

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE CEMENTOS TIPO IP Y SU  
INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO EN LA  
CIUDAD DE TACNA 2025”**

**PARA OPTAR:**

**TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ANTUANETH ALEXANDRA GAMIO CRUZ**

**Bach. MIRELIA ERIKA BUSTINCIO QUISPE**

**TACNA – PERÚ**

**2025**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE CEMENTOS TIPO IP Y SU  
INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA DEL CONCRETO EN LA  
CIUDAD DE TACNA 2025”**

Tesis sustentada y aprobada el 13 de diciembre del 2025; estando el jurado calificador integrado por:

**PRESIDENTE : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES**

**SECRETARIO : Mtro. GIANCARLOS JAVIER MACHACA FRÍAS**

**VOCAL : Dr. PEDRO VALERIO MAQUERA CRUZ**

**ASESOR : Mtro. FREDY RICHARD CONDORI GOMEZ**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Antuaneth Alexandra Gamio Cruz y Mirelia Erika Bustincio Quispe, egresadas de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 70938769 y 74957548 respectivamente, así como Fredy Richard Condori Gómez con DNI 42564239; declaramos en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulada: *análisis comparativo de cementos tipo IP y su influencia en la resistencia del concreto en la ciudad de Tacna 2025* la cual presentamos para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la *tesis*, así como por los derechos asociados a la obra.

En consecuencia, nos comprometemos ante *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.


Tacna, 07 de noviembre de 2025



Antuaneth Alexandra Gamio Cruz  
DNI: 70938769



Fredy Richard Condori Gomez  
DNI: 42564239



Mirelia Erika Bustincio Quispe  
DNI: 74957548

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo con gratitud a mis padres, especialmente a mi mamá Madelaine por brindarme esta oportunidad y ser mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y dedicación. Este logro refleja el apoyo que me has dado a lo largo de mi camino.

Antuaneth Alexandra Gamio Cruz

A mi padre Hugo y a mi madre Salomé, por ser el pilar fundamental en mi formación personal y profesional, por ser mi guía constante y brindarme su apoyo incondicional para culminar esta etapa. A mis hermanos Frank y Jennifer, por su constante apoyo y compañía en todo momento.

Mirelia Erika Bustincio Quispe

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mis padres y hermana por su apoyo, que me enseñaron a ser perseverante en todos los aspectos de mi vida. A mis amistades cercanas por su aliento y empatía. A mi compañera y amiga Mirelia por su responsabilidad y entrega en la elaboración de la tesis. Y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna, que me brindaron los recursos necesarios para desarrollarme académica y profesionalmente.

Antuaneth Alexandra Gamio Cruz

Agradezco a Dios; a mi familia por su apoyo incondicional que me permitieron mantenerme enfocada en mis objetivos; a mi amiga y colega Antuaneth por su respaldo y colaboración durante todo el proceso de la tesis y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna.

Mirelia Erika Bustincio Quispe

## ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis general.....	6
1.5.2. Hipótesis específicas.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes de la investigación.....	7
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	7
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	9
2.1.3. Antecedentes locales.....	11
2.2. Bases teóricas.....	12
2.2.1. El cemento.....	12
2.2.2. Cementos de origen nacional e internacional.....	23
2.2.3. El concreto.....	25
2.2.4. Dosificación.....	31
2.2.5. Ensayos de laboratorio en agregados.....	36
2.3. Definición de términos.....	43
2.3.1. Concreto.....	43
2.3.2. Cemento tipo IP.....	43

2.3.3. Resistencia a la compresión.....	43
2.3.4. Durabilidad estructural .....	44
2.3.5. Puzolana .....	44
2.3.6. Construcción .....	44
2.3.7. Calidad del concreto.....	44
2.3.8. Agregados.....	44
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	45
3.1. Diseño de la investigación.....	45
3.2. Acciones y actividades.....	45
3.3. Materiales y/o instrumentos.....	48
3.3.1. Materiales.....	48
3.3.2. Instrumentos .....	49
3.4. Población y muestra de estudio.....	50
3.4.1. Población .....	50
3.4.2. Muestra .....	50
3.5. Operacionalización de variables.....	51
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis estadístico.....	54
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	56
4.1. Verificación de requisitos.....	56
4.1.1. Yura.....	56
4.1.2. Cbb .....	56
4.2. Ensayos estándares.....	57
4.2.1. Granulometría de agregado grueso.....	57
4.2.2. Granulometría agregado fino.....	60
4.2.3. Ensayo de contenido de humedad .....	63
4.2.4. Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso .....	67
4.2.5. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino .....	72
4.2.6. Ensayo de peso unitario del agregado fino.....	78
4.2.7. Ensayo de peso unitario del agregado grueso .....	86
4.2.8. Ensayo de consistencia.....	94
4.3. Dosificación con cemento YURA.....	98
4.4. Dosificación con cemento CBB.....	111
4.5. Ensayo de resistencia la compresión.....	121
4.5.1. YURA .....	121
4.5.2. CBB.....	126
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	132
5.1. Análisis de verificación de requisitos.....	132
5.2. Análisis de ensayos estándares.....	134
5.2.1. Análisis de granulometría del agregado grueso .....	134

5.2.2. Análisis de granulometría de agregado fino .....	136
5.3. Análisis del contenido de humedad.....	137
5.4. Análisis de ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.....	138
5.5. Análisis de ensayo de peso específico y absorción del agregado fino .....	139
5.6. Análisis de ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino .....	140
5.7. Análisis de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso .....	141
5.8. Análisis de ensayo de consistencia.....	142
5.9. Análisis de dosificación.....	142
5.9.1. Dosificación con cemento Yura .....	142
5.9.2. Dosificación con cemento Cbb .....	146
5.10. Análisis de rotura de probetas.....	151
5.11. Módulo de elasticidad.....	168
5.12. Comprobación de hipótesis .....	172
5.12.1. Primera hipótesis.....	172
5.12.2. Segunda hipótesis.....	176
5.12.3. Tercera hipótesis.....	177
CONCLUSIONES.....	179
RECOMENDACIONES.....	180
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	181
ANEXOS.....	206

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia a la compresión del Cemento CBB a los 3, 7 y 28 días de edad 25	
Tabla 2. Tabla de corrección de $f_c$ para relación longitud/diámetro mayor a 1.75.....	30
Tabla 3. Cantidad de agua para distintos asentamientos.....	33
Tabla 4. Relación agua/cemento en función a la resistencia la compresión a los 28 días .....	34
Tabla 5. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto .....	34
Tabla 6. Tamaño de muestra .....	38
Tabla 7. Operacionalización de variables de investigación .....	51
Tabla 8. Verificación de requisitos de cemento YURA tipo IP según NTP 334.090 ....	56
Tabla 9. Verificación de requisitos de cemento CBB tipo IP según NTP 334.090 .....	57
Tabla 10. Granulometría del Agregado Grueso .....	59
Tabla 11. Tabla de Granulometría del Agregado Fino .....	62
Tabla 12. Tabla resumen de ensayo de Contenido de Humedad de agregado fino....	65
Tabla 13. Tabla resumen de ensayo de Contenido de Humedad de agregado grueso .....	67
Tabla 14. Tabla resumen de peso específico en base al agregado saturado superficialmente seco .....	70
Tabla 15. Tabla resumen de peso específico en base al agregado secado al horno..	71
Tabla 16. Tabla resumen de peso específico aparente .....	71
Tabla 17. Tabla resumen de porcentaje de absorción del agregado grueso.....	72
Tabla 18. Resultados de ensayo de peso específico del agregado fino para muestra N°1 .....	75
Tabla 19. Resultados de ensayo de peso específico del agregado fino para muestra N°1 .....	76
Tabla 20. Promedio de muestra N°1 y N°2 de ensayos de peso específico del agregado fino.....	76
Tabla 21. Resultados del ensayo de absorción del agregado fino de la muestra N°1.	77
Tabla 22. Resultados del ensayo de absorción del agregado fino de la muestra N°2.	78
Tabla 23. Promedio de muestra N°1 y N°2 de ensayos de absorción del agregado fino .....	78
Tabla 24. Resultados de muestra N°1 de ensayo de peso unitario suelto de agregado fino.....	82
Tabla 25. Resultados de muestra N°2 de ensayo de peso unitario suelto de agregado fino.....	82

Tabla 26. Resultados de muestra N°3 de ensayo de peso unitario suelto de agregado fino.....	83
Tabla 27. Resultados promediados de ensayo de peso unitario suelto de agregado fino .....	83
Tabla 28. Resultados de muestra N°1 de ensayo de peso unitario compactado de agregado fino.....	84
Tabla 29. Resultados de muestra N°2 de ensayo de peso unitario compactado de agregado fino.....	85
Tabla 30. Resultados de muestra N°3 de ensayo de peso unitario compactado de agregado fino.....	85
Tabla 31. Resultados promediados de ensayo de peso unitario compactado de agregado fino.....	86
Tabla 32. Resultados de muestra N°1 de ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso.....	88
Tabla 33. Resultados de muestra N°2 de ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso.....	89
Tabla 34. Resultados de muestra N°3 de ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso.....	89
Tabla 35. Resultados promediados de ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso.....	90
Tabla 36. Resultados de muestra N°1 de ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso.....	92
Tabla 37. Resultados de muestra N°2 de ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso.....	92
Tabla 38. Resultados de muestra N°3 de ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso.....	93
Tabla 39. Resultados promediados de ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso.....	94
Tabla 40. Consistencia del concreto según asentamiento .....	98
Tabla 41. Resistencia a compresión media sin desviación estándar .....	99
Tabla 42. Porcentaje de aire atrapado.....	100
Tabla 43. Selección de relación agua/cemento .....	100
Tabla 44. Volumen unitario de agua .....	101
Tabla 45. Volumen de agregado grueso por volumen de concreto .....	102
Tabla 46. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de YURA a los 7 días .....	124

Tabla 47. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de YURA a los 14 días .....	125
Tabla 48. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de YURA a los 28 días .....	126
Tabla 49. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de CBB a los 7 días .....	128
Tabla 50. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de CBB a los 14 días .....	129
Tabla 51. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de CBB a los 28 días .....	131
Tabla 52. Porcentaje que pasa requerido según tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	134
Tabla 53. Comparación de granulometría de agregado grueso y NTP 400.037 .....	135
Tabla 54. Porcentaje que pasa requerido para agregado fino .....	136
Tabla 55. Comparación de granulometría de agregado fino y NTP 400.037.....	136
Tabla 56. Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de YURA a los 7 días .....	157
Tabla 57. Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de YURA a los 14 días.....	157
Tabla 58. Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de YURA a los 28 días.....	158
Tabla 59. Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de CBB a los 7 días .....	158
Tabla 60. Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de CBB a los 14 días .....	159
Tabla 61. Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de CBB a los 28 días .....	160
Tabla 62. Coeficientes de variación para YURA .....	163
Tabla 63. Coeficientes de variación para CBB.....	164
Tabla 64. Test de Shapiro Wilk para resistencias de YURA a los 7 días .....	165
Tabla 65. Test de Shapiro Wilk para resistencias de YURA a los 14 días .....	165
Tabla 66. Test de Shapiro Wilk para resistencias de YURA a los 28 días .....	166
Tabla 67. Test de Shapiro Wilk para resistencias de CBB a los 7 días.....	166
Tabla 68. Test de Shapiro Wilk para resistencias de CBB a los 14 días.....	167
Tabla 69. Test de Shapiro Wilk para resistencias de CBB a los 28 días.....	167
Tabla 70. Módulo de elasticidad para resistencias de concreto CBB y YURA a los 07 días.....	169

Tabla 71. Módulo de elasticidad para resistencias de concreto CBB y YURA a los 14 días.....	170
Tabla 72. Módulo de elasticidad para resistencias de concreto CBB y YURA a los 28 días.....	171

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Procesamiento del Clinker en horno .....	13
Figura 2. Diagrama con los componentes del Cemento Tipo IP .....	20
Figura 3. Comparación de resistencia a la compresión entre Cemento tipo I, IP y la NTP 334.090.....	24
Figura 4. Dimensiones de molde cónico para ensayo de asentamiento .....	29
Figura 5. Cuarteo de la muestra de Agregado Grueso .....	57
Figura 6. Registro del peso de la muestra del Agregado grueso .....	58
Figura 7. Peso del agregado grueso para el ensayo de granulometría.....	58
Figura 8. Tamizado del agregado grueso desde la malla 1" hasta N °8.....	59
Figura 9. Curva granulométrica del Agregado Grueso.....	60
Figura 10. Cuarteo de la muestra de Agregado Fino .....	60
Figura 11. Peso del agregado fino para el ensayo de granulometría .....	61
Figura 12. Tamizado de agregado fino del tamiz N°8 hasta N°200.....	61
Figura 13. Curva Granulométrica del Agregado Fino .....	63
Figura 14. Cuarteo de muestra de agregado fino para ensayo de contenido de humedad .....	63
Figura 15. Peso del agregado fino para el ensayo de contenido de humedad.....	64
Figura 16. Peso de agregado fino luego de secado al horno .....	64
Figura 17. Peso del agregado grueso para el ensayo de contenido de humedad.....	65
Figura 18. Agregados fino y grueso llevado al horno por 24 horas a 110°C .....	66
Figura 19. Peso del agregado grueso seco al horno.....	66
Figura 20. Muestra de agregado grueso para ensayo de peso específico.....	68
Figura 21. Inmersión en agua del agregado fino y grueso .....	68
Figura 22. Agregado grueso en estado superficialmente seco .....	68
Figura 23. Muestra sumergida en canastilla metálica con agua.....	69
Figura 24. Muestra de agregado fino en estado saturado superficialmente seco .....	73
Figura 25. Llenado de matraces con agua hasta capacidad calibrada.....	73
Figura 26. Uso de baño María para eliminación de burbujas de aire .....	74
Figura 27. Peso del molde más la muestra 1 del agregado fino suelto .....	79
Figura 28. Peso del molde más la muestra 2 del agregado fino suelto .....	79
Figura 29. Peso del molde más la muestra 3 del agregado fino suelto .....	79
Figura 30. Agregado fino apisonado 25 veces con varilla metálica.....	80
Figura 31. Nivelado al ras del recipiente de la última capa de agregado fino.....	81

Figura 32. Peso del molde más la muestra 1 del agregado grueso suelto.....	86
Figura 33. Peso del molde más la muestra 2 del agregado grueso suelto.....	87
Figura 34. Peso del molde más la muestra 3 del agregado grueso suelto.....	87
Figura 35. Agregado grueso apisonado 25 veces con la varilla metálica.....	90
Figura 36. Nivelado al ras del recipiente de la última capa de agregado grueso .....	90
Figura 37. Distribución por envases de agregado fino para la mezcla de concreto ....	95
Figura 38. Distribución por envases de agregado fino para la mezcla de concreto ....	95
Figura 39. Cantidad del agua para la mezcla de concreto .....	96
Figura 40. Peso del cemento Cbb y cemento Yura para la mezcla de concreto .....	96
Figura 41. Proceso de dosificación de materiales previo a la elaboración del concreto .....	97
Figura 42. Trompo mezcladora de concreto .....	97
Figura 43. Evaluación de la consistencia del concreto.....	98
Figura 44 Probetas de YURA curadas durante 7 días .....	122
Figura 45 Probetas de YURA curadas durante 14 días .....	122
Figura 46 Probetas de YURA curadas durante 28 días .....	122
Figura 47. Resultado de la rotura de testigos de concreto Yura a los 7 días .....	123
Figura 48. Resultado de la rotura de testigos de concreto Yura a los 14 días .....	124
Figura 49. Resultado de la rotura de testigos de concreto Yura a los 28 días .....	125
Figura 50. Probetas de CBB curadas durante 7 días.....	126
Figura 51. Probetas de CBB curadas durante 14 días.....	127
Figura 52. Probetas de CBB curadas durante 28 días.....	127
Figura 53. Resultado de la rotura de testigos de concreto CBB a los 7 días.....	128
Figura 54. Resultado de la rotura de testigos de concreto CBB a los 14 días.....	129
Figura 55. Resultado de la rotura de testigos de concreto CBB a los 28 días.....	130
Figura 56. Verificación de límites en la curva granulométrica del agregado grueso..	135
Figura 57. Verificación de límites en la curva granulométrica del agregado fino.....	137
Figura 58. Comparación de resistencias promedios de cementos YURA y CBB .....	154
Figura 59. Evolución de la resistencia del concreto por edad .....	154
Figura 60. Gráfico de dispersión de la desviación estándar según edad - YURA .....	161
Figura 61. Gráfico de dispersión de la desviación estándar según edad - CBB.....	162
Figura 62. Módulo de Elasticidad a los 7 días de cementos YURA y CBB .....	170
Figura 63. Módulo de Elasticidad a los 14 días de cementos YURA y CBB.....	171
Figura 64. Módulo de Elasticidad a los 28 días de cementos YURA y CBB.....	172
Figura 65. Procesamiento de prueba t de Student para resultados de YURA y CBB a los 7 días.....	173

Figura 66. Procesamiento de prueba t de Student para resultados de YURA y CBB a los 14 días.....	174
Figura 67. Procesamiento de prueba t de Student para resultados de YURA y CBB a los 28 días.....	175

**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1. Matriz de consistencia .....	188
Anexo 2. Ficha Técnica de Cemento YURA tipo IP .....	190
Anexo 3. Ficha Técnica de cemento CBB tipo IP .....	191

## RESUMEN

La presente investigación evalúa de forma comparativa el comportamiento mecánico frente a esfuerzos de compresión en mezclas de concreto preparadas con cementos adicionados tipo IP en la ciudad de Tacna (2025). El estudio se desarrolló comparando dos marcas de cemento, una de origen nacional (Cemento Yura) y otra de origen internacional (Cemento CBB), elaborando probetas cilíndricas de concreto bajo diseños de mezclas siguiendo el protocolo del método ACI 211. Confeccionando especímenes cilíndricos normalizados para su posterior ruptura, a edades de 7; 14 y 28 días, siguiendo las normas técnicas establecidas para determinar la resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos evidenciaron que el cemento CBB alcanzó mayores resistencias a edades tempranas, mientras que el cemento Yura presentó un incremento significativo a los 28 días. Mediante el uso de herramientas de estadística descriptiva e inferencial, se confirmó que las propiedades físico-químicas inherentes a cada marca impactan directamente en la evolución de la capacidad portante del material. La investigación permitió comprobar que los cementos tipo IP presentan comportamientos distintos en función de su composición y origen, lo que resalta la importancia de su adecuada selección en función de las necesidades estructurales y condiciones locales de la ciudad de Tacna.

**Palabras clave:** Resistencia a la compresión; Cemento; Concreto.

## ABSTRACT

This research evaluates, through a comparative analysis, the mechanical behavior under compressive stress of concrete mixes prepared with Type IP blended cements in the city of Tacna (2025). The study compared two cement brands: a domestic one (Yura) and an international one (CBB). Concrete mix designs were developed following the ACI 211 method protocol to cast standardized cylindrical specimens for subsequent testing. These specimens were subjected to axial load tests at curing ages of 7, 14, and 28 days, complying with established technical standards to determine their compressive strength. The results indicated that CBB cement achieved higher early-age strength, whereas Yura cement showed a significant strength gain at 28 days. By applying descriptive and inferential statistical tools, it was confirmed that the inherent physicochemical properties of each brand directly impact the evolution of the material's load-bearing capacity. The investigation concluded that Type IP cements exhibit distinct performance patterns based on their composition and origin, highlighting the importance of proper selection according to structural requirements and the local environmental conditions of Tacna.

**Keywords:** Compressive strength; Cement; Concrete.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, se ha observado una amplia oferta de cementos tipo IP provenientes tanto de producción nacional como de importación, lo cual genera interrogantes respecto a sus diferencias de desempeño y su impacto en las estructuras, por tal motivo, este estudio surge de la imperativa necesidad de cuantificar los estándares de calidad y comportamiento de los materiales usados en las edificaciones civiles en la ciudad de Tacna, donde la selección del conglomerante hidráulico determina críticamente la vida útil y la capacidad portante de los elementos de concreto.

Para abordar esta problemática, la investigación plantea un enfoque experimental que permita contrastar el comportamiento del concreto elaborado con dos marcas de cemento tipo IP: Cemento Yura, de origen nacional, y Cemento CBB, de origen internacional, a través de la aplicación de métodos estandarizados para obtener datos confiables sobre el desarrollo de la resistencia del concreto a distintas edades.

Es de ese modo, que la presente tesis se divide en cinco capítulos, donde el primer capítulo es referido al planteamiento del problema y los objetivos a desarrollar, en el segundo capítulo se desarrollará el marco teórico revisando los conceptos fundamentales de la investigación, en el tercer capítulo se describirá el diseño de la investigación y las técnicas empleadas para la obtención y procesamiento de resultados, en el cuarto capítulo se presentarán los resultados y datos más relevantes obtenidos de los ensayos de laboratorio, y en el capítulo final se realizará la interpretación y evaluación de los resultados con el fin de analizar el desempeño de cada cemento y contribuir al conocimiento técnico en el ámbito de la construcción.

## CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El problema de la investigación se entiende como la cuestión identificada dentro de un ámbito de interés, por lo que, para el presente caso, se detalla a continuación el problema a analizar.

### 1.1. Descripción del problema

En la industria de la construcción, el concreto ha sido uno de los principales materiales claves, de forma que su desempeño en obra es un factor fundamental para garantizar la seguridad y durabilidad estructural, y es que, según García et.al (2020), “es un material local y de alta disponibilidad de los diferentes componentes, que puede ser fabricado en cualquier parte del mundo, lo que ayuda a reducir los costos”, siendo esa la razón de por qué se han desarrollado diferentes tipos de cementos, existiendo gran variedad de marcas, cada una con formulaciones y procesos de fabricación distintos dependiendo de las necesidades de cada país, ya que, este elemento es uno de los más importantes debido a las características químicas que posee, lo cual lo vuelve el “factor más influyente en la resistencia y durabilidad de un hormigón totalmente compacto” (Camuendo et.al, 2020). Sin embargo, hay poca evidencia técnica y estudios comparativos relacionados a las variaciones en la resistencia a la capacidad portante del concreto fabricado con diferentes agentes cementantes, lo que genera incertidumbre en el proceso de selección de materiales, afectando en un futuro la calidad de las construcciones.

Es por ello, que en diversos países se han desarrollado investigaciones que tienen por objetivo comparar las diferentes marcas de cemento, a fin de poder tomar mejores decisiones al momento de elegir un determinado tipo de cemento que sea rentable y tenga un buen desempeño, mejorando la calidad final de las infraestructuras, por lo que resulta indispensable poner a prueba las principales características físicas del concreto a fin de verificar cuál es el cemento que posee mejor calidad. Según el estudio de Chougule y Patil (2025), la composición del cemento, que es justamente lo que varía según cada marca, desempeña un papel fundamental en la resistencia final, por lo que, se infiere que un cemento de mayor calidad significa un concreto de mayor calidad, obteniendo a su vez, una mejor resistencia capaz de soportar las diversas cargas que se presenten a lo largo de su vida útil, puesto que, de lo contrario, se pueden presentar casos donde el concreto de dichas estructuras no alcancen la resistencia

óptima de diseño (Ávila et al., 2018). Una infraestructura de concreto con baja resistencia, ocasionará que haya una necesidad temprana y urgente de rehabilitación y mantenimiento, lo cual contribuye a incrementar la vulnerabilidad sísmica a largo plazo de las edificaciones existentes, siendo que, de acuerdo a Yuva (2023) “uno de los principales factores que contribuyen a los daños graves o al colapso de estructuras de hormigón existentes durante los terremotos es la baja resistencia del hormigón”, por lo que es una prioridad asegurar la calidad del cemento utilizado, promoviendo una selección de materiales que garantice estructuras más duraderas, reduciendo así la frecuencia de mantenimiento y el riesgo ante eventos sísmicos futuros.

De igual forma, en el ámbito nacional, se comercializan diversos tipos de cementos, tales como Yura, Sol, Pacasmayo, Inka, entre otros, siendo estos cementos de origen nacional los predilectos a la hora de realizar edificaciones de gran magnitud como hospitales, así como edificaciones más pequeñas como viviendas, la razón de ello es la confianza que se tiene en dicho cemento nacional, ya que empíricamente se tiene entendido que poseen mejor calidad, ya que, según Islachín (2023) “dado que el concreto es un tipo especial de material de construcción, no se puede pasar por alto su calidad en ningún aspecto”, es por ello, que debido al aumento de demanda en la industria de la construcción en nuestro país, empresas extranjeras dedicadas a la producción de cemento han empezado a posicionarse y expandirse en el territorio peruano, tal es el ejemplo de Cemex, un cemento de origen mexicano comercializado mayormente en el norte del país, mientras que el cemento CBB se hace presente en el sur, sin embargo, de acuerdo al ranking de evaluación reputacional en el Perú provisto por Merco Perú en el año 2024, Cementos Pacasmayo y Cementos Yura se posicionan notoriamente en el puesto N° 10 y puesto N° 72 respectivamente, a diferencia de los cementos de origen internacional que no figuran en la lista, debido a que, como se mencionó anteriormente, la confianza en estas marcas radica en que se han estado usando durante décadas, sin embargo, poco a poco las marcas extranjeras están ganando relevancia en el mercado, lo que a futuro generará mayor competitividad, y, según Castillo y Pastor (2024), con ese aumento de presencia de variedad de marcas, realizar estudios que comparen sus características permitirán analizar su desempeño e identificar aquel que posea mejor rendimiento, promoviendo de esa forma una competencia que impulse a las empresas a producir mejores cementos, elevando los estándares de calidad, lo cual supone un beneficio para el ámbito de la construcción.

Asimismo, en la región de Tacna, el cemento usado principalmente es el Yura, pero se ha ido incorporando el cemento CBB debido a la cercanía fronteriza con Chile, sin embargo, de acuerdo a Vicente (2016), hay desconocimiento con respecto a si hay

diferencias significativas en el desempeño del concreto por efecto de la utilización de una marca diferente a Yura, como lo es CBB, lo cual genera incertidumbre sobre la percepción de calidad del concreto elaborado con dicho material. Esta falta de información técnica comprobada restringe a responsables de proyectos de infraestructura a tomar decisiones fundamentadas, lo que conduce a la preferencia por cementos de uso tradicional, como la marca Yura. Dicha situación limita la evaluación objetiva de considerar opciones alternativas, como cementos de origen internacional, que podrían ofrecer el mismo o mayor desempeño estructural a un costo similar, lo que puede derivar a ejecutar obras que, si bien cumplen con los estándares de calidad, podrían alcanzar niveles más altos de eficiencia y durabilidad si se optimizara la elección del tipo de cemento.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿De qué manera los cementos tipo IP influyen en la resistencia del concreto en la ciudad de Tacna 2025?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a. ¿Cuál es la marca de cemento tipo IP que presenta mayor resistencia a la compresión del concreto a las edades de 7, 14 y 28 días?
- b. ¿De qué manera se calculará la dosificación adecuada para obtener la resistencia del concreto?
- c. ¿Qué métodos de ensayos se aplicarán para comparar la resistencia del concreto?

## **1.3. Justificación e importancia**

Desde la perspectiva científica, la presente investigación plantea un análisis comparativo de conglomerante hidráulico con adiciones puzolánicas, tanto de origen nacional como internacional, cuyo objetivo es evaluar cómo condiciona el desempeño mecánico ante esfuerzos axiales en Tacna. Esta iniciativa se desarrolla en el ámbito constructivo para contribuir académicamente al conocimiento científico en el campo de la ingeniería civil. Es por ello que, esta investigación permite generar evidencia empírica que complemente y contraste los datos técnicos proporcionados por los fabricantes de ambas marcas de cemento Tipo IP: Cemento Yura (origen peruano) y Cemento CBB

(origen chileno), promoviendo así una formación profesional más crítica mediante la ejecución de ensayos normalizados basados en la Norma Técnica Peruana vigente.

