del contenido de cemento, la granulometría y proporción de los agregados; la cantidad de agua y aire presentes en la mezcla; la presencia de aditivos y las condiciones ambientales (Rivva, 2010, p. 26).

La trabajabilidad es la facilidad con la que se puede mezclar, colocar, compactar y acabar el concreto fresco sin segregación ni exudación durante estos

trabajos. A la fecha no existe evidencia para definir o cuantificar esta propiedad, por lo general es evaluada en el ensayo de consistencia (Abanto, 2009, p. 47).

2.5.2. Consistencia

La consistencia es una propiedad que determina el contenido de humedad del concreto en función de su grado de fluidez; debe entenderse que cuanto más húmeda sea la mezcla, más fácil será de colocar. La consistencia está relacionada con la trabajabilidad, pero no es sinónimo de ella. Por ejemplo, una mezcla muy trabajable para pavimentos puede ser muy consistente, mientras que una mezcla poco trabajable en estructuras con una alta concentración de acero puede tener una consistencia plástica (Rivva, 2010, p. 28).

La consistencia es la capacidad para fluir del concreto fresco y también determina la facilidad de compactación del concreto. Después de seleccionar y determinar las proporciones de los materiales en la mezcla, el control principal de la trabajabilidad se realiza a través de cambios en la consistencia causados por variaciones en el contenido de agua (Cachay, 1992, p. 41).

Rivva (2010, p.28) clasifica al concreto en tres grupos según su consistencia:

- a. Concreto consistente o seco, posee un asentamiento de 1" a 2", contiene la humedad necesaria para que la lechada de cemento se adhiera cuando se presiona con la mano y la superficie permanece lisa y unida luego del vibrado.
- b. El concreto plástico corresponde a un asentamiento de 3" a 4" con suficiente agua para brindar a la mezcla una consistencia pastosa.
- c. Concreto fluido tiene un asentamiento de 6" a 7" y contiene suficiente agua para permitir que la mezcla fluya como una masa blanda, debe usarse en estructuras donde la disminución de la calidad por el exceso de agua no sea un problema.

La norma NTP 339.035 (2015, p.5) nos recomienda un método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto usando el cono de Abrams, que consiste en medir el asentamiento de una mezcla de concreto que ha sido colocada en tres capas del mismo volumen en un molde metálico de forma troncocónica y cada capa ha sido compactada con 25 golpes con una varilla de acero. Después de llenar el molde, se levanta el cono y se mide el desplazamiento del concreto, el cual debe medirse en milímetros.

2.5.3. Segregación

La segregación se refiere a la separación del agregado grueso del mortero. Este es un fenómeno perjudicial para el concreto, porque provoca la formación de bolsones de piedra, capas arenosas o cangrejeras. A la hora de diseñar la mezcla es necesario tener en cuenta el riesgo de segregación, que puede reducirse aumentando la cantidad de finos (cemento o agregado fino) y la consistencia de la mezcla. Por lo general, la inadecuada manipulación y colocación son las causas de la segregación, también se produce por el movimiento de las carretillas con ruedas metálicas que hacen que el agregado grueso se precipite al fondo y que la lechada ascienda a la superficie, igualmente se produce cuando la mezcla es vaciada por canaletas y si existe un excesivo vibrado (Abanto, 2009, p. 50).

2.5.4. Exudación

La exudación se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie a causa de la sedimentación. Este fenómeno ocurre luego de que el concreto ha sido colocado en el encofrado, puede ser producto de una mala dosificación, de un exceso de agua, del uso de aditivos y de la temperatura, por lo que, a mayor temperatura, mayor es la velocidad de exudación; es perjudicial para el concreto, ya que puede disminuir su resistencia debido al aumento de la relación

agua/cemento. Como consecuencia de este fenómeno se puede obtener un concreto poroso y poco durable (Abanto, 2009, p. 54).

La exudación es un tipo de segregación en la que parte del agua de la mezcla tiende a subir a la superficie del concreto recién colocado, esto se debe a que los materiales de la mezcla no pueden retener toda el agua. Debido a la exudación se tendrá un concreto poroso, débil y poco durable, se podrá observar agrietamientos por contracción plástica y se presentará una débil adherencia (Cachay, 1992, p. 43).

La norma NTP 339.077 (2013, p.5) nos recomienda dos métodos de ensayo para determinar la exudación del concreto que difieren en el grado de vibración que será sometida la muestra. El primer método, es para una muestra compactada por varillado y ensayada sin disturbio, que consiste en nivelar la superficie de la muestra, registrar la hora y determinar la masa del recipiente y su contenido, del cual se retira con una pipeta el agua que se acumuló en la superficie a intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos y luego a intervalos de 30 minutos hasta que cese la exudación, después de que el agua haya sido extraída se transfiere a una probeta graduada de 100 ml y se anota la cantidad acumulada luego de cada transferencia. El segundo método, es para una muestra consolidada por vibración y ensayada con periodos de vibración, realizada en una mesa vibratoria sobre la que estará fijo el recipiente que contendrá la muestra.

2.5.5. Peso unitario

El peso unitario se refiere al peso del concreto en un volumen específico, lo que ayuda a compararlo con otros concretos y comprobar que las proporciones de los materiales de la mezcla sean adecuados. El principal uso de esta propiedad

está relacionado con el diseño y control de calidad de las mezclas de concreto (Cachay, 1992, p. 40).

El peso unitario del concreto es el peso compactado de una muestra representativa, expresado en kg/m^3 ; por lo general, varía según el tipo de agregado utilizado y aumenta con una adecuada consolidación al reducir el aire atrapado. Los cambios en las propiedades de los materiales del concreto pueden afectar el peso unitario, por ejemplo, las variaciones en el peso específico de los agregados pueden aumentar o disminuir el peso unitario (Burgos, 2012, p. 67).

La norma NTP 339.046 (2019, p.6) propone un método de ensayo para determinar el peso unitario del concreto, primero se debe seleccionar el método de consolidación basado en el asentamiento. Para concretos con un asentamiento mayor a 75 mm se utiliza el método del apisonado; para asentamientos de 25 a 75 mm, el método de apisonado o vibrado y para asentamientos menores a 25 mm, el método de vibrado. Se determina la masa del recipiente de medida vacío y se humedece, se coloca sobre una base nivelada y firme; se llena en tres capas, efectuando la consolidación de cada capa de acuerdo al método de consolidación. La última capa debe tener un exceso para enrasar la superficie de la mezcla, se retira el concreto en exceso y el adherido a las paredes exteriores del recipiente; se determina la masa del recipiente lleno y finalmente, se divide la masa de concreto entre el volumen del recipiente para obtener el peso unitario del concreto.

2.5.6. Fluidez

La fluidez del concreto es la capacidad que tiene para comportarse como un líquido bajo ciertas condiciones y es una medida de la consistencia de la pasta de cemento (Cachay, 1992, p. 41).

La norma NTP 334.057 (2019) propone un método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento portland y la NTP 339.219 (2018) recomienda un método de ensayo para determinar la fluidez del concreto autocompactante, estas normas nos brindan los procedimientos usados para determinar la fluidez en morteros y en concretos autocompactantes; en la actualidad, no se tiene una norma vigente que pueda determinar la fluidez para concretos normales.

2.5.7. Contenido de aire

El ensayo del contenido de aire se realiza para determinar la cantidad de vacíos que están presentes en el interior de la masa de concreto, ya que cuanto más aire exista en la mezcla, menor es la resistencia a la compresión. Sin embargo, también es necesario la incorporación de aire en ciertas cantidades, ya que favorece la resistencia en climas de temperaturas muy bajas, especialmente cuando el agua atrapada en el interior aumenta su volumen durante el congelamiento (Cachay, 1992, p. 42).

La norma NTP 339.046 (2019, p. 9) sugiere el método gravimétrico para determinar el contenido de aire en la mezcla de concreto, primero se determina el peso unitario o la densidad real, dividiendo la masa neta de concreto en kilogramos por el volumen de medida en metros cúbicos; luego, se calcula la densidad teórica, dividiendo la masa total de todos los materiales presentes en la tanda por el volumen absoluto total de los ingredientes componentes de la mezcla (agua, cemento, agregado fino y agregado grueso). Finalmente, el porcentaje de aire presente en la mezcla, con una aproximación de 0.1%, está dado por la diferencia entre la densidad teórica y la densidad real, dividida por la densidad teórica.

2.5.8. Temperatura

En el concreto normal de tipo I, la hidratación genera un incremento de la temperatura de 6° C a 11° C por bolsa de cemento en un metro cúbico. Este incremento de temperatura debe mantenerse lo más bajo posible y el calor de hidratación debe disiparse lentamente, evitando que el concreto se enfríe rápidamente, ya que puede generar agrietamientos durante el fraguado (Rivva, 2010, p.32).

La norma E.060 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2009, p. 46) establece que la temperatura del concreto durante su colocación no debe ser mayor a 32° C; de lo contrario, se deben tomar medidas para proteger la mezcla, ya que podría causar inconvenientes debido a la pérdida de asentamiento, fragua instantánea o juntas frías.

La norma NTP 339.184 (2018, p. 5) establece el método de ensayo para determinar la temperatura del concreto, especifica que el dispositivo de medición de temperatura debe sumergirse en la mezcla de concreto fresco al menos 75 mm. Se presiona ligeramente el concreto alrededor del dispositivo, de modo que la temperatura del ambiente no afecte la medición y se dejará introducido durante 2 a 5 minutos, y luego se lee y registra la temperatura con una precisión de 0,5 °C. El dispositivo no debe ser retirado de la mezcla durante la medición de la temperatura.

2.6. PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

El concreto endurecido es aquel que comienza a fraguar, endurecerse y a ganar resistencia luego de que ha sido colocado y que cambia de estado plástico al sólido después del proceso de hidratación.

La norma NTP 339.033 (2015, p. 9) establece el procedimiento para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo, en forma cilíndrica y de viga, realizadas a partir de muestras representativas de concreto fresco, que serán moldeados sobre una superficie plana y sólida, el molde se llenará en tres capas y cada capa será compactada con 25 golpes. Las muestras deben mantenerse fuera de la luz solar directa hasta por 48 horas, luego se efectuará el curado, manteniendo agua libre continuamente en su superficie.

La norma NTP 339.183 (2018, p. 12) describe el procedimiento de elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio, el número de muestras para cada edad y condición de prueba suele ser de tres o más. Para concretos consolidados por varillado, se llena cada molde en tres capas y cada una se compacta con 25 golpes. Al día siguiente, las briquetas se retiran cuidadosamente de los moldes y se colocan en las pozas de curado hasta cumplir el tiempo requerido para realizar el ensayo de compresión. El día de la prueba, las briquetas serán sacadas de las pozas de curado, se pesarán y medirán.

2.6.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto se define como el esfuerzo máximo que puede soportar sin romperse y es utilizado como indicador de calidad. Es considerada una de las propiedades más importantes del concreto y se utiliza a menudo para su aceptación o rechazo. En general, todas las propiedades del concreto endurecido están relacionadas a la resistencia y en la mayoría de los casos, se cuantifican o califican es en función de este valor (Rivva, 2010, p. 29).

La resistencia a la compresión del concreto es la carga máxima por unidad de área que puede soportar el espécimen antes de que falle por compresión

(agrietamiento o rotura). Se sabe que la mayoría de las propiedades del concreto mejoran al incrementarse la resistencia a la compresión del concreto (f_c) y este valor se obtiene a los 28 días después del vaciado y realizado el curado. Los factores que afectan la resistencia es la relación agua/cemento, la cantidad y el tipo de cemento y las condiciones de curado (Abanto, 2009, p. 50).

La norma NTP 339.034 (2015, p. 12) establece el método de ensayo para la determinar la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas, que consiste en aplicar una carga de compresión axial con una velocidad continua hasta que el espécimen muestre un patrón de fractura bien definido. Para calcular la resistencia a la compresión del espécimen, se divide la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área promedio de la sección transversal del espécimen.

2.6.2. Durabilidad

El concreto durable es aquel que puede soportar satisfactoriamente las condiciones de exposición que normalmente reducen su capacidad estructural. Los factores externos o internos que pueden amenazar la durabilidad del concreto son los procesos de congelamiento, deshielo, humedecimiento, secado, calentamiento, enfriamiento, la exposición a agentes químicos, como cloruros y sulfatos y la acción de aditivos descongelantes (Rivva, 2010, p. 30).

El concreto debe poder soportar las condiciones de servicio a las que estará expuesto, como la intemperie, la acción de productos químicos y el desgaste. Gran parte de los daños que sufre el concreto se puede atribuir a los ciclos de congelación y descongelación, estos daños pueden aminorarse al incrementar la impermeabilidad, al incorporar aire en 2 a 6% o aplicando un revestimiento protector a la superficie (Abanto, 2009, p. 57).

2.6.3. Elasticidad

La elasticidad del concreto es la capacidad de deformarse bajo la influencia de una carga constante. Dado que el concreto no es un material completamente elástico, el diagrama de esfuerzo – deformación no muestra ningún tramo recto, solo curvo, pero presenta una zona donde esta curva se asimila al comportamiento elástico y es allí donde se calcula su módulo elástico para fines prácticos, definido mediante una recta tangente a la parte inicial del diagrama. El módulo de elasticidad es directamente proporcional a la resistencia a compresión e inversamente proporcional a la relación agua/cemento (Burgos, 2012, p. 73).

El concreto no es un material perfectamente elástico y la relación esfuerzo-deformación adopta por lo general la forma de una curva. Para el diseño estructural se supone un módulo de elasticidad constante que depende de la resistencia a la compresión del concreto. En la práctica, el módulo de elasticidad es una magnitud variable que depende de la naturaleza de los agregados, de la resistencia a la compresión y del tipo y tiempo de curado (Rivva, 2010, p. 3).

2.6.4. Impermeabilidad

La impermeabilidad del concreto es la capacidad que posee para resistir y prevenir el paso de fluidos, como el agua. Para obtener un concreto impermeable, es necesario utilizar una baja relación agua/cemento, reducir la cantidad de agua en la mezcla, ya que el exceso de agua deja vacíos después de la evaporación y se debe asegurar un curado adecuado y prolongado; además, la inclusión de burbujas de aire a través de aditivos, mejora la trabajabilidad, permitiendo el uso de relaciones agua/cemento más bajas, lo que contribuye a incrementar la impermeabilidad (Abanto, 2009, p. 58).

2.6.5. Dilatación térmica

Las propiedades térmicas del concreto son importantes, ya que deben minimizarse para evitar cambios en su volumen. La conductividad térmica es una medida de la velocidad con la que el calor es transmitido a través de un concreto de área y espesor unitario cuando existe una diferencia de temperatura entre dos superficies. El coeficiente de dilatación térmica del concreto depende del tipo de cemento, de las características de los agregados y de su volumen en la unidad cúbica de concreto, así como del nivel de humedad y de las dimensiones de la sección transversal; sin embargo, puede tomarse el valor de $1/100000$, en caso de no establecer otro valor para casos especiales (Rivva, 2010, p. 33).

CAPÍTULO III

DISEÑO DE MEZCLAS

La selección de las proporciones de los materiales que componen una unidad cúbica de concreto se denomina diseño de mezclas. Es un proceso para seleccionar los ingredientes más adecuados y combinarlos de manera conveniente y económica para obtener una adecuada trabajabilidad y consistencia en el estado fresco; y que endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador e indicados en los planos y/o las especificaciones del proyecto (Rivva, 2010, p. 13).

El concreto está compuesto de cemento, agregados y agua, y contiene una cantidad de aire atrapado o incorporado intencionalmente mediante un aditivo. Se pueden usar otros aditivos para modificar ciertas propiedades del concreto en su estado fresco y endurecido. Las proporciones de la mezcla se seleccionan para brindar trabajabilidad, resistencia y durabilidad requeridas por el trabajo específico que se realiza. La selección de las proporciones del concreto, implica un equilibrio entre la economía y los requisitos para ciertas características indicadas en las especificaciones de la obra (Abanto, 2009, p. 59).

El diseño de mezclas de concreto es la aplicación técnica y práctica del conocimiento de los materiales que las componen y la interacción entre ellos para obtener un material que cumpla con los requisitos. El objetivo de elegir las proporciones de los agregados es lograr una mezcla con las propiedades deseadas con un contenido mínimo de pasta. Actualmente, existen una serie de métodos de diseño de mezclas de concreto, que recomiendan el uso de tablas y gráficos para determinar valores como la cantidad de agua, la relación agua/cemento, las proporciones de arena y piedra y otros valores necesarios (Polo, 2006, p. 55).

3.1. INFORMACIÓN NECESARIA

Rivva (2010, p. 34) recomienda que antes de seleccionar las proporciones de la mezcla de concreto se debe conocer sus propiedades, el uso que tendrá, las características ambientales de la zona y las propiedades de los materiales que componen el concreto. Se debe tener en cuenta que las propiedades de la mezcla se basan en datos obtenidos de ensayos de laboratorio de los materiales a ser utilizados. La información necesaria para un diseño de mezclas adecuado es:

- a. Conocer el tipo y la marca del cemento, su peso específico y superficie específica.
- b. Si se utiliza aguas no potables, se debe realizar un análisis químico para analizar su efecto en el tiempo de fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica del concreto.
- c. Para los agregados es crucial realizar el análisis granulométrico y la determinación del módulo de fineza, el peso específico, el porcentaje de absorción y el contenido de humedad.
- d. Si se utilizan aditivos es fundamental conocer el tipo y la marca, la fecha de vencimiento, su efecto en las propiedades del concreto y las recomendaciones de uso del fabricante.

3.2. MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS

Al margen del método elegido, el diseño de mezclas tiene en cuenta la relación agua/cemento, la resistencia requerida, el tamaño máximo del agregado grueso, el contenido de aire y, si es necesario, las condiciones de colocación y exposición del concreto. Existen diversos métodos de dosificación del concreto, los cuales requieren ajustes en las proporciones de los materiales para lograr los resultados deseados; ninguno de ellos debe considerarse exacto, ya que las tablas o las curvas de diseño se basan en mezclas donde influyen las propiedades de los materiales utilizados y es de esperarse discordancias que incidan en los resultados (Gómez, 2013, p. 102).

En la presente investigación, nos centraremos en el método del comité 211 del ACI y en el método módulo de finura del agregado global.

3.3. MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

El comité 211 del ACI desarrolló un procedimiento de diseño de mezclas, basado en tablas, que permite determinar las proporciones de los materiales componentes de la unidad cúbica de concreto. Se aplica a concretos de peso normal y a las condiciones dadas en las tablas, también se puede utilizar en el diseño de concretos pesados y ciclópeos. El cálculo de la cantidad de material necesario para la producción de una unidad cúbica de concreto implica una serie de pasos que dependen de las propiedades de los materiales a ser utilizados (Rivva, 2010, p. 86).

Rivva (2010, p. 38) recomienda que se debe seguir el siguiente procedimiento para el diseño de mezclas usando el método del comité 211 del ACI:

3.3.1. Selección de la resistencia promedio

La resistencia promedio requerida a la compresión se calcula a partir de la resistencia a la compresión especificada y de la desviación estándar.

En caso de no contar con datos disponibles para calcular la desviación estándar, se utiliza la Tabla 5 para determinar la resistencia a la compresión promedio.

Tabla 5

Resistencia promedio a la compresión requerida, según la Norma E.060.

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f_c < 21$	$f_c + 7,0$
$21 \leq f_c \leq 35$	$f_c + 8,5$
$f_c \geq 35$	$1,1 f_c + 5,0$

Nota: Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento (2009).

3.3.2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso

El tamaño máximo nominal del agregado grueso se selecciona en función de las características de los elementos estructurales y del sistema de colocación del concreto, sin presentar dificultades, espacios vacíos ni cangrejeras

3.3.3. Selección del asentamiento

Se debe elegir la consistencia de la mezcla, que se expresa en función de su asentamiento. Es necesario tener en cuenta la trabajabilidad deseada, las características de los elementos estructurales y la facilidad de colocación y compactación del concreto. Para una consistencia plástica del concreto, se considera un asentamiento de 3" a 4". Para seleccionar el valor más conveniente del asentamiento en base a las indicaciones del comité 211 del ACI, se emplea la Tabla 6.

Tabla 6

Asentamientos recomendados según el tipo de construcción.

Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación armada	3"	1"
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

Nota: Rivva (2010).

3.3.4. Selección del volumen unitario de agua

La selección del volumen unitario de agua consiste en determinar la cantidad de agua que se debe añadir a la mezcla por unidad cúbica de concreto para lograr una consistencia determinada cuando el agregado está en estado seco, si el agregado no se encuentra en estado seco, la cantidad de agua debe ser corregida en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad del agregado.

Utilizando la Tabla 7 se determina el volumen de agua de la mezcla por unidad de volumen de concreto, considerando el tamaño máximo nominal del agregado grueso, la consistencia deseada y la presencia de aire, incorporado o atrapado, en la mezcla.

Tabla 7

Volumen de agua, según el tamaño máximo del agregado grueso y el asentamiento.

Asentamiento	Agua, en l/m ³ , para los tamaños máximos nominales del agregado grueso y consistencia.							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Nota: Rivva (2010).

3.3.5. Selección del contenido de aire

La Tabla 8 muestra el porcentaje aproximado de aire atrapado en mezclas de concreto, según el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

Tabla 8

Contenido de aire atrapado.

Tamaño máximo nominal	Aire atrapado
3/8"	3,0 %
1/2"	2,5 %
3/4"	2,0 %
1"	1,5 %
1 1/2"	1,0 %
2"	0,5 %
3"	0,3 %
6"	0,2 %

Nota: Rivva (2010).

3.3.6. Determinación de la relación agua/cemento por resistencia

Se utilizará la Tabla 9 para calcular la relación agua/cemento.

Tabla 9

Relación agua/cemento por resistencia.

f'cr a los 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,61
250	0,62	0,53
300	0,55	0,46
350	0,48	0,40
400	0,43	-
450	0,38	-

Nota: Rivva (2010).

3.3.7. Determinación del contenido de cemento

Una vez conocida la cantidad de agua por metro cúbico de concreto y la relación agua/cemento, se determina el factor cemento dividiendo el volumen unitario de agua (l/m³) entre la relación agua/cemento, resultando la cantidad de kilos de cemento por unidad cúbica de concreto.

3.3.8. Determinación del contenido de agregado grueso

La Tabla 10 permite obtener un coeficiente, que al ser multiplicado por el peso unitario seco compactado del agregado grueso, se obtiene la cantidad de agregado grueso seco y compactado que será utilizado en la mezcla de concreto.

Tabla 10*Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de finura del fino			
	fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,82	0,80	0,78	0,76
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

*Nota: Riva (2010).***3.3.9. Determinación del contenido de agregado fino**

Se determina el volumen absoluto de agregado fino por la diferencia entre la unidad y la sumatoria de los volúmenes absolutos de los demás materiales que componen la mezcla. Al multiplicar este valor, por el peso unitario seco compactado del agregado fino, se obtiene la cantidad de agregado fino seco y compactado que será utilizado en la mezcla de concreto.

3.3.10. Ajuste por humedad del agregado

Se deben de ajustar las proporciones de los agregados fino y grueso en función del porcentaje de absorción y el contenido de humedad de los agregados.

Según Rivva (2010, p. 83), el porcentaje de absorción del agregado se obtiene aplicando la Ecuación (1):

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100(SSS-S)}{S} \quad (1)$$

Donde:

SSS = Peso del agregado al estado saturado superficialmente seco.

S = Peso del agregado en estado seco.

Rivva (2010, p. 83) menciona que el contenido de humedad del agregado se calcula mediante la Ecuación (2):

$$\% \text{ Contenido de Humedad} = \frac{100(H-S)}{S} \quad (2)$$

Donde:

H = Peso del agregado seco.

S = Peso del agregado en estado seco.

La humedad superficial resulta de la diferencia entre el %contenido de humedad y % absorción. Este valor puede ser positivo, en cuyo caso el agregado aporta agua a la mezcla y esta cantidad debe restarse del agua de diseño para determinar el agua efectiva; o puede ser negativo, en este caso el agregado tomará agua de la mezcla, teniendo que añadir esta cantidad de agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño.

3.3.11. Determinación de proporciones de materiales de la mezcla

Luego de efectuar la corrección de los valores de diseño por humedad del agregado se procederá a:

- a. Determinar la proporción en peso, de diseño y de obra.
- b. Determinar los pesos por tanda de una bolsa.

3.4. MÉTODO MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL

Desde los inicios del uso del concreto para la construcción, los investigadores prestaron atención a la granulometría de la combinación de agregados, la cual está directamente relacionada con la compactación del concreto y de ella dependen muchas de sus propiedades, especialmente la resistencia, la durabilidad, estabilidad de volumen e impermeabilidad. El método del módulo de finura del agregado global permite estudiar la conformación de los agregados fino y grueso y determinar las proporciones adecuadas, lo que permite determinar la buena calidad del concreto a fabricar (Cachay, 1992, p. 92).

Staton Walker y su equipo de investigadores de laboratorio establecieron un procedimiento para seleccionar las proporciones de la mezcla de concreto, donde el porcentaje de agregados fino y grueso se modifica en función de su módulo de finura, que es una medida indirecta de su granulometría, a partir de la determinación del módulo de finura de la mejor combinación de agregados. En este método, los contenidos de agregados fino y grueso varían según la resistencia, esta variación depende principalmente de la relación agua/cemento de la mezcla. Si aumenta el módulo de finura, se incrementa la demanda de la pasta y si se mantiene constante la pasta y se incrementa la finura del agregado, disminuye la resistencia por adherencia (Rivva, 2010, p. 105).

Cachay (1922, p. 22) refiere que al producir un concreto con agregado global se debe tener en cuenta que las variaciones que ocurran en las fuentes de suministro de los agregados sean mínimas, puesto que el método se basa en el estudio granulométrico del agregado global; puede admitirse pequeñas variaciones en la granulometría y en el tamaño máximo de los agregados, así como en el contenido de cemento y en la trabajabilidad del concreto, puesto que son factores que no afectan

apreciablemente la resistencia del concreto, siempre y cuando la calidad de la pasta de cemento, definida por la relación agua/cemento, se mantenga constante. En cambio, si hay variaciones en la calidad de cemento o cambios severos en los agregados, pueden producirse alteraciones importantes en la resistencia, aunque la relación agua/cemento sea constante.

El método que toma al agregado como variable principal evaluando completamente su granulometría a efectos de poder optimizar sus propiedades, es el método del módulo de finura del agregado global. Este método es un complemento de los métodos de diseños utilizados, puesto que utiliza algunas tablas dadas por el ACI; sin embargo, evalúa la calidad granulométrica del agregado y el módulo de finura, de manera tal que brinda una trabajabilidad adecuada a la mezcla de concreto, y en estado endurecido, permite obtener un concreto compacto, con la menor cantidad de cemento posible (Gonzales, 2003, p. 64).

Cachay (1992, p.110) afirma que el uso de los términos finura y fineza puede ser indistinto, pero la frase módulo de finura, refleja una mejor correlación entre el concepto y la realidad. El módulo de finura enuncia buena calidad del agregado expresado como tamaño o grosor, el diccionario en castellano define finura y fineza por separado, la palabra finura refleja mejor el concepto al referirse a buena calidad. La traducción del inglés indica que para referirse a los agregados debe decirse finura y para expresar delicadeza, se debe decir fineza

Rivva (2010, p. 38) establece que se debe seguir el siguiente procedimiento para el diseño de mezclas de concreto usando el método del módulo de finura del agregado global:

3.4.1. Determinar la resistencia promedio requerida.

3.4.2. Seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

- 3.4.3. Seleccionar el asentamiento.
- 3.4.4. Seleccionar el volumen unitario de agua.
- 3.4.5. Seleccionar el contenido de aire.
- 3.4.6. Determinar la relación agua/cemento.
- 3.4.7. Determinar el factor cemento.
- 3.4.8. Calcular el volumen absoluto de la pasta, que comprenderá la suma de los volúmenes absolutos del cemento, agua y aire, que son elementos integrantes de la pasta.
- 3.4.9. Calcular el volumen absoluto del agregado, este valor es igual a la unidad menos el volumen absoluto de la pasta.
- 3.4.10. Determinar el módulo de finura del agregado global, este valor se calcula utilizando la Ecuación (3), que relaciona el módulo de finura de los agregados fino y grueso, así como su participación porcentual en volumen absoluto total de agregado. Aplicando esta ecuación es posible obtener diversos valores del módulo de finura del agregado global que dan las mejores condiciones de trabajabilidad para diversos contenidos de cemento por metro cúbico de concreto.

$$MFG = r_f \times m_f + r_g \times m_g \quad (3)$$

Donde:

MFG = Módulo de finura del agregado global.

m_f = Módulo de finura del agregado fino.

m_g = Módulo de finura del agregado grueso.

r_f = Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado.

r_g = Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total del agregado.

3.4.11. Calcular el porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado, conociendo el valor del módulo de finura del agregado global se puede determinar el porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado. Para ser calculada, aplicamos la Ecuación (4):

$$r_f = \frac{m_g - MFG}{m_g - m_f} * 100 \quad (4)$$

Donde:

r_f = Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total del agregado.

m_g = Módulo de finura del agregado grueso.

MFG = Módulo de finura del agregado global.

m_f = Módulo de finura del agregado fino.

3.4.12. Calcular los volúmenes absolutos del agregado. El valor obtenido en la Ecuación 4, multiplicado por el volumen absoluto de agregado, nos permite conocer el volumen absoluto de agregado fino. Por diferencia se puede determinar el volumen absoluto de agregado grueso.

3.4.13. Determinar los pesos secos de los agregados, los valores absolutos de los agregados fino y grueso, multiplicados por sus respectivos pesos específicos, permiten calcular los pesos secos por unidad de volumen del concreto, de los agregados fino y grueso.

3.4.14. Determinar los valores de diseño.

3.4.15. Corregir los valores por la humedad del agregado.

3.4.16. Determinar la proporción en peso de los materiales de la mezcla.

3.4.17. Determinar los pesos de los materiales por tanta de una bolsa.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. PERSPECTIVA METODOLÓGICA

La presente investigación tuvo un enfoque cuantitativo, debido a que se realizó la recolección de datos para probar la hipótesis en base a los resultados de ensayos de laboratorio, que fueron procesados mediante un análisis numérico en gabinete. Así mismo, la orientación de la investigación es aplicada, ya que se pretende mejorar las propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa en base a conocimientos existentes, como son los métodos de diseños de mezclas del comité 211 del ACI y módulo de finura del agregado global.

4.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación desarrollado fue experimental, debido a la consistencia planteada para el desarrollo de la investigación. Se manipuló de manera intencional la variable independiente con el fin de mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido; es decir, se realizó la variación del módulo de finura del

agregado global, para luego medir los efectos que ocasiona en la variable dependiente que son las propiedades del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa; para ello, primero se interpretó numéricamente los resultados de los ensayos de laboratorio y de gabinete de cada diseño de mezcla; luego, se comparó 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.