Desde la perspectiva social, esta investigación es relevante debido a que se tiene como propósito evaluar la comparación de la resistencia del concreto obtenida según cada marca de cemento Tipo IP según origen. Este análisis resulta fundamental para determinar si la capacidad de la estructura es adecuada para soportar cargas verticales y evitar fallas estructurales, grietas o colapso de edificaciones, siendo este último un gran riesgo para la seguridad de la población. Además, se tiene como referencia ambas marcas de cemento debido a que son reconocidas en el sector construcción por su calidad, resistencia y buena trabajabilidad en la ciudad de Tacna.

De igual forma, desde un punto de vista económico, realizar el análisis comparativo de los cementos tipo IP de origen nacional e internacional, permitirá identificar si existen diferencias notables en el desempeño mecánico del concreto que puedan impactar en el costo-beneficio de utilizar una determinada marca en las obras civiles, por lo que incide en la toma de decisiones técnicas para seleccionar el cemento más eficiente en la etapa de ejecución de obras, considerando tanto el precio por bolsa como el rendimiento real en obra, lo cual promueve una gestión eficiente del presupuesto destinado a la infraestructura.

Así mismo, considerando la perspectiva ambiental, al determinar que cemento posee mayor resistencia, se podrá reducir indirectamente el impacto ambiental, de forma que se disminuirá la frecuencia de mantenimiento y la constante necesidad de realizar intervenciones o reparaciones futuras, evitando así el uso excesivo de recursos naturales y la generación innecesaria de desperdicios de obra, lo que conlleva a un menor consumo de energía, materiales y transporte asociados a dichos mantenimientos durante la vida útil de la edificación.

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar la influencia de los cementos tipo IP en la resistencia del concreto en la ciudad de Tacna 2025.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- a. Determinar la marca de cemento que presenta mayor resistencia a la compresión del concreto a las edades de 7, 14 y 28 días.
- b. Calcular la dosificación adecuada para obtener la resistencia del concreto.
- c. Aplicar métodos de ensayo para comparar la resistencia del concreto.

#### **1.5. Hipótesis**

##### **1.5.1. Hipótesis general**

Los diferentes cementos tipo IP influyen en la resistencia del concreto elaborado en la ciudad de Tacna 2025.

##### **1.5.2. Hipótesis específicas**

- a. La marca del cemento internacional tiene mayor resistencia a la compresión del concreto en comparación del cemento nacional a las edades de 7, 14 y 28 días.
- b. El método ACI 211 facilita calcular la dosificación adecuada para obtener la resistencia del concreto.
- c. Los principales métodos de ensayo permiten comparar las diferencias en la resistencia del concreto.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

De acuerdo a Gallego (2018) el marco teórico se constituye como la línea base de la investigación, ya que es la guía y el soporte conceptual de los aspectos que se van a investigar.

En base a ello, a continuación, se proporcionará una base conceptual relacionada con el tema de investigación.

### **2.1. Antecedentes de la investigación**

En la presente investigación, se tiene como referencias estudios e investigaciones antiguas que fueron realizados tanto de manera local, es decir en la ciudad de Tacna, tesis a nivel nacional en diversas universidades del Perú y también se encontró información relevante a artículos y tesis internacionales. A continuación, se detalla los antecedentes referenciales que se tuvieron en cuenta para el desarrollo de este proyecto.

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales**

Ahmad et al. (2024) investigaron el artículo científico titulado: "Evaluación diferencial del desempeño mecánico ante esfuerzos axiales de distintas marcas de cemento disponibles localmente en Pakistán" tuvo como objetivo evaluar muestras de concreto fabricadas con cinco marcas de cemento disponibles en Pakistán, a fin de determinar su resistencia a los 7, 14, 21 y 28 días según la norma ASTM C39, de forma que se verificó que sólo dos marcas de cemento alcanzaron la resistencia mínima requerida. El desarrollo investigativo fue de carácter experimental ya que se realizaron protocolos de rotura a diferentes muestras de concreto, comparando los resultados obtenidos en laboratorio, y del mismo modo, fue una investigación básica de nivel descriptivo y comparativo, ya que se comparó el desempeño mecánico de diferentes marcas, describiendo los resultados de aquellas muestras que lograron alcanzar la resistencia requerida.

Ben-Hmida et al. (2020) investigaron el artículo científico titulado: "Estudio comparativo de las propiedades físicas de algunas marcas de cemento Portland disponibles en el mercado Libio", evaluó el desempeño de cementos de origen nacional e internacional más utilizadas en Libia mediante ensayos de laboratorio para determinar

la finura, tiempo de fraguado y resistencia a la compresión, de forma que se determinó que todas las marcas poseían consistencias adecuadas y valores permisibles dentro de los rangos establecidos por normativas internacionales. La investigación fue de carácter experimental debido a la realización de diversos ensayos de laboratorio, observando los resultados y comparándolos con normas internacionales, siendo del mismo modo de tipo comparativo ya que se estableció una comparación entre varias marcas para identificar similitudes y diferencias, así como verificar el cumplimiento de características requeridas de acuerdo a normas.

Thomas y Kwame (2022) investigaron el artículo científico titulado: “Evaluación diferencial del desempeño mecánico ante esfuerzos axiales en mezclas de hormigón dosificadas con diversas patentes de ligantes hidráulicos en Ghana” tuvo como finalidad analizar la influencia que cada cemento en la resistencia del concreto luego de su tiempo de curado de 28 días. Esta investigación aborda la problemática con respecto a la calidad y durabilidad de diversas marcas de cemento disponibles en el mercado ghanés, lo cual ha generado incertidumbre respecto a su desempeño estructural en obras de construcción. Para la realización de este estudio comparativo se seleccionaron seis marcas comerciales de cemento comúnmente empleadas en Ghana: Cimaf, Diamond, Ghacem, Sol, Supacem y Dangote, de las cuales se elaboraron especímenes de concreto bajo una misma dosificación y en condiciones controladas, con el objetivo de medir la resistencia a la compresión al hidratarse 28 días. El diseño de la investigación fue de tipo “Experimental” y se enfocó en determinar cuál de las marcas ofrecía un mejor desempeño mecánico del concreto.

Eguatu y Jolayemi (2015) investigaron el artículo científico titulado: “Evaluación del comportamiento mecánico del hormigón elaborado a partir de diferentes marcas de cemento Portland” tuvo como finalidad determinar qué marcas de cemento ofrecían mayor resistencia a la compresión, con el objetivo de analizar la calidad y durabilidad de las estructuras construidas en Nigeria. Este estudio parte a raíz de la comercialización de cementos que no satisfacen los parámetros requeridos en normativas nacionales y las fallas estructurales que se observan en las edificaciones. Se realizó una selección de 5 marcas de cemento portland con mayor demanda en el mercado y se elaboraron muestras con dos dosificaciones distintas, los cuales fueron sometidos a las edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días para verificar la resistencia del concreto. El diseño de la investigación fue de tipo “Experimental”, centrado en la resistencia mecánica del concreto a los 28 días y se concluyó que la marca de cemento Ibeto presentó el mejor desempeño en la resistencia en ambas dosificaciones de mezcla,

catalogando dicha marca como una opción más certera para la producción de concreto estructural.

Abril y Ramos (2017) desarrollaron la tesis titulada: “Determinación de la variabilidad en el comportamiento mecánico del hormigón debido al origen del agregado grueso” tuvo como objetivo identificar la incidencia que involucra el origen del agregado grueso en la resistencia del concreto cuando completa su tiempo de fraguado en un periodo de 28 días. Para realizar el análisis comparativo del concreto, se tuvieron en cuenta dos canteras diferentes cercanas a Bogotá, de las cuales se extrajo agregado para la fabricación de 20 probetas cilíndricas de concreto con el fin de someterlas a compresión axial en los periodos de 7, 14 y 28 días. La investigación tuvo un diseño de carácter experimental ya que se enfoca en determinar la influencia del origen de los agregados gruesos para el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

Aragón (2018) desarrollo la tesis titulada “Análisis comparativo de la edad vs la resistencia a la compresión del concreto elaborado con las marcas de cementos portland Tipo I-IP en la ciudad de Puno” tuvo como objetivo realizar una evaluación comparativa de la solvencia resistente según la edad de las mezclas, siendo confeccionados por diversos sellos comerciales y categorías de ligante Portland en la ciudad de Puno. Se tuvo en cuenta el análisis de las propiedades físicas de los áridos de acuerdo a la normativa vigente, y del mismo modo, se aplicaron los métodos de dosificación ACI 211 y el método Walker para elaborar concretos  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Asimismo, la indagación fue de naturaleza mixta: tipo descriptivo, correlativo y comparativo, mientras que el esquema investigativo se categorizó como “no experimental” debido a que no hubo una variación notable en las variables independientes, tales como las marcas, el tipo de conglomerante y la madurez del espécimen, con el propósito de analizar la repercusión sobre otros indicadores.

Cuba y Humpire (2019) desarrollaron la tesis titulado “Análisis Comparativo de las Propiedades Mecánicas para un Concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  Y  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  Usando Cemento Yura Tipo IP y Cemento Wari Tipo IP”, mediante la adición de escoria cupulífera de la fundición Southern Perú, para la Ciudad de Arequipa” tuvo como fin examinar las características mecánicas de concreto fabricado con unidades de cemento Yura y Wari IP para los materiales que presenten diferentes resistencias vinculadas a la incorporación de escoria de cobre y finalmente establecer un diseño correcto y

reproducibile. El enfoque del estudio es de orden mixto: descriptivo y correlacional, de forma que se basa en la descripción del desempeño que tendrá el hormigón adicionado con subproductos de cobre, y correlacional ya que se tiene la intención de establecer relaciones estadísticas entre características o variables.

Umeres y Umeres (2020) desarrollaron la tesis titulada “Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  usando cemento IP Mishky, Wari y Yura, Cusco” tuvo como objetivo determinar la resistencia característica de la mezcla  $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ , usando diferentes marcas del ligante tipo IP. Donde se realizó el procedimiento de mezcla para concreto considerando diferentes marcas de cemento y finalmente se determinó la relación beneficio - costo que genera el fabricar concreto con diversas marcas de cemento. La investigación fue de carácter: “No experimental” debido a que no existe manipulación de las variables de estudio, es decir, las marcas de cemento y el concreto.

Castillo y Pastor (2024) desarrollaron la tesis titulada “Estudio Comparativo de Propiedades Mecánicas y Físicas del Concreto Empleando Cemento Portland Tipo I de Orígenes Nacional e Internacional Chiclayo 2022” se enfocó en comparar las propiedades de concretos fabricados con diferentes tipos de cemento Portland I de origen peruano (cemento Pacasmayo y Qhuna) y de origen mexicano (cemento Cemex Quisqueya), para los cuales se sometieron a diferentes ensayos, siendo el principal la rotura de probetas a compresión. Dicha investigación fue de carácter no experimental, ya que no se manipularon las variables en los ensayos de laboratorio realizados, y de igual forma, es de tipo descriptivo, debido a que se brindará conocimiento al hacer una diferenciación en las propiedades mecánicas de los concretos que fueron hechos con cementos de origen nacional e internacional, los cuales se realizarán mediante los resultados de los ensayos.

Pipa y Rojas (2021) desarrollaron la tesis titulada “Análisis comparativo de la Resistencia del Concreto elaborado con cemento Mochica y cemento Pacasmayo Portland Tipo I, en la ciudad de Yurimaguas – Alto Amazonas – Loreto” tuvo como objetivo realizar un análisis comparando la resistencia de concretos producidos por dos cementos de origen nacional, siendo Mochica tipo GU y Portland Tipo I, a fin de determinar el efecto de cada cemento en la resistencia final del concreto. El trabajo de investigación fue de carácter experimental, ya que busca establecer cuál cemento incide más en el comportamiento del concreto mediante ensayos de laboratorio usando el cemento Portland tipo I y Mochica Gu. Del mismo modo, la investigación es básica de enfoque cuantitativo, debido a que el estudio tiene un fin práctico al poner a prueba dos

cementos distintos, de forma que busca aportar información útil para los profesionales de la construcción.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

Vicente (2016) desarrollo la tesis titulada “Diferencia en la resistencia de los concretos por efecto de los tipos de cemento comercializados en la ciudad de Tacna” tuvo como finalidad evaluar las variaciones en la resistencia a la compresión del concreto derivadas del empleo de distintos tipos de cemento disponibles en el mercado local, así como de sus respectivos agregados. Para el desarrollo experimental, se ejecutó un total de 180 ensayos de compresión sobre especímenes cilíndricos de concreto, diseñados conforme a los procedimientos establecidos por el método ACI Comité 211 y el método de diseño de mezclas de Walker. Se efectuó una comparación de resultados a edades de curado de 7, 14 y 28 días, con el propósito de determinar la evolución de la resistencia mecánica del material en función del tipo de cemento empleado. El estudio se clasificó como cuasi experimental, debido a la aplicación de análisis estadísticos inferenciales sobre los datos obtenidos, y de tipo aplicado, proporcionando así criterios técnicos confiables para la selección del material cementante más adecuado en obras de ingeniería civil.

Chahuaris y Chahua (2023) desarrollo la tesis titulada “Evaluación y diseño de concretos autocompactantes elaborados con cemento Tipo I, Tipo IP y Tipo HS con aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango en estructuras densas en acero en la ciudad de Tacna” tuvo como propósito diseñar pastas cementicias autocompactante que satisfagan los estándares de fluidez, estabilidad y resistencia mecánica requeridos para estructuras con alta densidad de refuerzo de acero. En el estudio se caracterizaron las particularidades del hormigón en fase plástica, mediante el empleo de diversos ensayos estandarizados para determinar su fluidez (ensayo de asentamiento o slump) y resistencia a la segregación, con el fin de garantizar un comportamiento autocompactante adecuado sin pérdida de homogeneidad. Asimismo, se evaluaron los atributos mecánicos del material en fase endurecida tras periodos de 7, 14 y 28 días, determinando su capacidad portante ante esfuerzos axiales. La investigación fue de carácter experimental, dado que se realizaron 12 diseños de mezcla con variaciones en el contenido de cemento y en la dosificación de aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango, con el objetivo de identificar la combinación óptima que satisfaga los parámetros normativos.

Aguilar (2015) desarrollo la tesis titulada “Fabricación y evaluación de concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante y sílices con cemento portland tipo

IP en la ciudad de Tacna” tuvo como finalidad caracterizar los parámetros físico-mecánicos de los componentes del hormigón de alto desempeño, así como evaluar la performance de las mezclas preparadas con cemento Portland Tipo IP y agregados locales. La investigación abarcó la dosificación de un concreto patrón y el contraste de sus características en estado plástico y endurecido frente a mezclas modificadas mediante la incorporación de aditivos superplastificantes y sílice activa, con el propósito de determinar la mejora en la consistencia de la mezcla y en su límite de rotura. Además, se efectuó un análisis comparativo de costos entre el concreto convencional y los concretos mejorados con aditivos. La investigación fue de carácter experimental, dado que se desarrolló una proporción de materiales ajustada para alcanzar la máxima solvencia mecánica ante la compresión.

Virruet (2022) desarrollo la tesis titulada “Análisis comparativo en el Diseño de Mezcla de Concreto empleando aditivos superplastificantes e incorporadores de aire para evaluar la Resistencia Mecánica máxima del concreto autocompactante, Tacna 2022” tuvo como finalidad analizar el comportamiento del sistema cementicio autocompactante tanto en su fase plástica como en la rígida, mediante la aplicación de tres dosificaciones distintas del aditivo superplastificante Sikament-290N. El estudio se clasificó como experimental, dado que se controlaron y manipularon las variables de diseño de mezcla, incorporando diferentes porcentajes del aditivo superplastificante en las probetas de ensayo para evaluar su efecto en el desempeño mecánico ante esfuerzos de carga y el comportamiento integral del hormigón.

Paco (2023) desarrollo la tesis titulado “Calidad de concreto en viviendas autoconstruidas en el distrito de Ciudad Nueva de la ciudad de Tacna” tuvo como finalidad la evaluación de la respuesta estructural ante la carga del concreto utilizado en edificaciones autoconstruidas, verificando mediante ensayos de laboratorio si dichos especímenes satisfacen los parámetros de calidad mínima establecidos bajo los lineamientos de las normativas vigentes del país y el reglamento nacional de edificaciones.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. El cemento**

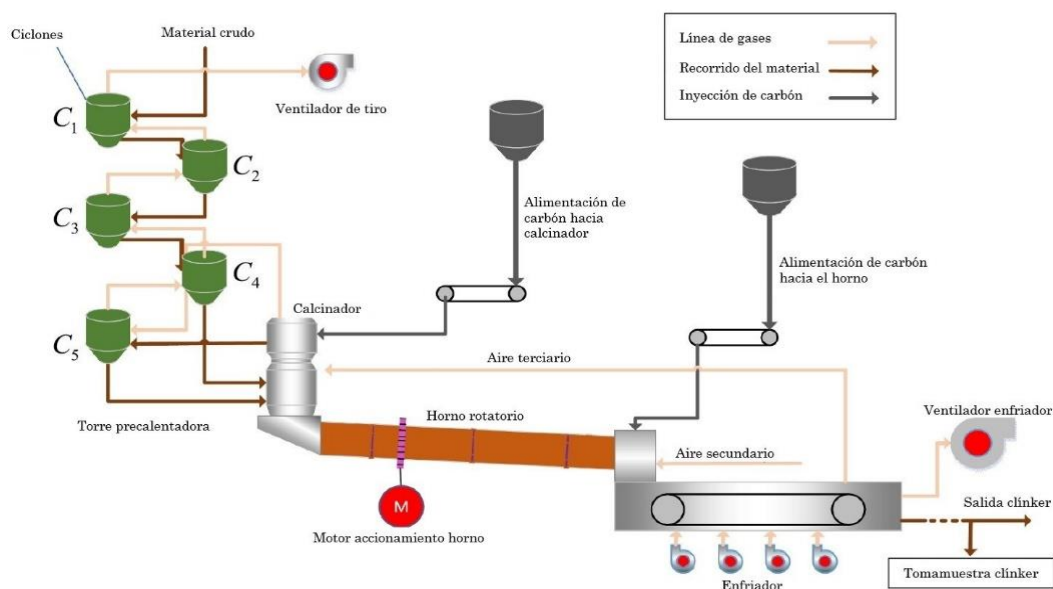
#### **2.2.1.1. Tipos de cemento**

El cemento, según Flores y Ochoa (1994), es un compuesto aglomerante ampliamente usado en la construcción, cuya función principal es unir partículas como arena y grava para formar una masa sólida. Aunque históricamente se emplearon compuestos como

la “cal muerta” ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), conocidos como cementos romanos, el desarrollo del cemento ha evolucionado durante siglos hasta llegar al cemento hidráulico moderno, siendo el más representativo el cemento Portland. Este último se obtiene a partir del mezclado de la caliza y arcilla, las cuales, al ser calcinadas y enfriadas, generan el "clinker", un sólido con estructura cristalina compleja. En dicha red cristalina, compuesta principalmente por enlaces silicio-oxígeno (Si-O-Si), también se integran átomos de aluminio (Al), hierro (Fe) y cationes como calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ), que le confieren propiedades hidráulicas, es decir, la capacidad de endurecer al hidratarse. Sin embargo, se debe entender que clínter y cemento no son lo mismo, ya que, Tahsin (2017) afirma que el clínter se utiliza para la producción del cemento, ya que es un elemento granuloso, el cual se calienta y enfría en un horno para producir los gránulos del tamaño de una canica, por lo que para llegar a tal punto, pasa por una serie de complejos procesos tal como se observa en la Figura 1, posteriormente, el cemento se fabrica con la molienda del clínter que ya ha pasado por todo el proceso industrial, donde se añaden diversos materiales activos para brindarle al cemento resultante las propiedades deseadas.

**Figura 1**

*Procesamiento del Clinker en horno*



*Nota.* Adaptado de “Proceso de clinkerización” (p. 5), por J. Castillo, P. Ortiz y M. Ospina, 2011, “Tecnológicas”, 25 (55).

Por otro lado, Chinchón y Sanjuan (2014), indican que el cemento es un recurso esencial en la construcción y la ingeniería civil, caracterizado por su capacidad para formar mezclas moldeables que, al combinarse con áridos y agua, adquieren una

estructura sólida, resistente y duradera, dicha propiedad permite obtener una piedra artificial que se adapta a diversas formas antes de su endurecimiento, lo que facilita su aplicación en la edificación de infraestructuras y elementos constructivos. Asimismo, dentro de las definiciones que dan al cemento, consideran principalmente que es un conglomerante, el cual definen como todo aquel material con la capacidad de poder unirse a otros y proporcionar cohesión a un conjunto, donde gracias a las reacciones internas, dan lugar a un nuevo material, siendo uno de los más conocidos como el conglomerante hidráulico, es decir, aquel compuesto que al mezclarse con agua, tiene la capacidad de endurecer tanto en contacto con el aire como sumergido en el agua.

De igual forma, como material de construcción ampliamente utilizado, se clasifica en distintos tipos según sus propiedades y aplicaciones. En el caso del Perú, la clasificación más común se basa en lo establecido por la Norma Técnica Peruana 334.009.2016, que clasifica varios tipos de cemento Portland, cada uno diseñado para responder a condiciones específicas de obra. A continuación, se detallan sus principales características:

- Tipo I: Para fines generales, para construcciones comunes sin propiedades particulares. Ofrece buena resistencia mecánica y un fraguado normal, por lo que es adecuado para zonas donde no hay presencia significativa de agentes agresivos.
- Puzolánico IP: Cemento con puzolana añadido, el cual permite retener el agua en la mezcla, proporciona una mejor trabajabilidad y permite un fraguado más lento, y ofrece mayor durabilidad frente a ambientes agresivos, como aquellos con presencia de sulfatos o cloruros.
- Tipo II: Para fines generales e ideal para alcanzar una resistencia moderada al ataque de sulfatos, que son sustancias presentes en suelos y aguas subterráneas, los cuales pueden deteriorar el concreto endurecido con el tiempo.
- Tipo II (MH): Para fines generales. Óptimo para incrementar la liberación térmica durante el fraguado y optimizar la inmunidad frente al ataque de iones sulfato., por lo que es útil en condiciones similares al Tipo II, pero con mayor control térmico.
- Tipo III: Utilizado para alcanzar resistencias iniciales más altas, ideal cuando se desea adelantar el tiempo de desencofrado, y una vez fraguado produce mayor calor de hidratación, por lo que es conveniente usarle en climas fríos.
- Tipo IV: Utilizado para obtener un calor de hidratación bajo, por lo que es ideal cuando se deseen vaciar grandes cantidades de mezcla, por

ejemplo, para grandes represas y bloques masivos de concreto, ya que su uso está orientado a condiciones donde el calor excesivo podría comprometer la durabilidad estructural.

- Tipo V: Ideal si se desea obtener un alto grado de resistencia a sulfatos y sales, por ejemplo, para construcciones que encontrarán constantemente en contacto con aguas salinas.

La presente investigación se demuestra que, el cemento tipo IP es el que tendrá relevancia, ya que será el protagonista del estudio en cuestión, por lo que es necesario profundizar más en este aspecto a continuación.

### **2.2.1.2. Cemento portland tipo IP**

Chinchón y Sanjuan (2014) mencionan que el cemento Portland es el tipo más común, constituyéndose como un polvo fino compuesto principalmente por silicatos y aluminatos de calcio, donde al mezclarse con agua, inicia un proceso químico de fraguado y endurecimiento a temperatura ambiente, tanto en presencia de aire como de agua. Al ser un cemento bastante conocido y utilizado, sus orígenes se remontan siglos atrás en la época romana, cuando se empleaban mezclas de cal con materiales volcánicos naturales, conocidos actualmente como puzolanas, debido a su comportamiento cementante similar, sin embargo, actualmente el proceso de obtención de este tipo de cemento es industrializado, siguiendo una secuencia de pasos detallados a continuación:

#### **a. Selección de materias primas**

Se inicia con la selección de las materias primas fundamentales para fabricar el clínker Portland: caliza (carbonato de calcio), arcilla (óxidos de silicio, aluminio y hierro), y otras adiciones como mineral de hierro o arena, los cuales se extraen mediante la explotación en canteras, para luego pasar a ser mezcladas proporcionalmente hasta obtener una mezcla cruda, la cual es el conjunto de todos los elementos extraídos, los cuales se transforman en Clinker para la obtención de un cemento específico, sin embargo, es importante considerar que la composición de cada cemento de este tipo, puede variar según disposición de cada fábrica, debido a la disposición que se tenga de las materias primas y las especificaciones que se manejen.

## **b. Trituración de los elementos**

Al extraer y clasificar los materiales, estos se trituran hasta alcanzar la granulometría adecuada, primero pasan por una trituradora primaria, la cual recibe los componentes producto de la explotación, ingresan rocas de máximo 1,2 m de diámetro, y reducen el tamaño del material por debajo de los 100 mm, luego proceden a la trituradora secundaria, y reducen el tamaño hasta por debajo de los 25 mm.

Durante ambas etapas de trituración, se considera la distribución granulométrica deseada, así como las propiedades físicas de los materiales, como su dureza, abrasividad y cohesión, ya que estos factores influyen en la eficiencia del proceso. De igual modo, la reducción gradual del tamaño facilita una molienda más eficiente en etapas posteriores, mejorando la homogeneidad de la mezcla cruda y favoreciendo el desarrollo óptimo de las reacciones químicas en el horno.

## **c. Prehomogeneización**

Después de la trituración, los materiales reducidos en tamaño se pasan mediante fajas transportadoras hacia el parque de prehomogeneización, una zona de almacenamiento diseñada para reducir la variabilidad química de las materias primas. Esta etapa es fundamental para garantizar una mezcla más uniforme y constante, lo que influye directamente en la calidad del clínker y del cemento final.

En dicho parque, los materiales se depositan en capas alternas según un método controlado que permite un mejor mezclado natural durante la extracción. El apilamiento de estas capas puede hacerse en forma longitudinal o circular, y la recuperación del material se realiza transversalmente, lo cual permite compensar las variaciones químicas naturales entre las distintas capas del material almacenado. Esto asegura que, al pasar a la siguiente etapa de molienda, la composición química del crudo sea lo más homogénea posible, optimizando el desempeño del horno y reduciendo el consumo energético, así como los costos que suponen realizar este proceso.

## **d. Molienda de la mezcla cruda**

La molienda de la mezcla cruda permite producir un compuesto mucho más homogéneo con el nivel de fineza apropiado para que puedan ser sometidos a cocción en un horno, considerando la cantidad y calidad adecuadas.

Para este proceso, se utiliza comúnmente un molino vertical de rodillo, en donde el material es molido por la presión ejercida por grandes rodillos giratorios sobre una mesa giratoria, lo cual ofrece varias ventajas, como menor consumo energético y mayor eficiencia en el secado del material, ya que el mismo flujo de gases calientes del horno puede utilizarse en este proceso.

El producto obtenido, conocido como "harina cruda" o simplemente "crudo", se almacena posteriormente en silos de homogeneización, donde se continúa afinando su uniformidad antes de ser alimentado al horno de clinkerización.

#### **e. Homogeneización**

Para asegurar una composición química constante en el crudo antes de su ingreso al horno, se realiza la homogeneización en silos especialmente diseñados para este propósito. En esta etapa, se busca reducir al mínimo las variaciones en la mezcla de minerales, ya que incluso pequeñas diferencias pueden afectar la calidad del clinker y, por ende, del cemento final. Se utilizan principalmente silos de homogeneización continua, los cuales permiten mezclar el crudo de manera uniforme mediante sistemas neumáticos o mecánicos. Estos silos suelen estar equipados con sistemas de aireación por zonas, que permiten movilizar el material desde diferentes puntos del silo para generar un flujo constante y bien mezclado.

El resultado es una harina cruda con una composición química más estable, que cumple con los requisitos necesarios para una calcinación eficiente en la siguiente etapa del proceso, dicha uniformidad reduce el consumo de energía en el horno y mejora el rendimiento general del sistema.

Este proceso es uno de los más importantes de la fabricación del cemento, ya que una homogeneización deficiente provoca problemas en la operación del horno y afecta directamente la calidad del Clinker y, por ende, del cemento final.

#### **f. Clinkerización**

Una vez homogeneizada, la harina cruda se introduce en el sistema de precalentamiento y calcinación, donde comienza el proceso térmico que transformará la materia prima en clinker, el componente básico del cemento.