4.3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se desarrolló un diseño experimental que contempló dos grupos de investigación: uno experimental y otro de control. El primero, fue el concreto efectuando la variación del módulo de finura del agregado global, que recibió el tratamiento experimental y el segundo grupo, fue el concreto patrón de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa, realizado con un diseño de mezclas usando el método del comité 211 del ACI. De tal manera, que luego de la manipulación de la variable independiente, se administró a ambos grupos una medición sobre la variable dependiente que son las propiedades del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

4.4. LÍMITES DE LA INVESTIGACIÓN

4.4.1. Limitación espacial

En la presente investigación se propuso la variación del módulo de finura del agregado global con la finalidad de mejorar las propiedades del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa, la cual fue realizada en la ciudad de Huaraz. Razón por la que se usó agregados naturales, como la arena gruesa y la piedra chancada de la cantera de Taclán, ubicada en el distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, departamento de Ancash.

4.4.2. Limitación temporal

El planteamiento del proyecto de investigación de tesis inició en agosto del 2020 y se formuló durante tres meses continuos; posteriormente se realizó la recolección de datos, ensayos de laboratorio y procesamiento de información a fines del año 2021 y se culminó la investigación a mediados del año 2022, llevándose a cabo su desarrollo durante 12 meses discontinuos.

4.4.3. Limitación temática

La investigación se limitó en evaluar la incidencia del método módulo de finura del agregado global en las propiedades del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, utilizando cemento portland tipo I, agua, arena gruesa y piedra chancada. Las propiedades del concreto que fueron evaluadas en el estado fresco son la consistencia, la temperatura, el peso unitario, el porcentaje de aire y la exudación y en el estado endurecido, la resistencia a la compresión a los 28 días. La investigación no enfoca directamente el problema de la durabilidad del concreto, sino la calidad del diseño de mezclas.

4.5. CONTEXTO

La presente investigación fue realizada en el laboratorio de resistencia de materiales de la facultad de Ingeniería Civil de la UNASAM, ubicado en la ciudad de Huaraz, en el distrito de Huaraz, provincia de Huaraz, departamento de Ancash. Esta ciudad, está ubicada en la sierra peruana, a una altitud aproximada de 3100 m.s.n.m. La temperatura media anual es 14°C , con oscilaciones de temperaturas máximas y mínimas de 24°C y 6°C respectivamente, además presenta una humedad relativa promedio de 73.5%.

4.6. UNIDAD DE ANÁLISIS: POBLACIÓN Y MUESTRA

4.6.1. Población

La población considerada para el desarrollo de la investigación está conformada por las canteras de origen natural del río Santa ubicadas en la provincia de Huaraz.

4.6.2. Muestra

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 Taclán, del distrito de Huaraz, la cual fue elegida por un tipo de muestreo No Probabilístico por conveniencia.

Para el muestreo de los agregados fino y grueso se utilizó la NTP 400.037. Para tomar muestras representativas y realizar los ensayos de las propiedades del concreto en el estado fresco se empleó la NTP 339.036 y para el muestreo, elaboración y curado de especímenes de concreto en estado endurecido en laboratorio, se aplicó la NTP 339.183.

La Norma NTP 339.183 (2018, p. 11) menciona que el número de especímenes dependerá del ensayo a realizar y la naturaleza del programa de ensayos. Usualmente, el número de especímenes es tres o más que deberán ser moldeados para cada edad y condiciones de prueba.

La Norma E.060 (2009, p. 40) refiere que se considera como un ensayo de resistencia al promedio de las resistencias de tres probetas cilíndricas hechas de la misma muestra de concreto y ensayadas a los 28 días.

Siguiendo estas recomendaciones se realizó 6 especímenes por cada diseño de mezclas de concreto, siendo esta cantidad el doble de lo requerido con la finalidad de tener mayor información para el desarrollo de la investigación. Los especímenes fueron ensayados a los 28 días de edad. Se efectuaron 12 diseños de mezcla; por lo tanto, se elaboraron 72 briquetas de concreto.

4.7. MÉTODOS Y RECURSOS EMPLEADOS

4.7.1. Métodos

a. Para los ensayos en laboratorio de los agregados

- Métodos y procedimientos apropiados para la realización de ensayos para determinar las propiedades de los agregados fino y grueso, siguiendo las Normas Técnicas Peruanas o normas internacionales como de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

b. Para el diseño de mezclas del concreto patrón

- Selección de las proporciones de la mezcla de concreto patrón usando el método del comité 211 del ACI.

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

- Selección de las nuevas proporciones de la mezcla de concreto usando el método del módulo de finura del agregado global.

d. Para la determinación de las propiedades del concreto

- Métodos y procedimientos apropiados para la realización de ensayos para determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, siguiendo las Normas Técnicas Peruanas o normas internacionales como de la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM).

4.7.2. Recursos Empleados

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

- Personal en campo y la responsable de la investigación.
- Cámara fotográfica.
- Lampa.
- Costales.

b. Para los ensayos de laboratorio

- Personal técnico calificado y la responsable de la investigación.
- Cámara fotográfica
- Equipos de laboratorio, debidamente calibrados y en buen estado, que garanticen la exactitud y validez de los resultados de ensayos. Estos fueron: balanza, horno eléctrico, probetas graduadas, tamices NTP, máquina vibradora de agregados, mezcladora de concreto, barra compactadora, moldes cilíndricos para briquetas, cono de Abrams, wincha, enrasador, molde metálico para peso unitario, cronómetro, pipeta, medidor de temperatura, pozas de curado de concreto, máquina de prueba de compresión.

c. Para los trabajos en gabinete

- A nivel bibliográfico, se consultaron y analizaron fuentes de investigación como: libros, artículos científicos, manuales de laboratorio, Normas Técnicas Peruanas e internacionales (ASTM) y tesis de distintas universidades, las cuales están relacionadas al presente tema de investigación.
- Para procesar los datos recolectados y los resultados de los ensayos de laboratorio se usaron los siguientes recursos: útiles de escritorio, computadora portátil e impresora. Además, se utilizaron herramientas de software como: Word y Excel de Microsoft Office para la redacción de la investigación y creación de hojas de cálculo.

- En cuanto a recursos humanos, se requirió del apoyo e intervención del asesor de la presente investigación el Dr. Ing. Reynaldo Melquiades Reyes Roque y como responsable del desarrollo de la misma, la tesista.

d. Para el financiamiento de la investigación

- En cuanto a los recursos financieros, la tesista costó todos los gastos necesarios para el desarrollo de la investigación.

4.8. PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN, PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

4.8.1. Recolección de información

Para la recolección de datos de la presente investigación se ejecutaron las siguientes actividades:

a. Toma de datos en campo

- Reconocimiento y evaluación de la cantera de Taclán para la extracción de agregados naturales.
- Identificación de la cantera para la extracción del agregado fino (arena gruesa) y agregado grueso (piedra chancada), que fueron utilizados en el diseño y elaboración de las mezclas de concreto.
- Estudio de la cantera y toma de muestras representativas de los agregados, para realizar los ensayos de laboratorio respectivos.
- Caracterización del agregado grueso y del agregado fino, de acuerdo a las siguientes propiedades: análisis granulométrico, peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico, porcentaje de absorción, contenido de humedad y módulo de finura.

b. Realización de ensayos de laboratorio de los agregados

- Para la evaluación del agregado fino de la cantera de Taclán, se realizaron los siguientes ensayos:

Tabla 11

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° 200	NTP 400.018

- Para el estudio del agregado grueso de la cantera de Taclán, se efectuaron los siguientes ensayos:

Tabla 12

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

c. Diseño de mezclas de concreto patrón

- Luego de obtener las características de los agregados, en base a los ensayos de laboratorio, se realizó el diseño de mezclas de concreto. En la dosificación de los materiales del concreto se utilizó cemento pórtland tipo I.

- Se procedió a realizar el diseño de mezclas del concreto patrón siguiendo las condiciones y los procedimientos recomendados por el método de comité 211 del ACI.
- Se realizó el diseño de mezclas para que el concreto cumpla, antes y después del mezclado, con las siguientes condiciones: $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, asentamiento máximo= $3''$ a $4''$ y sin aire incorporado.
- El diseño del concreto patrón sirvió de base para la comparación de las propiedades del concreto fresco y endurecido.

d. Variación del módulo de finura del agregado global (MFG)

- Con las propiedades obtenidas de los agregados, se calculó el módulo de finura del agregado global (*MFG*) del concreto patrón de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa. Para ello se empleó la Ecuación (3).
- De esta ecuación se conoce los valores de los módulos de finura del agregado fino (m_f) y del agregado grueso (m_g), obtenidos en los ensayos de laboratorio de análisis granulométrico de los agregados. Además, se logró calcular los porcentajes de los agregados fino (r_f) y grueso (r_g) en relación al volumen absoluto total del agregado presente en el diseño de mezclas.
- Una vez obtenido este valor se continuó con la variación del módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.
- Se disminuyó gradualmente una décima en tres oportunidades, al valor del módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa, hasta lograr disminuir en tres décimas a esta variable independiente, tal como se detalla en la Tabla 13. A consecuencia de esta variación, se generaron nuevas proporciones del agregado fino y del agregado grueso presentes en los diseños de mezclas del concreto patrón, obtenidos inicialmente.

Tabla 13

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 : módulos de finura del agregado global del concreto patrón de f'c= 17, 21 y 28 MPa, respectivamente.

A, E, I: diseños de mezclas del concreto patrón aplicando el método del comité 211 del ACI.

B, C, D, F, G, H, J, K, L: diseños de mezclas del concreto variando el módulo de finura del agregado global.

- La disminución en una décima del módulo de finura del agregado global del concreto patrón de f'c= 17, 21 y 28 MPa, permite modificar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido de manera controlada, sin que se llegue a afectar sus características intrínsecas, como son la fluidez y la trabajabilidad. Esta adopción de una décima es en base a la revisión

bibliográfica realizada a diversas investigaciones similares al tema en estudio; donde este valor es suficiente para modificar las proporciones del agregado fino y del agregado grueso en el diseño de mezclas. Cabe señalar que la investigación planteó mantener fijas las cantidades de agua y cemento.

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

- Al variar el módulo de finura del agregado global se obtuvieron nuevas proporciones del agregado fino y del agregado grueso; manteniendo fijas las cantidades de agua y cemento de diseño, se logró determinar las nuevas proporciones de estos materiales presentes en la mezcla de concreto.
- El mismo procedimiento se siguió con las otras resistencias específicas del concreto en estudio, variando en tres oportunidades el módulo de finura del agregado global y así, se obtuvieron nuevas proporciones de los agregados.
- A continuación, se elaboró la mezcla del concreto para realizar los ensayos necesarios, considerando estas mezclas como las deseadas.

f. Determinación de las propiedades del concreto fresco

- En base a la NTP 339.036, se tomaron muestras representativas de concreto fresco y se efectuaron los siguientes ensayos de laboratorio:

Tabla 14

Ensayos de laboratorio para las propiedades del concreto fresco.

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

g. Determinación de las propiedades del concreto endurecido

- Se considera la resistencia a la compresión del concreto como la más valiosa propiedad, ya que suele dar una imagen general de la calidad del concreto.
- Utilizando la NTP 339.183, se elaboró en el laboratorio 6 especímenes por cada diseño de mezcla de concreto, elaborando un total de 72 briquetas; se procedió con el curado y luego fueron ensayadas a los 28 días de edad. Se realizó el siguiente ensayo de laboratorio:

Tabla 15

Ensayo de laboratorio de resistencia a la compresión del concreto.

Ensayo	Normativa
Resistencia a la compresión a los 28 días.	NTP 339.034

4.8.2. Procesamiento de Datos

Para determinar la calidad del concreto fue necesario realizar ensayos en su estado fresco como endurecido. De tal modo que se pueda apreciar los cambios que sufren las propiedades del concreto cuando se realiza la variación del módulo de finura y, en consecuencia, el cambio de las proporciones de los agregados fino y grueso, presentes en la mezcla. En el procesamiento de la información se realizó lo siguiente:

- Realización de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades del agregado fino y del agregado grueso.
- Elaboración de la curva granulométrica y tabulación de las propiedades del agregado fino y del agregado grueso.
- 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, para proceder a calcular las nuevas proporciones de los agregados presentes en la mezcla de concreto.

- Elaboración de tablas comparativas con las proporciones o cantidades de materiales componentes del concreto, obtenidos en los distintos diseños de mezclas.
- Elaboración de muestras de concreto, usando las proporciones obtenidas.
- Toma de muestras del concreto fresco y realización de ensayos de consistencia, temperatura, peso unitario, contenido de aire y exudación de la muestra de concreto fresco, estas pruebas fueron realizadas dentro de los 5 minutos de efectuarse la toma de la muestra.
- Elaboración y curado de briquetas de concreto en el laboratorio. Se realizaron los especímenes dentro de los 15 minutos siguientes a la toma de muestras.
- Ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto a los 28 días de edad.
- Elaboración de tablas comparativas y gráficos, en función a los resultados de los ensayos realizados, usando hojas de cálculo Excel.
- Elaboración de gráficos módulo de finura del agregado global vs asentamiento, temperatura, peso unitario, porcentaje de aire atrapado, exudación y resistencia a la compresión a los 28 días, usando hojas de cálculo Excel y Word.

4.8.3. Análisis

Para lograr el fin de la presente investigación se efectuó la sistematización del problema general. Por ello, primero se desarrolló cada objetivo específico, realizando el análisis e interpretación de los datos obtenidos en la medición de la variable dependiente, de la siguiente manera:

- a. **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, temperatura, peso unitario, contenido de aire en la mezcla, exudación y resistencia a la compresión.

Indices: $1'' \leq \text{slump} \leq 4''$, $10^{\circ}\text{C} \leq t \leq 32^{\circ}\text{C}$, kg/m^3 , % 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 utilizado para el diseño del concreto patrón, fue aplicado para determinar las proporciones de los materiales de la mezcla.
- Los resultados de los ensayos realizados a las muestras del concreto patrón, en estado fresco y endurecido, proporcionó los valores requeridos para su estudio y análisis.
- Los resultados de los ensayos realizados al concreto patrón, en estado fresco y endurecido, cumplieron con los parámetros establecidos.

b. 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, temperatura, peso unitario, contenido de aire en la mezcla y exudación.

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

Análisis e interpretación de datos:

- La variación del módulo de finura del agregado global, generó un cambio en las proporciones de los agregados fino y grueso presentes en la mezcla.
- De los resultados logrados en los ensayos de laboratorio para las muestras de concreto fresco, se verificó que los valores se encuentren dentro de los parámetros establecidos.
- Los resultados de los ensayos realizados a las muestras del concreto fresco, brindó los valores requeridos para su estudio y análisis.

c. 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.

Indices: $f'c \geq 17, 21$ y 28 MPa.

Análisis e interpretación de datos:

- La variación del módulo de finura del agregado global, generó un cambio en las proporciones de los agregados fino y grueso presentes en la mezcla del concreto.
- De los resultados logrados en el ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes de concreto, se verificó que los valores cumplan que $f'c \geq 17, 21$ y 28 MPa.
- Los resultados conseguidos en los ensayos realizados a los especímenes de concreto, brindaron los valores requeridos para su estudio y análisis.

d. 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 realizó una descripción y comparación de los resultados logrados en los anteriores objetivos específicos, a fin de comparar las propiedades del concreto fresco y endurecido, obtenidos al utilizar el método de diseño de mezclas del comité 211 del ACI y el método módulo de finura del agregado global.
- Después de alcanzar los *objetivos específicos*, se realizó el contraste de las hipótesis específicas correspondientes. Por lo que, se alcanzó el fin de la investigación realizando la prueba de hipótesis.

4.8.4. Prueba de hipótesis

El objetivo principal de la investigación experimental suele ser responder a determinadas preguntas, el encargado del estudio tiene ciertas hipótesis a priori que las debe de comprobar; para ello, se plantea la hipótesis estadística que se expresa en una hipótesis nula (H_0), que plantea una igualdad de las medidas y una hipótesis alternativa (H_A), que establece que al menos una es diferente (Gutiérrez & De la Vara, 2008, p. 30).

Para el desarrollo del presente estudio se planteó la Ecuación (5):

$$\begin{aligned} H_0 : \tau_0, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i &= 0 \quad , \quad i = 0, 1, 2, \dots, 11 \\ H_A : \tau_i &\neq 0 \quad \text{para algún } i \end{aligned} \quad (5)$$

Donde:

τ_i : Incidencia (incremento o reducción) del tratamiento i (variación del módulo de finura del agregado global) sobre la variable dependiente (propiedades del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa).

Si se acepta la hipótesis nula (H_0), se afirma que la variación del módulo de finura del agregado global no incide en las propiedades del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa y que los resultados se deben al error de los ensayos y no al tratamiento que se realizó. En caso de rechazarla, se acepta la hipótesis alternativa (H_A) que confirma que al menos una incidencia es diferente de cero y en efecto, se comprueba la hipótesis de la investigación. Para ello, se asume una significancia de $\alpha = 0.05$, que es la probabilidad de rechazar H_0 siendo verdadera.

Para la prueba de hipótesis se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de un factor y para evaluar si los tratamientos son diferentes o similares entre sí se usó el método de Tukey y se presenta un diagrama de caja simultáneo.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. 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.

La presente investigación inició con el diseño de mezclas del concreto patrón de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa, que sirvió de base para los siguientes diseños de mezclas deseados. Para ello, se realizó un estudio de las propiedades de los materiales que componen la mezcla de concreto; los agregados fino y grueso fueron ensayados en el laboratorio para conocer sus propiedades, las características del cemento portland tipo I son proporcionadas por el fabricante; cabe señalar que se empleó agua potable para la elaboración del concreto.

5.1.1. Ensayos de laboratorio de los agregados

Se seleccionó a la cantera de Taclán, como proveedora de agregados. Se caracterizó como agregado fino a la arena gruesa y agregado grueso a la piedra chancada, el procedimiento utilizado para definir las propiedades físicas de los agregados se basó en las Normas Técnicas Peruanas vigentes y normas ASTM.

a. Propiedades físicas de los agregados

Los agregados empleados en la investigación constituyen una parte fundamental del volumen total de concreto y muchas de las propiedades de la mezcla, principalmente mecánicas están directamente relacionadas con las propiedades físicas de los agregados; por ello, con la finalidad de tener un control de calidad estricto se realizaron ensayos para determinar sus características, dicho estudio se encuentra en el Anexo A.

En la Tabla 16, se presentan los resultados de ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas de los agregados.

Tabla 16

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

b. Análisis granulométrico de los agregados

La granulometría de los agregados está relacionada con la trabajabilidad del concreto, el requerimiento de agua, la compacidad y la resistencia a la compresión del concreto. La NTP 400.037 nos recomienda límites granulométricos para el agregado fino y el agregado grueso, que se muestran en la Tabla 3 y en la Tabla 4, respectivamente, descritas en el marco teórico.

La Tabla 17 muestra los resultados del análisis granulométrico del agregado fino utilizado en la mezcla de concreto.

Tabla 17

Granulometría del agregado fino.

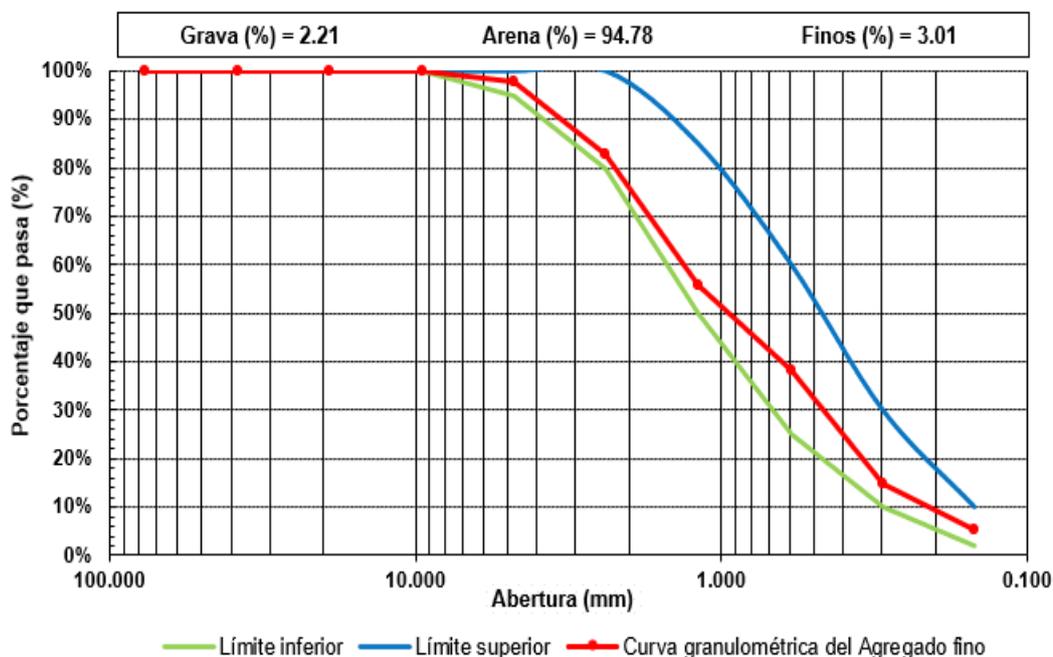
Tamiz	Abertura	Peso retenido	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Acumulado que pasa
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.760	48.50	2.21	2.21	97.79
Nº 8	2.380	331.00	15.10	17.31	82.69
Nº 16	1.190	592.10	28.20	43.30	56.70
Nº 30	0.590	380.20	17.34	60.64	39.36
Nº 50	0.297	513.60	24.46	85.10	14.90
Nº 100	0.149	211.80	9.66	94.76	5.20
Nº 200	0.074	48.90	2.23	96.99	3.01
> Nº 200	0.000	1.90	0.09	97.08	
Total		2128.00	97.08		

Nota: Los %Acumulados que pasan, cumplen los requisitos de granulometría para el agregado fino. De los resultados, el 3.01% pasa la mala Nº 200.

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

Figura 1

Curva granulométrica del agregado fino.



En la Tabla 18 se presentan los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso utilizado en la mezcla de concreto.

Tabla 18

Granulometría del agregado grueso.

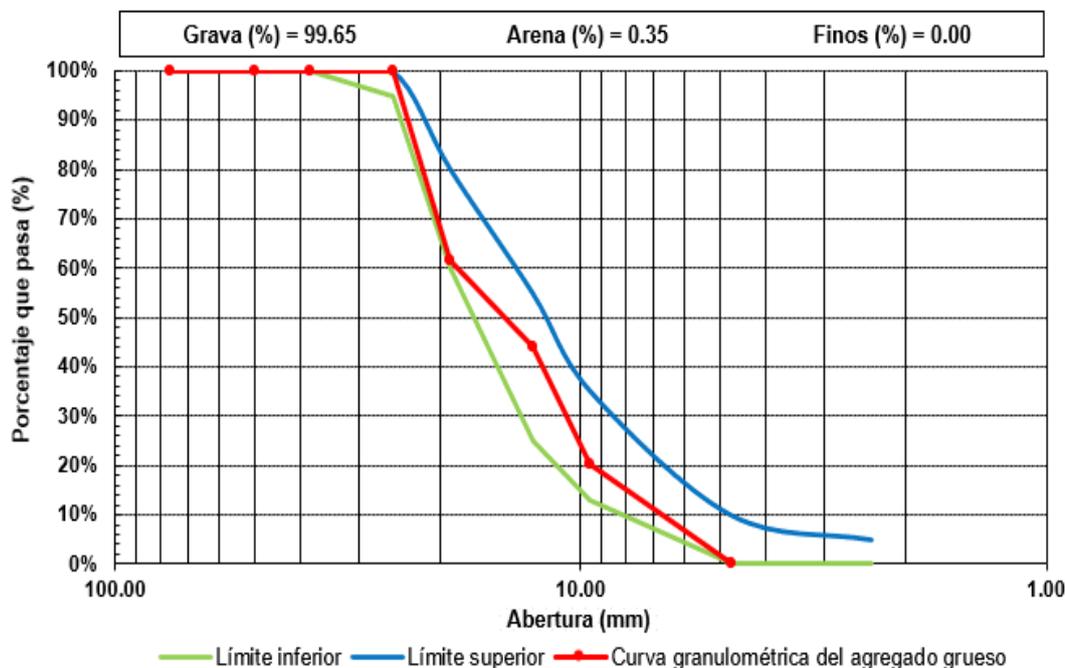
Tamiz	Abertura	Peso retenido	%Retenido parcial	%Retenido acumulado	%Acumulado que pasa
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	1187.60	38.31	38.31	61.69
1/2"	12.700	549.90	17.74	56.05	43.95
3/8"	9.525	731.50	23.60	79.65	20.35
Nº 4	4.760	620.00	20.00	99.65	0.35
Total		3089.00	99.65		

Nota: los %Acumulados que pasan, cumplen los requisitos de granulometría para el agregado grueso (Huso 57).

Se presenta la curva granulométrica del agregado grueso en la Figura 2.

Figura 2

Curva granulométrica del agregado grueso.



c. Módulo de finura de los agregados

El módulo de finura se calculó en base al análisis granulométrico de los agregados, este valor resulta de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices indicados a continuación:

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

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

$$MF(\text{agregado fino}) = \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 2.21 + 17.31 + 43.30 + 60.64 + 85.10 + 94.76}{100}$$

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

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

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

La Tabla 19 muestra el módulo de finura del agregado fino y grueso.

Tabla 19

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 se encuentran dentro de los intervalos permitidos.

5.1.2. Características del cemento

Para la fabricación de las mezclas de concreto se utilizó cemento portland tipo I (cemento Sol), en presentaciones de bolsas de 42.50 kg, sus características físicas y químicas se muestran a continuación en la Tabla 20.

Tabla 20

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: Información proporcionada por el fabricante en su informe de calidad del lote.

5.1.3. Diseño de mezclas del concreto patrón

Para el diseño de mezclas del concreto patrón de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa se siguió las condiciones y los procedimientos recomendados por el método del comité 211 del ACI.

Los valores de los diseños de mezclas se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

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

Descripción	Diseño de mezclas		
	A ^a	E ^b	I ^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. Los cálculos se detallan en el Anexo B.

5.1.4. Propiedades del concreto patrón en estado fresco

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

Los resultados de las propiedades medidas en los ensayos de laboratorio se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22

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

Propiedad	Diseño de mezclas		
	A ^a	E ^b	I ^c
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. Los cálculos se detallan en el Anexo C.

5.1.5. Resistencia a la compresión del concreto patrón

Se efectuó el ensayo de resistencia a la compresión, en briquetas de concreto de 6x12 pulgadas (150x300 mm), los especímenes fueron curados en pozas de agua y ensayados a los 28 días. Los resultados se presentan a continuación en la Tabla 23.

Tabla 23

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	23.3	
		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: Los resultados de laboratorio del ensayo se detallan en el Anexo D.

^a: Fecha de moldeo 23/02/22. Fecha de rotura 23/03/22. Área = 176.7 cm².

^b: Fecha de moldeo 10/03/22. Fecha de rotura 07/04/22. Área = 176.7 cm².

^c: Fecha de moldeo 24/03/22. Fecha de rotura 21/04/22. Área = 176.7 cm².

5.2. 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.

Se calculó el módulo de finura del agregado global, a partir del diseño de mezclas del concreto patrón; se procedió a realizar la variación de este valor disminuyendo en una décima en tres oportunidades, para así obtener nuevos valores del módulo de finura del agregado global y en base a ello, calcular las nuevas proporciones de los materiales que componen el concreto. Luego, se elaboró las mezclas de concreto y se determinó las propiedades del concreto fresco.

5.2.1. Cálculo del módulo de finura del agregado global

Haciendo uso de la Ecuación 3, señalada en el marco teórico, se procedió a calcular el módulo de finura del agregado global, teniendo como base el diseño de mezclas del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa y conociendo los módulos de finura de los agregados fino y grueso, obtenidos en los ensayos realizados de los agregados. Los valores calculados se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24

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

Nota: Los cálculos se detallan en el Anexo C.

5.2.2. Variación del módulo de finura del agregado global

Se procedió a realizar la variación de módulo de finura del agregado global del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa; este procedimiento consistió en disminuir

en una décima en tres oportunidades, hasta lograr disminuir este valor en 3 décimas. Las variaciones realizadas se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25

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, respectivamente.

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

Luego de realizar la variación de la variable independiente de la investigación, se procedió a determinar las nuevas proporciones de los materiales, manteniendo fija la relación agua/cemento de diseño y utilizando 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

Luego de realizar la variación del módulo de finura del agregado global de 17 MPa (MFG_1), disminuyendo en una décima en tres oportunidades, se procedió a determinar las nuevas proporciones de los materiales componentes del concreto, que se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26

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 $MFG_1 - 0.30$. Los cálculos se detallan en el Anexo B.

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

Luego de realizar la variación del módulo de finura del agregado global de 21 MPa (MFG_2), disminuyendo en una décima en tres oportunidades, se procedió

a determinar las nuevas proporciones de los materiales componentes del concreto, que se muestran en la Tabla 27.

Tabla 27

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 $MFG_2 - 0.30$. Los cálculos se detallan en el Anexo B.

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

Luego de realizar la variación del módulo de finura del agregado global de 28 MPa (MFG_3), disminuyendo en una décima en tres oportunidades, se procedió a determinar las nuevas proporciones de los materiales componentes del concreto, que se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28

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 $MFG_3 - 0.30$. Los cálculos se detallan en el Anexo B.

5.2.4. Propiedades del concreto en estado fresco

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

Las propiedades en estado fresco obtenidas para los diseños de mezclas de concreto elaborados luego de realizar la variación del módulo de finura del agregado global de 17 MPa (MFG_1), se muestran en la Tabla 29.

Tabla 29

Propiedades del concreto fresco de $f'c = 17$ MPa, para las variaciones del MFG_1 .

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 $MFG_1 - 0.10$, ^b $MFG_1 - 0.20$, ^c $MFG_1 - 0.30$. Los cálculos se detallan en el Anexo C.

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

Las propiedades en estado fresco obtenidas para los diseños de mezclas de concreto elaborados luego de realizar la variación del módulo de finura del agregado global de 21 MPa (MFG_2), se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30

Propiedades del concreto fresco de $f'c = 21$ MPa, para las variaciones del MFG_2 .

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	21.0	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 $MFG_2 - 0.10$, ^b $MFG_2 - 0.20$, ^c $MFG_2 - 0.30$. Los cálculos se detallan en el Anexo C.

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

Las propiedades en estado fresco obtenidas para los diseños de mezclas de concreto elaborados luego de realizar la variación del módulo de finura del agregado global de 28 MPa (MFG_3), se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

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 $MFG_3 - 0.30$. Los cálculos se detallan en el Anexo C.

5.3. 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.

Después de realizar la variación del módulo de finura del agregado global, se elaboró las mezclas de concreto, realizando el ensayo de resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de 6x12 pulgadas (150 x 300 mm), que fueron curados en pozas de agua y ensayados a los 28 días de edad.

5.3.1. Resistencia a la compresión de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG_1 de 17 MPa

Las resistencias a la compresión obtenidas para los diseños de mezclas de concreto, haciendo la variación del módulo de finura del agregado global de 17 MPa (MFG_1), se presentan en la Tabla 32.

Tabla 32

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: los resultados de laboratorio del ensayo se detallan en el Anexo C.

^a: Fecha de moldeo 28/02/22. Fecha de rotura 28/03/22. Área = 176.7 cm².

^b: Fecha de moldeo 02/03/22. Fecha de rotura 30/03/22. Área = 176.7 cm².

^c: Fecha de moldeo 04/03/22. Fecha de rotura 01/04/22. Área = 176.7 cm².