Primero, el crudo pasa por un precalentador, donde es sometido a corrientes de gases calientes que ascienden desde el horno. Esta etapa precalienta el material hasta

unos 1000 °C, aprovechando el calor residual y reduciendo así el consumo energético del horno. Luego, el material precalentado ingresa al horno rotatorio, una cámara cilíndrica de gran tamaño que gira lentamente y puede alcanzar temperaturas internas de hasta 1450–1500 °C. En este entorno se producen las reacciones químicas principales que originan el clínker, generando compuestos como el silicato tricálcico ( $C_3S$ ) y el silicato dicálcico ( $C_2S$ ), esenciales para la resistencia del cemento.

Los combustibles empleados pueden ser tradicionales (como carbón o petróleo) o alternativos (biomasa, residuos industriales), de esa forma, el producto resultante es el Clínter, una sustancia granulada de color gris oscuro que, una vez enfriada, está lista para la última fase: la molienda fina junto con otros aditivos para obtener el cemento final.

#### **g. Enfriamiento del Clínter**

Una vez que el clínker ha sido formado en el horno a temperaturas superiores a los 1400 °C, es fundamental reducir su temperatura rápidamente para conservar sus propiedades físico-químicas. En este punto, el clínker sometido a altas temperaturas sale del horno y se traslada hacia el enfriador de parrilla, una estructura metálica que impulsa aire a contracorriente desde la parte inferior. Este sistema permite reducir la temperatura del clínker desde aproximadamente 1200 °C hasta unos 100 °C en pocos minutos, lo cual aumenta la eficiencia energética del proceso, ya que el aire caliente generado puede reutilizarse en el precalentador.

Durante esta etapa, el clínker se vuelve más estable y adopta una forma granulada dura. Luego, se transporta mediante bandas o cintas hacia las zonas de almacenamiento temporal o directamente a la molienda final, dependiendo del diseño de la planta.

#### **h. Molienda del cemento**

En esta etapa final del proceso, el clínker ya enfriado se mezcla con materiales adicionales como yeso, y, en el caso del Cemento Portland Tipo IP, material puzolánico natural o artificial como cenizas volcánicas, escoria u otras adiciones activas. Esta mezcla se somete a un proceso de molienda fina que permite alcanzar la granulometría óptima, es decir, el nivel de finura necesario para asegurar un buen fraguado y una correcta ganancia de resistencia inicial.

En esta etapa, es importante considerar que la finura del cemento es un factor clave, ya que influye directamente en sus propiedades mecánicas, como la resistencia a la compresión y en la velocidad de hidratación. Una mayor finura permite que las partículas reaccionen más rápidamente con el agua, mejorando el desarrollo temprano de resistencia, aunque también puede incrementar la demanda de agua y el calor de hidratación.

El proceso de molienda se realiza normalmente en molinos de bolas o molinos verticales, donde se genera una mezcla muy fina con partículas inferiores a 75 micras, donde se controla la temperatura para evitar la deshidratación del yeso, lo cual podría afectar negativamente el tiempo de fraguado del cemento. Finalmente, el cemento molido se transporta a silos de almacenamiento, desde donde será envasado o despachado a granel, listo para su distribución y uso en diversas aplicaciones de construcción.

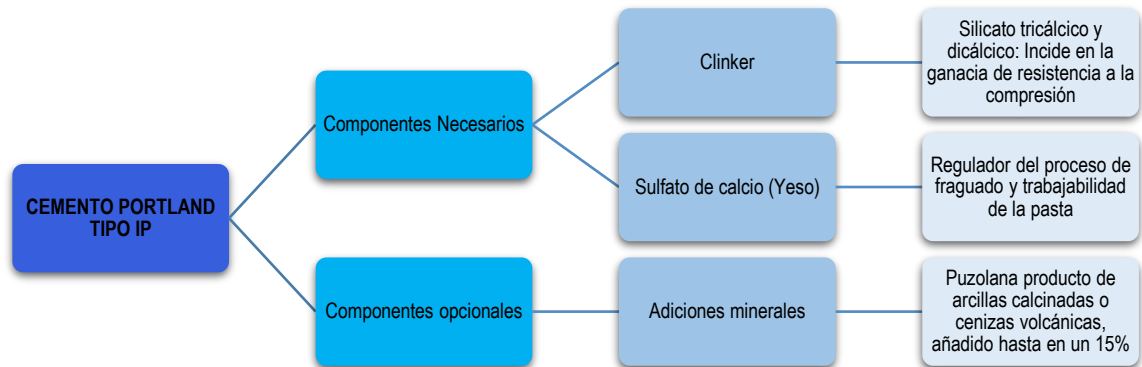
#### **i. Almacenamiento del cemento**

Esta etapa se puede considerar realmente como la última, ya que la disposición del cemento en los silos de almacenamiento antes de ser despachados y usados puede afectar su calidad al momento de su aplicación, por lo que es recomendable que el almacenamiento se realice en ambientes secos, ventilados y cerrados, de igual forma, debe protegerse del contacto con agua o humedad que pueda producir su hidratación por accidente. Estos silos, generalmente de gran altura, permiten mantener el cemento en constante agitación o aireación para evitar la formación de grumos y mantener su fluidez, así al momento de ser envasados en los sacos de papel, comúnmente de 42.5 kg, poseerán las características deseadas y estarán libres de contaminación por agentes externos.

La fabricación del cemento Portland se produce siguiendo la secuencia mencionada anteriormente, sin embargo, el principal factor del cemento Portland tipo IP es cantidad de puzolana, por lo que su composición final está constituida por el Clinker, yeso, y adiciones minerales, en el presente caso, la puzolana producto de cenizas volcánicas o arcillas calcinadas, tal como se describe en la Figura 2.

**Figura 2**

*Diagrama con los componentes del Cemento Tipo IP*



*Nota.* Los componentes opcionales son añadidos que no podrán sustituir en su totalidad a los componentes necesarios del cemento portland tipo IP

### 2.2.1.3. Tipos de puzolana

De acuerdo a Collantes (2017), las puzolanas son materiales que pueden ser naturales o artificiales que contienen compuestos silíceos o silico-aluminosos, y que, aunque por sí mismos tienen poca o ninguna capacidad cementante, son capaces de reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) expulsado durante la hidratación del cemento Portland, en presencia de agua. Esta reacción, conocida como reacción puzolánica, da lugar a la formación de compuestos con propiedades cementantes, como los silicatos de calcio hidratados (C-S-H), que contribuyen a la ganancia de resistencia y durabilidad del concreto. Asimismo, la normativa ASTM C618-01, indica que las puzolanas por sí solas no poseen actividad hidráulica o aglomerante, pero al presentarse en forma de polvo y en presencia de medios acuosos, reaccionan de tal forma que se activan propiedades como durabilidad, resistencia a largo plazo, impermeabilidad y reducen la reacción álcali-sílice. Es importante tener en cuenta que mientras menor sea el tamaño de la partícula, tendrá una mayor reactividad.

De igual forma, Collantes (2017) también indica que el tipo de puzolana añadida en el cemento Portland tipo IP, se divide en dos tipos:

#### a. Puzolanas naturales

Son materiales de origen ígneo o sedimentario que, tras una molienda adecuada, presentan buena reactividad puzolánica. Las puzolanas de origen volcánico provienen de materiales sueltos llamados piroclastos, que se generan por las erupciones volcánicas explosivas, tomando en cuenta que estas puzolanas sean de origen

volcánico influye directamente en su estructura interna, ya que cuando la lava fluye y luego se enfría, se forman rocas con diferentes estructuras, de modo que, más rápido se enfría la lava, más amorfa o vítrea puede ser la estructura, lo que favorece su reactividad puzolánica. Los ejemplos más comunes de este tipo de puzolanas son:

- Ceniza volcánica: material fino que es expulsado por volcanes, siendo bastante reactiva por su alto contenido amorfo.
- Escorias volcánicas: son fragmentos densos expulsados por erupciones, son menos reactivas que los otros tipos de puzolanas, pero al ser molidas finamente pueden incorporarse como adición.
- Pómez: es una roca volcánica vítrea, porosa y ligera, la cual es frecuentemente triturada y usada como adición al cemento.
- Tobas volcánicas: son rocas consolidadas formadas por cenizas volcánicas compactadas, las cuales necesitan calcinación si están parcialmente cristalinas.

Por otro lado, las puzolanas de origen sedimentario, diferencia de las puzolanas de origen volcánico no se forman directamente por actividad volcánica, sino que se originan a partir de procesos de erosión, transporte y sedimentación de materiales ricos en sílice y alúmina, los cuales pueden haberse derivado originalmente de rocas volcánicas, ígneas u otras fuentes. Estas puzolanas se forman a lo largo del tiempo geológico en ambientes marinos o fluviales, donde los sedimentos se depositan y sufren transformaciones físicas y químicas, donde los minerales arcillosos presentes pueden adquirir una estructura amorfa o parcialmente amorfa, lo cual les confiere propiedades puzolánicas. Los tipos más comunes de este tipo de puzolanas son:

- Arcillas calcinadas naturalmente: son arcillas propiamente dichas que han sufrido calor geotérmico, sin embargo, no son tan comunes y suelen presentarse en zonas hidrotermales.
- Diatomita: roca sedimentaria formada por la acumulación de restos de algas silíceas, la cual puede ser muy porosa y posee buena reactividad si es amorfa.
- Opalinas sedimentarias: son rocas silíceas amorfas con origen químico-biológico, no son comunes pero algunos países lo usan como adición cementante.
- Tufas silíceas: son rocas formadas por precipitación de sílice en aguas termales o lagos, donde su pureza y estructura amorfa determinan si pueden ser incorporados como adición al cemento.

**b. Puzolanas artificiales**

Son subproductos industriales o materiales calcinados especialmente para desarrollar actividad puzolánica, ya que en su estado original no poseen estas cualidades. Estos materiales tienen un alto contenido de sílice y/o alúmina en forma amorfa, es decir, no cristalina, que es lo que les permite reaccionar con el hidróxido de calcio en presencia de agua para producir compuestos cementantes. Los tipos más comunes de puzolana artificial son:

- Arcillas calcinadas: son arcillas como tal que se calcinan entre 600 a 800 °C, transformándose en meta caolín, una puzolana altamente reactiva.
- Cenizas de subproductos agrícolas: se obtienen al calcinar cáscaras o desechos agrícolas de origen vegetal que poseen alta proporción de sílice amorfa, lo que les otorga propiedades puzolánicas.
- Cenizas volantes: son subproductos de la combustión de carbón pulverizado, poseyendo alta reactividad y una forma esférica, otorga trabajabilidad al concreto.
- Escoria granulada de alto horno: es un subproducto de la fabricación de acero, siendo rica en calcio, sílice y alúmina, lo cual la hace tener propiedades cementantes latentes.

Se debe tener en cuenta que las puzolanas artificiales deben dar cumplimiento con los requerimientos y propiedades que dictan las normativas técnicas como la ASTM C618, asimismo, algunas de estas puzolanas pueden contener impurezas o contaminantes si no se procesan adecuadamente, por lo que la calidad y reactividad dependen del control que se tenga durante el proceso de obtención.

Con respecto a la producción del Cemento Portland Tipo IP, según la norma peruana NTP 334.081, la puzolana más comúnmente incorporada es de origen natural, especialmente en zonas donde se dispone de cenizas o tobas volcánicas molidas. Sin embargo, también se utilizan ampliamente cenizas volantes, es decir, puzolanas artificiales, debido a su alta disponibilidad como subproducto industrial y su buena reactividad.

**2.2.1.4. Propiedades del cemento portland tipo IP**

Según la ficha técnica aprobada y proporcionada por la Plataforma Digital Única del Estado Peruano (2024), se indica que las propiedades del cemento Portland son las siguientes:

### **a. Propiedades químicas**

Los siguientes parámetros aseguran la calidad y durabilidad del cemento:

- Óxido de magnesio (MgO): tendrá un porcentaje menor o igual al 6.00 %, ya que valores elevados pueden causar expansiones indeseadas en el concreto.
- Pérdida por ignición: será menor o igual al 5 %, ya que mide la cantidad de materia orgánica o humedad. Para cementos ternarios con adición calcárea, el límite es 10 %.
- Trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>): tendrá un porcentaje menor o igual 4 %, debido a que este elemento controla la reactividad del cemento, niveles altos pueden generar expansiones.

### **b. Propiedades físicas**

- Contenido de aire del mortero: debe ser menor o igual al 12 %, ya que un exceso puede disminuir la resistencia del concreto endurecido.
- Contracción en autoclave: debe ser menor o igual al 0,20 %. Es importante asegurarse que sea mínima para evitar la fisuración por retracción.
- Densidad: Se debe indicar mediante informes de ensayos de fábrica la densidad en g/cm<sup>3</sup>.
- Expansión en autoclave: debe ser menor o igual 0,80 %. Esta característica verifica la estabilidad dimensional frente a componentes como la cal libre.
- Finura: Se debe indicar mediante informes de ensayos de fábrica la cantidad retenida por tamizado húmedo en tamiz N° 325 (45 μm) y superficie específica según la máquina de permeabilidad de aire en m<sup>2</sup>/kg.
- Tiempo de fraguado (ensayo Vicat): Entre 45 minutos como mínimo y 7 horas como máximo para garantizar que el cemento no frague ni muy rápido ni muy lento.

## **2.2.2. Cementos de origen nacional e internacional**

### **2.2.2.1. Cemento YURA**

De acuerdo a la ficha técnica de Yura S.A. (2022), el Cemento multipropósito de alta durabilidad, es un recurso elaborado a teniendo como base el clinker que cumple un

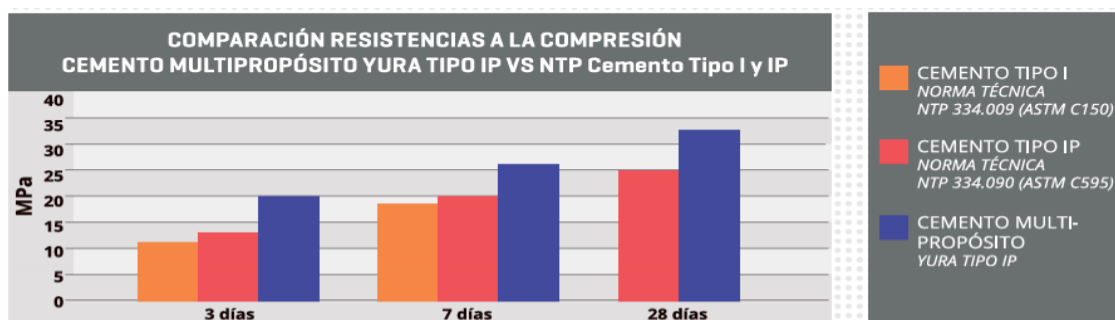
estándar calificado según ISO 9001 e ISO 14001, el cual se constituye por puzolana volcánica de gran reactividad y la incorporación de yeso, el cual se muele industrialmente hasta alcanzar el grado óptimo de finura. Este cemento puede ser usado en construcciones e infraestructuras de cualquier tipo, ya que posee propiedades que permiten a los concretos obtener alta durabilidad, resistencia, impermeabilidad y resistir ataques químicos e intemperismo.

Asimismo, según Guzmán-García (2021), señala que cementos Yura es una empresa de origen peruano, el cual abastece a toda la zona sur del Perú, debido a que su planta se ubica Yura, una provincia del departamento de Arequipa, por lo que su participación en el mercado nacional es bastante influyente, contando con un 21 % de aporte en general.

Cementos Yura tipo IP menciona en su propia presentación que es multipropósito ya que posee varias presentaciones que lo hacen ideal para proyectos de distintas envergaduras, ya sean construcciones pequeñas como viviendas o proyectos de constructoras grandes como represas que requieren grandes volúmenes de mortero. Con respecto a las propiedades mecánicas que posee, en la ficha técnica de Yura S.A. (2022), se especifica que la resistencia del concreto que alcanza el cemento al realizarse el mortero es superior a la que se indica en la Norma Técnica Peruana (NTP 334.090), tal como se observa en la Figura 3.

**Figura 3**

*Comparación de resistencia a la compresión entre Cemento tipo I, IP y la NTP 334.009*



*Nota.* Adaptado de IP Cemento Multi-Propósito Alta Durabilidad [Imagen], por Yura S.A., 2022, Ficha Técnica 2022/V.1.

#### 2.2.2.2. Cemento Cbb

De acuerdo a la ficha técnica de (Cbb Cementos, s.f.), el Cemento Tipo IP, es un cemento fabricado a base de yeso, puzolana y Clinker; siendo clasificado por la NTP 334.090 como tipo IP.

Las propiedades que posee el cemento CBB son la resistencia a los ambientes industriales, bajo calor de hidratación, conteniendo elementos que inhiben la reacción álcalis/árido y un buen comportamiento en conjunto con otros aditivos que se usen en diversas aplicaciones, por lo que su aplicación está orientado a satisfacer todas las áreas de la construcción, tanto pequeños como grandes proyectos de infraestructura.

Según Guzmán-García (2021), Cementos CBB proviene de Cementos Bío Bío, un grupo de empresas chilenas que se dedican principalmente a la elaboración y comercialización de cemento, hormigón y cal en Chile, sin embargo, debido a un plan comercial, dicha empresa decidió expandirse hacia otros países incluyendo Perú, donde se tenía proyectado una nueva planta de cemento en Matarani, una provincia del departamento de Arequipa, donde se pretendía ingresar y competir en el mercado peruano para abastecer de cemento al sur del Perú, de la misma forma que venía haciendo Cementos Yura.

Con respecto a la resistencia final del concreto que ofrece el cemento, en la Ficha técnica de (Cbb Cementos, s.f.), se especifica que a los 3, 7 y 28 días se obtienen valores que cumplen los requisitos de la NTP. 334.090 tal como se observa en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Resistencia a la compresión del Cemento CBB a los 3, 7 y 28 días de edad*

<b>Parámetro</b>	<b>Resultado</b>	<b>Requisito NTP 334.090</b>
3 días [MPa]	18,4	Mínimo 13
7 días [MPa]	21,9	Mínimo 20
28 días [MPa]	29,3	Mínimo 25

Nota. De "Ficha Técnica Cemento Portland Puzolánico Tipo IP", por Cbb Cementos, s.f.

### **2.2.3. El concreto**

#### **2.2.3.1. Características del concreto**

Ezeokoli et al. (2020), indica que el concreto constituye una mezcla heterogénea conformada por un conglomerante, comúnmente Portland, y otros materiales cementantes como cenizas volantes o puzolanas, áridos gruesos como grava o rocas trituradas como piedra caliza o granito, áridos finos como arena, agua y aditivos químicos de ser el caso, por lo que, el concreto se puede definir como el producto de la

unión de partículas de materiales inertes mediante un medio cementante, donde dicho medio es producto de la reacción del cemento y el agua, convirtiéndose en un material versátil, de gran resistencia y durabilidad.

De acuerdo a Chougule y Patil (2025), los elementos que lo componen permiten en conjunto obtener una mezcla con amplia variedad de proporciones a partir de estos ingredientes, sin embargo, las cualidades del concreto, tanto en estado fresco como sólido, son afectadas por la calidad de sus componentes esenciales anteriormente descritos, no obstante, el cemento es uno de los más importantes ya que influye directamente en la resistencia de concreto, y en el caso de concretos armados, en la resistencia a flexión y tracción.

Asimismo, según León y Ramírez (2010), los agregados también son un componente fundamental del concreto, ya que entre las principales características que condicionan el desempeño del concreto se encuentran la forma y textura de las partículas, su distribución granulométrica, la capacidad de absorción que poseen, composición mineralógica, resistencia mecánica, módulo de elasticidad, tamaño máximo nominal, gravedad específica, dureza y resistencia al ataque de agentes agresivos como los sulfatos. Dichas propiedades no sólo afectan la resistencia y durabilidad del concreto, sino que también inciden en aspectos clave como la trabajabilidad de la mezcla, de modo que, cuando los agregados presentan formas más redondeadas, se obtiene menor contenido de vacíos, reduciendo la cantidad de pasta de cemento necesaria para lograr una mezcla cohesionada, mientras que los agregados con formas alargadas tienden a generar más vacíos, exigiendo mayor cantidad de pasta y, por tanto, incrementando los costos y afectando la trabajabilidad.

### **2.2.3.2. Propiedades del concreto**

De acuerdo a Pacheco (2017), es importante identificar las propiedades del concreto tanto en su estado fresco como endurecido, ya que, el concreto fresco está ligado directamente a las propiedades que tendrá el concreto endurecido. Es por ello, que se detalla a continuación las principales propiedades del concreto en ambos estados.

#### **a. Propiedades del concreto fresco**

- **Consistencia:** La consistencia del concreto se refiere al nivel de fluidez o rigidez que presenta la mezcla en su estado fresco, indicando la aptitud del material para experimentar deformaciones o fluir bajo su propia carga gravitacional antes de fraguar. Dicho atributo posee un vínculo directo

con el volumen del fluido de amasado presente en la matriz y se describe como seca, plástica o fluida, dependiendo del nivel de saturación hídrica y la trabajabilidad del concreto.

- Plasticidad: Se vincula con la aptitud que tiene la mezcla fresca de ser moldeada fácilmente sin perder cohesión, en un estado plástico intermedio el concreto adopta la forma del encofrado sin desmoronarse ni fluir excesivamente, manteniéndose lo suficientemente flexible para su colocación, pero también firme para conservar su forma una vez vaciado.
- Trabajabilidad: determina la facilidad del concreto fresco para ser manipulado adecuadamente durante las etapas de transporte, vaciado, compactación y acabado, permitiendo que la mezcla fluya y se acomode en los encofrados sin presentar segregación de los componentes o exudación excesiva. La trabajabilidad estará condicionada por la tasa del agente de hidratación en el sistema, el tipo y granulometría de los áridos utilizados, el uso de aditivos químicos y la temperatura ambiental.

#### **b. Propiedades del concreto endurecido**

- Durabilidad: constituye la facultad del espécimen para tolerar la degradación de origen físico o químico y ambiental a lo largo del tiempo, conservando sus propiedades iniciales con poca necesidad de mantenimiento frecuente.
- Impermeabilidad: representa la aptitud de la matriz cementicia para restringir la infiltración de agua o líquidos a través de su estructura interna, lo cual resulta útil en concretos armados ya que contribuye a la protección del acero de refuerzo, prolongando su vida útil.
- Módulo de Elasticidad: es la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria generada en el concreto dentro de un rango elástico, indicando la rigidez mecánica del compuesto y su solvencia para experimentar cambios de forma elásticamente ante sollicitaciones externas.
- Resistencia a la compresión: es una propiedad física de la mezcla en fase sólida, el cual indica la capacidad del concreto endurecido para soportar cargas axiales de compresión sin fracturarse, por lo que es la medida más utilizada para evaluar su calidad estructural, razón por la cual es un componente esencial del presente estudio.
- Resistencia a la flexión: es el esfuerzo máximo que puede presentar el concreto para resistir esfuerzos de tracción y compresión simultáneos

generados por cargas que lo flexionan. Esta propiedad es esencial en elementos de concreto armado como vigas y losas.

- Resistencia térmica: es la propiedad del concreto que le permite soportar altas temperaturas sin sufrir daños considerables en su estructura o pérdida significativa de resistencia mecánica.

### **2.2.3.3. Resistencia a la compresión del concreto**

Tal como el nombre lo indica, la resistencia a la compresión del concreto es la capacidad que tiene el mismo para resistir fuerzas de aplastamiento o cargas axiales sin sufrir fractura. Contreras et al. (2018) indican que esta propiedad es fundamental en el diseño de estructuras, ya que el concreto suele estar sometido principalmente a esfuerzos de compresión en un contexto más realista en términos de infraestructuras en general, por lo que es especialmente relevante en elementos como columnas, muros de carga y cimentaciones, donde el concreto debe mantener su integridad ante el peso propio de la estructura y las cargas aplicadas.

Esta propiedad mecánica depende además de factores como la calidad de los materiales la proporción entre el agente de hidratación y el ligante, el proceso de maduración y el método empleado para la colocación, por lo que es clave controlarla para garantizar la seguridad y durabilidad de una estructura.

### **2.2.3.4. Edad del concreto**

La edad del concreto está directamente relacionada con su desarrollo de resistencia en función del tiempo, por lo que, se espera a que una edad temprana, el concreto no haya terminado de alcanzar toda la resistencia que podría obtener. En este contexto, Akasaki et al. (2016) utiliza el término "madurez" para referirse a la combinación acumulada de tiempo pero en función de la temperatura que influye en el proceso de ganancia de resistencia, e indica, que dos mezclas de concreto con iguales condiciones de temperatura y tiempo, es decir, con el mismo grado de madurez, desarrollarán una resistencia a la compresión similar, independientemente de cómo se haya alcanzado ese grado, ya sea más tiempo a menor temperatura o menos tiempo a mayor temperatura.

En ese sentido podemos afirmar que la edad del concreto no sólo va ligada al tiempo, sino también a la temperatura con la cual irá ganando resistencia. Sin embargo, en términos más prácticos, la edad del concreto se medirá por días, siendo los 7, 14 y 28 días los más representativos con respecto a la ganancia de resistencia del concreto, de forma que estos periodos de tiempo serán factores clave para evaluar su

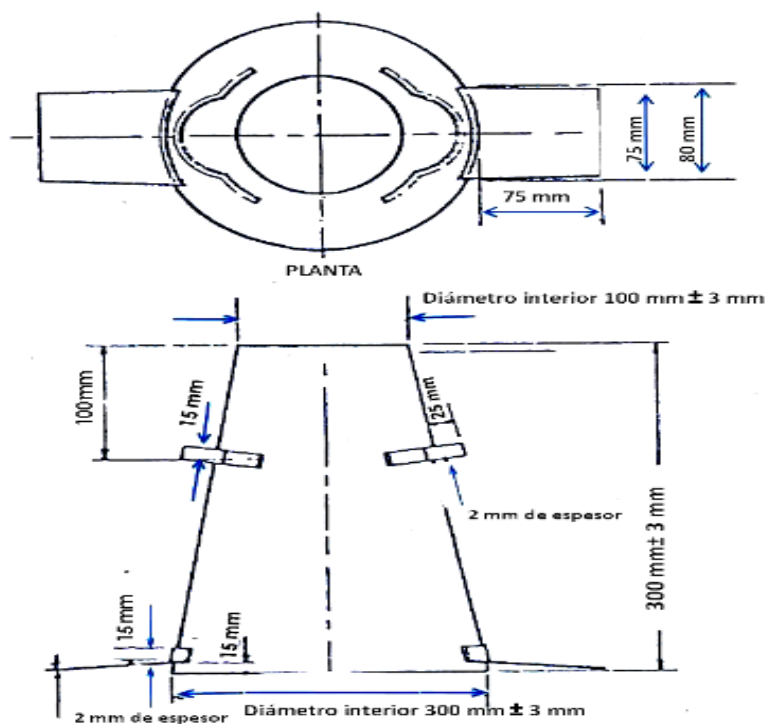
comportamiento mecánico, ya que muchas propiedades aparte de la resistencia, como la rigidez y la durabilidad, evolucionan con el tiempo de igual modo. Es por ello, que las normas técnicas estandarizan ensayos a ciertas edades específicas, siendo el ensayo a los 28 días el más común para validar si el concreto ha alcanzado la resistencia de diseño.

### 2.2.3.5. Ensayo de consistencia del concreto fresco

El ensayo de consistencia, también conocido como ensayo de asentamiento es un método estandarizado para determinar la trabajabilidad y fluidez del concreto en estado fresco. Según la norma NTP 339.035, este procedimiento mide el grado de deformación del concreto al ser desmoldado de un molde cónico metálico como en la Figura 4.

**Figura 4**

*Dimensiones de molde cónico para ensayo de asentamiento*



*Nota.* Adaptado de HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland [Imagen], por INDECOPI, 2022, NTP 339.035.

El ensayo consiste en llenar el molde en tres capas iguales, compactarlas con varilla normalizada, y posteriormente retirar el molde verticalmente. La diferencia entre la altura original del molde y la altura final del concreto asentado se denomina

asentamiento (slump) y se expresa en mm, dicho valor refleja la consistencia del concreto y, por lo tanto, su facilidad de colocación y compactación en obra.

### 2.2.3.6. Ensayo de resistencia a la compresión del concreto

El ensayo de resistencia a la compresión del concreto es normado por la ASTM C39 y la NTP 334.034, las cuales especifican el método para realizar este ensayo de laboratorio para el caso del desarrollo de resistencia del concreto en función de su edad.

La norma indica la elaboración, curado y ensayo de probetas cilíndricas de concreto para determinar su resistencia a edades de 24 horas, 3 días, 7 días, 28 días y 90 días, a los cuales se le aplica una carga axial de manera controlada sobre especímenes cilíndricos de concreto de normalmente 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, hasta su rotura. Donde la carga máxima soportada se divide entre el área de la sección transversal para calcular la resistencia a la compresión, la cual es expresada en megapascales (MPa) o en kg/cm<sup>2</sup> según la ecuación 1.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

$f'c$ : Resistencia a la compresión del concreto (en MPa o kg/cm<sup>2</sup>)

$P$ : Carga máxima aplicada al espécimen (en N o kgf)

$A$ : Área de la sección transversal del espécimen (en mm<sup>2</sup> o cm<sup>2</sup>)

Asimismo, se debe considerar que, si la relación longitud/diámetro es menor al valor de 1,75, se debe corregir el  $f'c$  mediante la Tabla 2 proporcionada por la misma normativa:

**Tabla 2**

*Tabla de corrección de  $f'c$  para relación longitud/diámetro mayor a 1.75.*

$L/D^A$	1,75	1,50	1,25	1,00
<b>Factor</b>	0,98	0,96	0,93	0,87

A: Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores  $L/D$  indicados en la tabla.

*Nota.* De "CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas" por INACAL, 2015.

## **2.2.4. Dosificación**

Se refiere al procedimiento técnico para establecer las proporciones óptimas de los componentes que integran el concreto, es decir, el cemento, agua, áridos finos y de granulometría gruesa, con el objetivo de conseguir un diseño que satisfaga las demandas de capacidad portante, durabilidad y trabajabilidad establecidos en el diseño estructural.

Según la norma ACI 211.1, la dosificación se basa en un estudio detallado de los atributos reológicos y estructurales de cada fracción de árido, a fin de garantizar un comportamiento óptimo del concreto endurecido, y para lograr eso, se deben realizar ensayos previos a los materiales, los cuales permiten establecer la mezcla más adecuada según la resistencia deseada. Cabe resaltar que la interacción química entre el conglomerante y los agregados sólo se activa al adicionar agua, dando inicio al proceso de fraguado y endurecimiento del concreto.

### **2.2.4.1. Relación agua/cemento**

Este factor constituye el cociente entre la cantidad del componente acuoso y la masa de ligante que se emplea en la dosificación de la mezcla, dicho valor incide directamente en el comportamiento estructural de la matriz endurecida, tales como la solvencia mecánica, durabilidad y trabajabilidad.

Para Robles (2019), este factor es uno de los más relevantes, ya que identificar correctamente esta relación permitirá incrementar las características mecánicas del compuesto tanto en su fase plástica como en la rígida. En base a ello, se puede afirmar que, si se aumenta el contenido del fluido de amasado en el sistema sin elevar la dosificación de cemento a su vez, es decir, una relación a/c alta, se genera un exceso de agua que puede segregarse produciendo exudación, asimismo, al evaporarse mientras endurece el concreto, dejará poros en la estructura interna de dicho concreto, el cual presentará mayor porosidad y menor densidad, reduciendo significativamente su resistencia y durabilidad. Por otro lado, si hay menos agua por cada unidad de concreto, es decir, una relación a/c baja, se generará una pasta más seca, compacta y densa, por lo que, a su vez, se reducirá la porosidad, mejorando la resistencia y obteniendo un concreto más duradero, sin embargo, si el valor es demasiado bajo, la trabajabilidad se verá afectada, afectando la puesta en obra y la densificación de la mezcla, por lo que lo ideal es equilibrar la aptitud resistente con la trabajabilidad, seleccionando una relación a/c que cumpla con los requisitos estructurales.

#### **2.2.4.2. Proporción de agregados**

De acuerdo a Bert-Okonkwo et al. (2020), en el concreto, los agregados, tanto finos y gruesos, representan alrededor del 70 % al 75 % de la mezcla total, por lo que los agregados deben permitir que la pasta de concreto fresco actúe como una combinación relativamente sólida, homogénea y densa, donde las partículas más pequeñas, o sea el agregado fino, actúen como relleno inerte para los espacios existentes que generan las partículas más grandes, o sea el agregado grueso. Es por ello, que se debe tener consideración a la selección y dosificación de los agregados, ya que no sólo inciden en la resistencia, sino también en la durabilidad y el rendimiento estructural.

Debido a ello, que una adecuada proporción de agregados va a permitir lograr una mezcla compacta y uniforme, reduciendo el volumen de vacíos que se generen, y, por lo tanto, la cantidad de pasta de cemento necesario, lo cual, a su vez, se traduce a reducción de costos, ya que la optimización de la cantidad de cemento se da de acuerdo a la correcta proporción y graduación de los agregados.

#### **2.2.4.3. Rendimiento de cemento por m<sup>3</sup>**

Se puede definir como rendimiento a “la relación entre el resultado obtenido y los medios usados para lograr ese resultado” (Real Academia Española, 2014, definición 2).

En el contexto constructivo, se refiere al rendimiento del conglomerante por cada unidad de volumen (m<sup>3</sup>) de concreto, específicamente a la dosificación de empaques de ligante estándar requeridas para la elaboración de una matriz cementicia con una determinada resistencia de diseño, para ello, se considera comúnmente a la bolsa de cemento de 42,5 kg, sin embargo, en términos de cantidad, dependerá de factores como la relación a/c, el tipo de exposición ambiental y las características de los agregados, aparte de la ya mencionada resistencia de diseño. Para este último, se considera que, si se desea una baja resistencia, se requerirán menos cantidad de bolsas de cemento por m<sup>3</sup>, mientras que, por el contrario, se desee obtener una resistencia mucho mayor, se necesitará a su vez, una mayor cantidad de bolsas de cemento.

#### **2.2.4.4. Método ACI 211**

La normativa ACI 211.1 representa un método desarrollado por el American Concrete Institute para la determinación de proporciones en mezclas de hormigón convencional, y está orientado principalmente al concreto simple, es decir, aquella mezcla que carece de armadura de refuerzo. Este método consistente en una serie de pasos detallados a continuación:

### a. Datos iniciales

Para ello, se requieren de datos hallados previamente ya sea en laboratorio o mediante especificaciones, los cuales son:

- Asentamiento (mm)
- Contenido de humedad y absorción de los agregados
- Exposición ambiental (ambiente normal, presencia de sulfatos, etc)
- Módulo de fineza del agregado fino
- Peso específico del cemento, agua, agregado fino y grueso
- Resistencia objetiva del concreto (Mpa o kgf/cm<sup>2</sup>)
- Tamaño máximo nominal del agregado
- Tipo de agua (potable, salada, etc)
- Tipo de cemento (IP, I, II, III, IV, V)
- Tipo y forma de los agregados (angulares, redondeados, etc)

### b. Determinación de contenido de agua y aire en mezcla

Para este dato, se verifica la Tabla 3 que relaciona en tamaño máximo de agregado con el slump.

**Tabla 3**

*Cantidad de agua para distintos asentamientos*

<b>Agua en l/m<sup>3</sup> para el tamaño nominal máximo indicado</b>								
Asentamiento (mm)	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
<b>Concreto sin entrada de aire</b>								
25 a 50	208,1	199,2	187,3	178,4	163,5	154,6	130,8	113,0
75 a 100	228,9	217,0	202,2	193,2	178,4	169,5	145,7	124,9
150 a 175	243,8	229,0	214,1	202,2	187,3	178,4	160,5	-
Más de 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

*Nota.* De "Diseño de mezclas de Concreto Aplicando el Método ACI" por J. Cárdenas, G. Cordero y J. Rojas, 2022.

### c. Selección de la relación a/c

Se selecciona una relación a/c adecuada según la resistencia requerida ( $f'_c$ ) y las condiciones de durabilidad de acuerdo a la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Relación agua/cemento en función a la resistencia la compresión a los 28 días*

<b>Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)</b>	<b>Relación a/c</b>
42	0,41
35	0,48
28	0,57
21	0,68
14	0,82

*Nota.* De “Diseño de mezclas de Concreto Aplicando el Método ACI” por J. Cárdenas, G. Cordero y J. Rojas, 2022.

**d. Factor cemento**

Se realizará una división entre el volumen unitario de agua y la relación agua cemento hallada previamente según la ecuación 2.

$$\text{Contenido de cemento } \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{Volumen unitario de agua } \left( \frac{kg}{m^3} \right)}{\text{Relación } \frac{a}{c}} \quad (2)$$

**e. Determinación de contenido de agregado grueso**

Se calcula el volumen de agregado grueso por cada unidad de volumen del concreto de acuerdo a la Tabla 5.

**Tabla 5**

*Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto*

<b>Tamaño nominal máximo del agregado (mm)</b>	<b>Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen para concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino</b>			
	<b>2,40</b>	<b>2,60</b>	<b>2,80</b>	<b>3,00</b>
9,5	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,59
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

*Nota.* De “Diseño de mezclas de Concreto Aplicando el Método ACI” por J. Cárdenas, G. Cordero y J. Rojas, 2022.

**f. Determinación de volúmenes absolutos**

Al conocer los pesos del cemento, del agua, del agregado grueso y el volumen del aire, se realiza una sumatoria de todos los volúmenes considerando las unidades de medida para conversión a metros cúbicos ( $m^3$ ), de forma que se multiplican los volúmenes absolutos por el peso específico de cada material y por 1000.

**g. Determinación de contenido de agregado fino**

El volumen absoluto del agregado fino se obtendrá mediante la resta de la unidad menos la sumatoria de todos los volúmenes del cemento, agua, agregado grueso y aire. De esa forma, se procederá a hallar el peso del agregado fino, siendo igual a su volumen hallado por su peso sólido.

**h. Valores de diseño**

La cantidad de material a emplear serán representado por  $kg/m^3$  para el cemento, agregado fino y grueso seco, mientras que para el agua de diseño se representará en  $lt/m^3$ .

**i. Corrección por humedad**

El volumen de los insumos hídricos y pétreos que conforman un  $m^3$  de mezcla deberán ajustarse según el grado de saturación por humedad presente en los agregados finos y gruesos, con el propósito de obtener proporciones precisas

Para realizar este paso, al peso del árido de menor tamaño en  $kg/m^3$  obtenido en los valores de diseño, se le suma la tasa de humedad superficial presente, de la misma forma se procede con el agregado grueso.

Seguidamente, se hallará la humedad superficial, donde restarán los porcentajes de humedad total restándole el factor de absorción para cada fracción de árido. Dicho resultado obtenido se multiplicará con lo hallado en los valores de diseño de los componentes granulares finos y gruesos, expresándose como el aporte hídrico superficial en  $lt/m^3$ .

Luego, el agua efectiva a usar se calculará restando el volumen de hidratación de diseño en  $lt/m^3$ , al cual se le sustraerá el aporte hídrico proveniente de los agregados finos y macrométricos en  $lt/m^3$ .

Finalmente, las masas de los componentes ajustados por saturación serán los que se incorporen en la tanda de mezcla, donde el cemento se expresará en  $\text{kg}/\text{m}^3$  el cual es el mismo que el de los valores de diseño previos, el fluido de amasado efectiva hallada recientemente en  $\text{lt}/\text{m}^3$ , el componente fino y el material pétreo grueso adicionados con la tasa de humedad contenida, los cuales constituyen el agregado fino húmedo y el árido grueso en estado húmedo, ambos expresados en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

**j. Proporción en peso**

Para las relaciones de masa corregidas de todos los insumos, se dividirá tanto el agregado fino húmedo como el agregado grueso húmedo, entre la cantidad de cemento en  $\text{kg}/\text{m}^3$ . De igual forma se procede con el agua efectiva, y se corregirá la relación agua cemento calculando el cociente entre el volumen de hidratación efectiva y la masa total del cemento.

**k. Peso por tanda de saco**

Con el fin de determinar el volumen total de materiales necesarios por cada saco de ligante, se multiplicará la relación de masas por el peso de una unidad de cemento.

Se considera que el saco de cemento tendrá la presentación más común, es decir, de 42,5 kg.

### **2.2.5. Ensayos de laboratorio en agregados**

Los ensayos de laboratorio en agregados son procedimientos normalizados dictados por normativas que permiten evaluar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos y gruesos utilizados en la elaboración del concreto, dichos ensayos son esenciales para asegurar que los agregados cumplan con los requisitos de calidad, durabilidad y compatibilidad con la mezcla de concreto.

#### **2.2.5.1. Ensayo de granulometría**

El ensayo de granulometría es un procedimiento que permite determinar la distribución por tamaños de las partículas en una muestra de agregado fino o grueso. Según la NTP 339,128, este ensayo se realiza por tamizado ya sea mecánico o manual, utilizando una serie de mallas normalizadas, a fin de clasificar el material en fracciones granulométricas. La secuencia de pasos se da a continuación:

**a. Preparación de muestra**

Para dicho ensayo, se obtiene una muestra representativa del agregado fino y grueso, de acuerdo con el tamaño nominal del material, para luego secarse en un horno a  $110 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

**b. Empleo de tamices**

Seguidamente se requiere de un juego de tamices mediante designación de la ASTM que indica los siguientes tamices con espaciamentos de: 3", 2", 1 ½ ", 1", ¾ ", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°140 y N°200, donde se usa una bandeja inferior que recolecta el material que pasa el último tamiz.

**c. Pesado inicial**

Se registra el peso total seco de la muestra antes del tamizado.

**d. Tamizado**

Se coloca la muestra en la parte superior de todos los tamices y se agita, ya sea manualmente o mecánicamente durante 10 minutos.

**e. Pesado de fracciones retenidas**

Se pesa el material retenido en cada tamiz, incluyendo la última bandeja inferior.

**f. Realización de cálculos**

Se calculará el porcentaje retenido individual de acuerdo a la ecuación 3.

$$\%retenido = \left( \frac{\text{peso retenido}}{\text{peso total}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Y el porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz se calculará según la ecuación 4.

$$\%que\ pasa = 100 - \%retenido\ acumulado \quad (4)$$

### g. Curva granulométrica

Se grafica una curva granulométrica con el tamaño de tamiz en el eje x, considerando que sea en escala logarítmica, y el porcentaje que pasa se dispondrá en el eje Y, considerando que sea en escala lineal.

#### 2.2.5.2. Ensayo de contenido de humedad

El procedimiento para cuantificar la saturación hídrica permite determinar el volumen de fluido presente en los agregados finos o gruesos. Este protocolo resulta vital para ajustar la dosificación del concreto, ya que la humedad inherente a los agregados afecta directamente el parámetro del componente acuoso efectiva en la tanda de mezclado.

Este ensayo se realiza mediante la NTP 339.185, donde se detallan los pasos a seguir:

##### a. Toma de muestra

Se toma una muestra representativa del agregado, de forma que la masa no será menor a la cantidad indicada en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Tamaño de muestra*

Tamaño máximo nominal de agregado mm ( <i>pulg</i> ) <sup>A</sup>	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en <i>kg</i> <sup>B</sup>
4.75 (0.187) (No. 4)	0,5
9.5 (3/8)	1,5
12.5 (1/2)	2
19.0 (3/4)	3
25.0 (1)	4
37.5 (1 ½)	6
50 (2)	8
63 (2 ½)	10
75 (3)	13
90 (3 ½)	16
100 (4)	25
150 (6)	50

**A:** Sobre base de los tamices de la NTP 350.001 o ASTM E11.

**B:** Determinar la masa para muestras mínimas para agregados ligeros multiplicando el valor indicado por la unidad de masa en base seca del agregado en kg/m<sup>3</sup> (determinado mediante el método de ensayo NTP 400.017) y dividido por 1600.

*Nota.* De "AGREGAGOS. Determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. Método de ensayo" por INACAL, 2021.

### **b. Pesado y secado en horno**

Se pesa la muestra inicial en estado húmedo, para luego ser introducida en un horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas. Posteriormente, se efectúa la extracción de la muestra del dispositivo de calentamiento para registrar la masa de la muestra seca.

### **c. Cálculo de contenido de humedad**

Para la determinación de la tasa hídrica total evaporable se utiliza la ecuación 5.

$$P = 100 \times \frac{W-D}{D} \quad (5)$$

Donde:

$P$ : contenido total de humedad evaporable de muestra en %

$W$ : peso de muestra húmeda inicial en gramos

$D$ : peso de muestra seca en gramos

### **2.2.5.3. Ensayo de peso específico y absorción de agregados**

El protocolo para determinar la densidad relativa y absorción permite establecer la correspondencia entre la masa y el volumen del fluido desplazado, así como el aporte hídrico que el componente granular logra alojar en sus cavidades intersticiales tras un periodo de inmersión y posterior secado superficial.

Este ensayo se realiza mediante la NTP 400.021 para agregados gruesos, donde se detallan los pasos a seguir:

#### **a. Preparación de muestra**

Se selecciona una muestra representativa del agregado dependiendo del tamaño máximo nominal, la cual se lava y seca al horno a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta lograr una masa estable, para su posterior enfriamiento la muestra a condiciones del entorno y sumergirla en agua por 24 horas.

#### **b. Secado superficial**

Luego de la inmersión en agua, se escurre el exceso de agua y se seca la muestra con un paño hasta alcanzar el estado de saturación con superficie seca. Se efectuará el pesaje del espécimen, de forma que será el peso en condición saturada seca.

### c. Pesado en agua

Se introducirá la muestra en un recipiente con agua y se pesará sumergida completamente a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , teniendo la precaución de evacuar la totalidad del aire ocluido previo a realizar el pesado.

### d. Cálculos

Para el cálculo del peso específico relativo se usará la ecuación 6.

$$PE_{relativa} = \frac{W_{seca}}{W_{seca} - W_{agua}} \quad (6)$$

Para el peso específico seco al horno se usará la ecuación 7.

$$PE_{seco} = \frac{W_{seca}}{W_{superficie\ seca} - W_{agua}} \quad (7)$$

Para el peso específico con superficie seca se usará la ecuación 8.

$$PE_{superficie\ seca} = \frac{W_{superficie\ seca}}{W_{superficie\ seca} - W_{agua}} \quad (8)$$

Para el porcentaje de absorción, se usará la ecuación 9.

$$\% \text{ Absorción} = \left( \frac{W_{superficie\ seca} - W_{seca}}{W_{seca}} \right) \times 100 \quad (9)$$

Por otro lado, este ensayo se realiza mediante la NTP 400.022 para agregados finos, donde se detallan los pasos a seguir:

### a. Preparación de muestra

Se selecciona una fracción de ensayo representativa del componente granular fino, bajo los lineamientos de la norma técnica. Se recomienda introducir en el picnómetro aproximadamente 500 gr de agregado fino S.S.S. e incorporar el agente de hidratación hasta alcanzar el límite del 90 % de su capacidad.

### b. Eliminación de burbujas de aire

Se debe agitar manualmente el matraz volumétrico con el objetivo de disipar las inclusiones de aire que sean visibles.

### c. Porcentaje de absorción

Para el cálculo de la capacidad de absorción, se tendrá en consideración los pesos del agregado fino en estado superficialmente seco, el peso del matraz más el agua y el peso del matraz con el agregado fino superficialmente seco y el agua.

### d. Cálculos

Mediante la ecuación 10 se determinará el volumen del agregado fino superficialmente seco.

$$\text{Vol. A. F. (SSS)} = \text{Peso A. F. (SSS)} - \text{agregado S. S. S.} \quad (10)$$

Para el cálculo de peso específico del agregado fino en condición seco superficialmente saturado (SSS), se usará la ecuación 11.

$$PE_{\text{agregado S.S.S}} = \frac{\text{Peso agregado S.S.S.}}{\text{Volumen agregado S.S.S.}} \quad (11)$$

Para el cálculo del agua de absorción del agregado fino, se usó la ecuación 12.

$$\text{Agua de absorción} = \text{Peso agregado (SSS)} - \text{Peso agregado seco} \quad (12)$$

Asimismo, para el cálculo de porcentaje de absorción se usará la ecuación 13.

$$\% \text{Absorción} = \frac{\text{Agua de absorción}}{\text{Peso agregado seco}} \times 100 \quad (13)$$

#### 2.2.5.4. Ensayo de peso unitario de agregados

El ensayo de peso unitario de los agregados es un procedimiento que determina la magnitud física del material pétreo contenido en un espacio volumétrico dado, contemplando los intersticios entre las partículas, el cual se cuantifica comúnmente bajo la unidad de  $\text{kg/m}^3$  y varía según el tamaño, forma, textura y compacidad del material.

El presente ensayo de da mediante la NTP 400.017, se detallan los pasos a continuación:

#### **a. Preparación de muestra**

Se escogerá la muestra para llenar el recipiente, y se secará hasta lograr un peso constante con una estufa a  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

#### **b. Elección de procedimiento**

Se considera que en el caso que los componentes granulares posean un diámetro nominal extremo de 37.5 mm o inferior, el proceso se llevará a cabo mediante la compactación por apisonado, mientras que si los agregados tienen una dimensión nominal por encima de los 37.5 mm y menor a 125 mm, se realizará el proceso mediante percusión. En lo que respecta a la densidad aparente en estado suelto, se usará el procedimiento de vaciado libre.

- Procedimiento de apisonado: se llenará un recipiente en tres capas aproximadamente iguales, y se compactará cada estrato aplicando 25 impactos con una varilla de acero, para la capa final se nivelará el área superficial.
- Procedimiento para peso suelto: se verterá el árido dentro del contenedor sin compactarlo, de forma libre y continua desde una altura no mayor a 5 cm, al llenar, se nivelará la superficie sin compactar.
- Procedimiento por percusión: Se llenarán tres capas al igual que el método anterior, sin embargo, en lugar de varillar cada capa, se golpeará a las paredes laterales del contenedor empleando un mazo de goma.

#### **c. Cálculo de datos**

Para obtener la concentración de masa volumétrica según el método técnico elegido, se usará la ecuación 14.

$$M = \frac{G-T}{V} \quad (14)$$

Donde:

M: Densidad de masas del agregado en  $\text{kg/m}^3$

G: M en kg

T: Peso del recipiente en kg

V: Volumen del recipiente en m<sup>3</sup>

Para obtener la densidad de masa en condición de superficie seca, se usará la ecuación 15.

$$M_{SSS} = M \times \left[ 1 + \left( \frac{A}{100} \right) \right] \quad (15)$$

Donde:

$M_{SSS}$ : Densidad de masa en condición superficial seca

A: Porcentaje de absorción

M: Densidad de masa del agregado

## 2.3. Definición de términos

### 2.3.1. Concreto

Material compuesto utilizado en ingeniería estructural, conformado por una mezcla dosificada de cemento hidráulico (como el Portland), agregado fino, agregado grueso y agua, pudiendo incorporar aditivos químicos o minerales para modificar sus propiedades en estado fresco o endurecido (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento., 2019).

### 2.3.2. Cemento tipo IP

Es un tipo de cemento Portland adicionado con puzolana natural o artificial en proporciones de hasta un 15 %, lo que le confiere un tono rojizo característico. Su contenido puzolánico mejora la retención de agua y adherencia, además de prolongar el tiempo de fraguado, siendo útil en aplicaciones que requieren mayor trabajabilidad superficial, como los pisos de concreto (Zambrano et al., 2022).

### 2.3.3. Resistencia a la compresión

Propiedad mecánica fundamental de la mezcla endurecida que expresa su solvencia para tolerar esfuerzos de empuje axial sin fallar por fisuración o aplastamiento. Se determina a través del procedimiento de carga en especímenes cilíndricos, el mismo que permite evaluar su comportamiento estructural bajo cargas estáticas o crecientes (Zambrano et al, 2022).

#### **2.3.4. Durabilidad estructural**

Se refiere al tiempo de servicio útil que mantiene una edificación cumpliendo con las condiciones funcionales y estructurales previstas en su diseño, dependiendo principalmente de la resistencia de los materiales y del adecuado desempeño de los elementos constructivos (Vilca y Condori,2023).

#### **2.3.5. Puzolana**

Material de origen volcánico o sedimentario con alto contenido vítreo, generado por el enfriamiento rápido del magma expulsado durante erupciones. Su uso en la construcción se remonta a la época romana, destacando por su capacidad de reaccionar con la cal libre del cemento, formando compuestos estables que mejoran la durabilidad y resistencia química de los morteros y concretos (Vilca y Condori, 2023).

#### **2.3.6. Construcción**

Se define como un sector de vital importancia, que engloba la planificación, diseño y ejecución de obras civiles, incluyendo infraestructura y edificaciones. Su desarrollo impulsa la economía al generar inversión y demanda de materiales (Vilca y Condori, 2023).

#### **2.3.7. Calidad del concreto**

Representa el grado de conformidad del material con las especificaciones técnicas y normativas vigentes. Su control adecuado mediante ensayos normalizados garantiza un desempeño estructural confiable; en cambio, errores en los procedimientos o en la interpretación de resultados pueden derivar en fallas constructivas (Zambrano et al., 2022).

#### **2.3.8. Agregados**

Constituyen los componentes granulares del concreto y mortero, clasificados en agregado fino (arena) y agregado grueso (grava o piedra chancada). Su calidad, granulometría, limpieza y resistencia influyen directamente en la trabajabilidad, densidad y durabilidad del concreto. Por ello, su selección debe basarse en normas técnicas y ensayos de caracterización física y mecánica (Zambrano et al., 2022).

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Diseño de la investigación

Es experimental, ya que, según Ramos (2021), en este tipo de diseño se manipula una variable para observar su efecto, midiendo los resultados antes y después de la intervención, por lo que en la presente investigación existen dos grupos definidos a comparar, vinculados a la matriz cementicia confeccionada con ligante Yura y CBB, donde ambos grupos serán manipulados para observar el efecto de la procedencia del material aglomerante sobre la solvencia ante esfuerzos de carga axial.

De igual forma, se aplicará la misma metodología de ensayo a ambos grupos, lo cual garantizará que la valoración del indicador de respuesta, es decir, la aptitud resistente ante la rotura de las probetas, sea igualitaria en ambos casos.

### 3.2. Acciones y actividades

La presente investigación pretende realizar un análisis comparativo de los cementos Tipo IP de origen peruano (Cemento Yura) y origen chileno (Cemento CBB), para verificar su influencia en la resistencia a la compresión del concreto a través de su desempeño mecánico, el cual, de acuerdo a la hipótesis planteada, se espera que varíe según la composición, procedencia y procesos de fabricación de ambos cementos.

Estas variaciones afectarán directamente el progreso de la capacidad portante de la mezcla a las edades de una, dos y cuatro semanas. Para determinar dicha influencia, se realizará el estudio en condiciones controladas del laboratorio, utilizando una metodología establecida según lo indicado en las Normas Técnicas Peruanas, en la normativa del Comité ACI-211 y normas ASTM correspondientes a cementos portland tipo IP, calculando la carga máxima soportada por los testigos cilíndricos fabricados con cada cemento de origen peruano y chileno respectivamente.

Las acciones y actividades a realizar se detallan de manera secuencial:

#### a. Revisión bibliográfica

Se realizará la revisión exhaustiva de las normas técnicas aplicables a los ensayos que se realizarán a los agregados, al cemento y al concreto:

- NTP 400.037: AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos
- NTP 339.185: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.
- NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- NTP 400.021: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso.
- NTP 400.022: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.
- NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos de los agregados.
- NTP 334.009: CEMENTO. Cementos Portland. Requisitos
- NTP 339.034: CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.
- NTP 339.183: CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
- NTP 339.035: Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón en el cono de Abrams

Asimismo, se sistematizará información sobre las características de los cementos Yura y CBB como base para el análisis experimental. El principal método para ello será la recolección de las fichas técnicas oficiales de los fabricantes, identificando las características claves tales como:

- Contenido de puzolana (en %)
- Cumplimiento de normativas específicas
- Densidad aparente
- Finura ( $\text{cm}^2/\text{g}$  o  $\text{m}^2/\text{kg}$ )
- Recomendaciones de uso
- Resistencia mínima garantizada a los 7, 14 y 28 días.
- Tiempo de fraguado

**b. Adquisición de materiales**

Se recolectarán los insumos y se verificará la disposición de los equipos necesarios, lo cual abarca la compra de los cementos Yura y CBB, así como la adquisición de los agregados en las canteras disponibles en la ciudad de Tacna, la completa disposición de una fuente de agua potable y todos aquellos instrumentos de laboratorio que se requerirán para realizar los ensayos a los agregados, cemento y al concreto.