5.3.2. Resistencia a la compresión de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG_2 de 21 MPa

Las resistencias a la compresión obtenidas para los diseños de mezclas de concreto, haciendo la variación del módulo de finura del agregado global de 21 MPa (MFG_2), se presentan en la Tabla 33.

Tabla 33

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: los resultados de laboratorio del ensayo se detallan en el Anexo C.

^a: Fecha de moldeo 15/03/22. Fecha de rotura 12/04/22. Área = 176.7 cm².

^b: Fecha de moldeo 16/03/22. Fecha de rotura 13/04/22. Área = 176.7 cm².

^c: Fecha de moldeo 17/03/22. Fecha de rotura 14/04/22. Área = 176.7 cm².

5.3.3. Resistencia a la compresión de los diseños de mezclas haciendo la variación del MFG_3 de 28 MPa

Las resistencias a la compresión obtenidas para los diseños de mezclas de concreto, haciendo la variación del módulo de finura del agregado global de 28 MPa (MFG_3), se presentan en la Tabla 34.

Tabla 34

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: Los cálculos y resultados de laboratorio del ensayo se detallan en el Anexo C.

^a: Fecha de moldeo 29/03/22. Fecha de rotura 26/04/22. Área = 176.7 cm².

^b: Fecha de moldeo 31/03/22. Fecha de rotura 28/04/22. Área = 176.7 cm².

^c: Fecha de moldeo 01/04/22. Fecha de rotura 29/04/22. Área = 176.7 cm².

5.4. 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.

5.4.1. Comparación de los diseños de mezclas de concreto realizados

En la Tabla 35 se presentan las proporciones por metro cúbico de los materiales que componen el concreto, estas cantidades fueron obtenidas para los diseños de mezclas realizando la variación del módulo de finura del agregado global de 17 MPa.

Tabla 35

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

A continuación, la Tabla 36 muestra las proporciones por metro cúbico de los materiales que componen el concreto, estas cantidades fueron obtenidas para los diseños de mezclas realizando la variación del módulo de finura del agregado global de 21 MPa.

Tabla 36*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

La Tabla 37 muestra las proporciones por metro cúbico de los materiales del concreto, estas cantidades fueron obtenidas para los diseños de mezclas realizando la variación del módulo de finura del agregado global de 28 MPa.

Tabla 37*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

5.4.2. Resumen de resultados de los ensayos realizados

Para realizar los ensayos de laboratorio y determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, se siguieron los procedimientos señalados en las Normas Técnicas Peruanas. Los procedimientos utilizados se presentan en los siguientes anexos:

- Anexo F. Método de ensayo para la medición del asentamiento.
- Anexo G. Método de ensayo para determinar la temperatura del concreto.
- Anexo H. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario).
- Anexo I. Método de ensayo para determinar la exudación del concreto.
- Anexo J. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
- Anexo K. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión.

En la Tabla 38, se presenta un cuadro resumen de los resultados al determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Tabla 38

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	20.0	2321.70	1.46	0.111	18.7
	C	5.20	63.50	21.0	2341.40	0.64	0.111	20.1
	D	5.10	60.33	21.5	2345.60	0.48	0.115	19.1
21 MPa	E (patrón)	5.46	69.85	20.5	2326.73	1.57	0.118	22.8
	F	5.36	63.50	21.0	2335.01	1.20	0.115	24.5
	G	5.26	60.33	21.5	2356.60	0.31	0.115	25.7
	H	5.16	57.15	20.5	2357.44	0.29	0.113	24.7
28 MPa	I (patrón)	5.54	69.85	21.0	2338.05	1.43	0.115	28.5
	J	5.44	63.50	22.0	2342.45	1.23	0.113	30.4
	K	5.34	57.15	21.0	2350.42	0.91	0.111	31.9
	L	5.24	57.15	20.5	2359.01	0.57	0.113	33.2

5.4.3. Gráficos comparativos de los resultados

a. Propiedades del concreto de 17 MPa

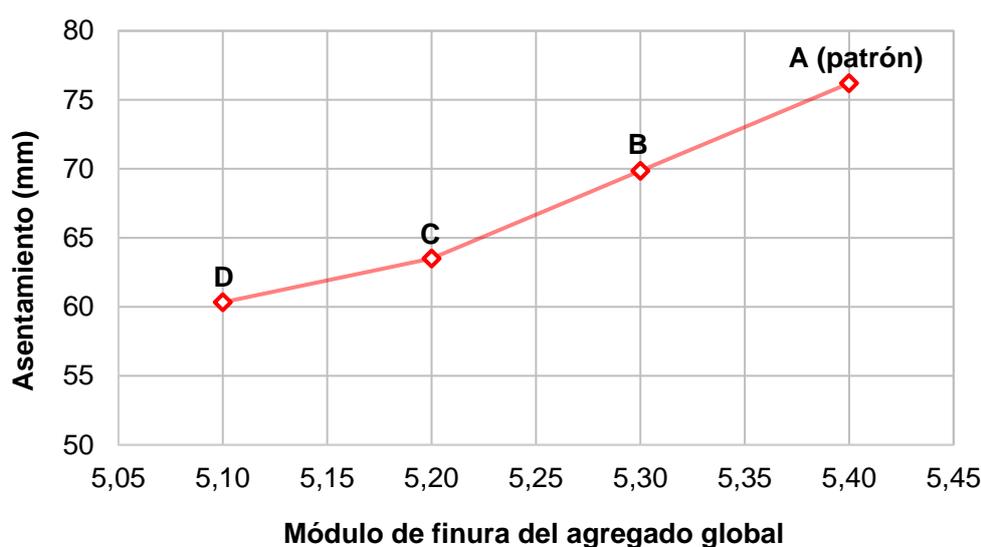
Las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido que se determinaron para los diseños de mezclas de 17 MPa, fueron las siguientes:

- Consistencia

La Figura 3 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 17$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño A, posee un $MFG_1 = 5.40$ y un asentamiento de 76.20 mm (3"). Al disminuir el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, en el diseño B, el asentamiento disminuye a 69.85 mm (2.75"). Al disminuir el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, en el diseño C, el asentamiento disminuye a 63.50 mm (2.50"). Finalmente, al disminuir el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, en el diseño D, el asentamiento disminuye a 60.33 mm (2.375"). Por lo tanto, se muestra una disminución del asentamiento al disminuir el módulo de finura del agregado global.

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 (método del comité 211 del ACI).

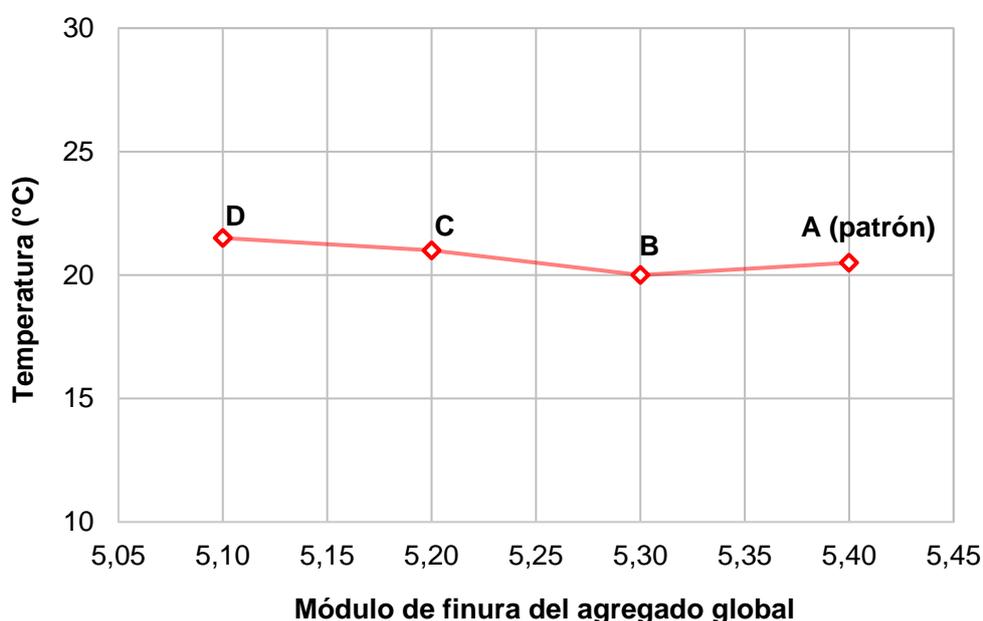
B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Temperatura

La Figura 4 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 17$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño A, tiene un $MFG_1 = 5.40$ y una temperatura de 20.5 °C. Al disminuir el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, en el diseño B, la temperatura disminuye a 20.0 °C. Al disminuir el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, en el diseño C, la temperatura aumenta a 21.0 °C. Finalmente, al disminuir el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, en el diseño D, la temperatura se eleva a 21.5 °C. Así pues, se muestra que la temperatura no sufre una variación importante conforme se 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 (método del comité 211 del ACI).

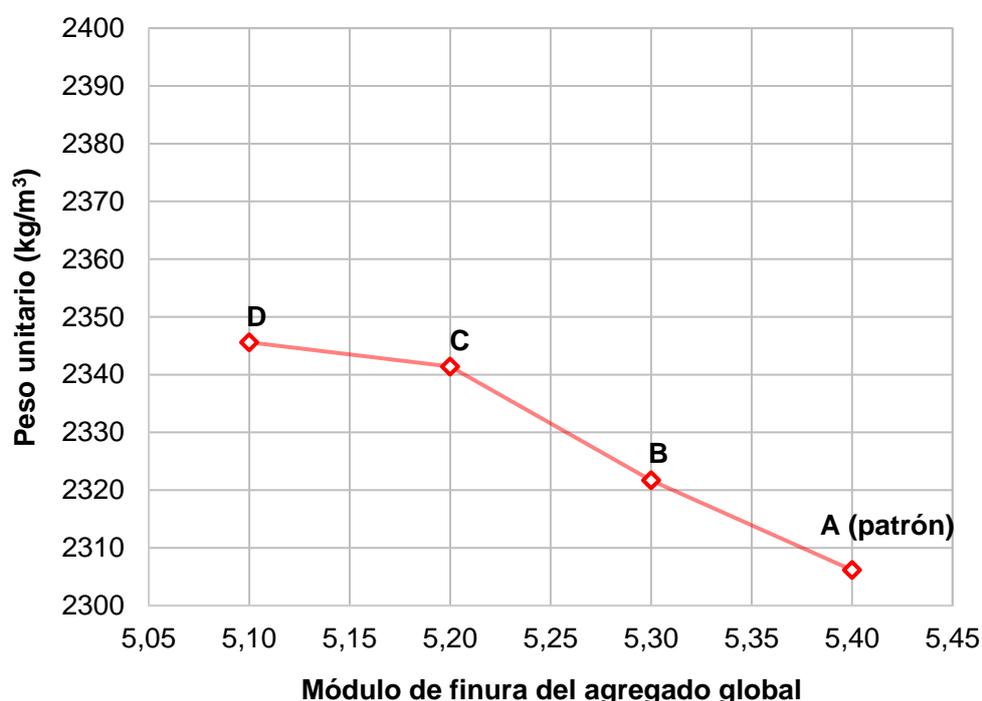
B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Peso unitario

La Figura 5 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 17$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño A, posee un $MFG_1 = 5.40$ y un peso unitario de 2306.18 kg/m^3 . Al disminuir el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, en el diseño B, el peso unitario aumenta a 2321.70 kg/m^3 . Al disminuir el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, en el diseño C, el peso unitario aumenta a 2341.40 kg/m^3 y al disminuir el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, en el diseño D, el peso unitario aumenta a 2345.60 kg/m^3 . En consecuencia, se muestra un incremento del peso unitario conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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 (método del comité 211 del ACI).

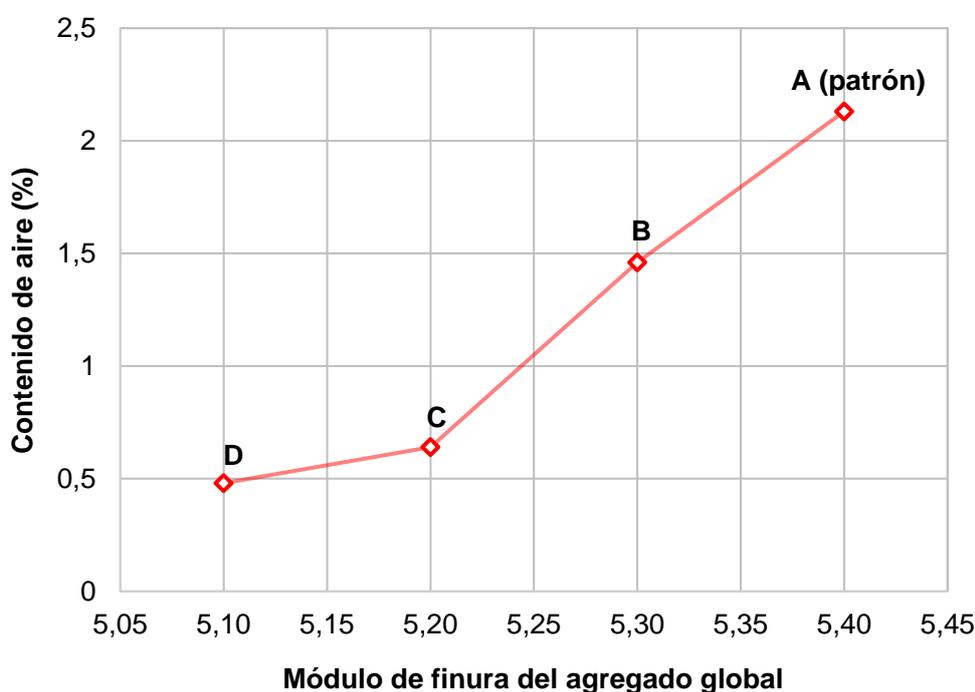
B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Contenido de aire

La Figura 6 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'_c = 17$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño A, tiene un $MFG_1 = 5.40$ y un contenido de aire de 2.13 %. Al disminuir el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, en el diseño B, el contenido de aire disminuye a 1.46 %. Al disminuir el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, en el diseño C, el contenido de aire disminuye a 0.64 %. Finalmente, al disminuir el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, en el diseño D, el contenido de aire disminuye a 0.48 %. Por lo tanto, se muestra una disminución del contenido de aire conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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 (método del comité 211 del ACI).

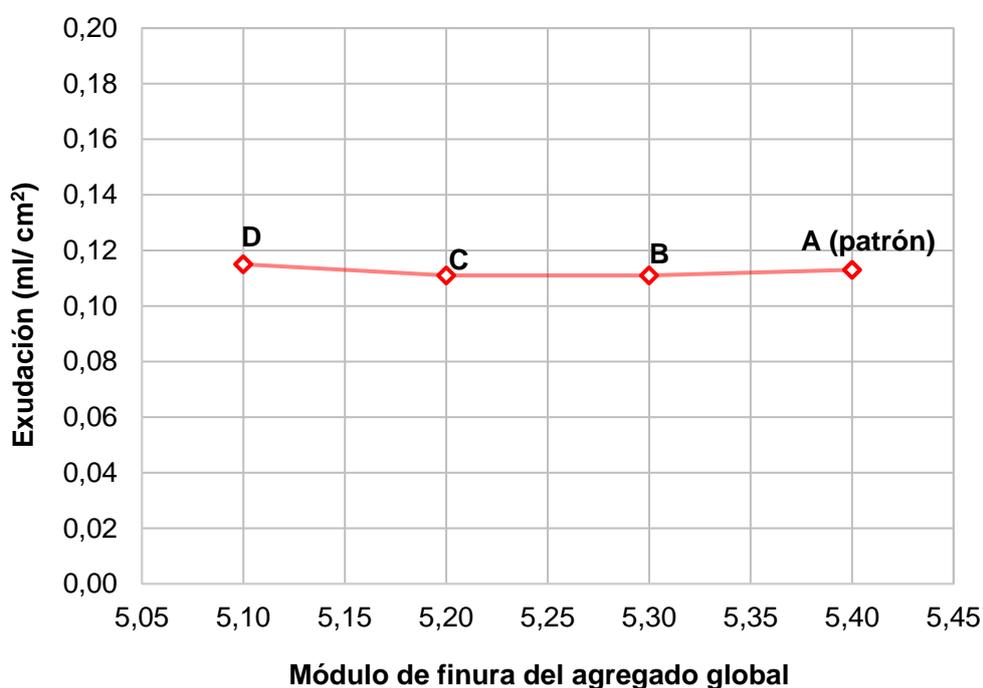
B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Exudación

La Figura 7 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 17$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño A, tiene un $MFG_1 = 5.40$ y una exudación de 0.113 ml/cm^2 . Al disminuir el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, en el diseño B, la exudación disminuye a 0.111 ml/cm^2 . Al disminuir el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, en el diseño C, la exudación se mantiene en 0.111 ml/cm^2 . Finalmente, al disminuir el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, en el diseño D, la exudación aumenta a 0.115 ml/cm^2 . Así pues, se muestra que la exudación no sufre una variación importante conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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 (método del comité 211 del ACI).

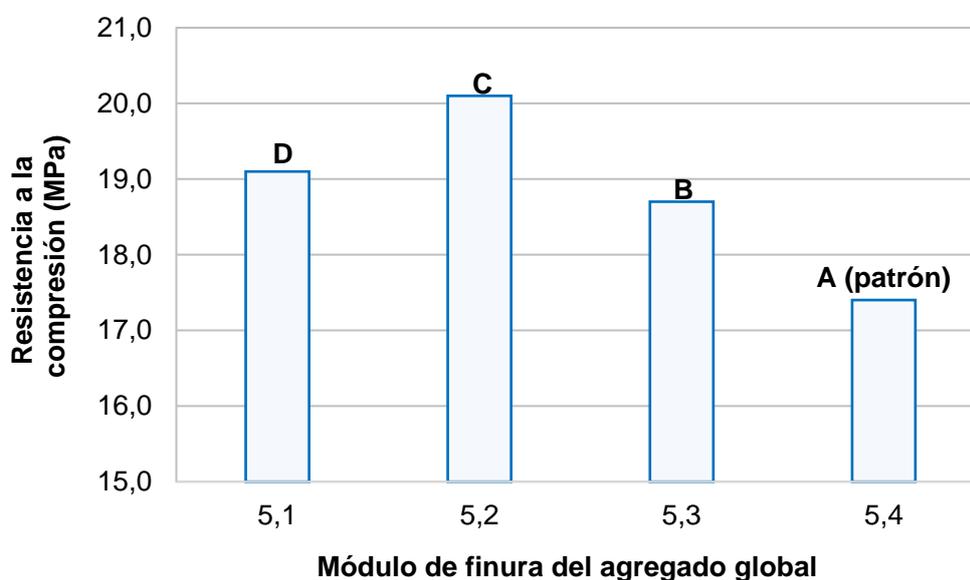
B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Resistencia a la compresión

La Figura 8 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas realizados para un $f'c = 17$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño A, tiene un $MFG_1 = 5.40$ y una resistencia a la compresión de 17.4 MPa (177 kg/cm²). Al disminuir el $MFG_1 - 0.10 = 5.30$, en el diseño B, la resistencia a la compresión aumenta a 18.7 MPa (190 kg/cm²). Al disminuir el $MFG_1 - 0.20 = 5.20$, en el diseño C, la resistencia a la compresión aumenta a 20.1 MPa (205 kg/cm²). Finalmente, al disminuir el $MFG_1 - 0.30 = 5.10$, en el diseño D, la resistencia a la compresión disminuye a 19.1 MPa (195 kg/cm²). En consecuencia, se muestra que la disminución del módulo de finura del agregado global favorece el incremento de la resistencia a la compresión.

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 (método comité 211 del ACI).

B, C, D: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

b. Propiedades del concreto de 21 MPa

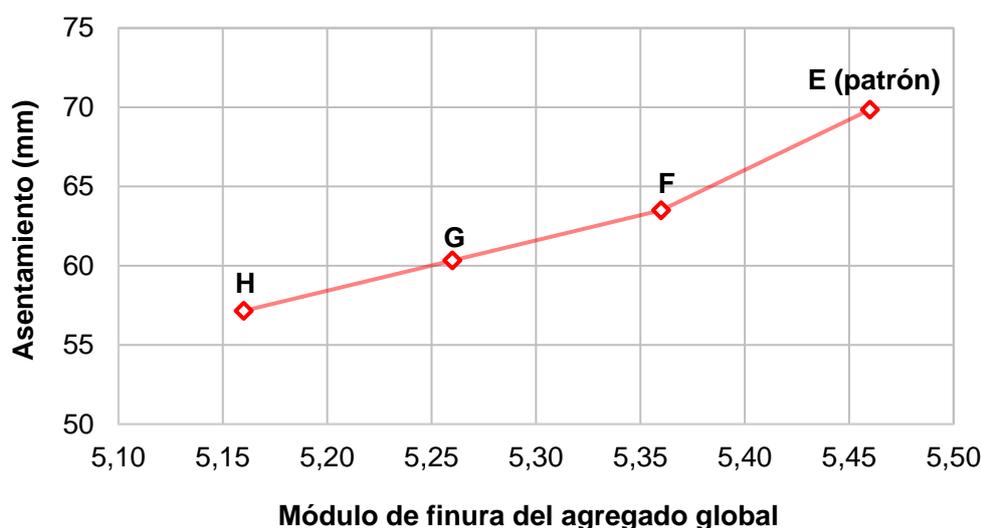
Las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, que se determinaron para los diseños de mezclas de 21 MPa, fueron las siguientes:

- Consistencia

La Figura 9 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño E, posee un $MFG_2 = 5.46$ y un asentamiento de 69.85 mm (2.75"). Al disminuir el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, en el diseño F, el asentamiento disminuye a 63.50 mm (2.50"). Al disminuir el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, en el diseño G, el asentamiento disminuye a 60.33 mm (2.375"). Finalmente, al disminuir el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, en el diseño H, el asentamiento disminuye a 57.15 mm (2.25"). De modo que, se muestra una disminución del asentamiento conforme se disminuye el valor del módulo de finura del agregado global.

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 (método comité 211 del ACI).

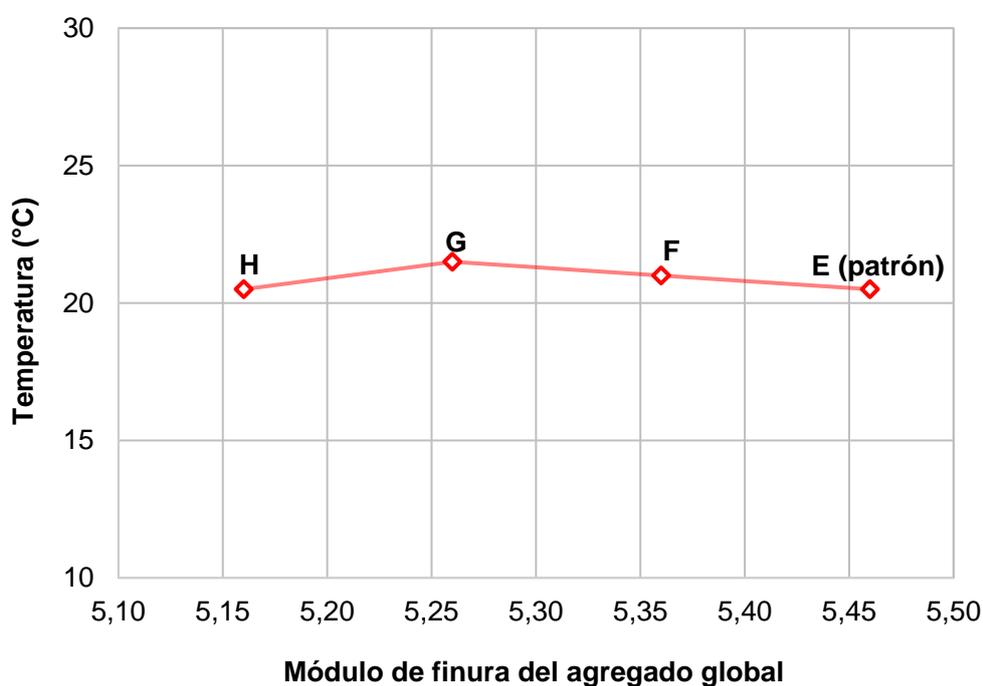
F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Temperatura

La Figura 10 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño E, tiene un $MFG_2 = 5.46$ y una temperatura de 20.5 °C. Al disminuir el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, en el diseño F, la temperatura se incrementa a 21.0 °C. Al disminuir el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, en el diseño G, la temperatura incrementa a 21.5 °C. Finalmente, al disminuir el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, en el diseño H, la temperatura disminuye a 20.5 °C. Así pues, se muestra que la temperatura no sufre una variación importante conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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 (método del comité 211 del ACI).

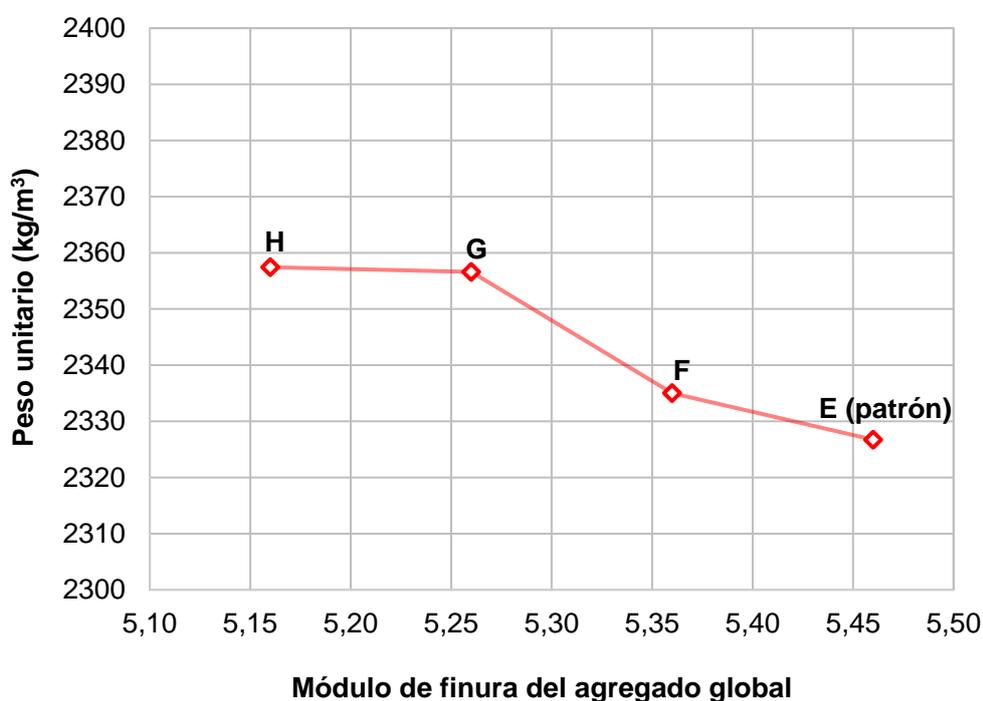
F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Peso unitario

La Figura 11 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño E, posee un $MFG_2 = 5.46$ y un peso unitario de 2326.73 kg/m³. Al disminuir el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, en el diseño F, el peso unitario aumenta a 2335.01 kg/m³. Al disminuir el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, en el diseño G, el peso unitario aumenta a 2356.60 kg/m³ y al disminuir el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, en el diseño H, el peso unitario aumenta a 2357.44 kg/m³. En consecuencia, se muestra un incremento del peso unitario conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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 (Método del Comité 211 del ACI).

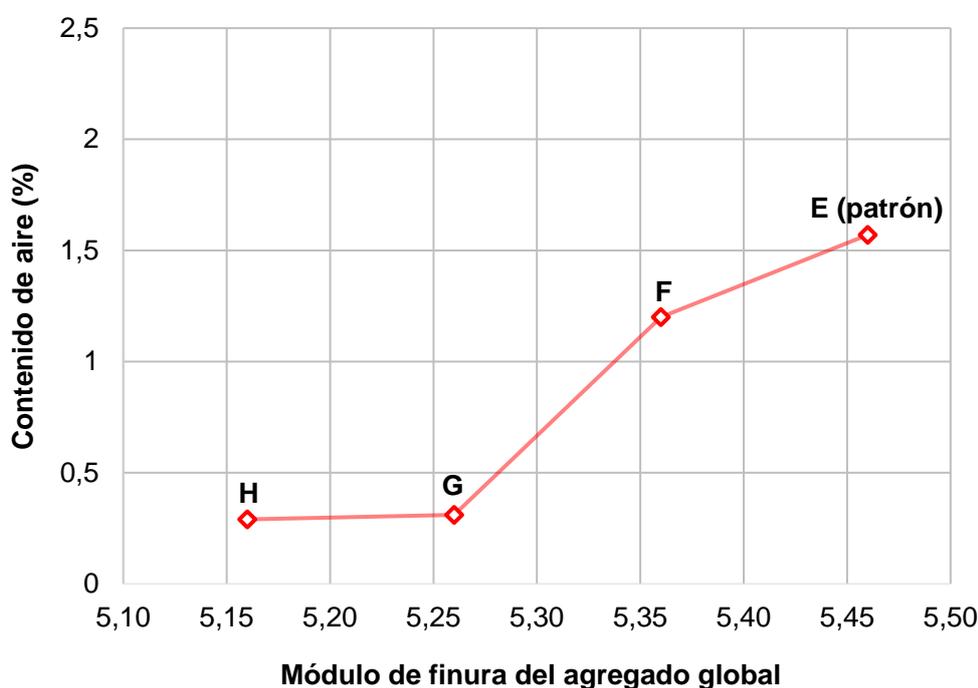
F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Contenido de aire

La Figura 12 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño E, tiene un $MFG_2 = 5.46$ y un contenido de aire de 1.57 %. Al disminuir el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, en el diseño F, el contenido de aire disminuye a 1.20 %. Al disminuir el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, en el diseño G, el contenido de aire disminuye a 0.31 %. Finalmente, al disminuir el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, en el diseño H, el contenido de aire disminuye a 0.29 %. Por lo tanto, se muestra una disminución del contenido de aire conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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).