**c. Ensayos a agregados**

En esta etapa se realizarán los ensayos de laboratorio necesarios para caracterizar física y mecánicamente los componentes granulares finos y gruesos que se utilizarán en la producción de la matriz cementicia. Los resultados permitirán obtener parámetros fundamentales para el diseño de la mezcla y asegurar la calidad de los materiales empleados.

Dichos ensayos se realizarán conforme a e a los lineamientos de la Normativa Técnica Peruana, los cuales de igual manera se basan en las normativas ASTM, tal como se especificaron los procedimientos detallados en las bases teóricas, de forma que cada uno de estos ensayos será documentado con sus respectivas hojas de laboratorio, registros de mediciones, cálculos y análisis.

**d. Diseño de la experimentación**

Se planificará la dosificación de la mezcla estableciendo los volúmenes proporcionales de los constituyentes del hormigón usando el Método ACI 211, el cual se detalló previamente en las bases teórica, para el cual se determinarán los parámetros de control como la relación  $a/c$ , tamaño de agregado, entre otros, y se definirá el número de muestras, es decir, las probetas, por cada marca de ligante hidráulico y para cada intervalo edad de maduración.

**e. Elaboración de muestras**

Se producirán las muestras de concreto con las mismas condiciones de dosificación y preparación, usando los cementos tipo IP de origen nacional (Yura) e internacional (CBB), con el fin de someterlas a las pruebas de capacidad portante ante esfuerzos axiales.

#### **f. Ensayos de resistencia**

Durante esta fase operativa se evaluará la resistencia mecánica a la rotura por carga de los especímenes cilíndricos de concreto elaborados con los sellos comerciales de Yura y CBB de origen peruano y chileno respectivamente. El objetivo principal es determinar la resistencia real alcanzada a los 7, 14 y 28 días de curado, con el fin de establecer comparaciones objetivas entre el desempeño de cada cemento en estudio.

#### **g. Análisis de resultados**

En este periodo de procesamiento se procesarán y evaluarán los datos obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión realizados a las probetas de concreto elaboradas con las marcas de cemento Yura y CBB, de forma que el análisis permitirá determinar si existen diferencias significativas en el comportamiento mecánico del concreto en función del tipo de cemento utilizado. Dentro de las actividades contempladas se incluye la organización de los resultados agrupados de acuerdo a la edad del concreto, se elaborarán gráficos comparativos considerando la evolución de la resistencia del concreto en función al tiempo para cada marca de cemento. Asimismo, se interpretarán los resultados en función al comportamiento observado.

#### **h. Redacción y presentación de resultados**

Esta etapa final comprende la sistematización y documentación de toda la información obtenida a lo largo del proceso experimental, con el objetivo de plasmar los resultados de forma clara y ordenada, siguiendo el manual de investigación proporcionado por la Universidad Privada de Tacna, considerando la redacción de los resultados, elaboración de conclusiones y recomendaciones, revisión del documento en formato APA y la presentación del trabajo de investigación ante el asesor y jurado evaluador.

### **3.3. Materiales e instrumentos**

#### **3.3.1. Materiales**

Los materiales a usar son los siguientes:

- Agregado fino: Consistirá en arena natural, arena manufacturada o combinación de ambas de acuerdo a la NTP 400.037 2018.
- Agregado grueso: Consistirá en grava o piedra chancada de acuerdo a la NTP 400.037 2018.

- Agua potable: debe cumplir con las especificaciones establecidas en la Norma Técnica Peruana NTP 339.088, siendo preferible que esta sea potable.
- Balanza digital
- Baldes plásticos
- Cemento CBB Tipo IP: Cemento Portland puzolánico producido por la empresa Cementos Bío Bío en Chile, con incorporación de materiales silíceos, diseñado para brindar resistencia progresiva y adecuada trabajabilidad en condiciones comunes de obra.
- Cemento Yura Tipo IP: Cemento Portland con adición de puzolana natural, fabricado por la empresa Yura S.A. en Perú, utilizado en obras generales por su buena resistencia y durabilidad frente a ambientes agresivos.
- Estufa con temperatura de  $\pm 105$  °C
- Flexómetro (wincha)
- Guantes
- Horno de laboratorio
- Juego de tamices o mallas de tamizado: N°100, N°50, N°30, N°16, N°8, N° 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1", 1 1/2", 2", 2 1/2", 3", 3 1/2" y 4".
- Lentes de seguridad
- Máquina de ensayo a compresión uniaxial
- Martillo de goma
- Moldes cilíndricos metálicos para obtención de especímenes de concreto
- Molde cónico
- Palas y cucharones
- Probetas milimetradas
- Varilla de compactación
- Trompo mezclador
- Varilla de compactación

### **3.3.2. Instrumentos**

Los Instrumentos a usar son los siguientes:

- El instrumento a usar para la caracterización física será la ficha de registro de datos técnicos y resultados de laboratorio, elaborada en función de normas técnicas vigentes, debido a que recopila de manera

sistemática información sobre las propiedades físicas y mecánicas de los cementos IP, tales como finura, tiempo de fraguado, peso específico y resistencia a la compresión del concreto elaborado con cada tipo de cemento, obtenidas mediante ensayos normalizados (ASTM y NTP).

- La ficha de registro facilitará la comparación objetiva entre los distintos cementos IP evaluados, garantizando la validez y confiabilidad de los datos utilizados en el análisis estadístico y en la interpretación de los resultados de la investigación.

### **3.4. Población y muestra de estudio**

#### **3.4.1. Población**

Según Fachelli y López-Roldán (2015), se entiende por población en el contexto de la investigación, al conjunto completo de elementos que forman parte del ámbito de interés en un análisis, siendo dichos elementos individuos, objetos o eventos relevantes para el estudio. Además, se habla en particular de la población como “el conjunto preciso de unidades del que se extrae la muestra”. (p. 7).

En el presente caso, la población está constituida por todas las marcas de cemento tipo IP disponibles en el mercado de Tacna, principalmente aquellas que son utilizadas típicamente en las construcciones de edificaciones, por lo que, la población va referida a las empresas productoras y distribuidoras de cemento tanto nacionales como internacional que cumplan con las normas técnicas vigentes.

#### **3.4.2. Muestra**

De acuerdo a Fachelli y López-Roldán (2015), la muestra es una parte representativa del conjunto total que denominamos población, la cual “se somete a un análisis u observación científica con el objetivo de obtener resultados válidos que puedan aplicarse al universo total investigado”. (p. 7).

En el presente caso, se realizará un muestreo no probabilístico intencional, el cual, según Manterola y Otzen (2017) definen a este tipo de muestreo como “aquel que selecciona casos característicos de una población, de modo que sean los que más convengan al equipo investigador para conducir la investigación”. A razón de ello, la muestra estará conformada por los grupos de especímenes cilíndricos de concreto elaborados específicamente con el cemento Yura y cemento CBB ensayados a edades

de 7, 14 y 28 días, siendo 6 muestras cilíndricas para cada edad de cemento CBB y Yura.

### 3.5. Operacionalización de variables

La Tabla 7 muestra la operacionalización de las variables, el cual permite medir las variables más representativas, es decir, la dependiente e independiente, de la investigación mediante el desglose, separación y análisis de cada variable en sus componentes más específicos, a fin de “conocer qué instrumento o herramienta se debe utilizar para obtener resultados claros y verídicos de la variable” (Coronel-Carvajal, 2023).

**Tabla 7**

*Operacionalización de variables de investigación*

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Cementos tipo IP	Conglomerante con adiciones puzolánicas	Marca del cemento	Compuestos del cemento	Escala Nominal	Análisis documental de la ficha técnica del producto con respecto a los compuestos químicos presentes en el cemento
			Calidad de los materiales	Escala Ordinal	Categorización con respecto a la revisión del certificado de calidad del fabricante: a. Conforme: Todos los parámetros cumplen lo exigido en la NTP 334.090 b. Parcialmente conforme: Algunos parámetros están fuera de lo indicado en la NTP 334.090 o faltan datos c. No conforme: Varios parámetros están fuera de lo indicado en la NTP 334.090 y el cemento no cuenta con certificado válido

(continúa)

Tabla 7 (continuación)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
			Marca del cemento	Escala de razón	Revisión de ficha técnica del cemento
			Porcentaje y tipo de puzolana	Escala Nominal	Categorización del tipo de puzolana: natural o artificial
					Aplicación del procedimiento para diseño de mezclas: 1. Selección del asentamiento 2. Selección del TM del agregado 3. Estimación de contenido de agua y aire en la mezcla 4. Selección de relación a/c 5. Cálculo del contenido de cemento 6. Estimación del contenido de agregado grueso 7. Estimación del contenido de agregado fino 8. Ajustes por humedad de los agregados 9. Ajustes en la mezcla de prueba
Cementos tipo IP	Conglomerante con adiciones puzolánicas	Dosificación	Método ACI 211	Escala Nominal	
			Relación agua/cemento	Escala de razón	Cálculo directo mediante la aplicación del método ACI 211
			Proporción y tipo de agregado	Escala de razón Escala de nominal	Hoja de cálculo de diseño de mezcla Categorización por su origen (natural o manufacturado), por tamaño de partícula (fino o grueso), por peso específico (ligero, normal, pesado)
			Cantidad de cemento por m <sup>3</sup> de concreto	Escala de razón	Hoja de cálculo de diseño de mezcla

(continúa)

Tabla 7 (continuación)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Cementos tipo IP	Conglomerante con adiciones puzolánicas	Métodos de ensayo	Ensayo de granulometría de los agregados	Escala de razón	Ensayo normalizado de laboratorio de acuerdo a NTP 339.128 (uso de tamices, balanza y ficha de resultados)
			Ensayo de contenido de humedad	Escala de razón	Ensayo normalizado de laboratorio de acuerdo a NTP 339.185 (uso de horno, balanza, bandeja y ficha de resultados)
			Ensayo de peso específico y absorción de agregados	Escala de razón	Ensayo normalizado de laboratorio de acuerdo a NTP 400.021 y NTP 400.022 (uso de balanza, bandeja, estufa, probeta graduada, molde cónico, barra, tamices, cesta de malla, tanque de agua y ficha de resultados)
			Ensayo de peso unitario de agregados	Escala de razón	Ensayo normalizado de laboratorio de acuerdo a NTP 400.017 (uso de balanza, barra, recipiente de medida, pala de mano, placa de vidrio y ficha de resultados)
			Ensayo de consistencia	Escala de razón	Ensayo para la medición del asentamiento con el cono de Abrams de acuerdo a NTP 339.035 (molde cónico y barra de acero)

(continúa)

Tabla 7 (continuación)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Escala	Técnicas o métodos
Resistencia del concreto	Capacidad del concreto endurecido para resistir cargas	Edad del concreto	Resistencia a los 7 días	Escala de razón	Ensayo de elaboración y curado de probetas cilíndricas de acuerdo a NTP 339.033 y ensayo de compresión axial en muestras cilíndricas de acuerdo a NTP 339.034 (uso de moldes cilíndricos y máquina a compresión axial)
			Resistencia a los 14 días	Escala de razón	
			Resistencia a los 28 días	Escala de razón	
		Rigidez del concreto	Módulo de elasticidad	Escala de razón	Aplicación de fórmulas de ACI 318-19, ítem 19.2.2, para cálculo de módulo de elasticidad (uso de memoria de cálculo en Excel)

*Nota.* La tabla presenta las variables con los indicadores más representativos de la investigación

### 3.6. Técnicas de procesamiento y análisis estadístico

Con el propósito de evaluar la información recolectada durante las pruebas de capacidad portante ante esfuerzos axiales de la matriz cementicia correspondiente al ligante Yura Tipo IP y el conglomerante Cbb Tipo IP, se utilizarán las siguientes técnicas:

- Estadística descriptiva: mediante la organización en tablas se recopilarán los datos de resistencia ( $\text{kg/cm}^2$ ) de los cilindros ensayados a 7, 14 y 28 días, para cada tipo de cemento, y se realizará el cálculo de las medidas de tendencia central como la media, mediana y moda; cálculo de parámetros de dispersión como desviación estándar, varianza y coeficiente de variación; y la representación gráfica mediante diagramas de barras y curvas de evolución.

- Estadística inferencial: mediante la aplicación del test de Shapiro-Wilk, se verificará la normalidad de los resultados obtenidos por cada edad tanto para Yura como Cbb.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Verificación de requisitos

#### 4.1.1. Yura

De acuerdo a las especificaciones de la ficha técnica del cemento YURA tipo IP del Anexo 2, se tienen los siguientes requisitos químicos, físicos y la resistencia a la compresión, así como la verificación de cumplimiento de cada requisito en base a la NTP 334.090 en la Tabla 8.

**Tabla 8**

*Verificación de requisitos de cemento YURA tipo IP según NTP 334.090*

	Requisitos	Unidad	NTP 334.090	Ficha técnica cemento Yura tipo IP	Cumple	No cumple
<b>Requisitos químicos</b>	Óxido de magnesio	%	máximo 6,0	1,5 a 3,0	X	
	Trióxido de azufre	%	máximo 4,0	1,5 a 3,0	X	
	Pérdida de ignición	%	máximo 5,0	1,5 a 4,0	X	
	Densidad	g/cm <sup>3</sup>	-	2,70 2,8	X	
<b>Requisitos físicos</b>	Contracción/Expansión en Autoclave	%	-0.20 a 0,80	-0,09 a 0,05	X	
	Tiempo de fraguado inicial Vicat	minutos	45 a 420	140 a 260	X	
	Contenido de aire	%	máximo 12	3 a 8	X	
<b>Resistencia a la compresión</b>	3 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 133	150 a 210	X	
	7 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 204	210 a 240	X	
	28 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 255	290 a 360	X	

*Nota.* La ficha técnica de CBB brinda rangos estimados con respecto a cada requisito

#### 4.1.2. Cbb

De acuerdo a las especificaciones de la ficha técnica del cemento Cbb tipo IP del Anexo 3, se tienen los siguientes requisitos químicos, físicos y la resistencia a la compresión, así como la verificación de cumplimiento de cada requisito en base a la NTP 334.090 en la Tabla 9.

**Tabla 9**

Verificación de requisitos de cemento CBB tipo IP según NTP 334.090

	Requisitos	Unidad	NTP 334.090	Ficha técnica cemento Cbb tipo IP	Cumple	No cumple
<b>Requisitos químicos</b>	Óxido de magnesio (MgO)	%	máximo 6,0	2,60	X	
	Trióxido de azufre	%	máximo 4,0	2,00	X	
	Pérdida de ignición	%	máximo 5,0	3,30	X	
<b>Requisitos físicos</b>	Densidad	g/cm <sup>3</sup>	-	2,96	X	
	Contracción/Expansión en Autoclave	%	-0.20 a 0.80	0,08	X	
	Tiempo de fraguado inicial Vicat	minutos	45 a 420	162 a 250	X	
<b>Resistencia a la compresión</b>	Contenido de aire	%	máximo 12	-	X	
	3 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 133	187,63	X	
	7 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 204	223,32	X	
	28 días	kgf/cm <sup>2</sup>	mínimo 255	298,78	X	

*Nota.* La ficha técnica de YURA toma en cuenta rangos de aceptación considerando también la norma ASTM C595.

## 4.2. Ensayos estándares

De acuerdo a la revisión bibliográfica, se tomaron en cuenta las diferentes normas técnicas peruanas para cada ensayo realizado, obteniendo los siguientes resultados.

### 4.2.1. Granulometría de agregado grueso

Para la granulometría del árido grueso, inicialmente se desarrolló el cuarteo del material para obtener una porción representativa, tal como se observa en la Figura 5.

**Figura 5**

*Cuarteo de la muestra de Agregado Grueso*



*Nota.* Para el cuarteo del agregado grueso se tomó una muestra general al azar.

Seguidamente, se pesó la muestra en una tara de acuerdo a la Figura 6 y se registró una porción representativa total de agregado grueso de 5 937 g, la cual se puede verificar en la Figura 7.

### Figura 6

*Registro del peso de la muestra del Agregado grueso*



*Nota.* Para el peso del agregado no se tomó en cuenta el peso de la bandeja.

### Figura 7

*Peso del agregado grueso para el ensayo de granulometría*



*Nota.* Para el pesado del agregado grueso se utilizó una balanza digital calibrada.

Se realizó el tamizado de la porción representativa del árido grueso, para el cual se utilizaron los tamices de 1", ¾", ½", 3/8", N°4 y N°8 de acuerdo a la Figura 8, considerando una muestra total de 5 937 gr especificada en la Tabla 10, de la cual hubo un porcentaje de pérdida del 0,98 % de agregado después de realizar el tamizado.

**Figura 8**

*Tamizado del agregado grueso desde la malla 1" hasta N° 8*



*Nota.* El tamizado del agregado grueso se realizó durante 10 minutos para obtener una gradación aceptable.

**Tabla 10**

*Granulometría del Agregado Grueso*

<b>Análisis granulométrico del agregado grueso</b>						
Peso original (gr)		5 937,00				
Pérdida por lavado tamizado (gr)		..... 5 879,00				
Tamiz	Abertura mm	Peso ret. grs	% Peso reten.	% Acum. pasa	% Acum. Reten.	
1"	25,00	0,00	0,00	100,00	0,00	
¾"	19,00	865,00	14,71	85,29	14,71	
½ "	12,50	3618,00	61,54	23,75	76,25	
3/8 "	9,50	846,00	14,39	9,36	90,64	
N° 4	4,75	544,00	9,25	0,10	99,90	
N° 8	2,36	0,00	0,00	0,10	99,90	
	Platillo	6,00	0,10	0,00	100,00	
	Sumatoria	5 879,00	100,00			

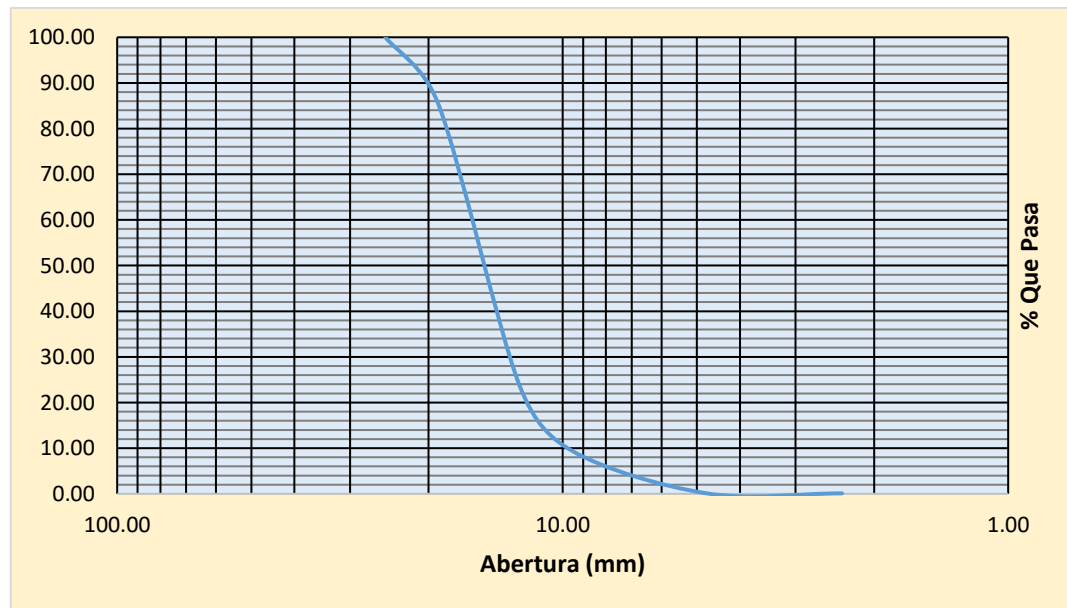
*Nota.* Posterior del tamizado del agregado grueso se considera una pérdida aceptable menor al 1%.

De la tabla de granulometría se pudo determinar que el tamaño máximo de árido grueso se encuentra en el tamiz de 1", mientras que el tamaño máximo nominal en el tamiz de  $\frac{3}{4}$ ".

Así mismo, de acuerdo a la granulometría se pudo obtener la curva granulométrica de la Figura 9.

**Figura 9**

*Curva granulométrica del Agregado Grueso*



Seguidamente, se pesó la muestra en una tara de acuerdo a la Figura 11 y se obtuvo una muestra total de agregado grueso de 500 gr.

### Figura 11

*Peso del agregado fino para el ensayo de granulometría*



*Nota.* La cantidad de muestra se tomó considerando que la muestra mínima es de 300 gr.

Según la Figura 12, se realizó el tamizado, donde se utilizaron los tamices N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200, considerando una muestra total de 500,2 g de acuerdo a la Tabla 11, de la cual hubo un porcentaje de pérdida del 0,46 % de agregado después de realizar el tamizado.

### Figura 12

*Tamizado de agregado fino del tamiz N°8 hasta N°200*



*Nota.* El tamizado del agregado fino se realizó durante 10 minutos.

Tabla 11

Análisis granulométrico del agregado fino					
peso original		500,00			
perdida por lavado		.....			
tamizado		497,70			
tamiz	abertura	peso ret.	% peso	% acum.	% acum.
	mm	grs	reten.	pasa	reten.
N° 8	2,36	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 16	1,18	247,20	49,67	50,33	49,67
N° 30	0,60	82,70	16,62	33,72	66,28
N° 50	0,30	109,00	21,90	11,81	88,19
N° 100	0,15	54,60	10,97	0,84	99,16
N° 200	0,075	4,00	0,80	0,04	99,96
	plátalo	0,20	0,04	0,00	100,00
	sumatoria	497,70	100,00		

Tabla de Granulometría del Agregado Fino

Nota. Posterior del tamizado del agregado fino se considera una pérdida aceptable menor al 1%.

De la tabla de granulometría se extrajeron datos para poder obtener el módulo de finura del árido fino mediante la ecuación 16.

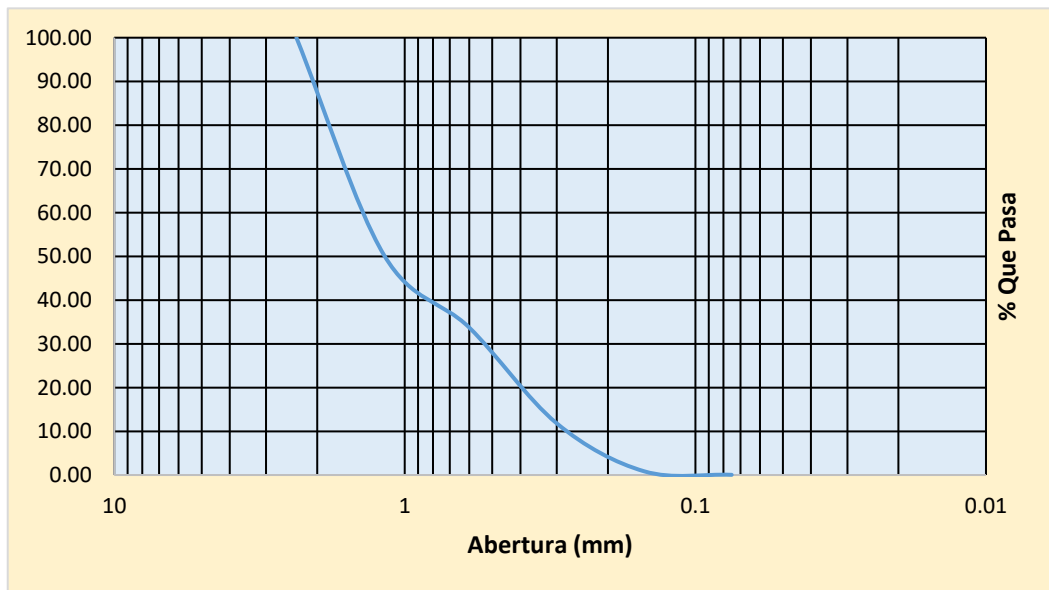
$$MF = \frac{\sum \%retenido\ acumulado (6'' + 3'' + 1\frac{1}{2}'' + 3/4'' + 3/8'' + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100} \quad (16)$$

$$MF = \frac{0 + 49,67 + 66,28 + 88,19 + 99,16}{100} = 3,033$$

Se determinó que el módulo de finura del árido fino corresponde a 3,033. Así mismo, de acuerdo a la granulometría se pudo obtener la curva granulométrica de la Figura 13.

**Figura 13**

*Curva Granulométrica del Agregado Fino*



*Nota.* La curva granulométrica del agregado fino se encuentra en escala logarítmica.

#### 4.2.3. Ensayo de contenido de humedad

Respecto al árido fino, se desarrolló el cuarteo según se observa en la Figura 14, y se ensayó una porción de muestra representativa de 460 g de arena gruesa de acuerdo a la Figura 15, considerándose como agregado húmedo. Dicha muestra fue llevada al horno en el cual estuvo 24 horas a 110 °C, para luego tomar su peso como muestra seca, resultando en 449 gr tal como se ve en la Figura 16.

**Figura 14**

*Cuarteo de muestra de agregado fino para el ensayo de contenido de humedad*



**Figura 15**

*Peso del agregado fino para el ensayo de contenido de humedad*



*Nota.* Para el pesado de la muestra no se consideró el peso de la bandeja.

**Figura 16**

*Peso de agregado fino luego de secado al horno*



*Nota.* Previo a pesar el agregado se esperó a que el agregado se encuentre a temperatura ambiente.

Mediante la aplicación de la ecuación 5 mencionada anteriormente, se obtuvo la humedad evaporable de la muestra, expresado en porcentaje.

$$P = 100 \times \frac{W - D}{D}$$

$$P = 100 \times \frac{460 - 449}{449} = 2,45\%$$

En la Tabla 12 se señalan los datos y el resultado obtenido para porcentaje de contenido de humedad, siendo de 2,45 %.

**Tabla 12**

*Tabla resumen de ensayo de Contenido de Humedad de agregado fino*

<b>Cantera:</b>		<b>Arunta</b>
<b>Muestra</b>		<b>Agregado fino (gr)</b>
<b>W:</b>	Peso del agregado húmedo (gr)	460,00
<b>D:</b>	Peso del agregado seco (gr)	449,00
<b>P:</b>	Contenido de humedad (%)	<b>2,45</b>

*Nota.* Para los datos del ensayo de contenido de humedad del agregado fino se tomaron las variables descritas en la NTP 339.185

De igual modo, para el ensayo de contenido de humedad de agregado grueso, se ensayó una muestra de 930 g de piedra chancada según la Figura 17, considerándose como agregado húmedo. Dicha muestra fue llevada al horno tal como se observa en la Figura 18, en el cual estuvo 24 horas a 110 °C, para luego tomar su peso como muestra seca, resultando en 927 gr de acuerdo a la Figura 19.

**Figura 17**

*Peso del agregado grueso para el ensayo de contenido de humedad*



*Nota.* Para el pesado del agregado se tomó una muestra entre 800 y 1000 gr.

**Figura 18**

*Colocación de bandejas con agregados al horno por 24 horas a 110°C*



*Nota.* El horno se encontraba a una temperatura de 110°C según la NTP 339.185.

**Figura 19**

*Peso del agregado grueso seco al horno*



*Nota.* Para el registro del peso del agregado para el ensayo de contenido de humedad se esperó a que estuviera a temperatura ambiente.

Igualmente, mediante la aplicación de la ecuación 5, se obtuvo el porcentaje de contenido de humedad evaporable de la muestra.

$$P = 100 \times \frac{W - D}{D}$$

$$P = 100 \times \frac{930 - 927}{449} = 0,32\%$$

En la Tabla 13 se señalan los datos y el resultado obtenido para porcentaje de contenido de humedad, siendo de 0,32 %.

**Tabla 13**

*Tabla resumen de ensayo de Contenido de Humedad de agregado grueso*

<b>cantera:</b>		<b>Arunta</b>
<b>muestra</b>		<b>agregado grueso (g)</b>
<b>W:</b>	Peso del agregado húmedo (gr)	930,00
<b>D:</b>	Peso del agregado seco (gr)	927,00
<b>P:</b>	Contenido de humedad (%)	<b>0,32</b>

*Nota.* Para los datos del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso se tomaron las variables descritas en la NTP 339.185

#### **4.2.4. Ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso**

Para el ensayo de peso específico y absorción, se siguieron los pasos descritos anteriormente en las bases teóricas, iniciando con el cuarteo del agregado grueso y la toma de una muestra general representativa de 3 kg según la Figura 20, la cual se sumergió en agua durante 24 horas tal como se observa en la Figura 21, para luego extraer una porción más pequeña de la muestra, la cual se esparció en una bandeja metálica y se secó el agua superficial con una franela como en la Figura 22 hasta llegar al punto de superficialmente seco. Seguidamente se registró la cantidad de la muestra, siendo de 1 929 g.

**Figura 20**

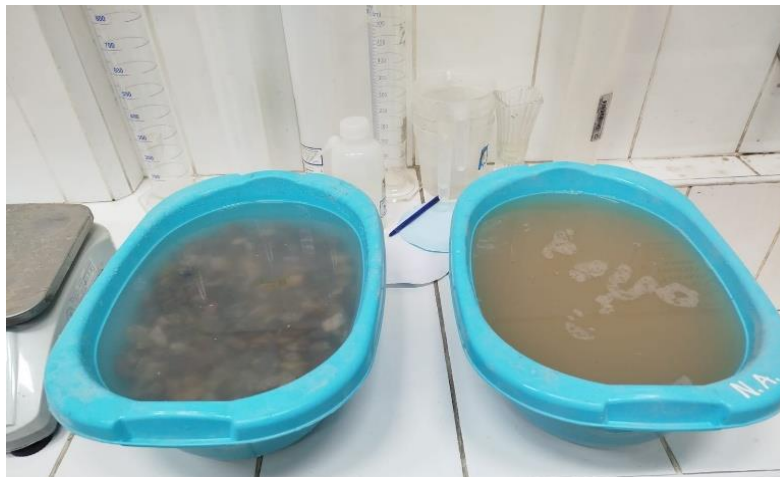
*Muestra de agregado grueso para ensayo de peso específico*



*Nota.* La muestra del agregado grueso para el ensayo de peso específico se tomó al azar

**Figura 21**

*Inmersión en agua del agregado fino y grueso*



*Nota.* La inmersión en el agua se realizó durante 24 horas para obtener el estado saturado.

**Figura 22**

*Agregado grueso en estado superficialmente seco*



*Nota.* El estado superficialmente seco del agregado grueso se alcanzó secando el exceso de agua.

Con el uso del equipo de inmersión, la muestra se llevó a una canastilla con rejillas metálicas y se anotó su peso suspendido en el aire, siendo de 1 929 g. Seguidamente, la canastilla con la muestra fue sumergida a un recipiente con agua siendo sujeta por la balanza tal como se observa en la Figura 23 para registrar el peso de 1 073,8 g.

**Figura 23**

*Muestra sumergida en canastilla metálica con agua*



*Nota.* El equipo de inmersión consta de una canastilla sujeta a un gancho que se une a una balanza calibrada.

Posteriormente, la muestra se llevó al horno durante 24 horas a 110 °C, y luego se registró su peso en estado seco, siendo de 1 912,9 gr.

Para determinar este cálculo, se aplicó la ecuación 6.

$$PE_{SSS} = \frac{W_{superficie\ seca}}{W_{superficie\ seca} - W_{agua}} \quad (6)$$

$$PE_{SSS} = \frac{1\ 929}{1\ 929 - 1\ 073,8} = 2,26\ \text{gr/cm}^3$$

3

Se obtiene que el peso específico relativo del agregado grueso es de 2,26 gr/cm<sup>3</sup> dato que se visualiza de igual manera en la Tabla 14.

**Tabla 14**

*Tabla resumen de peso específico en base al agregado saturado superficialmente seco*

<b>Ensayo de peso específico de la grava</b>	
NTP 400.021	
<b>Peso específico en base al agregado saturado superficialmente seco</b>	
Muestra nº	1
A: Peso de la muestra secada en horno (gr)	1 912,0
B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	1 929,0
C: Peso de la muestra sumergida en agua (gr)	1 073,8
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,26</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 1 para el agregado grueso en estado SSS se consideraron tomando en cuenta la NTP 400.021.

Para el cálculo de peso específico seco al horno se aplicó la ecuación 7.

$$PE_{seco} = \frac{1\ 912}{1\ 929 - 1\ 073,8} = 2,24\ \text{gr/cc}$$

Se obtiene que el peso específico relativo del agregado grueso es de 2,24 g/cc, dato que se visualiza de igual manera en la Tabla 15.

**Tabla 15**

*Tabla resumen de peso específico en base al agregado secado al horno*

<b>Ensayo de peso específico de la grava</b>	
NTP 400.021	
<b>Peso específico en base al agregado secado al horno</b>	
Muestra nº	1
A: Peso de la muestra secada en horno (gr)	1 912,0
B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	1 929,0
C: Peso de la muestra sumergida en agua (gr)	1 073,8
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.24</b>	

*Nota.* Los datos de la muestra 1 para el árido grueso en estado seco se consideraron tomando en cuenta la NTP 400.021.

Para el cálculo de peso específico aparente se usará la ecuación 8.

$$PE_{relativa\ aparente} = \frac{W_{seco}}{W_{seco} - W_{agua}} \quad (8)$$

$$PE_{relativa\ aparente} = \frac{1\ 912}{1\ 912 - 1\ 073,8} = 2,28\ \text{gr/cm}^3$$

Se obtiene que el peso específico aparente del agregado grueso es de 2,28 gr/cm<sup>3</sup> dato que se visualiza de igual manera en la Tabla 16.

**Tabla 16**

*Tabla resumen de peso específico aparente*

<b>Ensayo de peso específico de la grava</b>	
NTP 400.021	
<b>peso específico aparente</b>	
Muestra Nº	1
A: Peso de la muestra secada en horno (gr)	1 912,0
B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	1 929,0
C: Peso de la muestra sumergida en agua (gr)	1 073,8
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	
<b>2.28</b>	

*Nota.* Los datos de la muestra 1 para el árido grueso de peso específico aparente se consideraron tomando en cuenta la NTP 400.021.

Para el % de absorción, se usará la ecuación 9.

$$\% \text{ Absorción} = \left( \frac{W_{\text{superficie seca}} - W_{\text{seca}}}{W_{\text{seca}}} \right) \times 100 \quad (9)$$

$$\% \text{ Absorción} = \left( \frac{1\ 929 - 1\ 912}{1\ 912} \right) \times 100$$

$$\% \text{ Absorción} = 0,89$$

Se obtiene que el % de absorción del árido grueso es de 0,89 %

**Tabla 17**

*Tabla resumen de porcentaje de absorción del agregado grueso*

<b>Ensayo de absorción del agregado grueso</b>	
NTP 400.021	
Muestra n°	1
A: Peso de la muestra secada en horno (gr)	1 912,0
B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	1 929,0
C: Peso de la muestra sumergida en agua (gr)	1 073,8
<b>Absorción (%)</b>	<b>0,89</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 1 para el porcentaje de absorción del agregado grueso se consideraron tomando en cuenta la NTP 400.021.

#### **4.2.5. Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino**

Se siguieron los lineamientos descritos previamente según las bases teóricas. Inicialmente, se procesó el espécimen en un recipiente de geometría cónica como se ilustra en la Figura 24, a fin de determinar la saturación con superficie seca del árido de menor tamaño (SSS), para luego adicionar agua al agregado y generar una mezcla homogénea hasta llegar a un estado que sobrepase al SSS. Seguidamente, se vació la mezcla en el molde cónico y se aplicaron 25 impactos en caída libre empleando una barra metálica de punta plana a una altura de 5 mm hasta el ras del molde. Posteriormente se retiró el molde cónico, de forma que la muestra llegó al estado SSS.

Luego, se efectuó el pesaje de dos muestras de 350,10 g y 350,40 g correspondientes a la muestra 1 y 2, ambas muestras se pasaron por el tamiz N°4 y se vaciaron en matraces de vidrio de acuerdo a las especificaciones de los técnicos laboratoristas. Seguidamente los matraces se llenaron de agua hasta la capacidad calibrada tal como se observa en la Figura 25 y se realizaron oscilaciones manuales al frasco volumétrico con el propósito de que se disipen las inclusiones gaseosas de aire confinado, por lo que también se empleó el uso de baño María durante 5 minutos para

cada matraz según la Figura 26. Posterior a ello, se dejaron reposar ambas muestras durante 24 horas.

**Figura 24**

*Muestra de agregado fino en estado saturado superficialmente seco*



*Nota.* Para la verificación del estado superficialmente seco la arena gruesa debía estar en un punto medio entre seco y húmedo

**Figura 25**

*Llenado de matraces con agua hasta capacidad calibrada*



*Nota.* Para el llenado de agua se requiere un embudo o jarra con boquilla para evitar el derrame y esparcimiento del agregado

**Figura 26**

*Uso de baño María para eliminación de burbujas de aire*



*Nota.* El baño María calienta el agua eliminando las burbujas atrapadas entre las partículas del agregado fino.

Los datos principales registrados fueron el peso del matraz + agregado S.S.S + agua, realizando este procedimiento para cada muestra, obteniéndose los pesos de 879,60 g y 870,70 g respectivamente. Del mismo modo, se registró el peso del matraz junto con el agua para ambas muestras, obteniéndose 662,90 gr y 653,40 g.

Para el cálculo del Volumen Agregado S.S.S. se usará la ecuación 10.

Para la muestra N° 1, se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{Vol. A. F. (SSS)} = (350,10) + (662,90) - (879,60)$$

$$\text{Vol. A. F. (SSS)} = 133,4$$

Para la muestra N° 2, se obtuvo el siguiente resultado:

$$\text{Vol. A. F. (SSS)} = (350,40) + (653,40) - (870,70)$$

$$\text{Vol. A. F. (SSS).} = 133,1$$

Para el cálculo de Peso Específico del agregado fino SSS, se usará la ecuación 11.

$$PE_{\text{agregado S.S.S}} = \frac{\text{Peso agregado S. S. S.}}{\text{Volumen agregado S. S. S.}} \quad (11)$$

Para la muestra N° 1 se obtuvo el siguiente resultado.

$$PE_{\text{agregado S.S.S}} = \frac{350,10}{133,4}$$

$$PE_{\text{agregado S.S.S}} = 2,624 \text{ gr. cc.}$$

Para la muestra N° 2 se obtuvo el siguiente resultado.

$$PE_{\text{agregado S.S.S}} = \frac{350,40}{133,1}$$

$$PE_{\text{agregado S.S.S}} = 2,633 \text{ gr. cc.}$$

Finalmente se realizó el promedio del peso específico correspondiente a las dos muestras.

$$PE_{\text{agregado S.S.S}} = \frac{2,624 + 2,633}{2} = 2,629 \text{ gr. cc.}$$

La Tabla 18 muestra el resumen de los datos obtenidos para la muestra N° 1

**Tabla 18**

*Resultados de ensayo de peso específico del agregado fino para muestra N° 1*

<b>Ensayo de peso específico del agregado fino</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
Muestra n°	1
A: Peso picnómetro + agregado S.S.S. + Agua (gr)	879,60
B: Peso picnómetro + Agua (gr)	662,90
C: Peso agregado S.S.S (gr)	350,10
D: Volumen agregado S.S.S (cm <sup>3</sup> )	133,40
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,624</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 1 se obtuvieron de acuerdo a lo indicado en la NTP 400.022

De igual manera, en la Tabla 19 se muestra el resumen de los datos obtenidos para la muestra N° 2.

**Tabla 19**

*Resultados de ensayo de peso específico del agregado fino para muestra N° 2*

<b>Ensayo de peso específico del agregado fino</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
Muestra n°	2
A: Peso picnómetro + agregado S.S.S. + Agua (gr)	870,70
B: Peso picnómetro + Agua (gr)	653,40
C: Peso agregado S.S.S (gr)	350,40
D: Volumen agregado S.S.S (cm <sup>3</sup> )	133,10
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,633</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 2 se obtuvieron de acuerdo a lo indicado en la NTP 400.22

El promedio de ambos resultados se puede observar en la Tabla 20.

**Tabla 20**

*Promedio de muestra N° 1 y N° 2 de ensayos de peso específico del agregado fino*

<b>Ensayo de peso específico del agregado fino</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
Peso específico de la muestra n° 1	<b>2,624</b>
Peso específico de la muestra n° 2	<b>2,633</b>
<b>Peso específico (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,629</b>

*Nota.* El promedio de los resultados obtenidos permite obtener un valor general representativo

Para el cálculo del agua de absorción del agregado fino, se usó la ecuación 12.

$$\text{Agua de absorción} = \text{Peso A. F. (SSS)} - \text{Peso agregado seco} \quad (12)$$

Para la muestra N° 1 se obtuvo el siguiente resultado.

$$\text{Agua de absorción} = 350,10 - 348,20 = 1,9$$

Para la muestra N° 2 se obtuvo el siguiente resultado.

$$\text{Agua de absorción} = 350,40 - 347,84 = 2,6$$

Así mismo, para el cálculo de porcentaje de absorción se usará la ecuación 13.

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{\text{Agua de absorción}}{\text{Peso agregado seco}} \times 100 \quad (13)$$

Para la muestra N° 1 se obtuvo el siguiente resultado.

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{1,9}{348,20} \times 100 = 0,55$$

Para la muestra N° 2 se obtuvo el siguiente resultado.

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{2,6}{347,84} \times 100$$

$$\text{Porcentaje de absorción} = 0,74$$

Se calculó el promedio de ambas muestras para el ensayo de absorción.

$$\text{Porcentaje de absorción (\%)} = \frac{0,55 + 0,74}{2} = 0,64$$

La Tabla 21 muestra el resumen de los datos obtenidos para la muestra N° 1.

**Tabla 21**

*Resultados del ensayo de absorción del agregado fino de la muestra N° 1*

<b>Ensayo de absorción del agregado fino</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
MUESTRA N°	1
A: Peso agregado S.S.S. (gr)	350,10
B: Peso agregado seco (gr)	348,20
C: Agua de Absorción (gr)	1,9
<b>Porcentaje de absorción (%)</b>	<b>0,55</b>

*Nota.* El porcentaje de absorción de la muestra 1 del agregado fino se expresa como un porcentaje de su peso seco

La Tabla 22 muestra el resumen de los datos obtenidos para la muestra N° 2.

**Tabla 22**

*Resultados del ensayo de absorción del agregado fino de la muestra N° 2*

<b>Ensayo de absorción del agregado fino</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
MUESTRA N°	2
A: Peso agregado S.S.S. (gr)	350,40
B: Peso agregado seco (gr)	347,84
C: Agua de Absorción (gr)	2,6
<b>Porcentaje de absorción (%)</b>	<b>0,74</b>

*Nota.* El porcentaje de absorción de la muestra 2 del agregado fino se expresa como un porcentaje de su peso seco

El promedio final resumido del porcentaje de absorción de ambas muestras se observa Tabla 23.

**Tabla 23**

*Promedio de muestra N° 1 y N° 2 de ensayos de absorción del agregado fino*

<b>Ensayo de absorción del agregado fino</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
Porcentaje de Absorción de la MUESTRA N° 1	<b>0,55</b>
Porcentaje de Absorción de la MUESTRA N° 2	<b>0,74</b>
<b>Porcentaje de absorción (%)</b>	<b>0,64</b>

*Nota.* El promedio de los resultados obtenidos permite obtener un valor general representativo

#### **4.2.6. Ensayo de peso unitario del agregado fino**

Respecto al árido fino se colocó el material en un recipiente cilíndrico hasta llegar a ras, eliminando el exceso con una varilla metálica, para luego registrar el peso del envase junto con el árido fino. El presente ensayo se realizó para 3 muestras de árido fino registrando sus pesos, tal como se indica en la Figura 27, Figura 28 y Figura 29 para las muestras 1, 2 y 3 respectivamente.

**Figura 27**

*Peso del molde más la muestra 1 del agregado fino suelto*



*Nota.* La muestra 1 del agregado fino suelto se tomó al azar para evitar datos sesgados.

**Figura 28**

*Peso del molde más la muestra 2 del agregado fino suelto*



*Nota.* La muestra 2 del agregado fino suelto se tomó al azar para evitar datos sesgados.

**Figura 29**

*Peso del molde más la muestra 3 del agregado fino suelto*



*Nota.* La muestra 3 del agregado fino suelto se tomó al azar para evitar datos sesgados.

Para el ensayo de peso unitario varillado, se vació un tercio del material al envase, apisonándolo 25 veces con ayuda de una varilla metálica según se ve en la Figura 30, de forma que se repitió el mismo proceso para cada capa de agregado, para luego nivelar al ras del recipiente con la misma varilla metálica de acuerdo a la Figura 31. El presente ensayo se realizó para 3 muestras de agregado fino registrando sus pesos.

**Figura 30**

*Agregado fino apisonado 25 veces con varilla metálica*



*Nota.* Varillado del agregado fino se realizó siguiendo un ritmo constante durante 1 minuto por cada capa

**Figura 31**

*Nivelado al ras del recipiente de la última capa de agregado fino*



*Nota. Los restos de material tras el nivelado se descartaron para el resto de muestras*

Para los ensayos se requirió hallar el volumen del molde donde se llenó el agregado fino, por lo que de acuerdo a la ecuación 17

$$V = \pi \times r^2 \times h \quad (17)$$

Donde:

R: Radio = 7,5 cm

h: Altura = 30 cm

$$V = \pi \times (7,5)^2 \times (30) = 5\,301,44 \text{ cc}$$

Para el cálculo de peso unitario del agregado fino suelto se usó la ecuación 18.

$$PU = \frac{\text{Peso de la muestra seca neta}}{\text{Volumen del molde}} \quad (18)$$

Para la muestra N° 1 de ensayo de agregado fino suelto se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado fino Suelto}} = \frac{(19\,887 - 4\,908)}{5\,301,44}$$

$$PU_{\text{agregado fino Suelto}} = 2,825 \text{ gr/cc.}$$

En la Tabla 24 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N° 1 de peso unitario suelto de agregado fino.

**Tabla 24**

*Resultados de muestra N° 1 de ensayo de peso unitario suelto de agregado fino*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado fino (suelto)</b> Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
MUESTRA N°	1
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	19 887
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	14 979
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,825</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 1 del ensayo de peso unitario del agregado fino suelto se consideraron según la NTP 400.017.

Para la muestra N° 2 de ensayo de agregado fino suelto se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado fino Suelto}} = \frac{(19\ 867 - 4\ 908)}{5\ 301,44}$$

$$PU_{\text{agregado fino Suelto}} = 2,822\ \text{gr/cm}^3$$

En la Tabla 25 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N° 2 de peso unitario suelto de agregado fino.

**Tabla 25**

*Resultados de muestra N° 2 de ensayo de peso unitario suelto de agregado fino*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado fino (suelto)</b> Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
MUESTRA N°	2
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	19 867
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	14 959
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,822</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 2 del ensayo de peso unitario del árido fino suelto se consideraron según la NTP 400.017

Para la muestra N° 3 de ensayo de agregado fino suelto se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado fino Suelto}} = \frac{(20\,451 - 4\,908)}{5301,44}$$

$$PU_{\text{agregado fino Suelto}} = 2,932\text{gr/cc.}$$

En la Tabla 26 se puede demostrar de manera resumida los datos finales para la muestra N° 3 de peso unitario suelto de agregado fino.

**Tabla 26**

*Resultados de muestra N° 3 de ensayo de peso unitario suelto de árido fino*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado fino (suelto)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
MUESTRA N°	3
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	20 451
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	15 543
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup>)</b>	<b>2,932</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 3 del ensayo de peso unitario del árido fino suelto se consideraron según la NTP 400.017.

Se calculó el promedio correspondiente a tres muestras de peso unitario de árido fino suelto a fin de obtener un resultado representativo.

$$PU_{\text{agregado fino Suelto}} = \frac{2,825 + 2,822 + 2,932}{3} = 2,860\text{gr/cm}^3$$

En la Tabla 27 se puede observar de manera resumida los datos promediados para las tres muestras ensayadas.

**Tabla 27**

*Resultados promediados de ensayo de peso unitario suelto de árido fino*

<b>Ensayo de peso unitario del árido fino (suelto)</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
Peso Unitario de la muestra n° 1	<b>2,825</b>
Peso Unitario de la muestra n° 2	<b>2,822</b>
Peso Unitario de la muestra n° 3	<b>2,932</b>
<b>Peso Unitario del agregado fino suelto (gr/cm <sup>3</sup>)</b>	<b>2,860</b>

*Nota.* La compilación de los resultados del ensayo de peso unitario suelto del agregado fino permite obtener una visión general de los datos

Así mismo, para el cálculo de peso unitario del agregado fino compactado se usó la ecuación 18. Para la muestra n° 1 de ensayo de agregado fino compactado se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado fino varillado}} = \frac{(21\,504 - 4\,908)}{5\,301.44}$$

$$PU_{\text{agregado fino varillado}} = 3,13 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 28 se demuestra de manera resumida los resultados finales para la muestra n° 1 de peso unitario varillado de árido fino.

**Tabla 28**

*Resultados de muestra n°1 de ensayo de peso unitario compactado de árido fino*

<b>Ensayo de peso unitario del árido fino (varillado)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra n°	1
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	21 504
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	16 596
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3,130</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 1 del ensayo de peso unitario del agregado fino varillado se consideraron según la NTP 400.017.

Para la muestra N° 2 de ensayo de agregado fino compactado se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado fino varillado}} = \frac{(22\,047 - 4\,908)}{5301,44}$$

$$PU_{\text{agregado fino varillado}} = 3,233 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 29 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N° 2 de peso unitario compactado de agregado fino.

**Tabla 29**

*Resultados de muestra n° 2 de ensayo de peso unitario compactado de agregado fino*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado fino (varillado)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra n°	2
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	22 047
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	17 139
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3,233</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 2 del ensayo de peso unitario del agregado fino varillado se consideraron según la NTP 400.017.

Para la muestra n° 3 de ensayo de agregado fino compactado se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado fino varillado}} = \frac{(21\,953 - 4\,908)}{5\,301,44}$$

$$PU_{\text{agregado fino varillado}} = 3,215 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 30 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra n° 3 de peso unitario compactado de agregado fino.

**Tabla 30**

*Resultados de muestra n° 3 de ensayo de peso unitario compactado de agregado fino*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado fino (varillado)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra n°	3
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	21 953
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	17 045
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3,215</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 3 del ensayo de peso unitario del agregado fino varillado se consideraron según la NTP 400.017

Se calculó el promedio de las tres muestras de peso unitario de agregado fino compactado a fin de obtener un resultado representativo.

$$PU_{\text{agregado fino varillado}} = \frac{3,130 + 3,233 + 3,215}{3} = 3,193 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 31 se puede observar de manera resumida los datos promediados para las tres muestras ensayadas.

**Tabla 31**

*Resultados promediados de ensayo de peso unitario compactado de agregado fino*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado fino (Varillado)</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
Peso Unitario de la muestra nº 1	<b>3,130</b>
Peso Unitario de la muestra nº 2	<b>3,233</b>
Peso Unitario de la muestra nº 3	<b>3,215</b>
<b>Peso Unitario del agregado fino varillado (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>3,193</b>

*Nota.* La compilación de los resultados del ensayo de peso unitario varillado del agregado fino permite obtener una visión general de los datos.

#### 4.2.7. Ensayo de peso unitario del agregado grueso

Se clasifica en: suelto y compactado. Respecto al árido grueso se realizó el mismo procedimiento descrito para el árido fino, ensayando de igual manera 3 muestras para cada uno de acuerdo a la Figura 32, Figura 33 y Figura 34 para la muestra 1, 2 y 3 respectivamente.

**Figura 32**

*Peso del molde más la muestra 1 del agregado grueso suelto*



*Nota.* La muestra 1 del agregado fino suelto se tomó al azar para evitar datos sesgados

**Figura 33**

*Peso del molde más la muestra 2 del agregado grueso suelto*



*Nota.* La muestra 2 del agregado fino suelto se tomó al azar para evitar datos sesgados.

**Figura 34**

*Peso del molde más la muestra 3 del agregado grueso suelto*



*Nota.* La muestra 3 del agregado fino suelto se tomó al azar para evitar datos sesgados.

Para el cálculo de peso unitario del agregado grueso suelto se usó la ecuación 18, obteniendo para la muestra N° 1 de ensayo de agregado grueso suelto el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado grueso Suelto}} = \frac{(19\,380 - 4\,908)}{5\,301,44} = 2,730 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 32 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N° 1 de peso unitario suelto de agregado grueso.

**Tabla 32**

*Resultados de muestra N° 1 de ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado grueso (Suelto)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra nº	1
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	19 380
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	14 472
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,73</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 1 del ensayo de peso unitario del agregado grueso suelto se consideraron según la NTP 400.017.

Para la muestra N° 2 de ensayo de agregado grueso suelto se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado grueso Suelto}} = \frac{(17\,891 - 4\,908)}{5\,301,44}$$

$$PU_{\text{agregado grueso Suelto}} = 2,449 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 33 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N° 2 de peso unitario suelto de agregado grueso.

**Tabla 33**

*Resultados de muestra N° 2 de ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado grueso (suelto)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra n°	2
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	17 891
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	12 983
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,449</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 2 del ensayo de peso unitario del agregado grueso suelto se consideraron según la NTP 400.017.

Para la muestra N° 3 de ensayo de agregado grueso suelto se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado grueso Suelto}} = \frac{(19\ 034 - 4\ 908)}{5\ 301,44}$$

$$PU_{\text{agregado grueso Suelto}} = 2,665 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 34 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N°3 de peso unitario suelto de agregado grueso.

**Tabla 34**

*Resultados de muestra N° 3 de ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado grueso (suelto)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra n°	3
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	19 034
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	14 126
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,665</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 3 del ensayo de peso unitario del agregado grueso suelto se consideraron según la NTP 400.017.

Se calculó el promedio de las tres muestras de peso unitario de agregado grueso suelto a fin de obtener un resultado representativo.

$$PU_{\text{agregado grueso Suelto}} = \frac{2,730 + 2,449 + 2,665}{3} = 2,614 \text{ gr/cc.}$$

En la Tabla 35 se puede observar de manera resumida los datos promediados para las tres muestras ensayadas.

**Tabla 35**

*Resultados promediados de ensayo de peso unitario suelto de agregado grueso*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado grueso (Suelto)</b>	
Norma ASTM C-128 y NTP 400.022	
Peso Unitario de la muestra nº 1	<b>2,73</b>
Peso Unitario de la muestra nº 2	<b>2,449</b>
Peso Unitario de la muestra nº 3	<b>2,665</b>
<b>Peso Unitario del agregado grueso suelto (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,614</b>

*Nota.* La compilación de los resultados del ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso permite obtener una visión general de los datos.

De igual forma, para el ensayo de peso unitario compactado se realizó el varillado por capas del agregado grueso según la Figura 35, y se procedió a nivelar a ras eliminando el excedente de material como en la Figura 36.

**Figura 35**

*Agregado grueso apisonado 25 veces con la varilla metálica*



*Nota.* El varillado del agregado grueso se realizó siguiendo un ritmo constante durante 1 minuto por cada capa.

**Figura 36**

*Nivelado al ras del recipiente de la última capa de agregado grueso*



*Nota.* Los restos de agregado grueso tras el nivelado se descartaron para el resto de muestras.

Así mismo, para el cálculo de peso unitario del agregado grueso compactado se usó la ecuación 18.