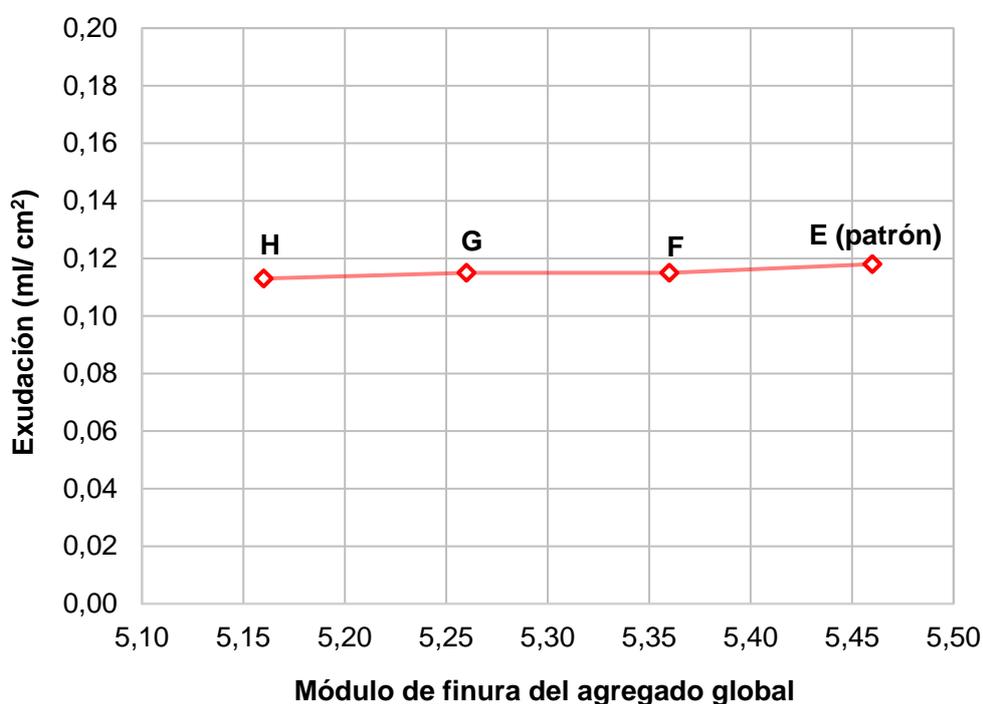
F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Exudación

La Figura 13 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 21$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño E, tiene un $MFG_2 = 5.46$ y una exudación de 0.118 ml/cm^2 . Al disminuir el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, en el diseño F, la exudación disminuye a 0.115 ml/cm^2 . Al disminuir el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, en el diseño G, la exudación se mantiene en 0.115 ml/cm^2 . Finalmente, al disminuir el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, en el diseño H, la exudación disminuye a 0.113 ml/cm^2 . De tal modo, se muestra que la exudación no sufre una variación importante conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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 (método del comité 211 del ACI).

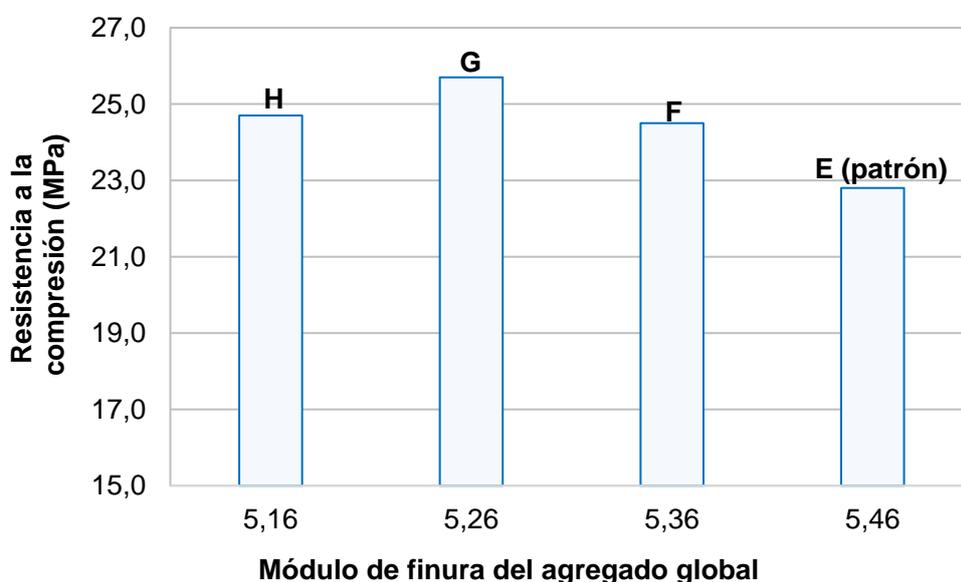
F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Resistencia a la compresión

La Figura 14 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas realizados para un $f'c = 21$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño E, tiene un $MFG_2 = 5.46$ y una resistencia a la compresión de 22.8 MPa (232 kg/cm²). Al disminuir el $MFG_2 - 0.10 = 5.36$, en el diseño F, la resistencia a la compresión aumenta a 24.5 MPa (250 kg/cm²). Al disminuir el $MFG_2 - 0.20 = 5.26$, en el diseño G, la resistencia a la compresión aumenta a 25.7 MPa (262 kg/cm²). Finalmente, al disminuir el $MFG_2 - 0.30 = 5.16$, en el diseño de mezclas H, la resistencia a la compresión aumenta a 24.7 MPa (252 kg/cm²). Por lo tanto, se muestra que la disminución del módulo de finura del agregado global favorece el incremento de la resistencia a la compresión.

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 (método del comité 211 del ACI).

F, G, H: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

c. Propiedades del concreto de 28 MPa

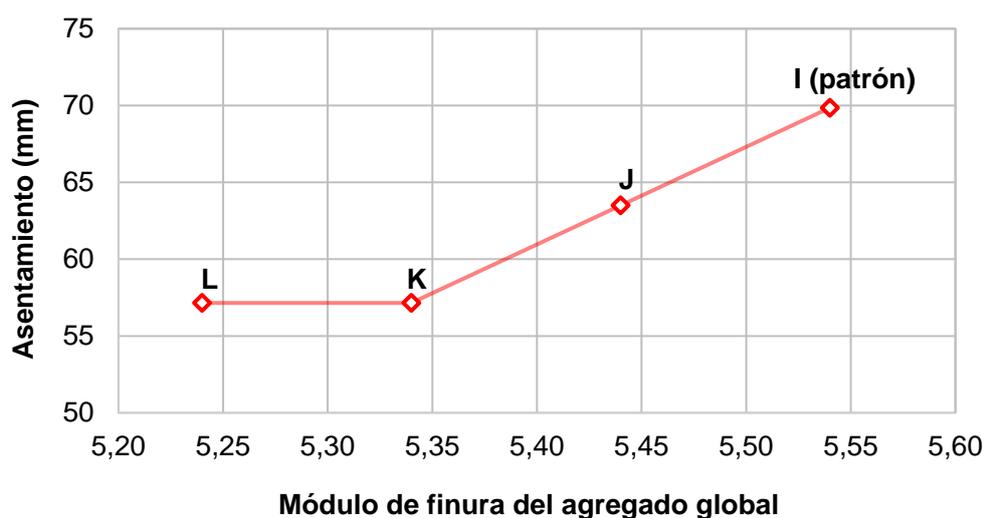
Las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, que se determinaron para los diseños de mezclas de 28 MPa, fueron las siguientes:

- Consistencia

La Figura 15 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 28$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño I, posee un $MFG_3 = 5.54$ y un asentamiento de 69.85 mm (2.75"). Al disminuir el $MFG_3 - 0.10 = 5.44$, en el diseño J, el asentamiento disminuye a 63.50 mm (2.50"). Al disminuir el $MFG_3 - 0.20 = 5.34$, en el diseño K, el asentamiento disminuye a 57.15 mm (2.25"). Finalmente, al disminuir el $MFG_3 - 0.30 = 5.24$, en el diseño L, el asentamiento se mantiene en 57.15 mm (2.25"). Por lo que, se muestra una disminución del asentamiento conforme se disminuye el valor del módulo de finura del agregado global.

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 (método comité 211 del ACI).

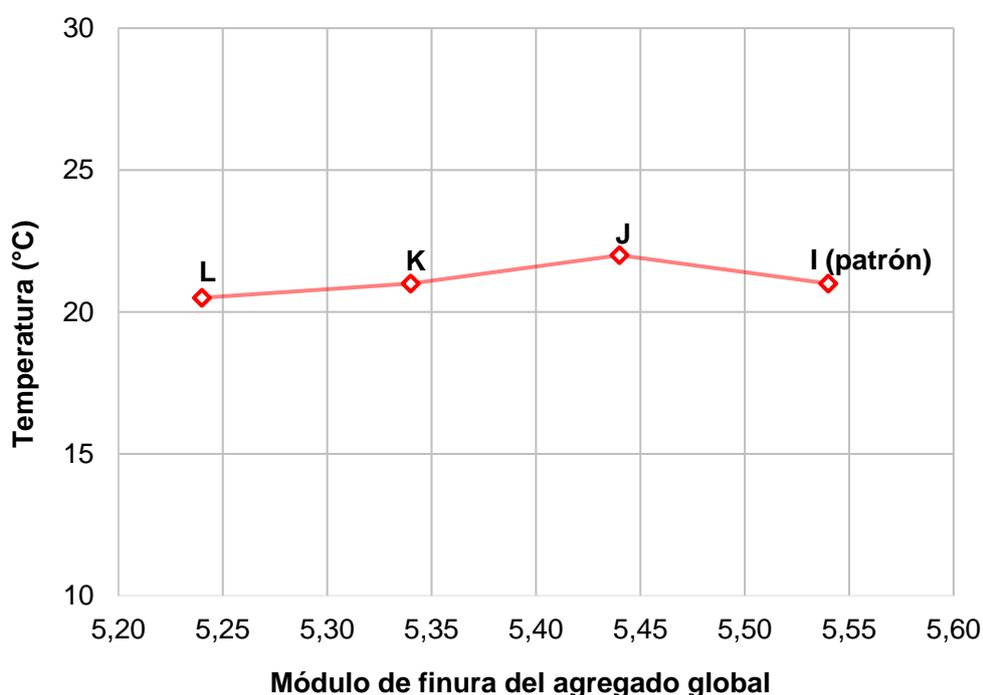
J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Temperatura

La Figura 16 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 28$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño I, tiene un $MFG_3 = 5.54$ y una temperatura de 21.0 °C. Al disminuir el $MFG_3 - 0.10 = 5.44$, en el diseño J, la temperatura se incrementa a 22.0 °C. Al disminuir el $MFG_3 - 0.20 = 5.34$, en el diseño K, la temperatura disminuye a 21.0 °C. Finalmente, al disminuir el $MFG_3 - 0.30 = 5.24$, en el diseño L, la temperatura disminuye a 20.5 °C. Así pues, se muestra que la temperatura no sufre una variación importante conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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).

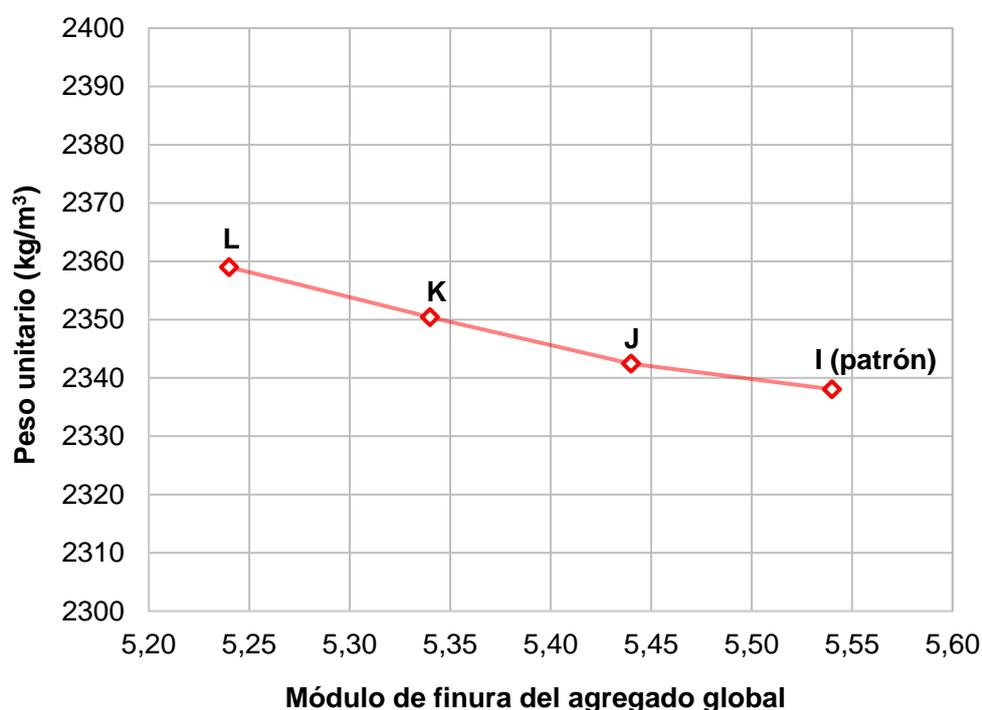
J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Peso unitario

La Figura 17 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'_c = 28$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño I, posee un $MFG_3 = 5.54$ y un peso unitario de 2338.05 kg/m^3 . Al disminuir el $MFG_2 - 0.10 = 5.44$, en el diseño J, el peso unitario aumenta a 2342.45 kg/m^3 . Al disminuir el $MFG_2 - 0.20 = 5.34$, en el diseño K, el peso unitario aumenta a 2350.42 kg/m^3 y al disminuir el $MFG_2 - 0.30 = 5.24$, en el diseño L, el peso unitario aumenta a 2359.01 kg/m^3 . De modo que, se muestra un incremento del peso unitario conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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).

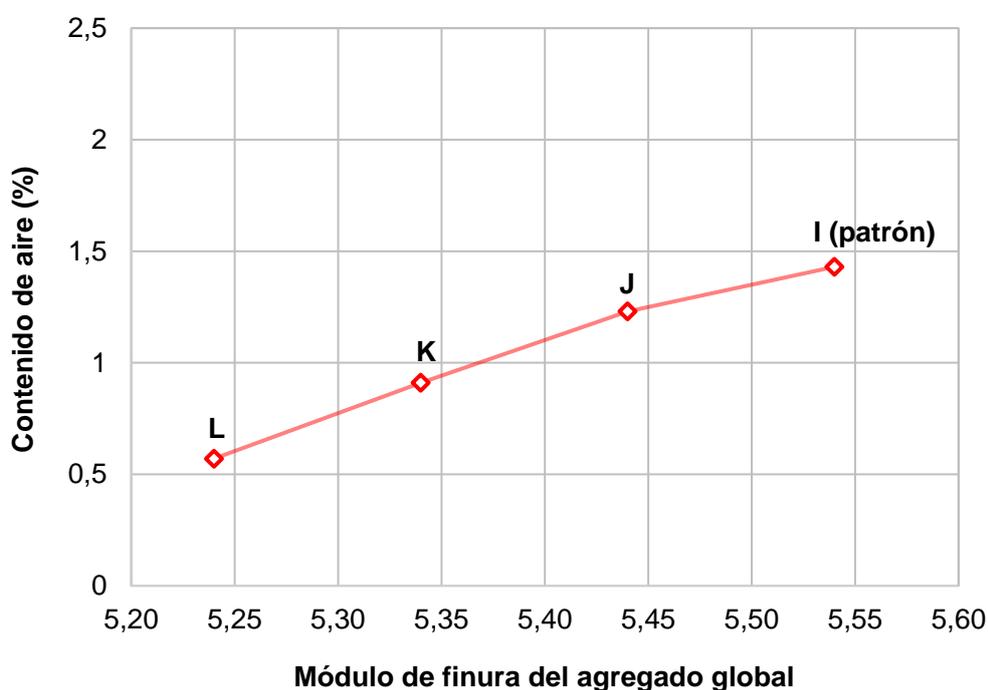
J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Contenido de aire

La Figura 18 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'_c = 28$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño I, tiene un $MFG_3 = 5.54$ y un contenido de aire de 1.43 %. Al disminuir el $MFG_3 - 0.10 = 5.44$, en el diseño J, el contenido de aire disminuye a 1.23 %. Al disminuir el $MFG_3 - 0.20 = 5.34$, en el diseño K, el contenido de aire disminuye a 0.91 %. Finalmente, al disminuir el $MFG_3 - 0.30 = 5.24$, en el diseño L, el contenido de aire disminuye a 0.57 %. Por lo tanto, se observa una disminución del contenido de aire conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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 (método del comité 211 del ACI).

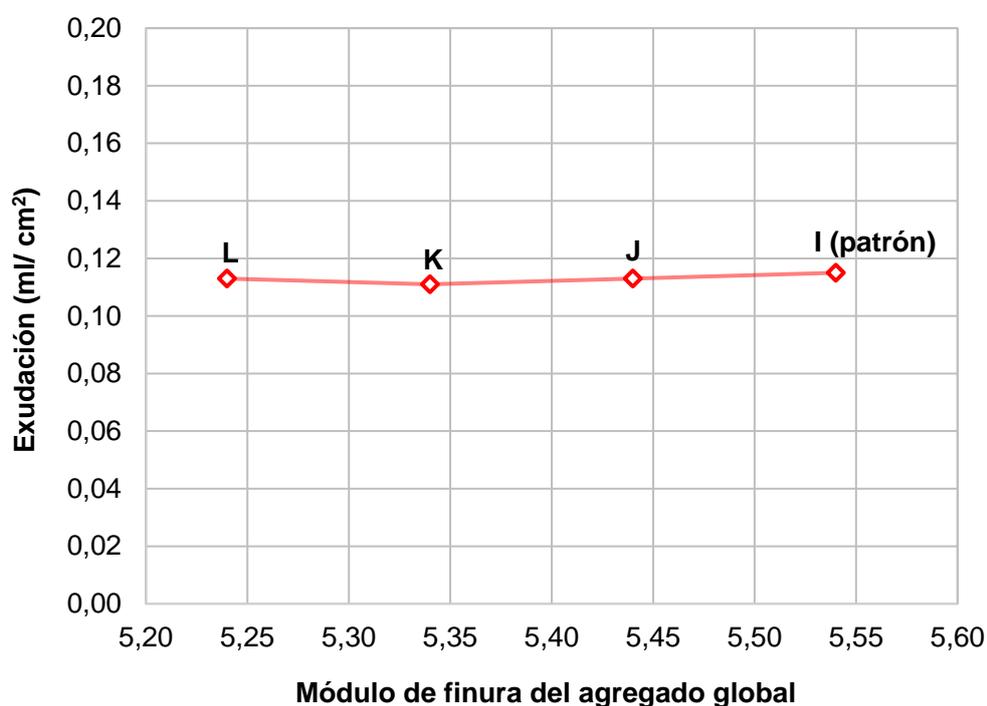
J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Exudación

La Figura 19 presenta en forma comparativa los diseños de mezclas para un $f'c = 28$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño I, tiene un $MFG_3 = 5.54$ y una exudación de 0.115 ml/cm^2 . Al disminuir el $MFG_3 - 0.10 = 5.44$, en el diseño J, la exudación disminuye a 0.113 ml/cm^2 . Al disminuir el $MFG_3 - 0.20 = 5.34$, en el diseño K, la exudación disminuye a 0.111 ml/cm^2 . Finalmente, al disminuir el $MFG_3 - 0.30 = 5.24$, en el diseño L, la exudación aumenta a 0.113 ml/cm^2 . En consecuencia, se muestra que la exudación no sufre una variación importante conforme se disminuye el módulo de finura del agregado global.

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 (método del comité 211 del ACI).

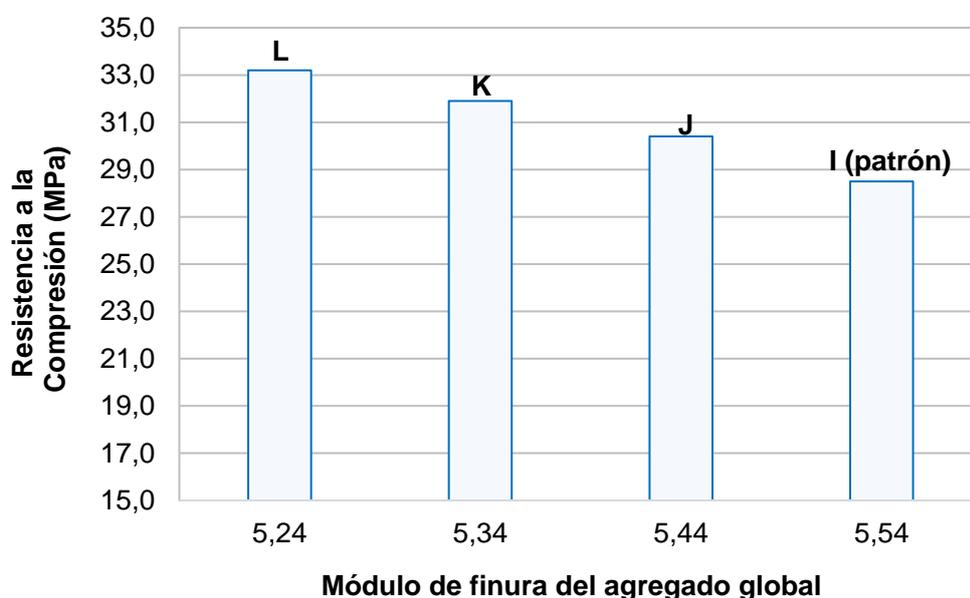
J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

- Resistencia a la compresión

La Figura 20 muestra en forma comparativa los diseños de mezclas realizados para un $f'_c = 28$ MPa, se observa que el diseño de mezclas del concreto patrón, diseño I, tiene un $MFG_3 = 5.54$ y una resistencia a la compresión de 28.5 MPa (290 kg/cm²). Al disminuir el $MFG_3 - 0.10 = 5.44$, en el diseño J, la resistencia a la compresión aumenta a 30.4 MPa (310 kg/cm²). Al disminuir el $MFG_3 - 0.20 = 5.34$, en el diseño K, la resistencia a la compresión aumenta a 31.9 MPa (325 kg/cm²). Finalmente, al disminuir el $MFG_3 - 0.30 = 5.24$, en el diseño de mezclas L, la resistencia a la compresión aumenta a 33.2 MPa (338 kg/cm²). Por tanto, se muestra que la disminución del módulo de finura del agregado global, favorece el incremento de la resistencia a la compresión del concreto patrón.

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 (método comité 211 del ACI).

J, K, L: Diseños de mezclas variando el módulo de finura del agregado global.

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

a. Incidencia de la variación del MFG en la consistencia

Se determinó la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en la consistencia de la mezcla de concreto a partir de los resultados mostrados en la Tabla 38.

Para el concreto de $f'c = 17$ MPa, se infiere que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 8.33 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 16.67 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 20.83 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c = 21$ MPa, se muestra que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 9.09 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 13.63 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 18.18 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c= 28$ MPa, se deduce que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 9.09 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 18.18 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), incide en la consistencia de la mezcla reduciendo en 18.18 % el valor inicial.

b. Incidencia de la variación del MFG en la temperatura

Se determinó la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en la temperatura de la mezcla de concreto a partir de los ensayos.

Para el concreto de $f'c= 17$ MPa, se infiere que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), incide en la temperatura de la mezcla reduciendo en 2.44 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), incide en la temperatura de la mezcla incrementando en 2.44 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), incide en la temperatura de la mezcla incrementando en 4.88 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c= 21$ MPa, se muestra que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), incide en la temperatura de la mezcla incrementando en 2.44 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), incide en la temperatura de la mezcla incrementando en 4.88 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), no incide en la temperatura de la mezcla, ya que se conserva el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c = 28$ MPa, se deduce que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), incide en la temperatura de la mezcla incrementando en 4.76 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), no incide en la temperatura de la mezcla, ya que se conserva el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), incide en la temperatura de la mezcla reduciendo en 2.38 % el valor inicial.

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

Se determinó la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en el peso unitario de la mezcla de concreto a partir de los resultados mostrados en la Tabla 46.

Para el concreto de $f'c = 17$ MPa, se infiere que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 0.67 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 1.53 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 1.71 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c = 21$ MPa, se muestra que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 0.36 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 1.28 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 1.32 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c = 28$ MPa, se deduce que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 0.19 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 0.53 % el valor inicial.

- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), incide en el peso unitario de la mezcla incrementando en 0.90 % el valor inicial.

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

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

Para el concreto de $f'c = 17$ MPa, se infiere que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 31.46 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 69.95 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 77.46 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c = 21$ MPa, se muestra que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 23.57 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 80.25 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 81.53 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c= 28$ MPa, se deduce que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 13.99 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 36.36 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), incide en el contenido de aire de la mezcla reduciendo en 60.14 % el valor inicial.

e. Incidencia de la variación del MFG en la exudación

Se determinó la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en la exudación de la mezcla de concreto a partir de los ensayos.

Para el concreto de $f'c= 17$ MPa, se infiere que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), incide en la exudación de la mezcla reduciendo en 1.77 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), incide en la exudación de la mezcla reduciendo en 1.77 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c= 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), incide en la exudación de la mezcla incrementando en 1.77 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c= 21$ MPa, se muestra que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), incide en la exudación de la mezcla reduciendo en 2.54 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), incide en la exudación de la mezcla reduciendo en 2.54 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), incide en la exudación de la mezcla reduciendo en 4.24 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c = 28$ MPa, se deduce que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), incide en la exudación de la mezcla reduciendo en 1.74 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), incide en la exudación de la mezcla reduciendo en 3.48 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), incide en la exudación de la mezcla reduciendo en 1.74 % el valor inicial.

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

Se determinó la incidencia de la variación del módulo de finura del agregado global en la resistencia a la compresión del concreto a partir de los ensayos.

Para el concreto de $f'c = 17$ MPa, se infiere que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.10 = 5.30$), incide en la resistencia a la compresión incrementando en 7.47 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.20 = 5.20$), incide en la resistencia a la compresión incrementando en 15.52 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 17$ MPa ($MFG_1 - 0.30 = 5.10$), incide en resistencia a la compresión incrementando en 9.77 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c = 21$ MPa, se muestra que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.10 = 5.36$), incide en la resistencia a la compresión incrementando en 7.46 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.20 = 5.26$), incide en la resistencia a la compresión incrementando en 12.72 % el valor inicial.
- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 21$ MPa ($MFG_2 - 0.30 = 5.16$), incide en la resistencia a la compresión incrementando en 8.33 % el valor inicial.

En el caso del concreto de $f'c = 28$ MPa, se deduce que:

- Al disminuir una décima el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.10 = 5.44$), incide en la resistencia a la compresión incrementando en 6.67 % el valor inicial.
- Al disminuir dos décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.20 = 5.34$), incide en la resistencia a la compresión incrementando en 11.93 % el valor inicial.

- Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c = 28$ MPa ($MFG_3 - 0.30 = 5.24$), incide en la resistencia a la compresión incrementando en 16.49 % el valor inicial.

5.5. PRUEBA DE HIPÓTESIS

5.5.1. Para la consistencia de la mezcla de concreto

La prueba de hipótesis ANOVA de un factor para la consistencia de la mezcla de concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa se detalla en la Tabla 39.

Tabla 39

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

$f'c$	F_0	p_{-valor}	R^2	R_{aj}^2	[95% intervalo de confianza]	
17 MPa	640.59	0.0000 ^a	0.9897	0.9882	0.9743111	0.9927721
21 MPa	380.09	0.0000 ^a	0.9828	0.9802	0.9571091	0.9879107
28 MPa	477.96	0.0000 ^a	0.9862	0.9842	0.9657299	0.9903493

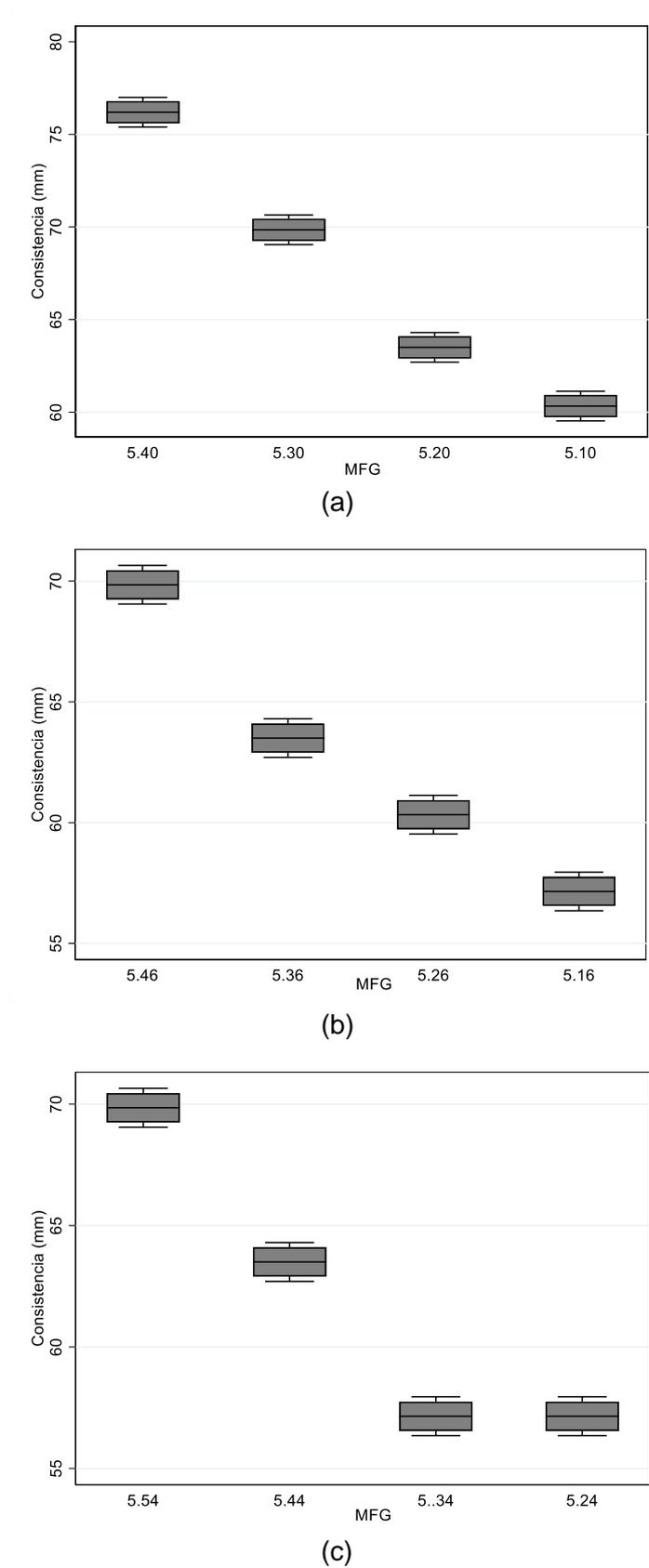
Nota: R^2 : Coeficiente de determinación. R_{aj}^2 : Coeficiente de determinación ajustado. ^a: Significativo. Detalles de los cálculos en el anexo D.

Al analizar la Tabla 39, con significancia de $p_{-valor} < \alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula de la hipótesis estadística planteada; en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa que la variación del módulo de finura del agregado global modifica la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

Para reafirmar la hipótesis alternativa usaremos Tukey (Anexo E), que es un método muy conservador para comparar pares de medias de los tratamientos. En la Figura 21 se muestra el diagrama de caja que compara 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.



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

Finalmente, luego de aplicar Tukey se reafirma el rechazo de la hipótesis nula; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa que la variación del módulo de finura del agregado global incide significativamente en la consistencia del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

5.5.2. Para la temperatura de la mezcla de concreto

La prueba de hipótesis ANOVA de un factor para la temperatura de la mezcla de concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa se detalla en la Tabla 40.

Tabla 40

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

$f'c$	F_0	$p\text{-valor}$	R^2	R_{aj}^2	[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

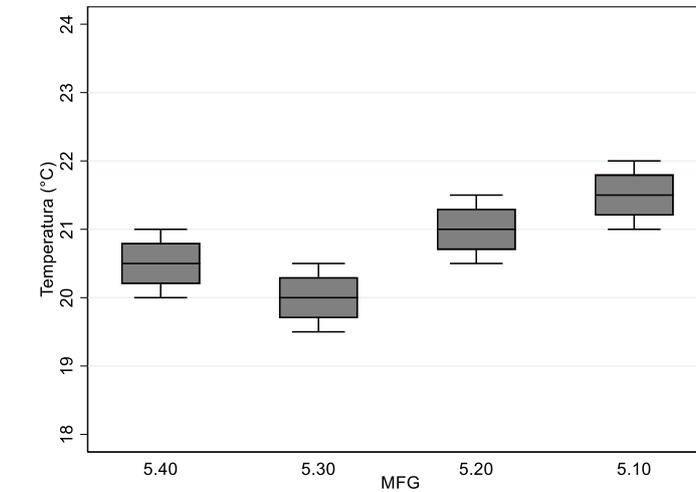
Nota: R^2 : Coeficiente de determinación. R_{aj}^2 : Coeficiente de determinación ajustado. Detalles de los cálculos en el anexo D.

Al analizar la Tabla 40, con significancia de $p\text{-valor} > \alpha = 0.05$, se acepta la hipótesis nula de la hipótesis estadística planteada; por lo tanto, la variación del módulo de finura del agregado global no modifica la exudación del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

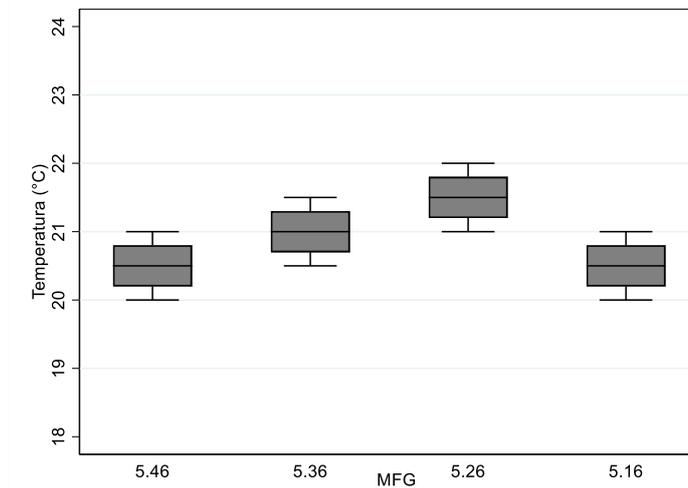
Debido a que la prueba de hipótesis ANOVA resultó no significativa, no se requiere realizar la prueba de Tukey. En la Figura 22 se muestra el diagrama de caja que compara los tratamientos de la temperatura del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa, donde se observa que no hay variación entre los tratamientos y son casi constantes.

Figura 22

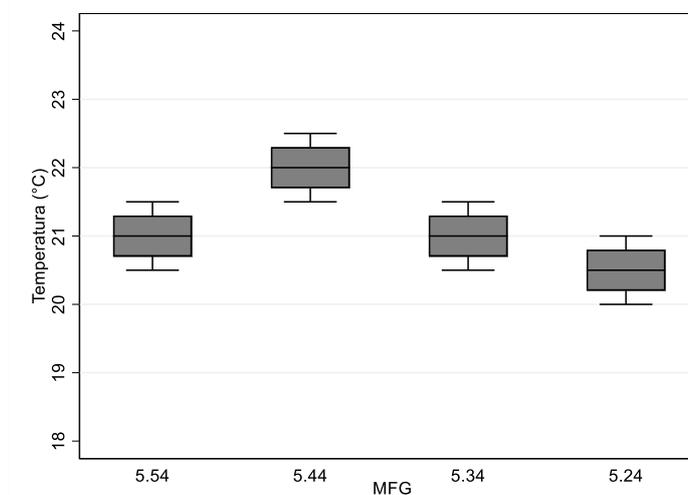
Comparación de la temperatura del concreto por tratamiento.



(a)



(b)



(c)

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

Finalmente, se reafirma la aceptación de la hipótesis nula; por lo tanto, la variación del módulo de finura del agregado global no incide en la temperatura del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa. Las variaciones de los resultados de la exudación pueden deberse a errores en la medición, mas no al tratamiento al cual fue sometido.

5.5.3. Para el peso unitario de la mezcla de concreto

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 se detalla en la Tabla 41.

Tabla 41

Prueba de hipótesis del peso unitario 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	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

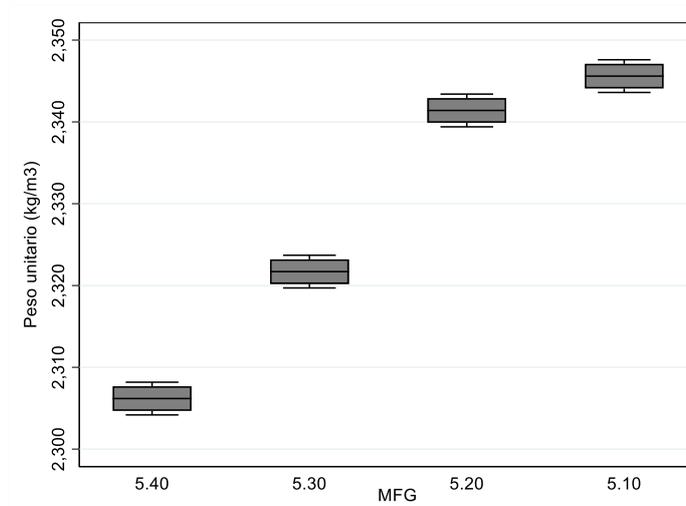
Nota: R^2 : Coeficiente de determinación. R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado. ^a: Significativo. Detalles de los cálculos en el anexo D.

Al analizar la Tabla 41, con significancia de $p\text{-valor} < \alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula de la hipótesis estadística planteada; en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa que la variación del módulo de finura del agregado global modifica el peso unitario del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

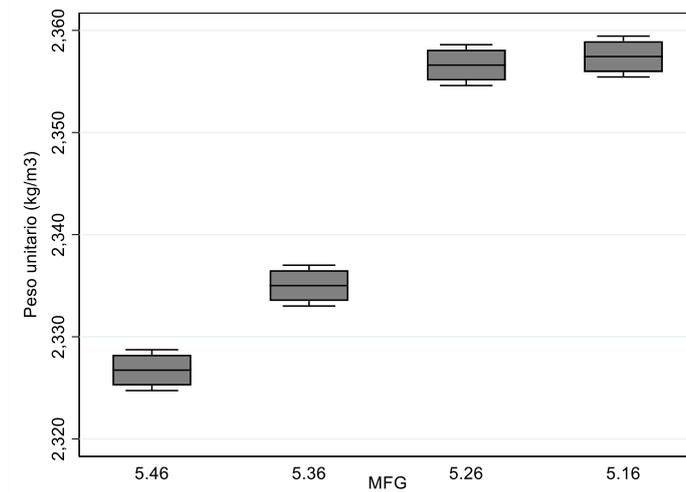
Para reafirmar la hipótesis alternativa usaremos Tukey (Anexo E), que es un método muy conservador para comparar pares de medias de los tratamientos. En la Figura 23 se muestra el diagrama de caja que compara los tratamientos del peso unitario del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

Figura 23

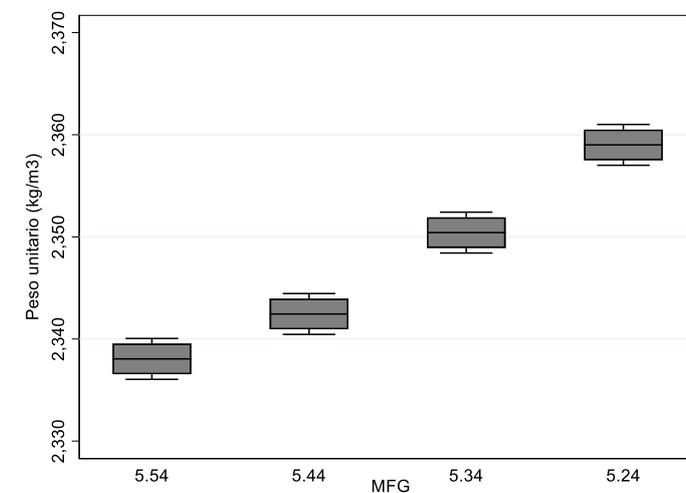
Comparación del peso unitario del concreto por tratamiento.



(a)



(b)



(c)

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

Finalmente, luego de aplicar Tukey se reafirma el rechazo de la hipótesis nula; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa que la variación del módulo de finura del agregado global incide significativamente en el peso unitario del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

5.5.4. Para el contenido de aire de la mezcla de concreto

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 se detalla en la Tabla 42.

Tabla 42

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

$f'c$	F_0	p -valor	R^2	R_{aj}^2	[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

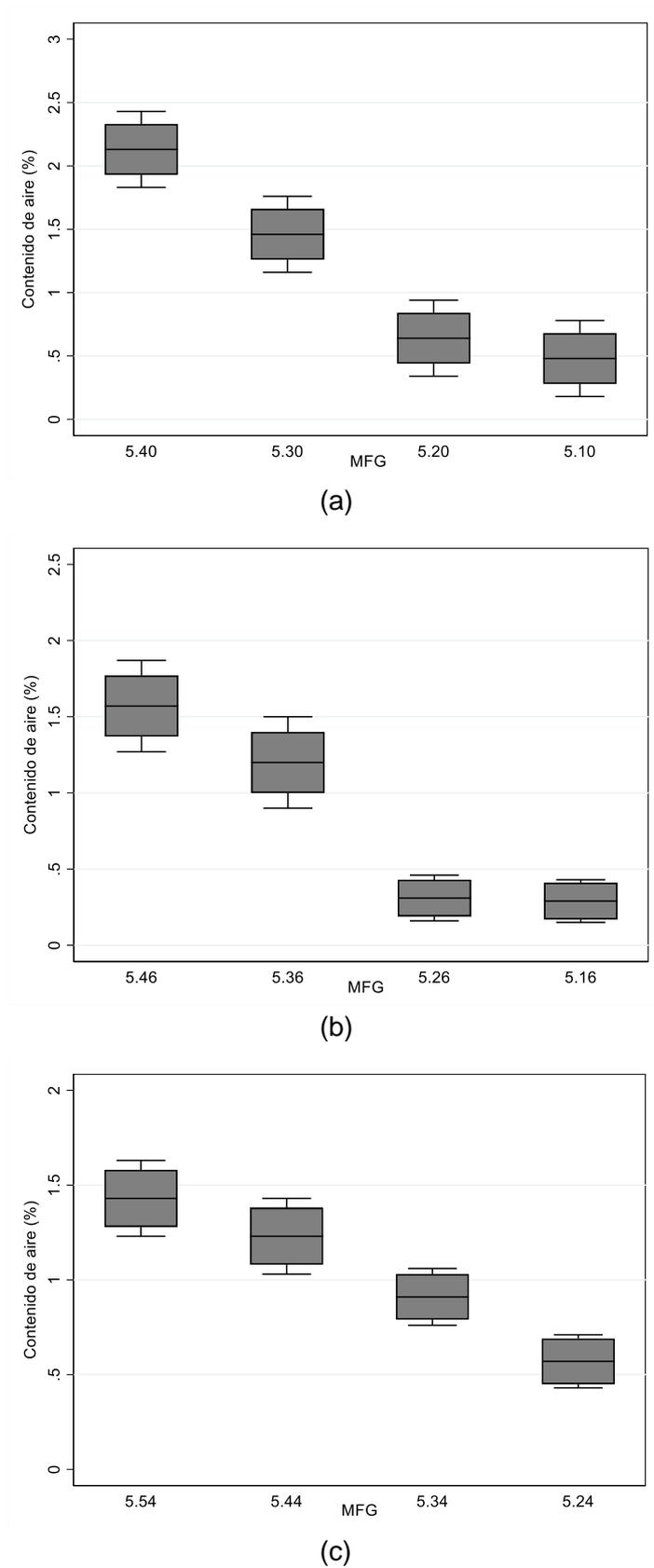
Nota: R^2 : Coeficiente de determinación. R_{aj}^2 : Coeficiente de determinación ajustado. ^a: Significativo. Detalles de los cálculos en el anexo D.

Al analizar la Tabla 42, con significancia de p -valor $< \alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula de la hipótesis estadística planteada; en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa que la variación del módulo de finura del agregado global modifica el contenido de aire del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

Para reafirmar la hipótesis alternativa usaremos Tukey (Anexo E), que es un método muy conservador para comparar pares de medias de los tratamientos. En la Figura 24 se muestra el diagrama de caja que compara los tratamientos del contenido de aire del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

Figura 24

Comparación del contenido de aire del concreto por tratamiento.



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

Finalmente, luego de aplicar Tukey se reafirma el rechazo de la hipótesis nula; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa que la variación del módulo de finura del agregado global incide significativamente en el contenido de aire del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

5.5.5. Para la exudación de la mezcla de concreto

La prueba de hipótesis ANOVA de un factor para la exudación de la mezcla de concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa se detalla en la Tabla 43.

Tabla 43

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

$f'c$	F_0	$p\text{-valor}$	R^2	R_{aj}^2	[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

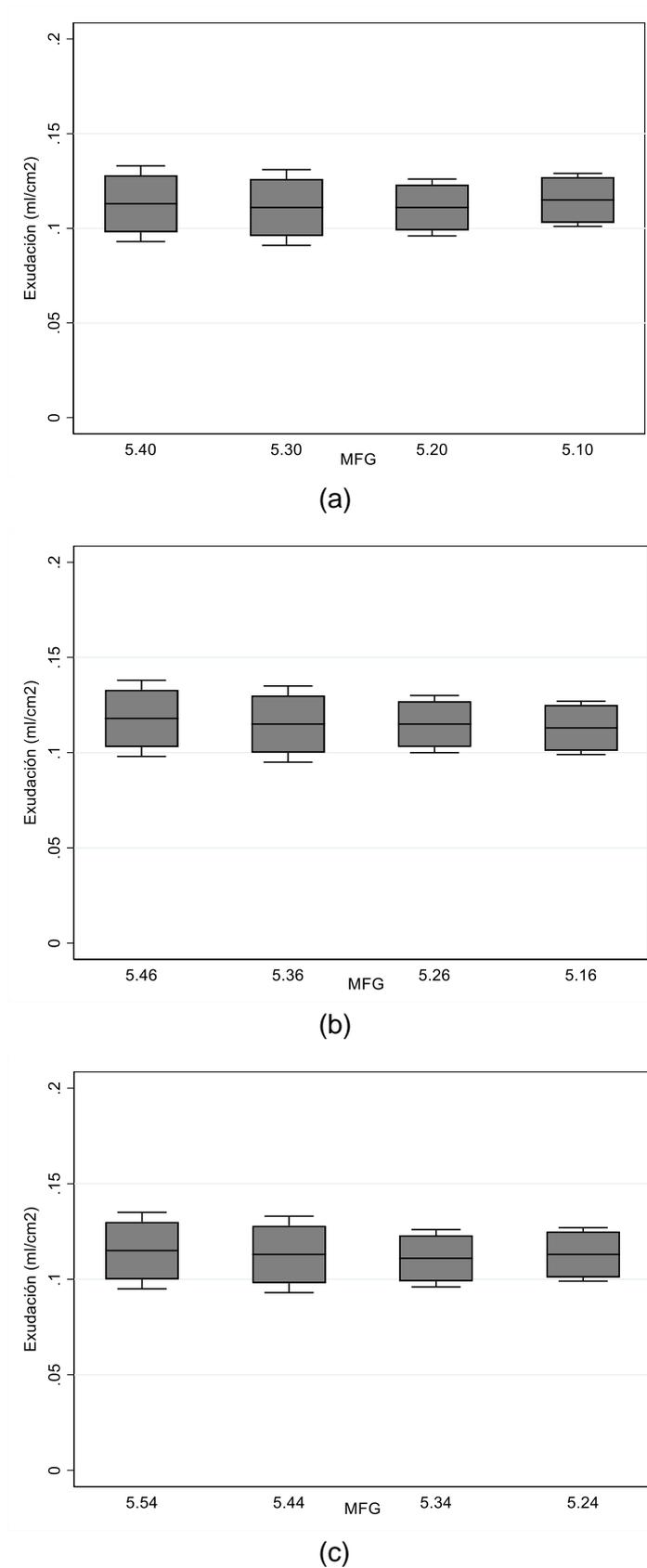
Nota: R^2 : Coeficiente de determinación. R_{aj}^2 : Coeficiente de determinación ajustado. ^a: Significativo. Detalles de los cálculos en el anexo D.

Al analizar la Tabla 43, con significancia de $p\text{-valor} > \alpha = 0.05$, se acepta la hipótesis nula de la hipótesis estadística planteada; por lo tanto, la variación del módulo de finura del agregado global no modifica la exudación del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

Debido a que la prueba de hipótesis ANOVA resultó no significativa, no se requiere realizar la prueba de Tukey. En la Figura 25 se muestra el diagrama de caja que compara los tratamientos de la exudación del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa, donde se observa que no hay variación entre los tratamientos y son casi constantes.

Figura 25

Comparación de la exudación del concreto por tratamiento.



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

Finalmente, se reafirma la aceptación de la hipótesis nula; por lo tanto, la variación del módulo de finura del agregado global no incide en la exudación del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa. Las variaciones de los resultados de la exudación pueden deberse a errores en la medición, mas no al tratamiento al cual fue sometido.

5.5.6. Para la resistencia a la compresión del concreto

La prueba de hipótesis ANOVA de un factor para la resistencia a la compresión del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa se detalla en la Tabla 44.

Tabla 44

Prueba de la resistencia a la compresión 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	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

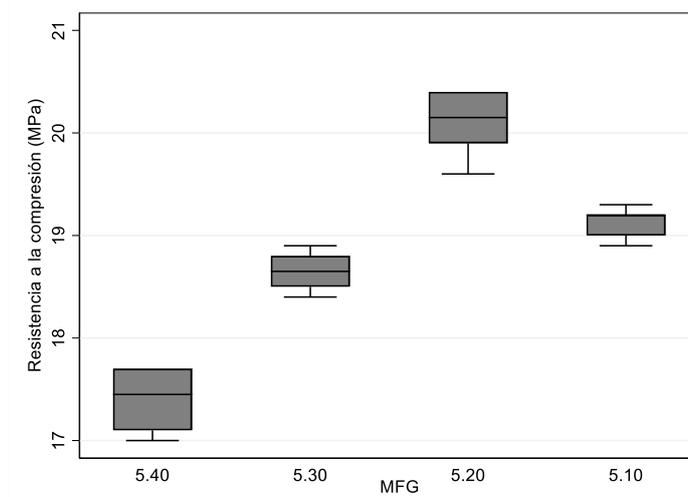
Nota: R^2 : Coeficiente de determinación. R^2_{aj} : Coeficiente de determinación ajustado. ^a: Significativo. Detalles de los cálculos en el anexo D.

Al analizar la Tabla 44, con significancia de $p\text{-valor} < \alpha = 0.05$, se rechaza la hipótesis nula de la hipótesis estadística planteada; en consecuencia, se acepta la hipótesis alternativa que la variación del módulo de finura del agregado global modifica la resistencia a la compresión del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

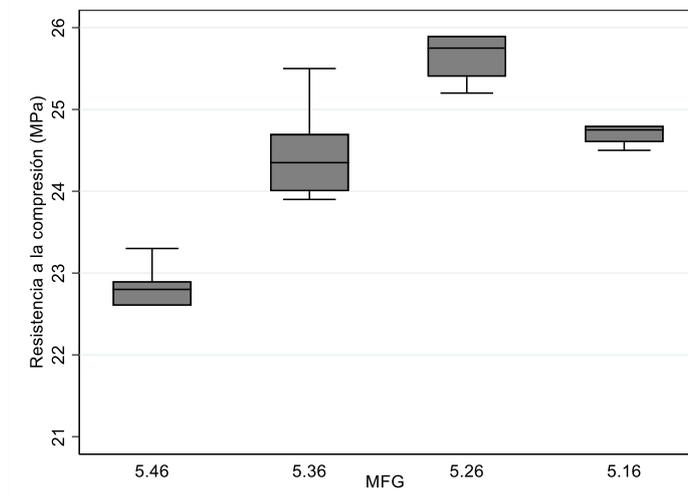
Para reafirmar la hipótesis alternativa usaremos Tukey (Anexo E), que es un método muy conservador para comparar pares de medias de los tratamientos. En la Figura 26 se muestra el diagrama de caja que compara los tratamientos de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

Figura 26

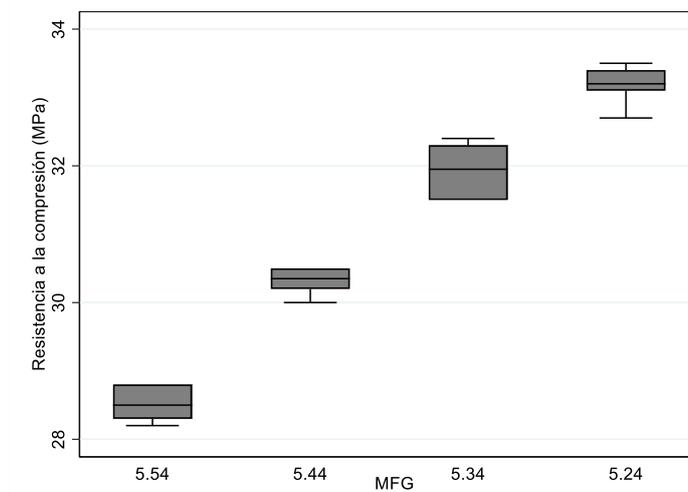
Comparación de la resistencia a la compresión del concreto por tratamiento.



(a)



(b)



(c)

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

Finalmente, luego de aplicar Tukey se reafirma el rechazo de la hipótesis nula; por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa que la variación del módulo de finura del agregado global incide significativamente en la resistencia a la compresión del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

5.5.7. Contrastación de hipótesis específicas

- a. 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.

Se acepta la hipótesis sobre la calidad del diseño de mezclas del concreto patrón de $17, 21$ y 28 MPa, utilizando el método del comité 211 del ACI. Debido a que, en los ensayos realizados para determinar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, que fueron: asentamiento, temperatura, peso unitario, contenido de aire, exudación y resistencia a la compresión, se evidenció que se encuentran dentro de 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, cumpliendo los parámetros establecidos.

Se acepta la hipótesis sobre la mejora de las propiedades del concreto en estado fresco realizando la variación del módulo de finura del agregado global, complementando que no solo se logró mejorar la consistencia y el peso unitario, sino que también se consiguió disminuir el contenido de aire presente en la mezcla de concreto. En los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades del concreto en estado fresco, se evidenció una disminución del asentamiento y contenido de aire al disminuir el módulo de

finura del agregado global y un ligero incremento del peso unitario conforme se disminuye 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, cumpliendo los parámetros establecidos.

Se acepta la hipótesis sobre la mejora de la resistencia a la compresión del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa, realizando la variación del módulo de finura del agregado global. Debido a que, en los ensayos realizados para determinar esta propiedad del concreto en especímenes cilíndricos, curados en pozas de agua y sometidos a carga a los 28 días de edad, se evidenció que la disminución del módulo de finura del agregado global favorece el incremento de la resistencia a la compresión del concreto.

- 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.

Se acepta la hipótesis, ya que al realizar un cotejo de las propiedades del concreto patrón en comparación con los resultados de las mezclas de concreto realizando la variación del módulo de finura del agregado global, se evidencia que se logró mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido. Las propiedades que se lograron mejorar son: el asentamiento, el peso unitario, el contenido de aire y la resistencia a la compresión. Se observó la disminución del asentamiento y del contenido de aire presente en la mezcla del concreto y un incremento del peso unitario del concreto y de la resistencia a la compresión del concreto conforme disminuye el valor del módulo de finura del agregado global.

5.5.2. 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.

Se acepta la hipótesis de la investigación, señalando que las propiedades del concreto que se lograron mejorar al realizar la variación del módulo de finura del agregado global, son: el asentamiento, el peso unitario, el contenido de aire y la resistencia a la compresión. Por lo tanto, luego de realizar la presente investigación experimental se determina que la hipótesis planteada es real, verdadera y coherente.

Cabe señalar 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 realizando la variación del módulo de finura del agregado global, donde se evidenció la disminución del asentamiento y del contenido de aire presente en la mezcla del concreto y un incremento del peso unitario y de la resistencia a la compresión del concreto conforme disminuye el valor del módulo de finura del agregado global. Además, se realizó la prueba de hipótesis ANOVA y se utilizó el método de Tukey, donde se concluye que la variación del módulo de finura del agregado global incide significativamente en la consistencia, el peso unitario, el contenido de aire y la resistencia a la compresión 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 significativamente en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, siendo el tratamiento óptimo al disminuir tres décimas, logrando una mezcla más consistente, con menos contenido de aire e incrementando el peso unitario y la resistencia a la compresión, conforme se disminuye el valor del módulo de finura del agregado global y no incide en la temperatura y exudación de la mezcla.
2. Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=17, 21$ y 28 MPa incide significativamente en la consistencia de la mezcla reduciendo los valores iniciales de 76.20 mm, 69.85 mm y 69.85 mm, en 20.83 %, 18.18 % y 18.18 %, respectivamente.
3. Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=17, 21$ y 28 MPa incide significativamente en el peso unitario de la mezcla incrementando los valores iniciales de 2306.18 kg/m³, 2326.73 kg/m³ y 2338.05 kg/m³, en 1.71 %, 1.32 % y 0.90 %, respectivamente.
4. Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón de $f'c=17, 21$ y 28 MPa incide significativamente en el contenido de aire de la mezcla reduciendo los valores iniciales de 2.13 %, 1.57 % y 1.43 %, en 77.46 %, 81.53 % y 60.14 %, respectivamente.
5. Al disminuir tres décimas el módulo de finura del agregado global del concreto patrón con $f'c=17, 21$ y 28 MPa incide significativamente en la resistencia a la compresión incrementando los valores iniciales de 17.4 MPa, 22.8 MPa y 28.5 MPa, en 15.52 %, 12.72 % y 16.49 %, respectivamente.

RECOMENDACIONES

1. Se sugiere utilizar el método del módulo de finura del agregado global para el diseño de mezclas, con el fin de analizar el comportamiento de los agregados fino y grueso y así, mejorar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, tal como se logró en la presente investigación.
2. Es necesario realizar más estudios del método del módulo de finura del agregado global, con el objetivo de constituir criterios y parámetros que permitan establecer Normas Técnicas Peruanas que sean aplicadas en el diseño de mezclas de concreto utilizando este método.
3. Para analizar 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, se realizó la caracterización en estado fresco y endurecido, analizando el asentamiento, la temperatura, el peso unitario, el contenido de aire, la exudación y la resistencia a la compresión; se sugiere continuar con la investigación con el objetivo de verificar las demás propiedades, como la flexión y el módulo de elasticidad.
4. En la presente investigación se analizó el incremento de la resistencia a la compresión conforme se disminuye el valor del módulo de finura del agregado global, en especímenes cilíndricos a los 28 días de edad, se sugiere continuar con la investigación con el objetivo de evaluar el comportamiento de la resistencia del concreto respecto al tiempo y ensayar probetas para edades de 7 y 14 días.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos E.I.R.L. – Editor.

Bedón, J. (2017). *Diseño óptimo para obtener Concreto de Alta Resistencia para Obras Civiles en Zonas Alto Andinas del Perú* (Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil). Chimbote: Universidad Nacional del Santa.

Benites, D. (2014). *Determinación del factor de modificación del concreto con los agregados de las canteras del Río Puchka – Huari – Ancash* (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Huaraz: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.

Burgos, E. (2012). *Variación del Módulo de Finura del Agregado Fino de 3.0 a 3.6 en Concreto de Mediana a Baja Resistencia* (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Cachay, R. (1992). *Diseño de Mezclas – Método del Agregado Global y Módulo de Finura para Concretos de Mediana a Alta Resistencia A/C= 0.55 a 0.40* (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

García, J. (1981). *Método para la Dosificación de Hormigones*. Argentina: Publicaciones técnicas del Instituto del Cemento Portland Argentino.

Gómez, J. (2013). *Materiales de Construcción*. México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

Gonzales, J. (2003). *Las mezclas de concreto y sus resultados en la ciudad de Tarapoto utilizando el Método del Agregado Global y Módulo de Finura* (Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín.

Gutiérrez, H. & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (Segunda Edición). México: McGraw-Hill Interamericana.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento MVCS. (2009). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado*. Aprobado con Decreto Supremo 010-2009-VIVIENDA del 08 de mayo. Lima: SENCICO.

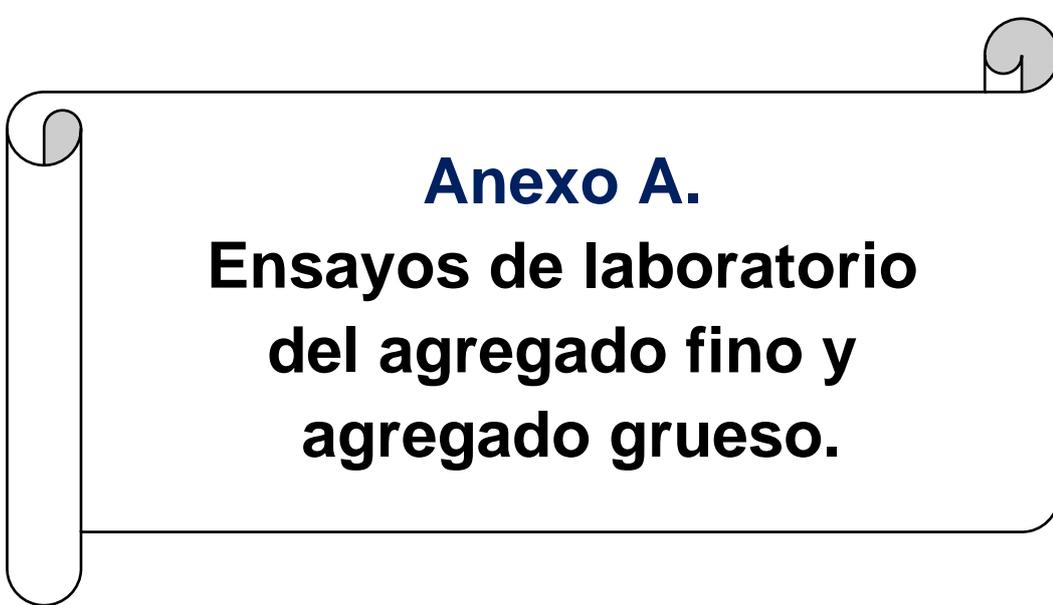
Polo, N. (2006). *Estudios y explotación del agregado global de río para la elaboración de concretos de mediana a baja resistencia en Chalhuanca – Apurímac* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.

Rivva, E. (2010). *Diseño de Mezclas*. Lima: Instituto de Construcción y Gerencia.

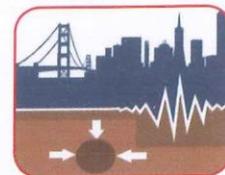
Villegas, V. & Corrales, M. (2012). *Resistencias y costos unitarios de concretos elaborados con agregado grueso, piedra partida y canto rodado de la cantera Taclán*. Aporte Santiaguino, Revista de Investigación - Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, Volumen 5 N°1, p. 9 - 13.