Para la muestra N° 1 de ensayo de agregado grueso compactado se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado grueso varillado}} = \frac{(20\ 130 - 4\ 908)}{5\ 301,44}$$

$$PU_{\text{agregado grueso varillado}} = 2,871\text{gr/cm}^3$$

En la Tabla 36 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N° 1 de peso unitario varillado de árido grueso.

**Tabla 36**

*Resultados de muestra N° 1 de ensayo de peso unitario varillado de árido grueso*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado grueso (Varillado)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra nº	1
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	20 130
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	15 222
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup>)</b>	
<b>2,871</b>	

*Nota.* Los datos de la muestra 1 del ensayo de peso unitario del agregado grueso varillado se consideraron según la NTP 400.017.

Para la muestra N° 2 de ensayo de agregado grueso compactado se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado grueso varillado}} = \frac{(19\,497 - 4\,908)}{5\,301,44} = 2.752 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 37 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N° 2 de peso unitario compactado de agregado grueso.

**Tabla 37**

*Resultados de muestra N° 2 de ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado grueso (Varillado)</b>	
Norma ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra nº	2
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	19 497
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	14 589
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm <sup>3</sup>)</b>	
<b>2,752</b>	

*Nota.* Los datos de la muestra 2 del ensayo de peso unitario del agregado grueso varillado se consideraron según la NTP 400.017.

Para la muestra N° 3 de ensayo de agregado grueso compactado se obtuvo el siguiente resultado.

$$PU_{\text{agregado grueso varillado}} = \frac{(20\,084 - 4\,908)}{5\,301,44} = 2,863 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 38 se puede observar de manera resumida los datos obtenidos para la muestra N° 3 de peso unitario varillado de árido grueso.

**Tabla 38**

*Resultados de muestra N°3 de ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado grueso (varillado)</b>	
NORMA ASTM C- 29 y NTP 400.017	
muestra n°	3
A: Peso del molde + la muestra seca (gr)	20 084
B: Peso del molde (gr)	4 908
C: Peso de la muestra seca neta(gr)	15 176
D: Volumen del molde (cm <sup>3</sup> )	5 301,44
<b>Peso Unitario (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>2,863</b>

*Nota.* Los datos de la muestra 3 del ensayo de peso unitario del agregado grueso varillado se consideraron según la NTP 400.017.

Se calculó el promedio de las tres muestras de peso unitario de agregado grueso compactado a fin de obtener un resultado representativo.

$$PU_{\text{agregado fino varillado}} = \frac{2,871 + 2,752 + 2,863}{3} = 2,829 \text{ gr/cm}^3$$

En la Tabla 39 se puede observar de manera resumida los datos promediados para las tres muestras ensayadas.

**Tabla 39**

*Resultados promediados de ensayo de peso unitario compactado de agregado grueso*

<b>Ensayo de peso unitario del agregado grueso (varillado)</b>	
NORMA ASTM C - 29 y NTP 400.017	
Peso Unitario de la muestra nº 1	<b>2,871</b>
Peso Unitario de la muestra nº 2	<b>2,752</b>
Peso Unitario de la muestra nº 3	<b>2,863</b>
<b>Peso Unitario del agregado grueso varillado (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	
<b>2,829</b>	

*Nota.* La compilación de los resultados del ensayo de peso unitario varillado del agregado grueso permite obtener una visión general de los datos.

#### **4.2.8. Ensayo de consistencia**

Para el ensayo de consistencia, previamente se distribuyó el peso de ambos áridos clasificados en fino y grueso, la proporción de litros de agua y del cemento que se requiere, es decir la dosificación del concreto. Considerando que el ensayo de consistencia requiere la pasta de concreto esté fresca, se preparó todo el material con antelación, de forma que, en la Figura 37 y Figura 38 se observa que el árido fino y grueso están distribuidos en 6 envases, donde cada envase rinde para la mezcla de concreto de 6 probetas, las cuales se dosificaron de acuerdo al cálculo realizado previamente, por lo que en total se tuvieron 36 probetas, donde previamente se aplicó una ligera capa de petróleo en el interior de los moldes, para desmoldarlo con facilidad.

Para el concreto elaborado con el Cemento Yura se usará 28,295 kg de agregado fino en cada envase, considerando un 10 % adicional de desperdicio. Obteniendo un total de 18 probetas de concreto.

Para el concreto elaborado con el Cemento Cbb se usará 28,823 kg de agregado fino en cada envase, considerando un 10 % adicional de desperdicio, obteniendo un total de 18 probetas de concreto.

**Figura 37**

*Distribución por envases de agregado fino para la mezcla de concreto*



*Nota.* La distribución del agregado fino se realizó en bateas con la misma capacidad.

**Figura 38**

*Distribución por envases de agregado fino para la mezcla de concreto*



*Nota.* La distribución del agregado grueso se realizó en bateas con la misma capacidad.

En la Figura 39 se observa la distribución del agua en baldes que se usara para el diseño de mezcla. En cada envase hay aproximadamente 8 litros de agua, considerando un adicional de 10 % de desperdicio para 6 probetas de concreto.

**Figura 39**

*Baldes del agua para la mezcla de concreto*



*Nota.* La distribución del agua se realizó en baldes con la misma capacidad.

En la Figura 40 se observa la distribución correspondiente a cada cemento. Cada envase contenía 13,775 kg de cemento considerando un 10% de adicional como desperdicio. Por la parte derecha se observa 3 envases de cemento Cbb y en la parte izquierda se observa 3 envases de cemento Yura. Esto nos resultó obtener 18 probetas de concreto elaborados con cemento CBB y 18 probetas elaboradas con cemento Yura.

**Figura 40**

*Cemento Cbb y cemento Yura para la mezcla de concreto*



*Nota.* La distribución del cemento se realizó de modo que se verificó que no haya sustancias contaminantes en las bateas.

En la Figura 41 se observan todos los materiales distribuidos listos para ser echados en el trompo de mezclado y obtener el concreto fresco.

### Figura 41

*Agrupación de materiales previo a la elaboración del concreto*



*Nota.* Los materiales se agruparon para mayor practicidad al momento de mezclado.

Mediante la Figura 42 se puede observar el proceso de mezclado del concreto fresco, el cual, luego de ser ensayado para hallar su consistencia, se vaciará directamente a los moldes cilíndricos cubiertos de petróleo para obtener directamente las muestras de concreto para una mayor practicidad.

### Figura 42

*Trompo mezclador de concreto*



*Nota.* Se tomó en cuenta que el trompo mezclador tenía capacidad para llenar 6 probetas de concreto

El asentamiento que se obtuvo fue de 60 mm de acuerdo a la Figura 43, dicho valor, según la NTP 339.035, indica una consistencia plástica, tal como se corrobora en la Tabla 40.

**Figura 43**

*Determinación de la consistencia del concreto*



*Nota.* El ensayo se realizó en concreto fresco que fue mezclado en el momento a fin de verificar en tiempo real su consistencia.

**Tabla 40**

*Consistencia del concreto según asentamiento*

<b>Ensayo de consistencia (NTP 339.035:2022)</b>	
<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento</b>
Seca	0" (0 cm) a 2" (5cm)
Plástica	3" (7,5 cm) a 4" (10cm)
Fluida	>=5" (12,5 cm)

*Nota.* De "Concreto. Método de ensayo normalizado para la medición del asentamiento del concreto del Cemento Portland" por INACAL, 2015.

#### **4.3. Dosificación con cemento YURA**

Para la dosificación con cemento yura se consideró inicialmente un peso específico de 2,85 gr/cm<sup>3</sup> de acuerdo a la ficha técnica, así mismo, se tomaron en cuenta los siguientes datos obtenidos en los ensayos estándares.

Cemento:

- Peso específico: 2,85 gr/cm<sup>3</sup>

Agua:

- Potable de la red de servicio público

Agregado fino:

- Absorción: 1,4 %
- Contenido de Humedad: 1,2 %
- Módulo de fineza: 3,03
- Peso específico de masa: 2,63 gr/cm<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado: 1,850 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario suelto: 1,610 kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso:

- Absorción: 0,85 %
- Contenido de humedad: 0,32 %
- Peso específico de masa: 2,64 gr/cm<sup>3</sup>
- Peso unitario compactado: 1,530 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario suelto: 1,320 kg/m<sup>3</sup>
- Tamaño máximo: 1"
- Tamaño máximo nominal: ¾"

Para la dosificación se siguieron los pasos de acuerdo al método ACI descrito en las bases teóricas, de forma que se halló primero la resistencia promedio de acuerdo a la Tabla 41, ya que no se contaban con datos para establecer la desviación estándar.

#### Tabla 41

*Resistencia a compresión media sin desviación estándar*

<b>Resistencia a la compresión especificada, <math>f'_c</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia a la compresión media requerida, kg/cm<sup>2</sup></b>
Menos de 210	$f'_c+70$
210 a 350	$f'_c+84$
Más de 350	$1,10f'_c+50$

*Nota.* De "ACI 318R-19. Requisitos del Código de Construcción para Hormigón Estructural y Comentarios" por American Concrete Institute, 2019.

Se considera una resistencia a la compresión especificada de 210 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que en el presente caso la resistencia a la compresión media requerida será de 294 kg/cm<sup>2</sup>.

Para la selección del asentamiento, la consistencia es plástica con un asentamiento de 3" a 4" de acuerdo a la Tabla 40.

El porcentaje de contenido de aire atrapado se eligió de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso, es decir, la piedra chancada, siendo de  $\frac{3}{4}$ ", por lo que corresponde a 2 % según la Tabla 42.

**Tabla 42**

*Porcentaje de aire atrapado*

Tamaño máximo nominal del A.G.	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 %
4"	0,2 %

*Nota.* De "ACI PRC 211.1-22. Guía para la selección de proporciones de concreto de densidad normal y alta" por American Concrete Institute, 2022.

Para la relación agua/cemento se consideró un concreto sin aire incorporado y una resistencia a la compresión media a los 28 días de 294 kg/cm<sup>2</sup> de acuerdo a lo hallado anteriormente, por lo que se interpolaron valores según la Tabla 43.

**Tabla 43**

*Selección de relación agua/cemento*

Resistencia a la compresión a los 28 días (f' cr)	Relación agua-cemento	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0,38	-
400	0,43	-
350	0,48	0,40
300	0,55	0,46
250	0,62	0,53
200	0,70	0,61
150	0,80	0,71

*Nota.* De "ACI PRC 211.1-22. Guía para la selección de proporciones de concreto de densidad normal y alta" por American Concrete Institute, 2022.

Al tener un  $f'_{cr}$  de 294 kg/cm<sup>2</sup>, la interpolación se realizó entre los valores de 300 y 250 kg/cm<sup>2</sup>.

$$\frac{300 - 250}{294 - 250} = \frac{0,55 - 0,62}{x - 0,62}$$

$$\frac{50}{44} = \frac{-0,07}{x - 0,62}$$

$$x = 0,56$$

La relación a/c de la dosificación obtenida fue de 0,56.

Seguidamente, para el peso del agua, se consideró el asentamiento de 3" a 4", para un concreto sin aire incorporado y un TMN de ¾", por lo que el volumen unitario de agua obtenido fue de 205 lt/m<sup>3</sup> de acuerdo a la Tabla 44.

**Tabla 44**

*Volumen unitario de agua*

Volumen unitario de agua								
Asentamiento	Agua en lt/m <sup>3</sup> para los TMN de agregado grueso y consistencias indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
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	-
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
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.* De "ACI PRC 211.1-22. Guía para la selección de proporciones de concreto de densidad normal y alta" por American Concrete Institute, 2022.

Se obtuvo 205 litros por m<sup>3</sup> de concreto como el volumen unitario de agua.

Para el peso del cemento, se usó la ecuación 2, donde el cemento será igual al volumen unitario de agua hallado anteriormente sobre la relación a/c.

$$C = \frac{a}{a/c}$$

$$C = \frac{205}{0,56}$$

$$C = 367,71 \text{ kg/m}^3$$

Se obtuvo que el peso del cemento será de 367,71 kg/m<sup>3</sup> de concreto.

Seguidamente, el factor cemento (Fc) se hallará mediante la ecuación 17 donde se establece la relación del peso del cemento obtenido previamente y el peso de la bolsa de cemento, siendo la presentación más típica de 42,50 kg.

$$F_c = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Peso de bolsa de cemento}} \quad (17)$$

$$F_c = \frac{367,71}{42,50}$$

$$F_c = 8,65$$

Se obtuvo que el factor cemento es de 8,65.

Para obtener el volumen de árido grueso por unidad de volumen de concreto, se usó la Tabla 45, que relaciona el TMN del árido grueso con el módulo de finura del árido fino, siendo cada uno de ¾" y 3,00 respectivamente.

**Tabla 45**

*Volumen de agregado grueso por volumen de concreto*

Tamaño máximo nominal de agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de finura del agregado fino			
	Módulo de finura del agregado 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"	0,76	0,74	0,72	0,70
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,81	0,79	0,77	0,75
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

*Nota.* De "ACI PRC 211.1-22. Guía para la selección de proporciones de concreto de densidad normal y alta" por American Concrete Institute, 2022.

Se obtuvo que el volumen de agregado grueso era de 0,60, por lo que, para hallar el peso del agregado grueso, se usará la ecuación 18.

$$\text{Peso de A. G.} = \text{Vol. A. G.} * \text{Peso seco compactado} \quad (18)$$

$$\text{Peso de A. G.} = 0,60 * 1\,530$$

$$\text{Peso de A. G.} = 918 \text{ kg/m}^3$$

Se obtuvo que el peso total del agregado grueso es de 918 kg/m<sup>3</sup>.

El volumen absoluto de los componentes del concreto, será equivalente a 1m<sup>3</sup>.

El volumen absoluto del cemento se halló de acuerdo al peso del cemento y su peso específico.

$$\text{P. cemento} = 367,71 \text{ kg}$$

$$\text{P. específico del cemento} = 2,85 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^2} * 1\,000 = 2\,850 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto del cemento} = \frac{\text{P. cemento}}{\text{P. Específico}}$$

$$\text{Volumen absoluto del cemento} = \frac{367,71}{2\,850}$$

$$\text{Volumen absoluto del cemento} = 0,129 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto del árido grueso se halló de acuerdo al peso del árido grueso y su peso específico.

$$\text{P. agregado grueso} = 918 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{P. específico del A. G.} = 2,640 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^2} * 1\,000 = 2\,640 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto del A. G.} = \frac{\text{P. agregado grueso}}{\text{P. específico A. G.}}$$

$$\text{Volumen absoluto del A. G.} = \frac{918}{2\,640}$$

$$\text{Volumen absoluto del A. G.} = 0,348 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto del agua se halló de acuerdo al peso del agua y su peso específico.

$$\text{Peso del agua} = 205 \text{ kg}$$

$$\text{P. específico del agua} = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Volumen absoluto del agua} = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{P. específico del agua}}$$

$$\text{Volumen absoluto del agua} = \frac{205}{1\,000}$$

$$\text{Volumen absoluto del agua} = 0,205 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto del aire atrapado se calculó de acuerdo al porcentaje de aire atrapado hallado anteriormente.

$$\% \text{ de aire atrapado} = 2 \%$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = \frac{2}{100}$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = 0,02 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto del árido fino se halló de acuerdo a la sumatoria de los volúmenes absolutos los cuales se restan a la unidad de metro cúbico de concreto.

$$\sum \text{Volumenes absolutos} = \text{Vol. cemento} + \text{Vol. A. G.} + \text{Vol. agua} + \text{Vol. aire}$$

$$\sum \text{Volumenes absolutos} = 0,129 + 0,348 + 0,205 + 0,02$$

$$\sum \text{Volumenes absolutos} = 0,702 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de A. F.} = 1 - 0,702$$

$$\text{Volumen abs. de A. F.} = 0,298 \text{ m}^3$$

El peso del agregado fino se determinó mediante la multiplicación del peso específico del agregado fino y el volumen absoluto.

$$\text{Peso específico A. F.} = 2,633 \text{ gr/cm}^3 = 2\,633 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del A. F.} = \text{Volumen abs. de A. F.} * \text{Peso específico A. F.}$$

$$\text{Peso del A. F.} = 0,298 * 2633$$

$$\text{Peso del A. F.} = \mathbf{785,29 \text{ kg}}$$

Los valores de diseño resultantes fueron los siguientes:

- Agregado fino seco: 785,29 kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso seco: 918 kg/m<sup>3</sup>
- Agua de diseño: 205 lt/m<sup>3</sup>
- Cemento: 367,71 kg/m<sup>3</sup>

Dichos valores se corrigieron por humedad y absorción. Para el agregado fino, se corrigió por humedad mediante la ecuación 19 donde se considera el peso seco del agregado fino y el porcentaje de contenido de humedad del agregado fino hallado anteriormente en los ensayos estándares.

$$\text{Corrección por humedad} = \text{Peso seco} * \left( \frac{(\% \text{ Cont. humedad A. F.})}{100} + 1 \right) \quad (19)$$

$$\text{Corrección por humedad} = 785,29 * \left( \frac{1,2}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Corrección por humedad} = \mathbf{794,72 \text{ kg}}$$

Para el árido grueso, se aplicó del mismo modo la ecuación 19 donde se considera el peso seco del agregado grueso y el porcentaje de contenido de humedad del agregado grueso hallado en los ensayos estándares.

$$\text{Corrección por humedad} = 918 * \left( \frac{0,32}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Corrección por humedad} = \mathbf{920,94 \text{ kg}}$$

Para la corrección por absorción del agregado fino, se usó la ecuación 20, donde se consideró el peso seco de del agregado fino, el contenido de humedad y el porcentaje de absorción hallado en los ensayos estándares.

$$\text{Corrección por absorción} = \text{Peso seco} * \left( \frac{\% \text{ Cont. humedad A. F.} - \% \text{ Absorción de A. F.}}{100} \right) \quad (20)$$

$$\text{Corrección por absorción} = 785,29 * \left( \frac{1,2-1,4}{100} \right)$$

$$\text{Corrección por absorción} = -1,57 \text{ kg}$$

Para la corrección por absorción del agregado grueso, se usó igualmente la ecuación 20, donde se consideró el peso seco de del agregado grueso, el contenido de humedad y el porcentaje de absorción hallado en los ensayos estándares.

$$\text{Corrección por absorción} = 918 * \left( \frac{0,32-0,85}{100} \right)$$

$$\text{Corrección por absorción} = -4,87 \text{ kg}$$

Una vez obtenidos estos datos, se calculó el agua efectiva, siendo la sumatoria de la corrección por absorción del agregado fino y grueso.

$$\text{Agua libre} = -1,57 + (-4,87)$$

$$\text{Corrección por absorción} = -6,44 \text{ kg} = -6,44 \text{ lt}$$

El agua efectiva se calculó restando el agua libre al peso del agua hallado anteriormente.

$$\text{Agua efectiva} = 205 - (-6,44)$$

$$\text{Agua efectiva} = 211,44 \text{ lt}$$

El cemento efectivo se halló mediante la ecuación 21, para la cual se usaron los datos del agua efectiva y la relación agua/cemento.

$$\text{Cemento efectiva} = \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{relación } \frac{a}{c}} \quad (21)$$

$$\text{Cemento efectivo} = \frac{211,44}{0,56}$$

$$\text{Cemento efectivo} = 379,26 \text{ kg}$$

Las proporciones para la dosificación se realizaron de acuerdo al peso, por bolsas de cemento y por probetas cilíndricas.

Para las proporciones según peso para el cemento, se usó la ecuación 22.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Cemento efectivo}}{\text{Cemento efectivo}} \quad (22)$$

$$\text{Cemento} = \frac{379,26}{379,26}$$

$$\text{Cemento} = 1,00$$

Para la proporción según peso para el agregado fino, se usó la ecuación 23.

$$\text{Agregado fino} = \frac{\text{Corrección A. F. por humedad}}{\text{Cemento efectivo}} \quad (23)$$

$$\text{Agregado fino} = \frac{794,72}{379,26}$$

$$\text{Agregado fino} = 2,0955 \cong 2,10$$

Para la proporción según peso de agregado grueso, se usó la ecuación 24.

$$\text{Agregado grueso} = \frac{\text{Corrección A. G. por humedad}}{\text{Cemento efectivo}} \quad (24)$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{920,94}{379,26}$$

$$\text{Agregado grueso} = 2,4283 \cong 2,43$$

Se corroboró la relación agua/cemento mediante la ecuación 25.

$$\text{Relación a/c} = \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Cemento efectivo}} \quad (25)$$

$$\text{Relación a/c} = \frac{211,44}{379,26}$$

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = 0,56$$

Para la proporción por bolsas de cemento, se tomó en cuenta cada material basado en el peso típico de cada bolsa de cemento, siendo de 42,5 kg peso.

Para la proporción de agregado fino por bolsa de cemento se aplicó la relación entre la proporción de agregado fino por peso y el peso de la bolsa de cemento.

$$\text{Agregado fino} = 2,10 \times 42,5$$

$$\text{Agregado fino} = \mathbf{89,06 \text{ kg}}$$

Para la proporción de agregado grueso por bolsa de cemento se aplicó la relación entre la proporción de agregado grueso por peso y el peso de la bolsa de cemento.

$$\text{Agregado grueso} = 2,43 \times 42,5$$

$$\text{Agregado grueso} = 103,20 \text{ kg}$$

Para la proporción de agua por bolsa de cemento se aplicó la relación entre el agua efectiva y el factor cemento.

$$\text{Agua} = \frac{211,44}{8,65}$$

$$\text{Agua} = 24,44 \text{ lt/bls}$$

La proporción de materiales por bolsa de cemento se resume de la siguiente manera:

- Agregado fino: 89,06 kg
- Agregado grueso: 103,20 kg
- Agua: 24,44 lt/bls
- Cemento: 1 bls

De igual forma, se realizó la proporción de cada material por probetas cilíndricas, por lo que se tomó en cuenta los datos de la probeta a usar:

- Altura: 0,3 m
- Diámetro: 0,15 m
- N° de probetas: 1
- Volumen:  $0,0053 \text{ m}^3$
- Volumen total:  $= 0,0053 \cong 0,01 \text{ m}^3$

Para la cantidad de cemento a usar para una probeta, se aplicó la ecuación 26.

$$\text{Cemento} = \text{Cemento efectivo} \times \text{Volumen total} \quad (26)$$

$$\text{Cemento} = 379,26 \times 0,0053$$

$$\text{Cemento} = 2,01 \text{ kg}$$

Para la cantidad de agregado fino a usar para una probeta, se aplicó la ecuación 27.

$$\text{Agregado fino} = \text{Corrección del A. G. por humedad} \times \text{Volumen total} \quad (27)$$

$$\text{Agregado fino} = 794,72 \times 0,0053$$

$$\text{Agregado fino} = 4,21 \text{ kg}$$

Para la cantidad de agregado grueso a usar para una probeta, se aplicó la ecuación 28.

$$\text{Agregado grueso} = \text{Corrección del A. G. por humedad} \times \text{Volumen total} \quad (28)$$

$$\text{Agregado grueso} = 920,94 \times 0,0053$$

$$\text{Agregado grueso} = 4,88 \text{ kg}$$

Para la cantidad de agua a usar para una probeta, se aplicó la ecuación 29.

$$\text{Agua} = \text{Agua efectiva} \times \text{Volumen total} \quad (29)$$

$$\text{Agua} = 211,44 \times 0,01$$

$$\text{Agua} = 1,12 \text{ lt}$$

La proporción de cada material por probeta se resume de la siguiente manera:

- Agregado fino: 4,21 kg
- Agregado grueso: 4,88 kg

- Agua: 1,12 lt
- Cemento: 2,01 kg

#### 4.4. Dosificación con cemento CBB

Para la dosificación con cemento CBB, se aplicó el mismo procedimiento para la dosificación con cemento YURA, sin embargo, se consideró un peso específico de  $2,975 \text{ gr/cm}^3$  de acuerdo a la ficha técnica, así mismo, se tomaron en cuenta los siguientes datos obtenidos en los ensayos estándares.

Cemento:

- Peso específico:  $2,975 \text{ gr/cm}^3$

Agua:

- Potable de la red de servicio público

Agregado fino:

- Absorción: 1,4 %
- Contenido de Humedad: 1,2 %
- Módulo de fineza: 3,03
- Peso específico de masa:  $2,63 \text{ gr/cm}^3$
- Peso unitario compactado:  $1,850 \text{ kg/m}^3$
- Peso unitario suelto:  $1,610 \text{ kg/m}^3$

Agregado grueso:

- Absorción: 0,85 %
- Contenido de humedad: 0,32 %
- Peso específico de masa:  $2,64 \text{ gr/cm}^3$
- Peso unitario compactado:  $1,530 \text{ kg/m}^3$
- Peso unitario suelto:  $1,320 \text{ kg/m}^3$
- Tamaño máximo: 1"
- Tamaño máximo nominal:  $\frac{3}{4}$ "

De igual forma se siguieron los pasos de acuerdo al método ACI descrito en las bases teóricas, de forma que se halló primero la resistencia promedio de acuerdo a la Tabla 41, considerando una  $f'_c$  de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , por lo que en el presente caso la resistencia a la compresión media requerida será de  $294 \text{ kg/cm}^2$ .

Para la selección del asentamiento, la consistencia es plástica con un asentamiento comprendido entre 3" a 4" de acuerdo a la Tabla 40.

Para el % de contenido de aire atrapado se eligió de acuerdo al TMN del árido grueso, es decir, la piedra chancada, siendo de  $\frac{3}{4}$ ", por lo que corresponde a 2 % de aire atrapado según la Tabla 42.

Para la relación agua/cemento se consideró un concreto sin aire incorporado y una resistencia a la compresión media a los 28 días de  $294 \text{ kg/cm}^2$  de acuerdo a lo hallado anteriormente, por lo que se interpolaron valores según la Tabla 43. Al tener un  $f'_{cr}$  de  $294 \text{ kg/cm}^2$ , la interpolación se realizó entre los valores de 300 y  $250 \text{ kg/cm}^2$ .

$$\frac{300 - 250}{294 - 250} = \frac{0,55 - 0,62}{x - 0,62}$$

$$\frac{50}{44} = \frac{-0,07}{x - 0,62}$$

$$x = 0,56$$

La relación agua/cemento de la dosificación obtenida fue de 0,56.

Seguidamente, para el peso del agua, se consideró el asentamiento de 3" a 4", para un concreto sin aire incorporado y un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ", por lo que el volumen unitario de agua obtenido fue de  $205 \text{ lt/m}^3$  de acuerdo a la Tabla 44.

Para el peso del cemento, se usó la ecuación 2, donde el contenido de cemento será igual al volumen unitario de agua hallado anteriormente sobre la relación agua/cemento.

$$C = \frac{a}{a/c}$$

$$C = \frac{205}{0,56}$$

$$C = 367,71 \text{ kg/m}^3$$

Se obtuvo que el peso del cemento será de 367,71 kg por metro cúbico de concreto.

Seguidamente, el factor cemento ( $F_c$ ) se hallará mediante la ecuación 17 donde se establece la relación del peso del cemento obtenido previamente y el peso de la bolsa de cemento, siendo la presentación más típica de 42,50 kg.

$$F_c = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Peso de bolsa de cemento}}$$

$$F_c = \frac{367,71}{42,50}$$

$$F_c = 8,65$$

Se obtuvo que el factor cemento es de 8,65.

Para obtener el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto, se usó la Tabla 45, que relaciona el tamaño máximo nominal del agregado grueso con el módulo de fineza del agregado fino, siendo cada uno de  $\frac{3}{4}$ " y 3,00 respectivamente, por lo que se obtuvo que el volumen de agregado grueso era de 0,60.

Así mismo, para hallar el peso del agregado grueso, se usó la ecuación 18.

$$\text{Peso de A. G.} = \text{Vol. A. G.} \times \text{Peso seco compactado}$$

$$\text{Peso de A. G.} = 0,60 \times 1\,530$$

$$\text{Peso de A. G.} = 918 \text{ kg/m}^3$$

Se obtuvo que el peso total del agregado grueso es de 918 kg/m<sup>3</sup>.