ANEXOS

- Anexo A. Ensayos de laboratorio del agregado fino y agregado grueso.
- Anexo B. Diseños de mezclas del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.
- Anexo C. Datos recolectados en los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades del concreto en estado fresco.
- Anexo D. Resultados de laboratorio del ensayo de resistencia a la compresión de los especímenes elaborados.
- Anexo E. Prueba de hipótesis ANOVA de un factor por tratamientos.
- Anexo F. Método de ensayo para la medición del asentamiento de la mezcla de concreto, procedimiento según la NTP 339.035 (2015).
- Anexo G. Método de ensayo para determinar la temperatura de la mezcla de concreto, procedimiento según la NTP 339.184 (2018).
- Anexo H. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario) del concreto, según la NTP 339.046 (2019).
- Anexo I. Método de ensayo para determinar la exudación de la mezcla de concreto, procedimiento según la NTP 339.077 (2013).
- Anexo J. Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio, procedimiento según la NTP 339.183 (2018).
- Anexo K. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto, procedimiento según la NTP 339.034 (2015).



Anexo A.
**Ensayos de laboratorio
del agregado fino y
agregado grueso.**



ENSAYOS DE AGREGADOS

INFORME N° 067-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

PROYECTO : TESIS: "INCIDENCIA DEL MÉTODO MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE F'C = 17, 21 Y 28 MPa"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

CANTERA : TACLLAN

FECHA : 10 de Febrero 2022

MATERIALES:

AGREGADOS : Material de cantera traído por el solicitante.

DATOS DEL AGREGADO FINO: Arena Gruesa

MATERIAL QUE PASA LA MALLA N° 200	=	3.01
MODULO DE FINEZA	=	3.03
PESO ESPECIFICO	=	2.62 Tn/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD	=	7.79 %
ABSORCION	=	2.56 %
PESO SECO SUELTO	=	1582 Kg/m ³
PESO SECO COMPACTADO	=	1836 Kg/m ³

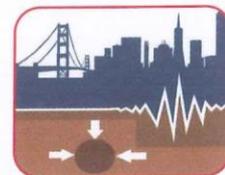
DATOS DEL AGREGADO GRUESO: Piedra Chancada

TAMAÑO MÁXIMO	=	3/4 "
PESO ESPECIFICO	=	2.63 Tn/m ³
CONTENIDO DE HUMEDAD	=	4.21 %
ABSORCION	=	1.13 %
PESO SECO SUELTO	=	1397 Kg/m ³
PESO SECO COMPACTADO	=	1615 Kg/m ³



Keynaldo M. Reyes Roque
Ing. Keynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57000
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO





PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION

NTP 400.022

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

PROYECTO : TESIS: "INCIDENCIA DEL MÉTODO MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE F'C = 17, 21 Y 28 MPa"

CANTERA : TACLLAN

FECHA : 10 de Febrero 2022

INFORME N° 067-2022-3R-LG



Identificación (Agregado)		FINO	GRUESO
Tamaño Máximo de la muestra		Malla # 4	1/2"
Tipo de Frasco Utilizado		Fiola	Probeta
Peso Frasco + Agua	=(A)	647.20	1665.00
Peso mat. y Sup. Seca en Aire	=(B)	200.00	500.00
Mat. Sat. + Agua + Frasco: A+B	=(C)	847.20	2165.00
Peso Global con Desplaz. de Vol.	=(D)	771.00	1975.00
Peso Vol. Masa + Vol. Vacíos: C-D	=(E)	76.20	190.00
Peso Mat. Sat. y Sup. Seca en Agua	=(F)	----	----
Peso Secado en Estufa a 105°C	=(G)	----	----
Peso del Vol. De la Masa: E-(B-C)	=(H)	----	----
P.E. Bulk (Base Seca)	=G/E	----	----
P.E. Bulk (Base Saturada)	=B/E	2.62	2.63
P.E. Aparente o Relativo	=G/H	----	----

N° de Tarro		1	2
Peso del Tarro + Mat. SSS en Aire	=(a)	111.40	113.10
Peso del Tarro + Mat. Secado en Estufa	=(b)	109.20	112.10
Peso del Agua (a-b)	=(c)	2.20	1.00
Peso del Tarro	=(d)	23.10	23.30
Peso del Material Secado en Estufa (b-d)	=(e)	86.10	88.80
Porcentaje de Absorción	=(c)x100/e	2.56	1.13

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA	
PROYECTO : TESIS: "INCIDENCIA DEL MÉTODO MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE F'C = 17, 21 Y 28 MPa"	CANTERA : TACLLAN
	FECHA : 10 de Febrero 2022

INFORME N° 067-2022-3R-LG

PESO UNITARIO FINO - ARENA GRUESA NTP 400.017

TIPO DE PESO UNITARIO	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO VARILLADO		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
PESO MATERIAL + MOLDE	5390.00	5383.00	5394.00	5620.00	5633.00	5628.00
PESO DEL MOLDE	3907.00	3907.00	3907.00	3907.00	3907.00	3907.00
PESO DEL MATERIAL	1483.00	1476.00	1487.00	1713.00	1726.00	1721.00
VOLUMEN DEL MOLDE	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83
PESO UNITARIO	1.583	1.576	1.587	1.829	1.842	1.837
PESO UNITARIO PROMEDIO	1.582			1.836		



PESO UNITARIO GRUESO - PIEDRA CHANCADA NTP 400.017

TIPO DE PESO UNITARIO	PESO UNITARIO SUELTO			PESO UNITARIO VARILLADO		
	1	2	3	1	2	3
MUESTRA N°						
PESO MATERIAL + MOLDE	5215.00	5219.00	5213.00	5417.00	5416.00	5428.00
PESO DEL MOLDE	3907.00	3907.00	3907.00	3907.00	3907.00	3907.00
PESO DEL MATERIAL	1308.00	1312.00	1306.00	1510.00	1509.00	1521.00
VOLUMEN DEL MOLDE	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83	936.83
PESO UNITARIO	1.396	1.400	1.394	1.612	1.611	1.624
PESO UNITARIO PROMEDIO	1.397			1.615		

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO





SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA	
PROYECTO : TESIS: "INCIDENCIA DEL MÉTODO MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE F ^c = 17, 21 Y 28 MPa"	CANTERA : TACLLAN
	FECHA : 10 de Febrero 2022

CONTENIDO DE HUMEDAD

NTP 400.022 / ASTM D-2216

INFORME N° 067-2022-3R-LG

POZO	C-01		C-02	
MUESTRA	MA-01 (A. Fino)		MA-01 (A. Grueso)	
MATERIAL	ARENA GRUESA		PIEDRA CHANCADA	
FRASCO N°	1	2	3	4
(1) Pfr + P.S.H. (gr)	143.20	143.90	132.90	133.80
(2) Pfr+ P.S.S. (gr)	134.50	135.20	128.40	129.40
(3) Pagua (gr) (1) - (2)	8.70	8.70	4.50	4.40
(4) Pfr (gr)	23.40	22.90	22.80	23.50
(5) P.S.S. (gr) (2) - (4)	111.10	112.30	105.60	105.90
(6) C. Humedad (%) (3) / (5)	7.83	7.75	4.26	4.15
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO	7.79%		4.21%	

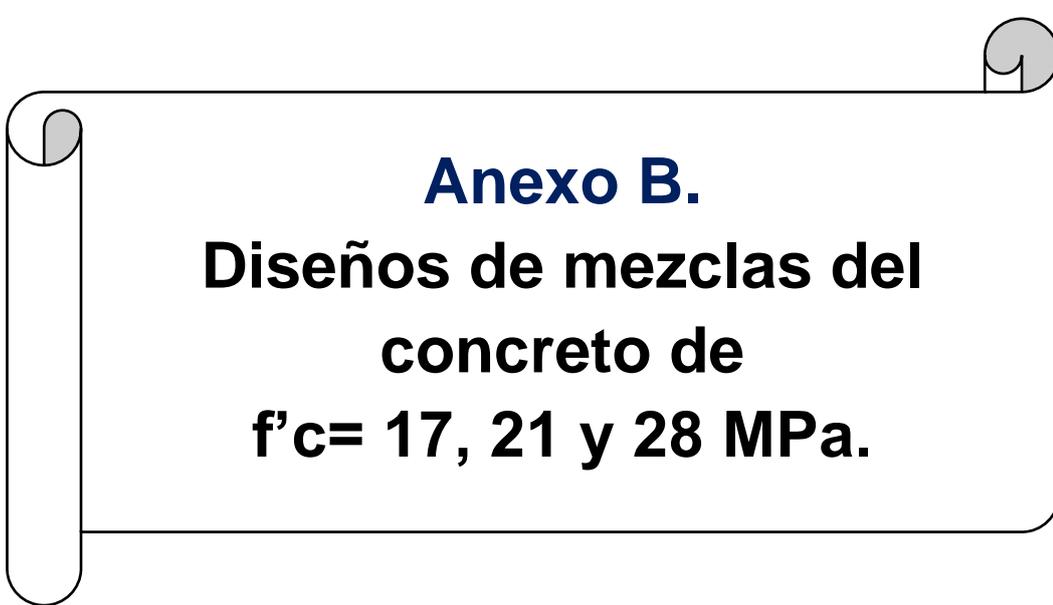
Nota: Pfr = Peso del frasco
P.S.H. = Peso del suelo humedo
P.S.S. = Peso del suelo seco
Pagua = Peso del agua



Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871





Anexo B.
Diseños de mezclas del
concreto de
 $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.

Cuadro 01*Diseño de mezclas A, del concreto patrón de 17 MPa (comité 211 del ACI).*

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$	17 MPa
	$f'cr =$	$(17 + 7.0) = 24$ MPa
	$f'cr =$	245 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua =	193 lt/ m ³
	Volumen absoluto de agua =	0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire =	1.50 %
	Volumen absoluto de aire =	0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.63
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento =	306 kg/m ³
	Factor cemento =	7.20 bolsas/m ³
	Volumen absoluto de cemento =	0.097 m ³
Determinación del contenido de agregado grueso	Vol. seco y compactado =	0.647
	Peso del ag. grueso seco =	1044.90 kg/m ³
	Vol. absoluto de ag. grueso =	0.397 m ³
Determinación de volúmenes absolutos de los materiales	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento + ag. grueso) =	0.702 m ³
Determinación del contenido de agregado fino	Vol. absoluto de ag. fino =	0.298 m ³
	Peso del ag. fino seco =	780.80 kg/m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento =	306 kg/m ³
	Agua de diseño =	193 lt / m ³
	Agregado fino seco =	780.80 kg/m ³
	Agregado grueso seco =	1044.90 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento =	306 kg/m ³
	Agua efectiva =	120 lt / m ³
	Agregado fino húmedo =	841.60 kg/m ³
	Agregado grueso húmedo =	1088.90 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.75 : 3.56
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.61 : 3.83

Cuadro 02

Diseño de mezclas B, para la variación $MFG_1 - 0.10$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$	17 MPa
	$f'cr =$	$(17 + 7.0) = 24$ MPa
	$f'cr =$	245 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua =	193 lt/ m ³
	Volumen absoluto de agua=	0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire =	1.50 %
	Volumen absoluto de aire =	0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	$A / C =$ (por resistencia)	0.63
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento =	306 kg/m ³
	Factor cemento =	7.20 bolsas/m ³
	Volumen absoluto de cemento =	0.097 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.305 m ³
Cálculo del vol. abs. del agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.695 m ³
Módulo de finura del agregado global	$MFG_1 - 0.10 =$	5.30
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$	0.453
	$r_g = 1 - r_f =$	0.547
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. fino = $r_f \times 0.695 =$	0.315 m ³
	Vol. abs. grueso= $r_g \times 0.695 =$	0.380 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento =	306 kg/m ³
	Agua de diseño =	193 lt / m ³
	Agregado fino seco =	825.30 kg/m ³
	Agregado grueso seco =	999.40 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento =	306 kg/m ³
	Agua efectiva =	119.10 lt / m ³
	Agregado fino húmedo =	889.60 kg/m ³
	Agregado grueso húmedo =	1041.50 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.91 : 3.40
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.76 : 3.66

Cuadro 03

Diseño de mezclas C, para la variación $MFG_1 - 0.20$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$ $f'cr =$ $f'cr =$	17 MPa (17 + 7.0) = 24 MPa 245 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua = Volumen absoluto de agua=	193 lt/ m ³ 0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire = Volumen absoluto de aire =	1.50 % 0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.63
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento = Factor cemento = Volumen absoluto de cemento=	306 kg/m ³ 7.20 bolsas/m ³ 0.097 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.305 m ³
Cálculo del vol. abs. del agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.695 m ³
Módulo de finura del agregado global	$MFG_1 - 0.20 =$	5.20
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$ $r_g = 1 - r_f =$	0.477 0.523
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. fino = $r_f \times 0.695 =$ Vol. abs. grueso= $r_g \times 0.695 =$	0.332 m ³ 0.363 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento = Agua de diseño = Agregado fino seco = Agregado grueso seco =	306 kg/m ³ 193 lt / m ³ 869.85 kg/m ³ 954.70 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento = Agua efectiva = Agregado fino húmedo = Agregado grueso húmedo =	306 kg/m ³ 118.10 lt / m ³ 937.60 kg/m ³ 994.90 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 3.06 : 3.25
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.91 : 3.50

Cuadro 04

Diseño de mezclas D, para la variación $MFG_1 = 0.30$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$ $f'cr =$ $f'cr =$	17 MPa (17 + 7.0) = 24 MPa 245 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua = Volumen absoluto de agua=	193 lt/ m ³ 0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire = Volumen absoluto de aire =	1.50 % 0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.63
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento = Factor cemento = Volumen absoluto de cemento=	306 kg/m ³ 7.20 bolsas/m ³ 0.097 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.305 m ³
Cálculo del vol. abs. del Agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.695 m ³
módulo de finura del agregado global	$MFG_1 = 0.30 =$	5.10
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$ $r_g = 1 - r_f =$	0.501 0.499
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. fino = $r_f \times 0.695 =$ Vol. abs. grueso= $r_g \times 0.695 =$	0.348 m ³ 0.347 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento = Agua de diseño = Agregado fino seco = Agregado grueso seco =	306 kg/m ³ 193 lt / m ³ 911.80 kg/m ³ 912.60 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento = Agua efectiva = Agregado fino húmedo = Agregado grueso húmedo =	306 kg/m ³ 117.20 lt / m ³ 982.80 kg/m ³ 951.00 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 3.21 : 3.11
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 3.05 : 3.34

Cuadro 05

Diseño de mezclas E, del concreto patrón de 21 MPa (comité 211 del ACI).

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$	21 MPa
	$f'cr =$	$(21 + 8.5) = 29.5$ MPa
	$f'cr =$	301 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua =	193 lt/ m ³
	Volumen absoluto de agua =	0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire =	1.50 %
	Volumen absoluto de aire =	0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.55
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento =	351 kg/m ³
	Factor cemento =	8.30 bolsas/m ³
	Volumen absoluto de cemento =	0.111 m ³
Determinación del contenido de agregado grueso	Vol. seco y compactado =	0.647
	Peso del ag. grueso seco =	1044.90 kg/m ³
	Vol. absoluto de ag. grueso =	0.397 m ³
Determinación de volúmenes absolutos de los materiales	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento + ag. grueso) =	0.716 m ³
Determinación del contenido de agregado fino	Vol. absoluto de ag. fino =	0.284 m ³
	Peso del ag. fino seco =	744.10 kg/m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento =	351 kg/m ³
	Agua de diseño =	193 lt / m ³
	Agregado fino seco =	744.10 kg/m ³
	Agregado grueso seco =	1044.90 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento =	351 kg/m ³
	Agua efectiva =	121.90 lt / m ³
	Agregado fino húmedo =	802.05 kg/m ³
	Agregado grueso húmedo =	1088.90 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.29 : 3.10
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.17 : 3.33

Cuadro 06

Diseño de mezclas F , para la variación $MFG_2 - 0.10$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$	21 MPa
	$f'cr =$	$(21 + 8.5) = 29.5$ MPa
	$f'cr =$	301 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua =	193 lt/ m ³
	Volumen absoluto de agua=	0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire =	1.50 %
	Volumen absoluto de aire =	0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.55
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento =	351 kg/m ³
	Factor cemento =	8.30 bolsas/m ³
	Volumen absoluto de cemento=	0.111 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.319 m ³
Cálculo del vol. abs. del agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.681 m ³
Módulo de finura del agregado global	$MFG_2 - 0.10 =$	5.36
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$	0.440
	$r_g = 1 - r_f =$	0.560
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. fino = $r_f \times 0.681 =$	0.300 m ³
	Vol. abs. grueso = $r_g \times 0.681 =$	0.381 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento =	351 kg/m ³
	Agua de diseño =	193 lt / m ³
	Agregado fino seco =	786.00 kg/m ³
	Agregado grueso seco =	1002.03 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento =	351 kg/m ³
	Agua efectiva =	121.03 lt / m ³
	Agregado fino húmedo =	847.20 kg/m ³
	Agregado grueso húmedo =	1044.20 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.41 : 2.97
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.29 : 3.20

Cuadro 07

Diseño de mezclas G, para la variación $MFG_2 - 0.20$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$ $f'cr =$ $f'cr =$	21 MPa (21 + 8.5) = 29.5 MPa 301 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua = Volumen absoluto de agua =	193 lt/ m ³ 0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire = Volumen absoluto de aire =	1.50 % 0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.55
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento = Factor cemento = Volumen absoluto de cemento =	351 kg/m ³ 8.30 bolsas/m ³ 0.111 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.319 m ³
Cálculo del vol. abs. del agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.681 m ³
Módulo de finura del agregado global	$MFG_2 - 0.20 =$	5.26
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$ $r_g = 1 - r_f =$	0.464 0.536
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. fino = $r_f \times 0.681 =$ Vol. abs. grueso = $r_g \times 0.681 =$	0.316 m ³ 0.365 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento = Agua de diseño = Agregado fino seco = Agregado grueso seco =	351 kg/m ³ 193 lt / m ³ 827.90 kg/m ³ 959.95 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento = Agua efectiva = Agregado fino húmedo = Agregado grueso húmedo =	351 kg/m ³ 120.13 lt / m ³ 892.40 kg/m ³ 1000.36 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.54 : 2.85
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.41 : 3.06

Cuadro 08

Diseño de mezclas H, para la variación $MFG_2 - 0.30$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$ $f'cr =$ $f'cr =$	21 MPa (21 + 8.5) = 29.5 MPa 301 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua = Volumen absoluto de agua =	193 lt/ m ³ 0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire = Volumen absoluto de aire =	1.50 % 0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.55
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento = Factor cemento = Volumen absoluto de cemento =	351 kg/m ³ 8.30 bolsas/m ³ 0.111 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.319 m ³
Cálculo del vol. abs. del agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.681 m ³
Módulo de finura del agregado global	$MFG_2 - 0.30 =$	5.16
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$ $r_g = 1 - r_f =$	0.488 0.512
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. fino = $r_f \times 0.681 =$ Vol. abs. grueso = $r_g \times 0.681 =$	0.332 m ³ 0.349 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento = Agua de diseño = Agregado fino seco = Agregado grueso seco =	351 kg/m ³ 193 lt / m ³ 869.80 kg/m ³ 917.90 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento = Agua efectiva = Agregado fino húmedo = Agregado grueso húmedo =	351 kg/m ³ 119.20 lt / m ³ 937.60 kg/m ³ 956.50 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.67 : 2.73
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.54 : 2.93

Cuadro 09

Diseño de mezclas I, del concreto patrón de 28 MPa (comité 211 del ACI).

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$	28 MPa
	$f'cr =$	$(28 + 8.5) = 36.5$ MPa
	$f'cr =$	372 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua =	193 lt/ m ³
	Volumen absoluto de agua =	0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire =	1.50 %
	Volumen absoluto de aire =	0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.458
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento =	421 kg/m ³
	Factor cemento =	9.90 bolsas/m ³
	Volumen absoluto de cemento =	0.134 m ³
Determinación del contenido de agregado grueso	Vol. seco y compactado =	0.647
	Peso del ag. grueso seco =	1044.90 kg/m ³
	Vol. absoluto de ag. grueso =	0.397 m ³
Determinación de volúmenes absolutos de los materiales	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento + ag. grueso) =	0.739 m ³
Determinación del contenido de agregado fino	Vol. absoluto de ag. fino =	0.261 m ³
	Peso del ag. fino seco =	683.80 kg/m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento =	421 kg/m ³
	Agua de diseño =	193 lt / m ³
	Agregado fino seco =	683.80 kg/m ³
	Agregado grueso seco =	1044.90 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento =	421 kg/m ³
	Agua efectiva =	125.10 lt / m ³
	Agregado fino húmedo =	737.10 kg/m ³
	Agregado grueso húmedo =	1088.90 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 1.75 : 2.59
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 1.66 : 2.78

Cuadro 10

Diseño de mezclas J, para la variación $MFG_3 - 0.10$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$	28 MPa
	$f'cr =$	$(28 + 8.5) = 36.5$ MPa
	$f'cr =$	372 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua =	193 lt/ m ³
	Volumen absoluto de agua=	0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire =	1.50 %
	Volumen absoluto de aire =	0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	$A / C =$ (por resistencia)	0.458
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento =	421 kg/m ³
	Factor cemento =	9.90 bolsas/m ³
	Volumen absoluto de cemento=	0.134 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.342 m ³
Cálculo del vol. abs. del agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.658 m ³
Módulo de finura del agregado global	$MFG_3 - 0.10 =$	5.44
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$	0.421
	$r_g = 1 - r_f =$	0.579
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. fino = $r_f \times 0.681 =$	0.277 m ³
	Vol. abs. grueso = $r_g \times 0.681 =$	0.381 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento =	421 kg/m ³
	Agua de diseño =	193 lt / m ³
	Agregado fino seco =	725.74 kg/m ³
	Agregado grueso seco =	1002.03 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento =	421 kg/m ³
	Agua efectiva =	124.20 lt / m ³
	Agregado fino húmedo =	782.30 kg/m ³
	Agregado grueso húmedo =	1044.20 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 1.86 : 2.48
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 1.76 : 2.67

Cuadro 11

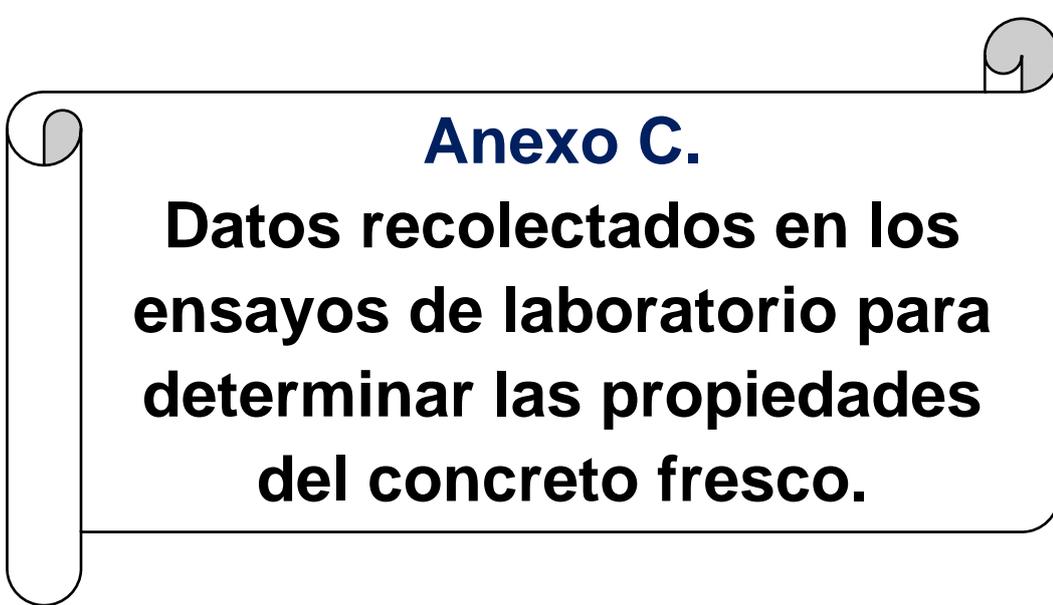
Diseño de mezclas K, para la variación $MFG_3 - 0.20$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$ $f'cr =$ $f'cr =$	28 MPa (28 + 8.5) = 36.5 MPa 372 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua = Volumen absoluto de agua =	193 lt/ m ³ 0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire = Volumen absoluto de aire =	1.50 % 0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.458
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento = Factor cemento = Volumen absoluto de cemento =	421 kg/m ³ 9.90 bolsas/m ³ 0.134 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.342 m ³
Cálculo del vol. abs. del agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.658 m ³
Módulo de finura del agregado global	$MFG_3 - 0.20 =$	5.34
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$ $r_g = 1 - r_f =$	0.445 0.555
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. fino = $r_f \times 0.681 =$ Vol. abs. grueso = $r_g \times 0.681 =$	0.293 m ³ 0.365 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento = Agua de diseño = Agregado fino seco = Agregado grueso seco =	421 kg/m ³ 193 lt / m ³ 767.66 kg/m ³ 959.95 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento = Agua efectiva = Agregado fino húmedo = Agregado grueso húmedo =	421 kg/m ³ 123.30 lt / m ³ 827.50 kg/m ³ 1000.36 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 1.97 : 2.38
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 1.87 : 2.55

Cuadro 12

Diseño de mezclas L, para la variación $MFG_3 - 0.30$.

Procedimiento	Descripción	
Selección de la resistencia promedio	$f'c =$ $f'cr =$ $f'cr =$	28 MPa (28 + 8.5) = 36.5 MPa 372 kg/cm ²
Selección del tamaño máximo nominal del agregado grueso	Pulgadas	1"
Selección del asentamiento	Consistencia plástica	3" a 4"
Selección del volumen unitario de agua	Volumen unitario de agua = Volumen absoluto de agua =	193 lt/ m ³ 0.193 m ³
Selección del contenido de aire	Contenido de aire = Volumen absoluto de aire =	1.50 % 0.015 m ³
Determinación de la relación agua/cemento	A / C = (por resistencia)	0.458
Determinación del contenido de cemento	Factor cemento = Factor cemento = Volumen absoluto de cemento =	421 kg/m ³ 9.90 bolsas/m ³ 0.134 m ³
Cálculo del volumen absoluto de la pasta	Σ Volúmenes absolutos (agua + aire + cemento) =	0.342 m ³
Cálculo del vol. abs. del agregado	Vol. abs. de los agregados =	0.658 m ³
Módulo de finura del agregado global	$MFG_3 - 0.30 =$	5.24
Cálculo del % de fino en relación al vol. abs.	De la ecuación 4: $r_f =$ $r_g = 1 - r_f =$	0.469 0.531
Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados	Vol. abs. Fino = $r_f \times 0.681 =$ Vol. abs. grueso = $r_g \times 0.681 =$	0.309m ³ 0.349 m ³
Valores de diseño en peso seco	Cemento = Agua de diseño = Agregado fino seco = Agregado grueso seco =	421 kg/m ³ 193 lt / m ³ 809.60 kg/m ³ 917.90 kg/m ³
Valores de diseño corregidos por humedad de los agregados	Cemento = Agua efectiva = Agregado fino húmedo = Agregado grueso húmedo =	421 kg/m ³ 122.40 lt / m ³ 872.65 kg/m ³ 956.50 kg/m ³
Proporción en peso	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 2.07 : 2.27
Proporción en volumen	C/C : Fino/C : Grueso/C	1 : 1.97 : 2.44



Anexo C.

Datos recolectados en los ensayos de laboratorio para determinar las propiedades del concreto fresco.

Cuadro 13

Cálculo de las propiedades del concreto patrón de 17 MPa en estado fresco, diseño de mezclas A.

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.069 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.001 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2306.18 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.481 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2356.48 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	2.13%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	15 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	23 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	35 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	44 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	49 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.113 ml/cm ²

Cuadro 14

Cálculo de las propiedades del concreto patrón de 21 MPa en estado fresco, diseño de mezclas E.

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.265 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.197 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2326.73 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.551 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2363.85 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	1.57%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	14 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	28 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	38 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	45 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	51 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.118 ml/cm ²

Cuadro 15

Cálculo de las propiedades del concreto patrón de 28 MPa en estado fresco, diseño de mezclas I.

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.343kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.305 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2338.05 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.629 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2372.05 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	1.43%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	12 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	26 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	37 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	44 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	50 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.115 ml/cm ²

Cuadro 16

Cálculo de los módulos de finura del agregado global del concreto patrón de 17, 21 y 28 MPa.

Concreto	Descripción	Resultado
17 MPa	Volumen absoluto del agregado fino	0.298
	Volumen absoluto del agregado grueso	0.397
	% ag. fino en relación al Vol. Abs. total (r_f)	0.429
	% ag. grueso en relación al Vol. Abs. total (r_g)	0.571
	Módulo de Finura del Agregado Global (MFG_1)	5.40
21 MPa	Volumen absoluto del agregado fino	0.284
	Volumen absoluto del agregado grueso	0.397
	% ag. fino en relación al Vol. Abs. total (r_f)	0.417
	% ag. grueso en relación al Vol. Abs. total (r_g)	0.583
	Módulo de Finura del Agregado Global (MFG_2)	5.46
28 MPa	Volumen absoluto del agregado fino	0.261
	Volumen absoluto del agregado grueso	0.397
	% ag. fino en relación al Vol. Abs. total (r_f)	0.397
	% ag. grueso en relación al Vol. Abs. total (r_g)	0.603
	Módulo de Finura del Agregado Global (MFG_3)	5.54

Nota, se usó el módulo de finura del agregado fino (m_f)= 3.03 y el módulo de finura del agregado grueso (m_g)= 7.18, que fueron determinados en los ensayos de los agregados.

Cuadro 17

Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c = 17\text{MPa}$ en estado fresco, diseño de mezclas B ($MFG_1 - 0.10$).

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.217 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.149 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2321.70 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.477 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2356.12 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	1.46%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	13 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	21 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	38 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	43 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	48 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.111 ml/cm ²

Cuadro 18

Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c = 17\text{MPa}$ en estado fresco, diseño de mezclas C ($MFG_1 - 0.20$).

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.405 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.337 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2341.40 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.482 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2356.59 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	0.64%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	13 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	25 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	36 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	42 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	48 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.111 ml/cm ²

Cuadro 19

Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c = 17\text{MPa}$ en estado fresco, diseño de mezclas D ($MFG_1 - 0.30$).

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.445 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.377 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2345.60 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.486 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2357.02 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	0.48%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	12 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	26 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	37 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	42 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	50 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.115 ml/cm ²

Cuadro 20

Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c = 21\text{MPa}$ en estado fresco, diseño de mezclas F ($MFG_2 - 0.10$).

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.344 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.276 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2335.01 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.548 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2363.48 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	1.20%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	14 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	26 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	35 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	43 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	50 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.115 ml/cm ²

Cuadro 21

Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c= 21$ MPa en estado fresco, diseño de mezclas G (MFG₂ – 0.20).

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.550 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.482 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2356.60 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.552 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2363.94 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	0.31%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	17 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	27 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	38 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	45 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	50 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.115 ml/cm ²

Cuadro 22

Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c= 21$ MPa en estado fresco, diseño de mezclas H (MFG₂ – 0.30).

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.558 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.490 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2357.44 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.556 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2364.36 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	0.29%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	16 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	25 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	36 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	43 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	49 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.113 ml/cm ²

Cuadro 23

Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c= 28$ MPa en estado fresco, diseño de mezclas J (MFG₃ – 0.10).

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.415 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.347 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2342.45 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.626 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2371.68 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	1.23%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	13 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	27 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	36 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	44 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	49 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.113 ml/cm ²

Cuadro 24

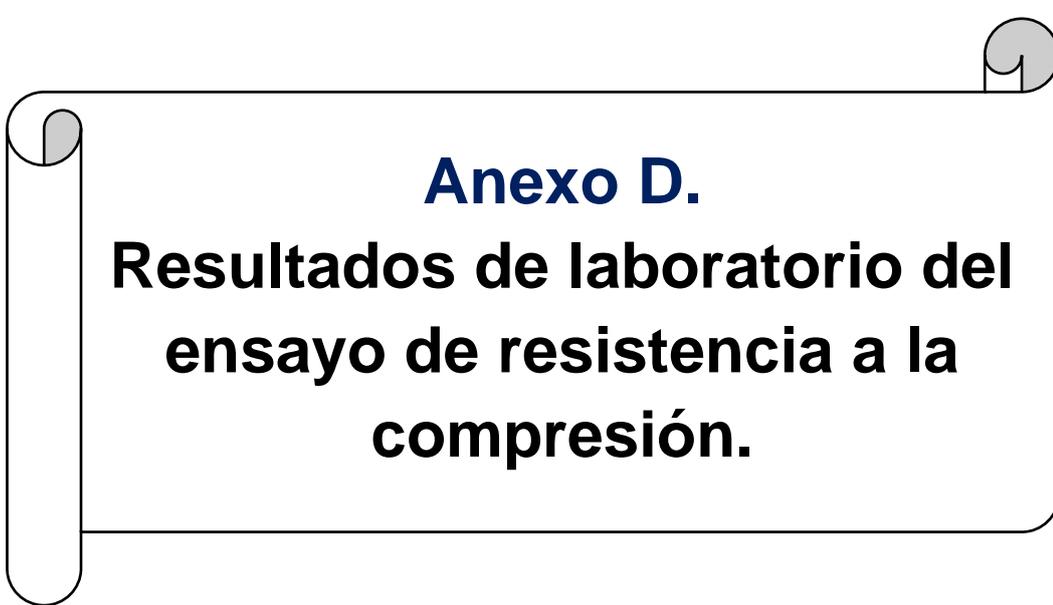
Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c= 28$ MPa en estado fresco, diseño de mezclas K (MFG₃ – 0.20).

Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.491 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.423 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2350.42 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.630 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2372.10 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	0.91%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	15 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	24 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	35 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	44 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	48 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.111 ml/cm ²

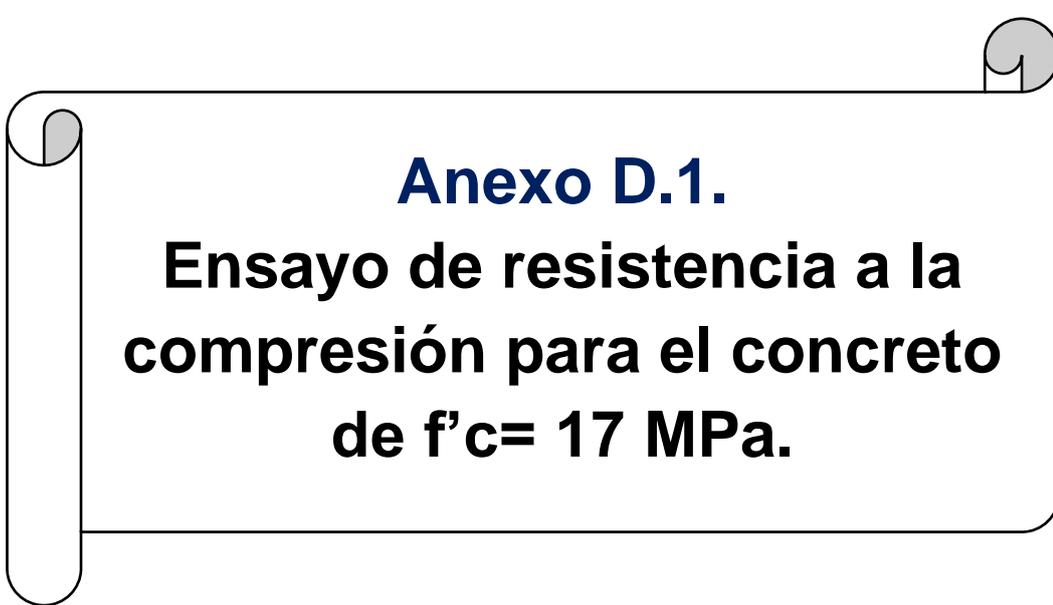
Cuadro 25

Cálculo de las propiedades del concreto de $f'c= 28$ MPa en estado fresco, diseño de mezclas L (MFG₃ – 0.30).

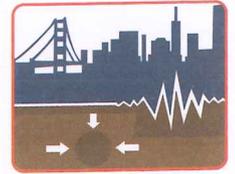
Propiedad	Descripción	Resultado
Peso unitario	Peso del recipiente + concreto	27.573 kg
	Peso del recipiente vacío	5.068 kg
	Peso del concreto	22.505 kg
	Volumen del recipiente	0.00954 m ³
	Peso unitario del concreto	2359.01 kg/m ³
Contenido de aire	Masa total de los materiales en la tanda	22.634 kg
	Volumen absoluto total de los materiales de la mezcla	0.00954 m ³
	Densidad teórica del concreto (libre de aire)	2372.55 kg/m ³
	Cantidad de aire en la mezcla	0.57%
Exudación	Volumen acumulado en 10 minutos	13 ml
	Volumen acumulado en 20 minutos	24 ml
	Volumen acumulado en 30 minutos	33 ml
	Volumen acumulado en 40 minutos	42 ml
	Volumen acumulado en 70 minutos	49 ml
	Área de la superficie	433.736 cm ²
	Volumen de agua de exudación por unidad de superficie	0.113 ml/cm ²



Anexo D.
**Resultados de laboratorio del
ensayo de resistencia a la
compresión.**



Anexo D.1.
**Ensayo de resistencia a la
compresión para el concreto
de $f'_c = 17$ MPa.**



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO DE F'C=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f_c de Diseño: 17 MPa Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.

BRIQUETA	DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA	AREA	f'c	%	
N°	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA	DIAS	(Kg)	cm2	Kg/cm2	f'c/fc
1	PATRON / N°1	17	23/02/2022	23/03/2022	28	30,569.00	176.7	173	100%
2	PATRON / N°2	17	23/02/2022	23/03/2022	28	31,570.00	176.7	179	103%
3	PATRON / N°3	17	23/02/2022	23/03/2022	28	31,800.00	176.7	180	104%
4	PATRON / N°4	17	23/02/2022	23/03/2022	28	30,720.00	176.7	174	100%
5	PATRON / N°5	17	23/02/2022	23/03/2022	28	31,730.00	176.7	180	104%
6	PATRON / N°6	17	23/02/2022	23/03/2022	28	31,110.00	176.7	176	102%

OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compre:

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



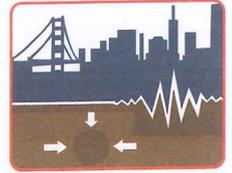
3R GEOINGENIERÍA S.A.C.

LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

Servicios Geotécnicos e Ingeniería Especializada en Obras Civiles y Mineras

Estudios Geotécnicos, Estudios de Mecánica de Suelos, Consultoría en Ingeniería Geotécnica Sísmica

RUC N° 20408092524 - RNP/OSCE: Consultor de Obras N° C39006



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: 17 MPa Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.



BRIQUETA		DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA	AREA	f'c	%
N°	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA	DIAS	(Kg)	cm2	Kg/cm2	f'c/fc
1	MFG1-0.10 / N°1	17	28/02/2022	28/03/2022	28	33,043.00	176.7	187	108%
2	MFG1-0.10 / N°2	17	28/02/2022	28/03/2022	28	33,370.00	176.7	189	109%
3	MFG1-0.10 / N°3	17	28/02/2022	28/03/2022	28	33,600.00	176.7	190	110%
4	MFG1-0.10 / N°4	17	28/02/2022	28/03/2022	28	33,720.00	176.7	191	110%
5	MFG1-0.10 / N°5	17	28/02/2022	28/03/2022	28	33,930.00	176.7	192	111%
6	MFG1-0.10 / N°6	17	28/02/2022	28/03/2022	28	34,110.00	176.7	193	111%

OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compre

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO 165



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: 17 MPa Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.

N°	BRIQUETA	DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA (Kg)	AREA cm2	f'c Kg/cm2	%
	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA					
1	MFG1-0.20 / N°1	17	02/03/2022	30/03/2022	28	35,870.00	176.7	203	117%
2	MFG1-0.20 / N°2	17	02/03/2022	30/03/2022	28	35,370.00	176.7	200	115%
3	MFG1-0.20 / N°3	17	02/03/2022	30/03/2022	28	36,600.00	176.7	207	119%
4	MFG1-0.20 / N°4	17	02/03/2022	30/03/2022	28	36,720.00	176.7	208	120%
5	MFG1-0.20 / N°5	17	02/03/2022	30/03/2022	28	36,730.00	176.7	208	120%
6	MFG1-0.20 / N°6	17	02/03/2022	30/03/2022	28	36,110.00	176.7	204	118%

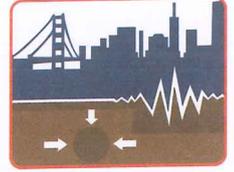
OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compre-

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Rôque
Ing. Reynaldo M. Reyes Rôque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: 17 Mpa Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.

N°	BRIQUETA	DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA	AREA	f'c	%
	DESCRIPCION	Mpa	MOLDEO	ROTURA	DIAS	(Kg)	cm2	Kg/cm2	f'c/fc
1	MFG1-0.30 / N°1	17	04/03/2022	01/04/2022	28	34,633.00	176.7	196	113%
2	MFG1-0.30 / N°2	17	04/03/2022	01/04/2022	28	34,370.00	176.7	194	112%
3	MFG1-0.30 / N°3	17	04/03/2022	01/04/2022	28	34,600.00	176.7	196	113%
4	MFG1-0.30 / N°4	17	04/03/2022	01/04/2022	28	34,720.00	176.7	196	113%
5	MFG1-0.30 / N°5	17	04/03/2022	01/04/2022	28	34,830.00	176.7	197	114%
6	MFG1-0.30 / N°6	17	04/03/2022	01/04/2022	28	34,110.00	176.7	193	111%

OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compre:



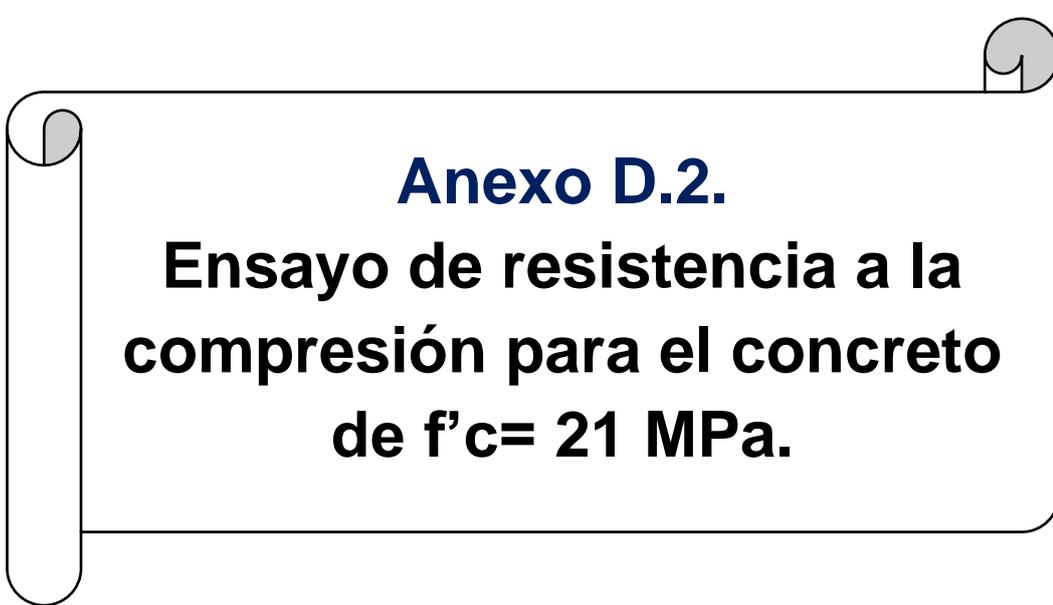
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO

167

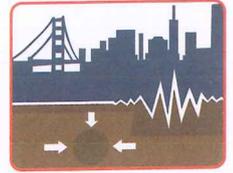


REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N° 00131871





Anexo D.2.
**Ensayo de resistencia a la
compresión para el concreto
de $f'_c = 21$ MPa.**



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

**TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"**

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: **21 MPa** Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.

N°	BRIQUETA	DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA	AREA	f'c	%
	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA	DIAS	(Kg)	cm2	Kg/cm2	f'c/fc
1	PATRON / N°1	21	10/03/2022	07/04/2022	28	40,818.00	176.7	231	108%
2	PATRON / N°2	21	10/03/2022	07/04/2022	28	41,370.00	176.7	234	109%
3	PATRON / N°3	21	10/03/2022	07/04/2022	28	41,850.00	176.7	237	111%
4	PATRON / N°4	21	10/03/2022	07/04/2022	28	40,610.00	176.7	230	107%
5	PATRON / N°5	21	10/03/2022	07/04/2022	28	39,730.00	176.7	225	105%
6	PATRON / N°6	21	10/03/2022	07/04/2022	28	41,110.00	176.7	233	109%

OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compresión



REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Róque
Ing. Reynaldo M. Reyes Róque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



3R GEOINGENIERÍA S.A.C.

LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

Servicios Geotécnicos e Ingeniería Especializada en Obras Civiles y Mineras

Estudios Geotécnicos, Estudios de Mecánica de Suelos, Consultoría en Ingeniería Geotécnica Sísmica

RUC N° 20408092524 - RNP/OSCE: Consultor de Obras N° C39006



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: 21 MPa Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.



N°	BRIQUETA	DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA (Kg)	AREA cm2	f'c Kg/cm2	%
	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA					
1	MFG2-0.10 / N°1	21	15/03/2022	12/04/2022	28	43,115.00	176.7	244	114%
2	MFG2-0.10 / N°2	21	15/03/2022	12/04/2022	28	43,270.00	176.7	245	114%
3	MFG2-0.10 / N°3	21	15/03/2022	12/04/2022	28	44,600.00	176.7	252	118%
4	MFG2-0.10 / N°4	21	15/03/2022	12/04/2022	28	43,620.00	176.7	247	115%
5	MFG2-0.10 / N°5	21	15/03/2022	12/04/2022	28	45,930.00	176.7	260	121%
6	MFG2-0.10 / N°6	21	15/03/2022	12/04/2022	28	44,110.00	176.7	250	117%

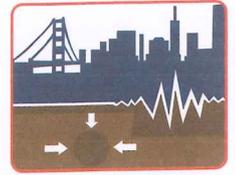
OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compres

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: 21 MPa Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.

N°	BRIQUETA DESCRIPCION	DISEÑO MPa	FECHA		EDAD DIAS	CARGA (Kg)	AREA cm2	f'c Kg/cm2	%
			MOLDEO	ROTURA					
1	MFG2-0.20 / N°1	21	17/03/2022	14/04/2022	28	45,765.00	176.7	259	121%
2	MFG2-0.20 / N°2	21	17/03/2022	14/04/2022	28	45,370.00	176.7	257	120%
3	MFG2-0.20 / N°3	21	17/03/2022	14/04/2022	28	46,600.00	176.7	264	123%
4	MFG2-0.20 / N°4	21	17/03/2022	14/04/2022	28	46,720.00	176.7	264	123%
5	MFG2-0.20 / N°5	21	17/03/2022	14/04/2022	28	46,730.00	176.7	264	123%
6	MFG2-0.20 / N°6	21	17/03/2022	14/04/2022	28	46,110.00	176.7	261	122%

OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compresión

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Róque
Ing. Reynaldo M. Reyes Róque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



3R GEOINGENIERÍA S.A.C.

LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

Servicios Geotécnicos e Ingeniería Especializada en Obras Civiles y Mineras
Estudios Geotécnicos, Estudios de Mecánica de Suelos, Consultoría en Ingeniería Geotécnica Sísmica
RUC N° 20408092524 - RNP/OSCE: Consultor de Obras N° C39006



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: 21 MPa Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.



N°	BRIQUETA	DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA (Kg)	AREA cm2	f'c Kg/cm2	%
	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA					
1	MFG2-0.30 / N°1	21	16/03/2022	13/04/2022	28	44,705.00	176.7	253	118%
2	MFG2-0.30 / N°2	21	16/03/2022	13/04/2022	28	44,370.00	176.7	251	117%
3	MFG2-0.30 / N°3	21	16/03/2022	13/04/2022	28	44,600.00	176.7	252	118%
4	MFG2-0.30 / N°4	21	16/03/2022	13/04/2022	28	44,720.00	176.7	253	118%
5	MFG2-0.30 / N°5	21	16/03/2022	13/04/2022	28	44,730.00	176.7	253	118%
6	MFG2-0.30 / N°6	21	16/03/2022	13/04/2022	28	44,110.00	176.7	250	117%

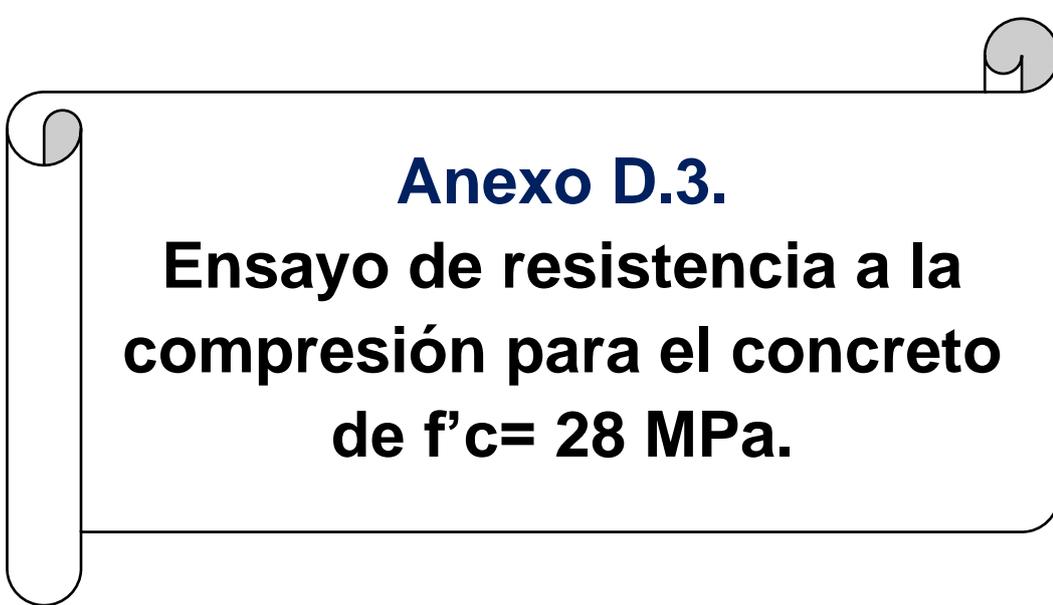
OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compresión

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



Anexo D.3.
**Ensayo de resistencia a la
compresión para el concreto
de $f'_c = 28$ MPa.**



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

**TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"**

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: **28 MPa** Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.

BRIQUETA	DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA	AREA	f'c	%	
N°	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA	DIAS	(Kg)	cm2	Kg/cm2	f'c/fc
1	PATRON / N°1	28	24/03/2022	21/04/2022	28	50,890.00	176.7	288	101%
2	PATRON / N°2	28	24/03/2022	21/04/2022	28	51,370.00	176.7	291	102%
3	PATRON / N°3	28	24/03/2022	21/04/2022	28	51,800.00	176.7	293	103%
4	PATRON / N°4	28	24/03/2022	21/04/2022	28	50,720.00	176.7	287	101%
5	PATRON / N°5	28	24/03/2022	21/04/2022	28	51,730.00	176.7	293	103%
6	PATRON / N°6	28	24/03/2022	21/04/2022	28	51,110.00	176.7	289	101%

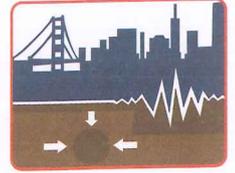
OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compre

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

**TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO DE F'c=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"**

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: **28 MPa** Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.

BRIQUETA		DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA	AREA	f'c	%
N°	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA	DIAS	(Kg)	cm2	Kg/cm2	f'c/fc
1	MFG3-0.10 / N°1	28	29/03/2022	26/04/2022	28	54,070.00	176.7	306	107%
2	MFG3-0.10 / N°2	28	29/03/2022	26/04/2022	28	54,370.00	176.7	308	108%
3	MFG3-0.10 / N°3	28	29/03/2022	26/04/2022	28	54,600.00	176.7	309	108%
4	MFG3-0.10 / N°4	28	29/03/2022	26/04/2022	28	54,750.00	176.7	310	109%
5	MFG3-0.10 / N°5	28	29/03/2022	26/04/2022	28	54,930.00	176.7	311	109%
6	MFG3-0.10 / N°6	28	29/03/2022	26/04/2022	28	56,110.00	176.7	318	111%

OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compre

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



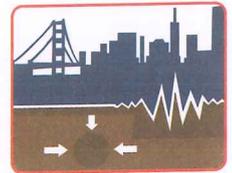
Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr.
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



3R GEOINGENIERÍA S.A.C.

LABORATORIO GEOTECNICO Y ENSAYO DE MATERIALES

Servicios Geotécnicos e Ingeniería Especializada en Obras Civiles y Mineras
Estudios Geotécnicos, Estudios de Mecánica de Suelos, Consultoría en Ingeniería Geotécnica Sísmica
RUC N° 20408092524 - RNP/OSCE: Consultor de Obras N° C39006



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE F'C=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: 28 MPa Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.



N°	BRIQUETA	DISEÑO	FECHA		EDAD	CARGA (Kg)	AREA cm2	f'c Kg/cm2	%
	DESCRIPCION	MPa	MOLDEO	ROTURA					
1	MFG3-0.20 / N°1	28	31/03/2022	28/04/2022	28	57,428.00	176.7	325	114%
2	MFG3-0.20 / N°2	28	31/03/2022	28/04/2022	28	58,370.00	176.7	330	116%
3	MFG3-0.20 / N°3	28	31/03/2022	28/04/2022	28	57,600.00	176.7	326	114%
4	MFG3-0.20 / N°4	28	31/03/2022	28/04/2022	28	56,720.00	176.7	321	112%
5	MFG3-0.20 / N°5	28	31/03/2022	28/04/2022	28	56,730.00	176.7	321	112%
6	MFG3-0.20 / N°6	28	31/03/2022	28/04/2022	28	58,110.00	176.7	329	115%

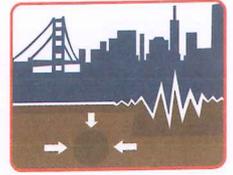
OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compre

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DE PROBETAS DE CONCRETO

Norma ASTM C-39 - AASHTO T-22

INFORME N° 128-2022-3R-LG

SOLICITA : MILENE MERCEDES SÁENZ JAMANCA

**TESIS : "INCIDENCIA DEL METODO MODULO DE FINURA
DEL AGREGADO GLOBAL EN LAS PROPIEDADES DEL
CONCRETO DE F'C=17, 21 Y 28 MPa, HUARAZ - 2020"**

ENTIDAD : FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNASAM

DOSIFICACION: En peso: En volumen:

f'c de Diseño: **28 MPa** Altura: 30.00 cm. Diámetro: 15.00 cm.



N°	BRIQUETA DESCRIPCION	DISEÑO MPa	FECHA		EDAD DIAS	CARGA (Kg)	AREA cm2	f'c Kg/cm2	%
			MOLDEO	ROTURA					
1	MFG3-0.30 / N°1	28	01/04/2022	29/04/2022	28	59,496.00	176.7	337	118%
2	MFG3-0.30 / N°2	28	01/04/2022	29/04/2022	28	60,320.00	176.7	341	120%
3	MFG3-0.30 / N°3	28	01/04/2022	29/04/2022	28	59,600.00	176.7	337	118%
4	MFG3-0.30 / N°4	28	01/04/2022	29/04/2022	28	58,920.00	176.7	333	117%
5	MFG3-0.30 / N°5	28	01/04/2022	29/04/2022	28	59,930.00	176.7	339	119%
6	MFG3-0.30 / N°6	28	01/04/2022	29/04/2022	28	60,110.00	176.7	340	119%

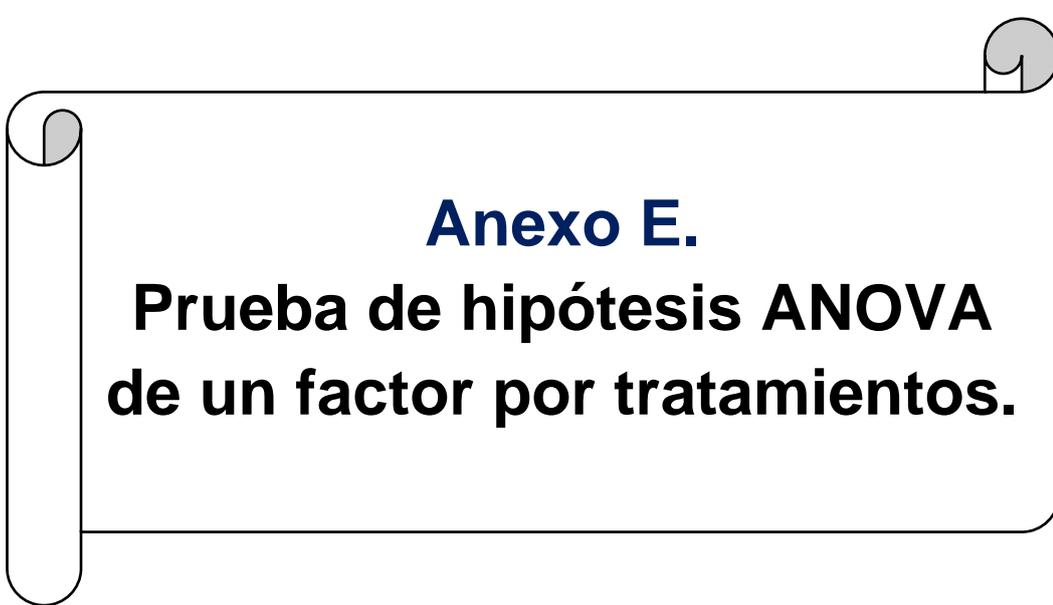
OBSERVACIONES:

Las muestras de Briquetas de Concreto fueron traídos por el Solicitante para sus respectivas pruebas de Resistencia a la Compre

REGISTRO INDECOPI CERTIFICADO N°00131871



Reynaldo M. Reyes Roque
Ing. Reynaldo M. Reyes Roque, Msc. Dr
INGENIERO CIVIL CIP N° 57900
Doctor en Ingeniería Civil
Maestría en Ingeniería Geotécnica
JEFE DE LABORATORIO



Anexo E.
Prueba de hipótesis ANOVA
de un factor por tratamientos.

Cuadro 26Prueba de hipótesis ANOVA para la consistencia del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	FV	SC	CM	F_0	p -valor
17	Ttos	891.7068	297.2356	640.59	0.0000 ^a
	Error	9.28	0.464		
	Total	900.9868	39.173339		
21	Ttos	529.09005	176.36335	380.09	0.0000 ^a
	Error	9.28	0.464		
	Total	538.37005	23.407393		
28	Ttos	665.32125	221.77375	477.96	0.0000 ^a
	Error	9.28	0.464		
	Total	674.60125	29.330489		

Nota: FV: Fuente de variabilidad (incidencia). SC: Suma de cuadrados. CM: Cuadrado medio.

^a: Significativo. GL: grados de libertad. $GL_{Ttos}= 3$, $GL_{Error}= 20$, $GL_{Total}= 23$.**Cuadro 27**Datos estadísticos de la consistencia del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	MFG	Media	Desviación estándar	Asimetría	Kurtosis	Varianza
17	5.40	76.20	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.30	69.85	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.20	63.50	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.10	60.33	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
21	5.46	69.85	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.36	63.50	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.26	60.33	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.16	57.15	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
28	5.54	69.85	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.44	63.50	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.34	57.15	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464
	5.24	57.15	0.6811755	0.0000	1.259215	0.464

Cuadro 28

Método de Tukey para comparar los tratamientos de la consistencia.

F'c (MPa)	MFG	Diferencia de medias	Tukey		Tukey [95% intervalo de confianza]	
			t	P > t		
17	5.30 vs 5.40	-6.35	-16.15	0.000	-7.450757	-5.249243
	5.20 vs 5.40	-12.70	-32.229	0.000	-13.80076	-11.59924
	5.10 vs 5.40	-15.87	-40.35	0.000	-16.97076	-14.76924
	5.20 vs 5.30	-6.35	-16.15	0.000	-7.450757	-5.249243
	5.10 vs 5.30	-9.52	-24.21	0.000	-10.62076	-8.419243
	5.10 vs 5.20	-3.17	-8.06	0.000	-4.270757	-2.069243
21	5.36 vs 5.46	-6.35	-16.15	0.000	-7.450757	-5.249243
	5.26 vs 5.46	-9.52	-24.21	0.000	-10.62076	-8.419243
	5.16 vs 5.46	-12.7	-32.29	0.000	-13.80076	-11.59924
	5.26 vs 5.36	-3.17	-8.06	0.000	-4.270757	-2.069243
	5.16 vs 5.36	-6.35	-16.15	0.000	-7.450757	-5.249243
	5.16 vs 5.26	-3.18	-8.09	0.000	-4.280757	-2.079243
28	5.44 vs 5.54	-6.35	-16.15	0.000	-7.450757	-5.249243
	5.34 vs 5.54	-12.7	-32.29	0.000	-13.80076	-11.59924
	5.24 vs 5.54	-12.7	-32.29	0.000	-13.80076	-11.59924
	5.34 vs 5.44	-6.35	-16.15	0.000	-7.450757	-5.249243
	5.24 vs 5.44	-6.35	-16.15	0.000	-7.450757	-5.249243
	5.24 vs 5.34	0	0.00	0.001	-1.100757	1.100757

Cuadro 29

Prueba de hipótesis ANOVA para la temperatura del concreto de f'c= 17, 21 y 28 MPa.

F'c (MPa)	FV	SC	CM	F_0	p-valor
17	Ttos	7.5	2.5	17.86	0.09487
	Error	2.8	0.14		
	Total	10.3	0.4478261		
21	Ttos	4.125	1.375	9.82	0.08723
	Error	2.8	0.14		
	Total	6.925	0.3010869		
28	Ttos	7.125	2.375	16.96	0.09521
	Error	2.8	0.14		
	Total	9.925	0.4315217		

Nota: FV: Fuente de variabilidad (incidencia). SC: Suma de cuadrados. CM: Cuadrado medio.

GL: grados de libertad. $GL_{Ttos} = 3$, $GL_{Error} = 20$, $GL_{Total} = 23$.

Cuadro 30

Datos estadísticos de la temperatura del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	MFG	Media	Desviación estándar	Asimetría	Kurtosis	Varianza
17	5.40	20.5	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.30	20.0	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.20	21.0	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.10	21.5	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
21	5.46	20.5	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.36	21.0	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.26	21.5	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.16	20.5	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
28	5.54	21.0	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.44	22.0	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.34	21.0	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14
	5.24	20.5	0.3741657	0.0000	1.731429	0.14

Cuadro 31

Prueba de hipótesis ANOVA para el peso unitario del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	FV	SC	CM	F_0	p -valor
17	Ttos	6018.2928	2006.0976	691.76	0.0000 ^a
	Error	58	2.9		
	Total	6076.2928	264.18664		
21	Ttos	4310.727	1436.909	495.49	0.0000 ^a
	Error	58	2.9		
	Total	4368.727	189.94465		
28	Ttos	1534.8617	511.62055	176.42	0.0000 ^a
	Error	58	2.9		
	Total	1592.8617	69.254854		

Nota: FV: Fuente de variabilidad (incidencia). SC: Suma de cuadrados. CM: Cuadrado medio.

^a: Significativo. GL: grados de libertad. $GL_{Ttos}= 3$, $GL_{Error}= 20$, $GL_{Total}= 23$.

Cuadro 32

Datos estadísticos del peso unitario del concreto de $f'c = 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	MFG	Media	Desviación estándar	Asimetría	Kurtosis	Varianza
17	5.40	2306.18	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.30	2321.70	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.20	2341.40	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.10	2345.60	1.702939	0	1.259215	2.9
21	5.46	2326.73	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.36	2335.01	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.26	2356.60	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.16	2357.44	1.702939	0	1.259215	2.9
28	5.54	2338.05	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.44	2342.45	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.34	2350.42	1.702939	0	1.259215	2.9
	5.24	2359.01	1.702939	0	1.259215	2.9

Cuadro 33

Método de Tukey para comparar los tratamientos del peso unitario.

F'c (MPa)	MFG	Diferencia de medias	Tukey		Tukey [95% intervalo de confianza]	
			t	P > t		
17	5.30 vs 5.40	15.52	15.79	0.000	12.76811	18.27189
	5.20 vs 5.40	35.22	35.82	0.000	32.46811	37.97189
	5.10 vs 5.40	39.42	40.09	0.000	36.66811	42.17189
	5.20 vs 5.30	19.7	20.04	0.000	16.94811	22.45189
	5.10 vs 5.30	23.9	24.31	0.000	21.14811	26.65189
	5.10 vs 5.20	4.2	4.27	0.002	1.448108	6.951892
21	5.36 vs 5.46	8.28	8.42	0.000	5.528108	11.03189
	5.26 vs 5.46	29.87	30.38	0.000	27.11811	32.62189
	5.16 vs 5.46	30.71	31.23	0.000	27.95811	33.46189
	5.26 vs 5.36	21.59	21.96	0.000	18.83811	24.34189
	5.16 vs 5.36	22.43	22.81	0.000	19.67811	25.18189
	5.16 vs 5.26	0.84	0.85	0.00828	-1.911892	3.591892
28	5.44 vs 5.54	4.4	4.48	0.001	1.648108	7.151892
	5.34 vs 5.54	12.37	12.58	0.000	9.618108	15.12189
	5.24 vs 5.54	20.96	21.32	0.000	18.20811	23.71189
	5.34 vs 5.44	7.97	8.11	0.000	5.218108	10.72189
	5.24 vs 5.44	16.56	16.84	0.000	13.80811	19.31189
	5.24 vs 5.34	8.59	8.74	0.000	5.838108	11.34189

Cuadro 34

Prueba de hipótesis ANOVA para el contenido de aire del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	FV	SC	CM	F_0	p -valor
17	Ttos	10.57485	3.52495	62.95	0.0000 ^a
	Error	1.12	0.056		
	Total	11.69485	0.50847		
21	Ttos	7.47525	2.49175	67.18	0.0000 ^a
	Error	0.7418	0.03709		
	Total	8.21705	0.35726		
28	Ttos	2.5554	0.8518	36.11	0.0000 ^a
	Error	0.4718	0.02359		
	Total	3.0272	0.13161		

Nota: FV: Fuente de variabilidad (incidencia). SC: Suma de cuadrados. CM: Cuadrado medio.

^a: Significativo. GL: grados de libertad. $GL_{Ttos}= 3$, $GL_{Error}= 20$, $GL_{Total}= 23$.

Cuadro 35

Datos estadísticos del contenido de aire del concreto de $f'c= 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	MFG	Media	Desviación estándar	Asimetría	Kurtosis	Varianza
17	5.40	2.13	0.236643	0.0000	1.5	0.056
	5.30	1.46	0.236643	0.0000	1.5	0.056
	5.20	0.64	0.236643	0.0000	1.5	0.056
	5.10	0.48	0.236643	0.0000	1.5	0.056
21	5.46	1.7	0.236643	0.0000	1.5	0.056
	5.36	1.20	0.236643	0.0000	1.5	0.056
	5.26	0.31	0.136967	0.0000	1.109665	0.01876
	5.16	0.29	0.132665	0.0000	1.07157	0.0176
28	5.54	1.43	0.170293	0	1.255915	0.029
	5.44	1.23	0.170293	0	1.259215	0.029
	5.34	0.91	0.136967	0	1.109665	0.01876
	5.24	0.57	0.132665	0	1.07157	0.0176

Cuadro 36

Método de Tukey para comparar los tratamientos del contenido de aire.

F'c (MPa)	MFG	Diferencia de medias	Tukey		Tukey [95% intervalo de confianza]	
			t	P > t		
17	5.30 vs 5.40	-0.67	-4.90	0.000	-1.052407	-0.287592
	5.20 vs 5.40	-1.49	-10.91	0.000	-1.872407	-1.107593
	5.10 vs 5.40	-1.65	-12.08	0.000	-2.032407	-1.267593
	5.20 vs 5.30	-0.82	-6.00	0.000	-1.202407	-0.437592
	5.10 vs 5.30	-0.98	-7.17	0.000	-1.362407	-0.597592
	5.10 vs 5.20	-0.16	-1.17	0.00651	-0.542407	0.222407
21	5.36 vs 5.46	-0.37	-3.33	0.016	-0.681215	-0.058784
	5.26 vs 5.46	-1.26	-11.33	0.000	-1.571215	-0.948784
	5.16 vs 5.46	-1.28	-11.51	0.000	-1.591215	-0.968784
	5.26 vs 5.36	-0.89	-8.00	0.000	-1.201215	-0.578784
	5.16 vs 5.36	-0.91	-8.18	0.000	-1.221215	-0.598784
	5.16 vs 5.26	-0.02	-0.18	0.00998	-0.331215	0.291215
28	5.44 vs 5.54	-0.2	-2.26	0.00143	-0.448196	0.048196
	5.34 vs 5.54	-0.52	-5.86	0.000	-0.768196	-0.271803
	5.24 vs 5.54	-0.86	-9.70	0.000	-1.108197	-0.611803
	5.34 vs 5.44	-0.32	-3.61	0.009	-0.568196	-0.071803
	5.24 vs 5.44	-0.66	-7.44	0.000	-0.908196	-0.411803
	5.24 vs 5.34	-0.34	-3.83	0.005	-0.588196	-0.091803

Cuadro 37

Prueba de hipótesis ANOVA para la exudación del concreto de f'c= 17, 21 y 28 MPa.

F'c (MPa)	FV	SC	CM	F ₀	p-valor
17	Ttos	0.000066	0.000022	0.09	0.9629
	Error	0.004718	0.000235		
	Total	0.004784	0.000208		
21	Ttos	0.000076	0.000025	0.11	0.9544
	Error	0.004718	0.000235		
	Total	0.004794	0.000208		
28	Ttos	0.000048	0.000016	0.07	0.9764
	Error	0.004718	0.000235		
	Total	0.004766	0.000207		

Nota: FV: Fuente de variabilidad (incidencia). SC: Suma de cuadrados. CM: Cuadrado medio.
GL: grados de libertad. GL_{Ttos}= 3, GL_{Error}= 20, GL_{Total}= 23.

Cuadro 38

Datos estadísticos de la exudación del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	MFG	Media	Desviación estándar	Asimetría	Kurtosis	Varianza
17	5.40	0.113	0.017029	0	1.259215	0.00029
	5.30	0.111	0.017029	0	1.259215	0.00029
	5.20	0.111	0.013696	0	1.109665	0.000187
	5.10	0.115	0.013266	0	1.07157	0.000176
21	5.46	0.118	0.017029	0	1.259215	0.00029
	5.36	0.115	0.017029	0	1.259215	0.00029
	5.26	0.115	0.013696	0	1.109665	0.000187
	5.16	0.113	0.013266	0	1.07157	0.000176
28	5.54	0.115	0.017029	0	1.259215	0.00029
	5.44	0.113	0.017029	0	1.259215	0.00029
	5.34	0.111	0.013696	0	1.109665	0.000187
	5.24	0.113	0.013266	0	1.07157	0.000176

Cuadro 39

Prueba ANOVA para la resistencia a la compresión del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	FV	SC	CM	F_0	p -valor
17	Ttos	22.69125	7.56375	117.42	0.0000 ^a
	Error	1.288333	0.064416		
	Total	23.979583	1.042590		
21	Ttos	26.275	8.758333	57.18	0.0000 ^a
	Error	3.063333	0.153166		
	Total	29.338333	1.275579		
28	Ttos	72.75	24.25	208.75	0.0000 ^a
	Error	2.323333	0.116166		
	Total	75.073333	3.264058		

Nota: FV: Fuente de variabilidad (incidencia). SC: Suma de cuadrados. CM: Cuadrado medio.

^a: Significativo. GL: grados de libertad. $GL_{Ttos} = 3$, $GL_{Error} = 20$, $GL_{Total} = 23$.

Cuadro 40

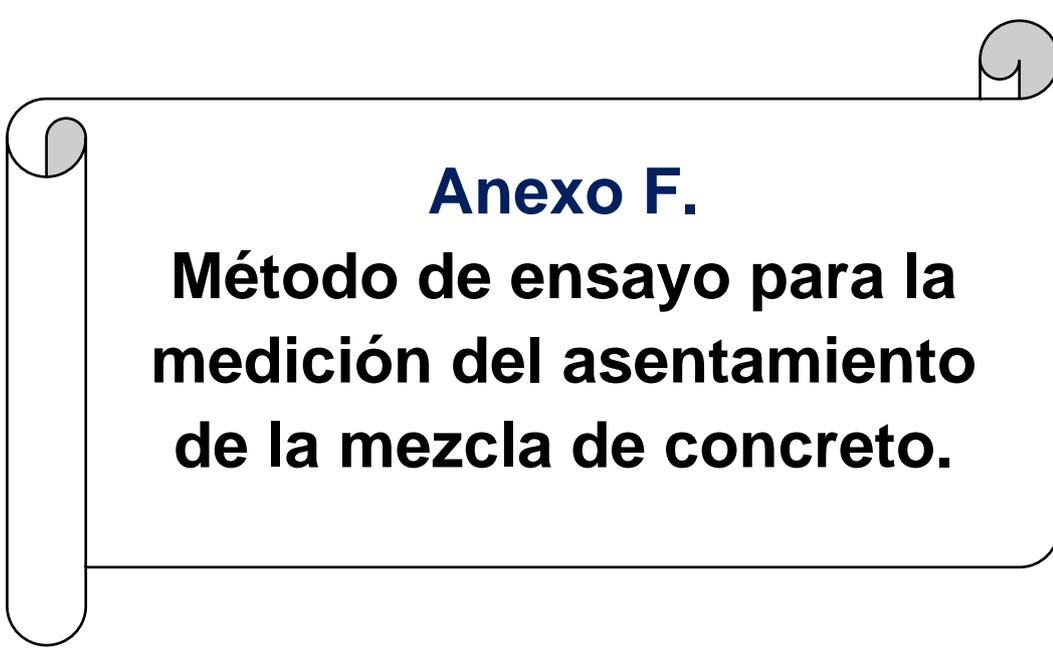
Datos estadísticos de la resistencia a la compresión del concreto de $f'_c = 17, 21$ y 28 MPa.

F'c (MPa)	MFG	Media	Desviación estándar	Asimetría	Kurtosis	Varianza
17	5.40	17.40	0.309838	-0.220970	1.34375	0.096
	5.30	18.70	0.187082	0.000	1.731429	0.035
	5.20	20.10	0.322490	-0.470330	1.819527	0.104
	5.10	19.10	0.150554	-0.613472	1.920415	0.022666
21	5.46	22.80	0.398748	-0.362839	2.577786	0.159
	5.36	24.50	0.588784	0.873252	2.59358	0.346666
	5.26	25.70	0.301662	-0.478861	1.641468	0.091
	5.16	24.70	0.126491	-0.649519	1.875	0.016
28	5.54	28.50	0.256255	0.033272	1.412688	0.065666
	5.44	30.40	0.413118	1.101402	3.164429	0.170666
	5.34	31.90	0.382970	-0.045072	1.517851	0.146666
	5.24	33.20	0.285773	-0.662345	2.415144	0.081666

Cuadro 41

Método de Tukey para comparar los tratamientos de la resistencia a la compresión.

F'c (MPa)	MFG	Diferencia de medias	Tukey		Tukey [95% intervalo de confianza]	
			t	P > t		
17	5.30 vs 5.40	1.30	8.53	0.000	0.839860	1.660139
	5.20 vs 5.40	2.70	18.43	0.000	2.289861	3.110139
	5.10 vs 5.40	1.70	11.83	0.000	1.323194	2.143473
	5.20 vs 5.30	1.40	9.90	0.000	1.039861	1.860139
	5.10 vs 5.30	0.40	3.30	0.017	0.073193	0.893472
	5.10 vs 5.20	1.00	-6.60	0.000	-1.37680	-0.556527
21	5.36 vs 5.46	1.70	7.60	0.000	1.084234	2.3491
	5.26 vs 5.46	2.90	12.83	0.000	2.267567	3.532433
	5.16 vs 5.46	1.90	8.63	0.000	1.317567	2.582433
	5.26 vs 5.36	1.20	5.24	0.000	0.550900	1.815766
	5.16 vs 5.36	0.20	1.03	0.00733	-0.399099	0.865766
	5.16 vs 5.26	-1.00	-4.20	0.002	-1.582433	-0.317567
28	5.44 vs 5.54	1.90	9.74	0.000	1.365893	2.46744
	5.34 vs 5.54	3.40	17.36	0.000	2.865893	3.96744
	5.24 vs 5.54	4.70	23.72	0.000	4.115893	5.21744
	5.34 vs 5.44	1.50	7.62	0.000	0.949226	2.050774
	5.24 vs 5.44	2.80	13.98	0.000	2.199226	3.300774
	5.24 vs 5.34	1.30	6.35	0.000	0.699226	1.800774



Anexo F.
**Método de ensayo para la
medición del asentamiento
de la mezcla de concreto.**

MÉTODO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO, PROCEDIMIENTO SEGÚN LA NTP 339.035 (2015).



Se humedece el molde troncocónico y se coloca sobre una superficie plana, rígida nivelada y lo suficientemente grande.



El molde se fija firmemente en su lugar durante el llenado de concreto pisando las aletas.



Se llena el molde con la muestra de concreto en tres capas, siendo cada una la tercera parte del volumen del molde.



Cada capa se compacta aplicando 25 golpes con la barra compactadora distribuidos en toda la sección.



El molde se llena por exceso antes de compactar la última capa y se continúa con el varillado.



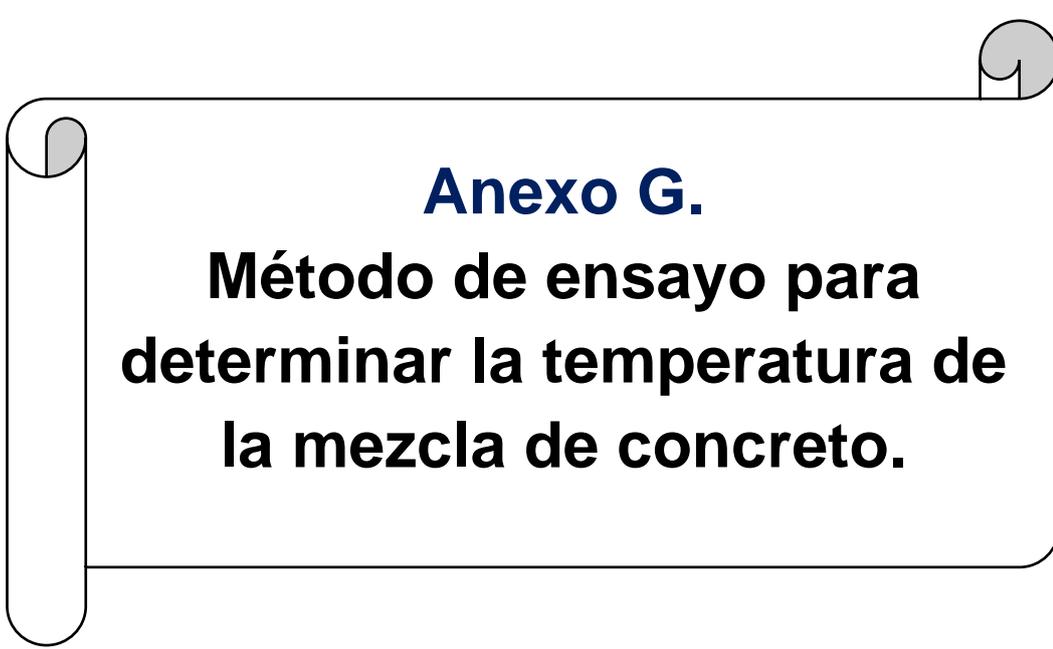
Se procede a enrasar rodando la barra compactadora sobre el borde superior del molde.



Se elimina el concreto sobrante alrededor del molde y se retira el molde levantándolo cuidadosamente.



Medir el asentamiento, determinado por la diferencia entre la altura del molde y la del centro de la cara superior del cono.



Anexo G.
**Método de ensayo para
determinar la temperatura de
la mezcla de concreto.**

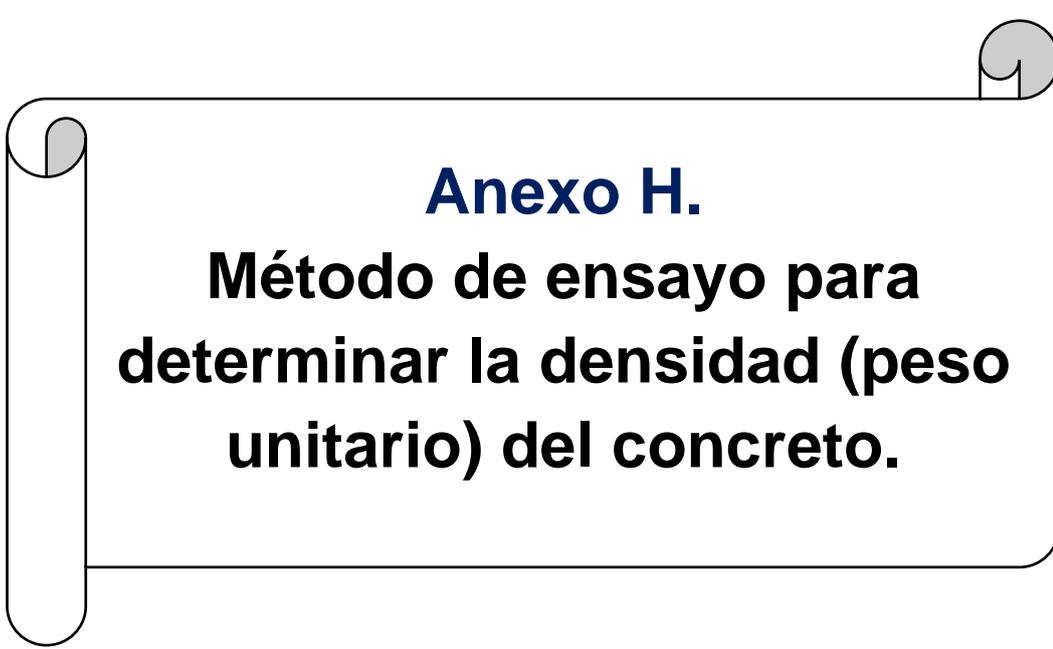
MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DEL CONCRETO, PROCEDIMIENTO SEGÚN LA NTP 339.184 (2018).



Se realiza la mezcla de concreto fresco en una mezcladora, luego se coloca la muestra en un recipiente. Se coloca el dispositivo de medición de temperatura en la mezcla de concreto fresco, sumergido un mínimo de 75 mm.



Se presiona levemente el concreto en la superficie alrededor del dispositivo de medición de temperatura. Se debe dejar introducido el dispositivo medidor de temperatura en el concreto de 2 a 5 minutos y luego registrar la medida.



Anexo H.
**Método de ensayo para
determinar la densidad (peso
unitario) del concreto.**

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD (PESO UNITARIO) DEL CONCRETO, SEGÚN LA NTP 339.046 (2019).



Se selecciona el apisonado como método de consolidación, debido a que el asentamiento es de 25 a 75 mm.



Se humedece el recipiente de medida y se determina la masa del recipiente vacío.



Se coloca el recipiente en una superficie plana, nivelada y firme y se coloca el concreto en el recipiente de medición.



Para la consolidación por varillado, se llena el recipiente en 3 capas, apisonando cada capa con 25 golpes



Después de que cada capa ha sido apisonada, se debe golpear con el mazo los lados del recipiente, de 10 a 15 veces.



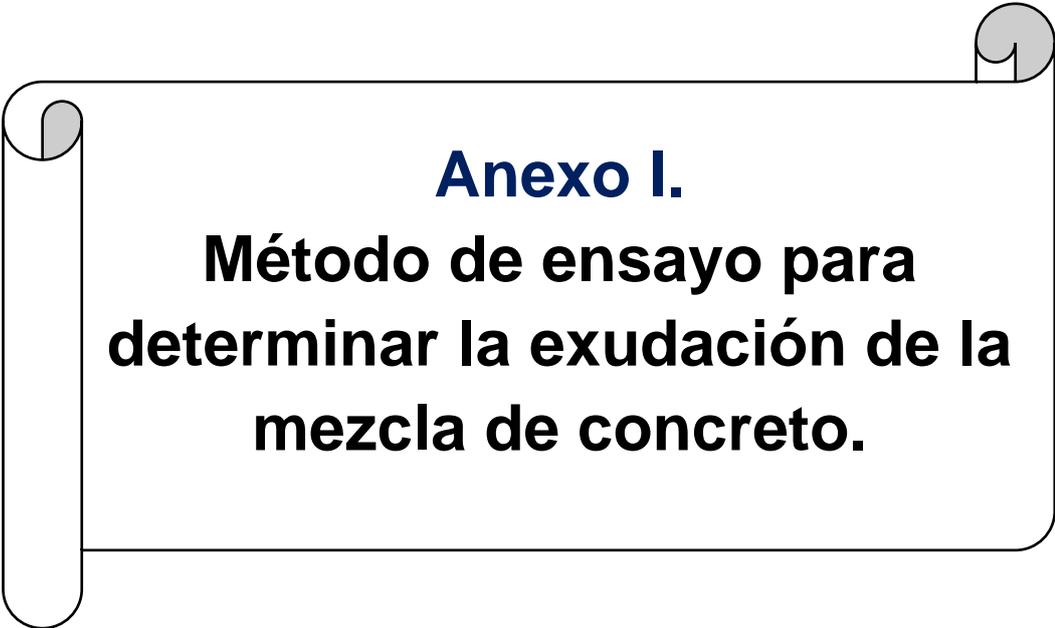
En la consolidación de la capa final, el recipiente debe contener un exceso, después se enrasa y alisa suavemente.



Se limpia el concreto adherido a las paredes exteriores del recipiente y se lleva a pesar el recipiente contenido.



Se pesa el recipiente contenido de concreto, para luego determinar la masa de la muestra de concreto fresco.



Anexo I.
**Método de ensayo para
determinar la exudación de la
mezcla de concreto.**

**MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA EXUDACIÓN DEL CONCRETO,
PROCEDIMIENTO SEGÚN LA NTP 339.077 (2013).**



Se selecciona el método de consolidado por varillado y se llena el recipiente de acuerdo a la NTP 339.046 (peso unitario)



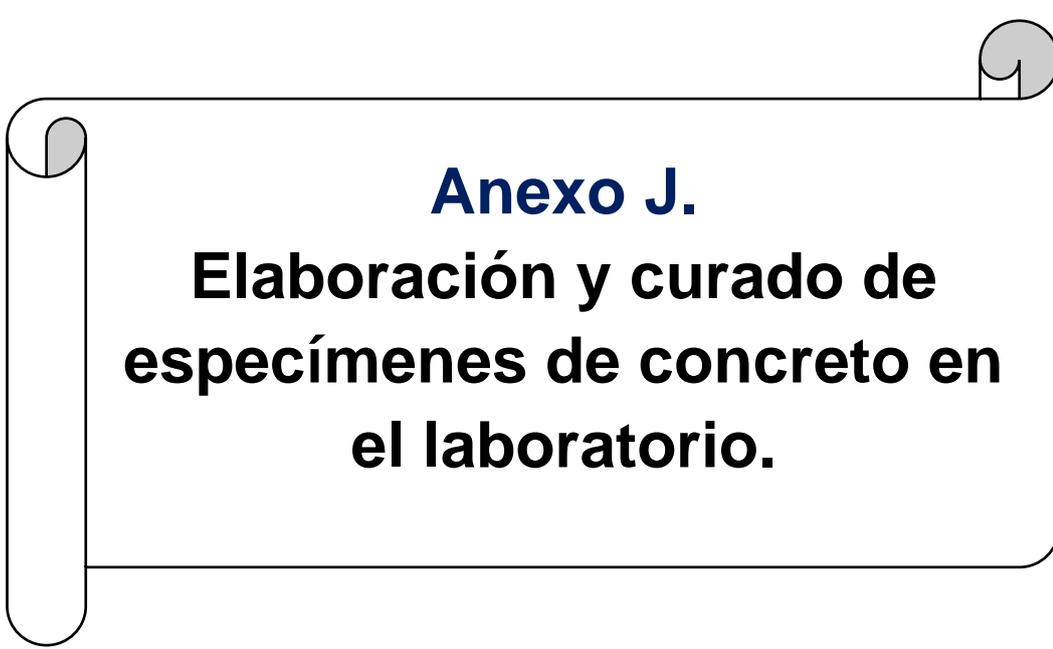
Se coloca el recipiente en el piso y se espera 10 min. para retirar con la pipeta el agua acumulada en su superficie.



Se retira el agua de la superficie, en intervalos de 10 min., luego a intervalos de 30 min. Hasta que cese la exudación.



Después de cada extracción se transfiere el agua a la probeta graduada de 100 ml y se anota la cantidad acumulada.



Anexo J.
**Elaboración y curado de
especímenes de concreto en
el laboratorio.**

ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO EN EL LABORATORIO, PROCEDIMIENTO SEGÚN LA NTP 339.183 (2018).



Se pesan las proporciones de los materiales, determinadas para cada diseño de mezclas de concreto.



Se determinó el peso de los agregados a ser utilizado por cada tanda de mezcla de concreto, también el agua y el cemento.



Previo al inicio de la rotación de la mezcladora, se añade el agregado grueso y una parte del agua de la mezcla.



Se pone a funcionar la mezcladora y adicionar el agregado fino, el cemento y el agua con la mezcladora funcionando.



Se mezcla el concreto durante 3 min seguido por 3 min de reposo y luego 2 min finales de mezclado.



Se coloca los moldes de los especímenes en una superficie rígida libre de vibraciones o en el piso.



Se coloca el concreto en los moldes, utilizando un cucharón y distribuyendo simétricamente, evitando la segregación.



Para especímenes cilíndricos de 6" de diámetro, se usa el método del varillado y compactar el concreto en tres capas.



Se coloca el concreto en tres capas y se consolida la mezcla con la varilla de compactación, usando 25 golpes.



Después de que cada capa es varillada, golpear los lados del molde suavemente de 10 a 15 veces con el martillo de goma.



Después se enrasa las superficies del concreto del borde superior, haciendo girar la varilla de compactación.



Se brinda un acabado a los especímenes alisando su superficie y luego, se colocan en el lugar de almacenamiento.



Se desmolda las briquetas después de $24 \pm 8h$ del vaciado, para luego introducir las a las pozas de curado.



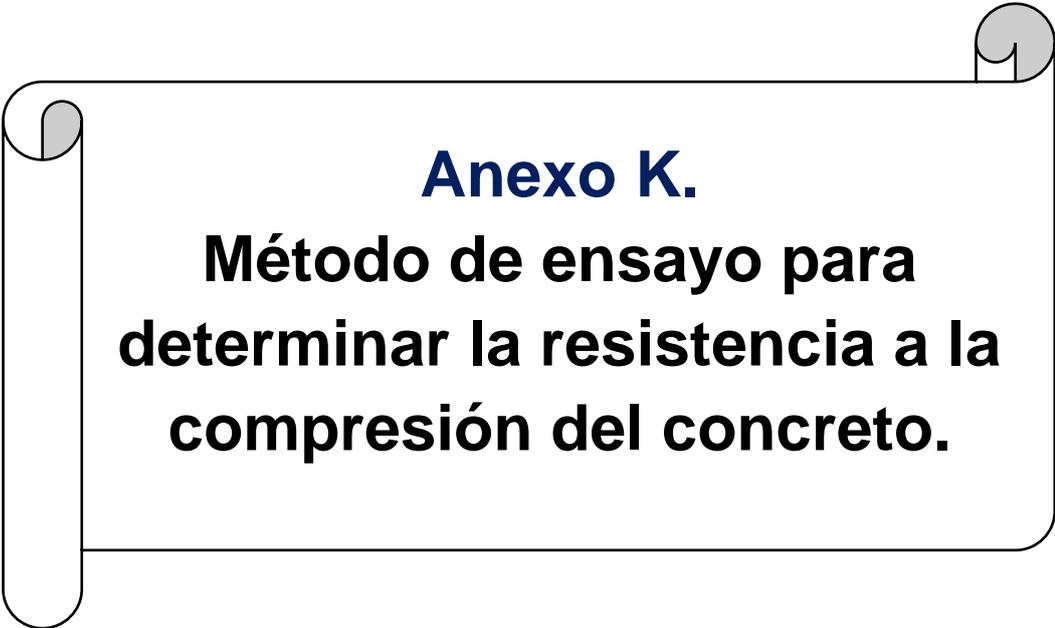
Los especímenes desmoldados deben ser curados en pozas de agua con cal, hasta el momento del ensayo.



Se introducen los especímenes cilíndricos de concreto a la poza de curado, que contiene agua y cal.



Los especímenes estuvieron en la poza de curado, desde el desmoldeo hasta el ensayo de resistencia a los 28 días.



Anexo K.
**Método de ensayo para
determinar la resistencia a la
compresión del concreto.**

MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, PROCEDIMIENTO SEGÚN LA NTP 339.034 (2015).



Se retiran los especímenes de las pozas de curado, luego son pesados y, se mide el diámetro y la altura.



Se muestra la Máquina de ensayo de resistencia, calibrada y cumpliendo los requisitos de la NTP 339.034.



Los especímenes de concreto para la edad de 28 días fueron ensayados dentro de la tolerancia permisible de ± 20 h.



Se muestran los especímenes de concreto luego de ser ensayados y sometidos hasta la rotura.