Para el cálculo del volumen absoluto de los materiales para el concreto, se tomó en cuenta el volumen absoluto del cemento, agregado grueso, agua, aire atrapado y agregado fino.

El volumen absoluto del cemento se halló de acuerdo al peso del cemento y su peso específico.

$$P. \text{ cemento} = 367,71 \text{ kg}$$

$$P. \text{ específico del cemento} = 2,975 \text{ gr/cm}^2 \times 1\,000 = 2\,975 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto del cemento} = \frac{P. \text{ cemento}}{P. \text{ Específico}}$$

$$\text{Volumen absoluto del cemento} = \frac{367,71}{2\,975}$$

$$\text{Volumen absoluto del cemento} = 0,124 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto del agregado grueso se halló de acuerdo al peso del agregado grueso y su peso específico.

$$P. \text{ agregado grueso} = 918 \text{ kg/m}^3$$

$$P. \text{ específico del A. G.} = 2,640 \text{ gr/cm}^3 \times 1\,000 = 2\,640 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto del A. G.} = \frac{P. \text{ agregado grueso}}{P. \text{ específico A. G.}}$$

$$\text{Volumen absoluto del A. G.} = \frac{918}{2\,640}$$

$$\text{Volumen absoluto del A. G.} = 0,348 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto del agua se halló de acuerdo al peso del agua y su peso específico.

$$\text{Peso del agua} = 205 \text{ kg}$$

$$P. \text{ específico del agua} = 1\,000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto del agua} = \frac{\text{Peso del agua}}{P. \text{ específico del agua}}$$

$$\text{Volumen absoluto del agua} = \frac{205}{1\,000}$$

$$\text{Volumen absoluto del agua} = 0,205 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto del aire atrapado se calculó de acuerdo al porcentaje de aire atrapado hallado anteriormente.

$$\% \text{ de aire atrapado} = 2 \%$$

$$\text{Volumen de aire atrapado} = \frac{2}{100}$$

$$\text{Volumen de are atrapado} = 0,02 \text{ m}^3$$

El volumen absoluto del agregado fino se halló de acuerdo a la sumatoria de los volúmenes absolutos los cuales se restan a la unidad de metro cúbico de concreto.

$$\sum \text{Volumenes absolutos} = \text{Vol. cemento} + \text{Vol. A. G.} + \text{Vol. agua} + \text{Vol. aire}$$

$$\sum \text{Volumenes absolutos} = 0,124 + 0,348 + 0,205 + 0,02$$

$$\sum \text{Volumenes absolutos} = 0,696 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de A. F.} = 1 - 0,696$$

$$\text{Volumen abs. de A. F.} = 0,304 \text{ m}^3$$

El peso del agregado fino se determinó mediante la multiplicación del peso específico del agregado fino y el volumen absoluto.

$$\text{Peso específico A. F.} = 2,633 \text{ gr/cm}^3 = 2\,633 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del A. F.} = \text{Volumen abs. de A. F.} \times \text{Peso específico A. F.}$$

$$\text{Peso del A. F.} = 0,304 \times 2\,633$$

Peso del A. F. = 799,57 kg

Los valores de diseño resultantes fueron los siguientes:

- Agregado fino seco: 799,57 kg/m<sup>3</sup>
- Agregado grueso seco: 918 kg/m<sup>3</sup>
- Agua de diseño: 205 lt/m<sup>3</sup>
- Cemento: 367,71 kg/m<sup>3</sup>

Dichos valores se corrigieron por humedad y absorción. Para el agregado fino, se corrigió por humedad mediante la ecuación 19 donde se considera el peso seco del agregado fino y el porcentaje de contenido de humedad del agregado fino hallado anteriormente en los ensayos estándares.

$$\text{Corrección por humedad} = \text{Peso seco} \times \left( \frac{(\% \text{ Cont. humedad A. F})}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Corrección por humedad} = 799,57 \times \left( \frac{1,2}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Corrección por humedad} = 809,16 \text{ kg}$$

Para el árido grueso, se aplicó del mismo modo la ecuación 19 donde se considera el peso seco del agregado grueso y el porcentaje de contenido de humedad del agregado grueso hallado en los ensayos estándares.

$$\text{Corrección por humedad} = 918 \times \left( \frac{0,32}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Corrección por humedad} = 920,94 \text{ kg}$$

Para la corrección por absorción del agregado fino, se usó la ecuación 20, donde se consideró el peso seco de del agregado fino, el contenido de humedad y el porcentaje de absorción hallado en los ensayos estándares.

$$\text{Corrección por absorción} = \text{Peso seco} \times \left( \frac{\% \text{ Cont. humedad A. F.} - \% \text{ Absorción de A. F.}}{100} \right) \quad (20)$$

$$\text{Corrección por absorción} = 799,57 \times \left( \frac{1,2-1,4}{100} \right)$$

$$\text{Corrección por absorción} = -1,5991 \cong -1,60 \text{ kg}$$

Para la corrección por absorción del árido grueso, se usó igualmente la ecuación 20, donde se consideró el peso seco del árido grueso, el contenido de humedad y el (%) de absorción hallado en los ensayos estándares.

$$\text{Corrección por absorción} = 918 * \left( \frac{0,32-0,85}{100} \right)$$

$$\text{Corrección por absorción} = -4,8654 \cong -4,87 \text{ kg}$$

Una vez obtenidos estos datos, se calculó el agua efectiva, siendo la sumatoria de la corrección por absorción del agregado fino y grueso.

$$\text{Agua libre} = -1,5991 + (-4,8654)$$

$$\text{Corrección por absorción} = -6,46 \text{ kg} = -6,46 \text{ lt}$$

El agua efectiva se calculó restando el agua libre al peso del agua hallado anteriormente.

$$\text{Agua efectiva} = 205 - (-6,46)$$

$$\text{Agua efectiva} = 211,46 \text{ lt}$$

El cemento efectivo se halló mediante la ecuación 21, para la cual se usaron los datos del agua efectiva y la relación agua/cemento.

$$\text{Cemento efectiva} = \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{relación } \frac{a}{c}} \quad (21)$$

$$\text{Cemento efectivo} = \frac{211,46}{0,56}$$

$$\text{Cemento efectivo} = 379,31 \text{ kg}$$

Las proporciones para la dosificación se realizaron de acuerdo al peso, por bolsas de cemento y por probetas cilíndricas.

Para las proporciones según peso para el cemento, se usó la ecuación 22.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Cemento efectivo}}{\text{Cemento efectivo}} \quad (22)$$

$$\text{Cemento} = \frac{379,31}{379,31}$$

$$\text{Cemento} = 1,00$$

Para la proporción según peso para el agregado fino, se usó la ecuación 23.

$$\text{Agregado fino} = \frac{\text{Corrección A. F. por humedad}}{\text{Cemento efectivo}} \quad (23)$$

$$\text{Agregado fino} = \frac{809,16}{379,31}$$

$$\text{Agregado fino} = 2,13$$

Para la proporción según peso de agregado grueso, se usó la ecuación 24.

$$\text{Agregado grueso} = \frac{\text{Corrección A. G. por humedad}}{\text{Cemento efectivo}} \quad (24)$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{920,94}{379,31}$$

$$\text{Agregado grueso} = 2,43$$

Se corroboró la relación agua/cemento mediante la ecuación 25.

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = \frac{\text{Agua efectiva}}{\text{Cemento efectivo}} \quad (25)$$

$$\text{Relación } a/c = \frac{211,46}{379,31}$$

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = 0,56$$

Para la proporción por bolsas de cemento, se tomó en cuenta cada material basado en el peso típico de cada bolsa de cemento, siendo de 42,5 kg peso.

Para la proporción de agregado fino por bolsa de cemento se aplicó la relación entre la proporción de agregado fino por peso y el peso de la bolsa de cemento.

$$\text{Agregado fino} = \frac{2,13}{42,5}$$

$$\text{Agregado fino} = 90,66 \text{ kg}$$

Para la proporción de agregado grueso por bolsa de cemento se aplicó la relación entre la proporción de agregado grueso por peso y el peso de la bolsa de cemento.

$$\text{Agregado grueso} = \frac{2,43}{42,5}$$

$$\text{Agregado grueso} = 103,19 \text{ kg}$$

Para la proporción de agua por bolsa de cemento se aplicó la relación entre el agua efectiva y el factor cemento.

$$\text{Agua} = \frac{211,46}{8,65}$$

$$\text{Agua} = 24,44 \text{ lt/bls}$$

La proporción de materiales por bolsa de cemento se resume de la siguiente manera:

- Agregado fino: 90,66 kg
- Agregado grueso: 103,19 kg
- Agua: 24,44 lt/bls
- Cemento: 1 bls

De igual forma, se realizó la proporción de cada material por probetas cilíndricas, por lo que se tomó en cuenta los datos de la probeta a usar:

- Altura: 0,3 m
- Diámetro: 0,15 m
- N° de probetas: 1
- Volumen: 0,0053 m<sup>3</sup>
- Volumen total: 0,01 m<sup>3</sup>

Para la cantidad de cemento a usar para 1 probeta, se aplicó la ecuación 26.

$$\text{Cemento} = \text{Cemento efectivo} \times \text{Volumen total} \quad (26)$$

$$\text{Cemento} = 379,31 \times 0,01$$

$$\text{Cemento} = 2,01 \text{ kg}$$

Para la cantidad de agregado fino a usar para una probeta, se aplicó la ecuación 27.

$$\text{Agregado fino} = \text{Corrección del A. G. por humedad} \times \text{Volumen total} \quad (27)$$

$$\text{Agregado fino} = 809,16 \times 0,01$$

$$\text{Agregado fino} = 4,29 \text{ kg}$$

Para la cantidad de agregado grueso a usar para una probeta, se aplicó la ecuación 28.

$$\text{Agregado grueso} = \text{Corrección del A.G. por humedad} \times \text{Volumen total} \quad (28)$$

$$\text{Agregado grueso} = 920,94 \times 0,01$$

$$\text{Agregado grueso} = 4,88 \text{ kg}$$

Para la cantidad de agua a usar para una probeta, se aplicó la ecuación 29.

$$\text{Agua} = \text{Agua efectiva} \times \text{Volumen total} \quad (29)$$

$$\text{Agua} = 211,46 \times 0,01$$

$$\text{Agua} = 1,12 \text{ lt}$$

La proporción de cada material por probeta se resume de la siguiente manera:

- Agregado fino: 4,29 kg
- Agregado grueso: 4,88 kg
- Agua: 1,12 lt
- Cemento: 2,01 kg

## **4.5. Ensayo de resistencia la compresión**

### **4.5.1. YURA**

Una vez pasado el tiempo de curado a los 7 días según la Figura 44, a los 14 días según la Figura 45 y 28 días según la Figura 46 para las briquetas hechas con cemento Yura, se realizó el ensayo de la resistencia al concreto según cada edad.

**Figura 44**

*Probetas de Yura curadas durante 7 días*



*Nota.* Las probetas de YURA a los 7 días se dejaron secar durante un par de horas antes de realizar la rotura.

**Figura 45**

*Probetas de Yura curadas durante 14 días*



*Nota.* Las probetas de YURA a los 14 días se dejaron secar durante un par de horas antes de realizar la rotura.

**Figura 46**

*Probetas de Yura curadas durante 28 días*

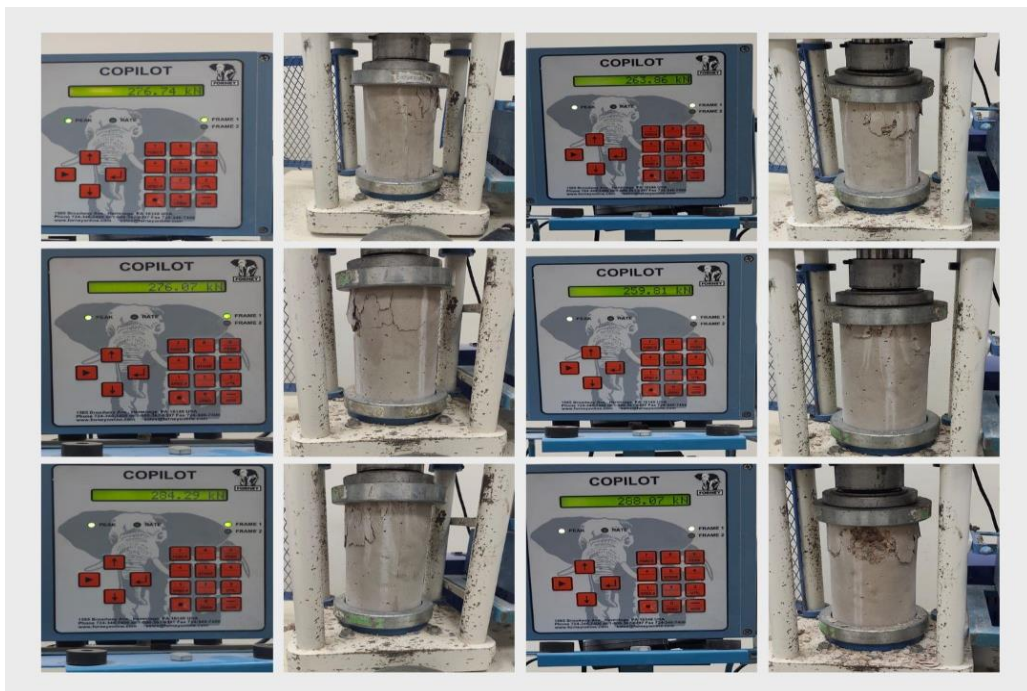


*Nota.* Las probetas de YURA a los 28 días se dejaron secar durante un par de horas antes de realizar la rotura.

Los resultados para la edad de 7 días se tomaron de acuerdo a los resultados obtenidos en KN por la máquina de compresión axial según la Figura 47. De igual modo, mediante la Tabla 46 se puede observar la resistencia alcanzada en  $\text{kgf/cm}^2$ .

**Figura 47**

*Resultado de la rotura de testigos de concreto Yura a los 7 días*



*Nota.* La rotura de las probetas de YURA a los 7 días se hizo de forma consecutiva bajo la misma fuerza constante.

Tabla 46

*Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de Yura a los 7 días*

N° Briqueta	Resultado (KN)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	276,74	15	176,715	159,64
2	276,07	15	176,715	159,25
3	284,29	15	176,715	163,99
4	263,86	15	176,715	152,21
5	259,81	15	176,715	149,87
6	288,07	15	176,715	166,17

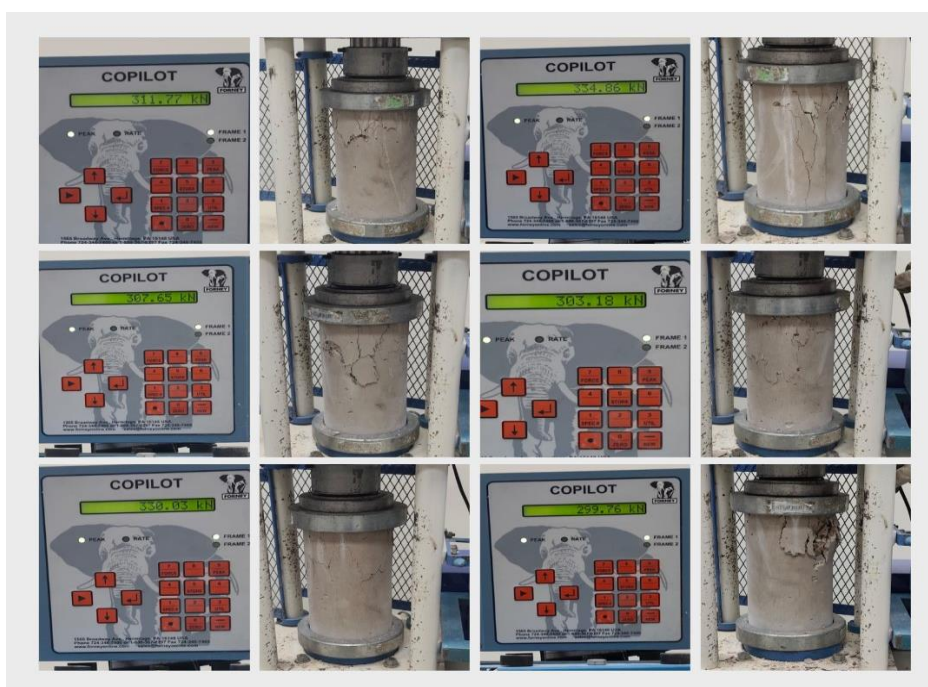
*Nota.* La resistencia de las briquetas de YURA a los 7 días se calculó considerando las unidades de medida más prácticas.

Las briquetas realizadas con la dosificación empleando cemento Yura de edad de 7 días tuvieron como fecha de vaciado el 09/09/2025 y como fecha de rotura el 16/09/2025.

De igual modo, los resultados para la edad de 14 días se tomaron de acuerdo a los resultados obtenidos en KN por la máquina de compresión axial según la Figura 48. Mediante la Tabla 47 se puede observar la resistencia alcanzada en kgf/cm<sup>2</sup>.

Figura 48

*Resultado de la rotura de testigos de concreto Yura a los 14 días*



**Tabla 47**

*Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de Yura a los 14 días*

N° Briqueta	Resultado (KN)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	311,77	15	176,715	179,84
2	307,65	15	176,715	177,47
3	330,03	15	176,715	190,38
4	334,86	15	176,715	193,16
5	303,18	15	176,715	174,89
6	299,76	15	176,715	172,91

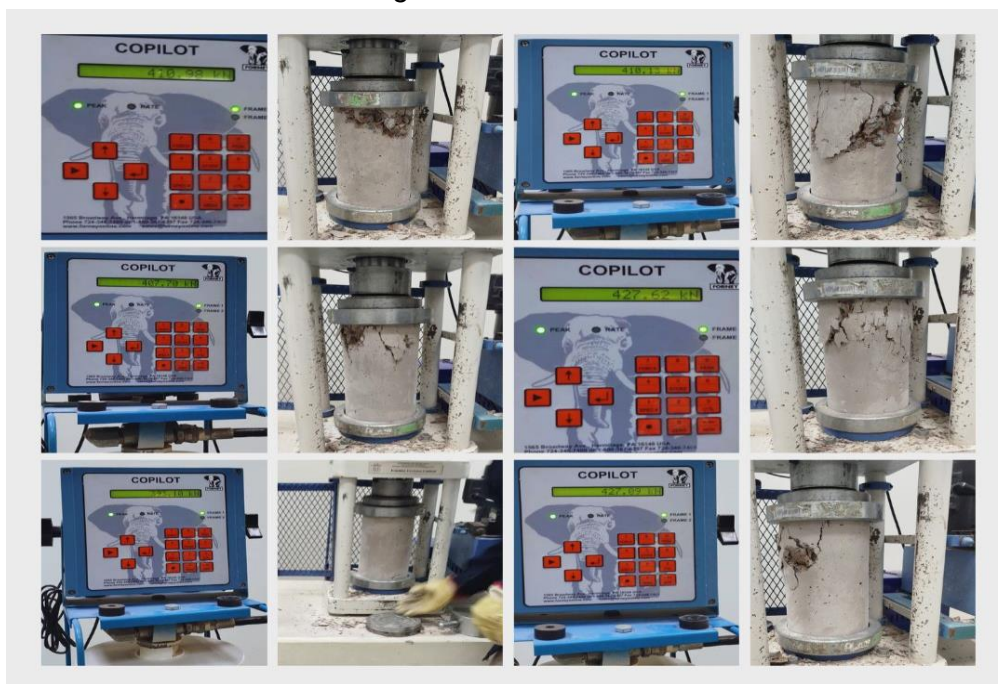
*Nota.* La resistencia de las briquetas de YURA a los 14 días se calculó considerando las unidades de medida más prácticas.

Las briquetas realizadas con la dosificación empleando cemento Yura de edad de 14 días tuvieron como fecha de vaciado el 09/09/2025 y como fecha de rotura el 23/09/2025.

Así mismo, los resultados para la edad de 28 días se tomaron de acuerdo a los resultados obtenidos en KN por la máquina de compresión axial según la Figura 49. Mediante la Tabla 48 se puede observar la resistencia alcanzada en kgf/cm<sup>2</sup>

**Figura 49**

*Resultado de la rotura de testigos de concreto Yura a los 28 días*



*Nota.* La rotura de las probetas de YURA a los 28 días se hizo de forma consecutiva bajo la misma fuerza constante.

**Tabla 48**

*Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de Yura a los 28 días*

<b>N° Briqueta</b>	<b>Resultado (KN)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	410,98	15	176,715	237,07
2	407,70	15	176,715	235,18
3	393,10	15	176,715	226,76
4	410,13	15	176,715	236,58
5	427,62	15	176,715	246,67
6	427,09	15	176,715	246,36

*Nota.* La resistencia de las briquetas de YURA a los 28 días se calculó considerando las unidades de medida más prácticas.

Las briquetas realizadas con la dosificación empleando cemento Yura de edad de 28 días tuvieron como fecha de vaciado el 08/09/2025 y como fecha de rotura el 06/10/2025.

#### **4.5.2. CBB**

Una vez pasado el tiempo de curado a los 7 días según la Figura 50, a los 14 días según la Figura 51 y 28 días según la Figura 52 para las briquetas hechas con cemento Cbb, se realizó el ensayo de resistencia a compresión axial para cada edad.

**Figura 50**

*Probetas de Cbb curadas durante 7 días*



*Nota.* Las probetas de CBB a los 7 días se dejaron secar durante un par de horas antes de realizar la rotura.

**Figura 51***Probetas de Cbb curadas durante 14 días*

*Nota.* Las probetas de CBB a los 14 días se dejaron secar durante un par de horas antes de realizar la rotura.

**Figura 52***Probetas de Cbb curadas durante 28 días*

*Nota.* Las probetas de CBB a los 28 días se dejaron secar durante un par de horas antes de realizar la rotura.

Los resultados para la edad de 7 días se tomaron de acuerdo a los resultados obtenidos en KN por la máquina de compresión axial según la Figura 53. De igual modo, mediante la Tabla 49 se puede observar la resistencia alcanzada en  $\text{kgf/cm}^2$ .

Figura 53

Resultado de la rotura de testigos de concreto Cbb a los 7 días



Nota. La rotura de las probetas de CBB a los 7 días se hicieron de forma consecutiva bajo la misma fuerza constante.

Tabla 49

Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de Cbb a los 7 días

N° Briqueta	Resultado (KN)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	293,45	15	176,715	169,27
2	294,99	15	176,715	170,16
3	296,32	15	176,715	170,93
4	278,54	15	176,715	160,67
5	305,96	15	176,715	176,49
6	306,13	15	176,715	176,59

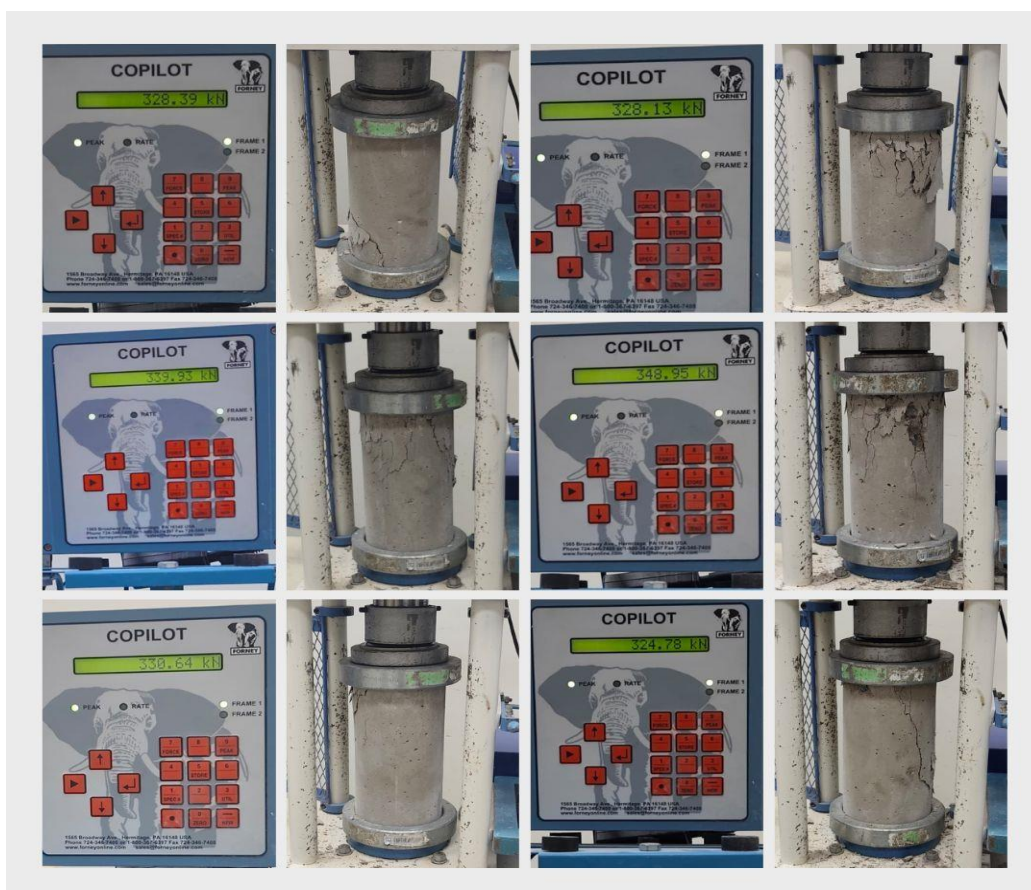
Nota. La resistencia de las briquetas de CBB a los 7 días se calculó considerando las unidades de medida más prácticas.

Las briquetas realizadas con la dosificación empleando cemento Cbb de edad de 7 días tuvieron como fecha de vaciado el 08/09/2025 y como fecha de rotura el 15/09/2025. De igual modo, los resultados para la edad de 14 días se tomaron de

acuerdo a los resultados obtenidos en KN por la máquina de compresión axial según la Figura 54. Mediante la Tabla 50 se puede observar la resistencia alcanzada en  $\text{kgf/cm}^2$ .

**Figura 54**

*Resultado de la rotura de testigos de concreto Cbb a los 14 días*



*Nota.* La rotura de las probetas de CBB a los 14 días se hicieron de forma consecutiva bajo la misma fuerza constante.

**Tabla 50**

*Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de Cbb a los 14 días*

N° Briqueeta	Resultado (KN)	Diámetro (cm)	Área ( $\text{cm}^2$ )	Resistencia ( $\text{kgf/cm}^2$ )
1	328,39	15	176,715	189,43
2	339,93	15	176,715	196,09
3	330,64	15	176,715	190,73
4	328,13	15	176,715	189,28
5	348,95	15	176,715	201,29
6	324,78	15	176,715	187,35

*Nota.* La resistencia de las briquetas de CBB a los 14 días se calculó considerando las unidades de medida más prácticas.

Las briquetas realizadas con la dosificación empleando cemento CBB de edad de 14 días tuvieron como fecha de vaciado el 08/09/2025 y como fecha de rotura el 22/09/2025. Así mismo, los resultados para la edad de 28 días se tomaron de acuerdo a los resultados obtenidos en KN por la máquina de compresión axial según la Figura 55. Mediante la Tabla 51 se puede observar la resistencia alcanzada en  $\text{kgf/cm}^2$ .

**Figura 55**

*Resultado de la rotura de testigos de concreto CBB a los 28 días*



*Nota.* La rotura de las probetas de CBB a los 28 días se hicieron de forma consecutiva bajo la misma fuerza constante.

**Tabla 51**

*Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de CBB a los 28 días*

<b>N° briqueta</b>	<b>Resultado (kn)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>
1	397,60	15	176,715	229,35
2	368,99	15	176,715	212,85
3	364,50	15	176,715	210,26
4	371,99	15	176,715	214,58
5	371,95	15	176,715	214,56
6	385,46	15	176,715	222,35

*Nota.* La resistencia de las briquetas de CBB a los 28 días se calculó considerando las unidades de medida más prácticas.

Las briquetas realizadas con la dosificación empleando cemento CBB de edad de 28 días tuvieron como fecha de vaciado el 08/09/2025 y como fecha de rotura el 06/10/2025.

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

### 5.1. Análisis de verificación de requisitos

De acuerdo con la verificación y comparación realizada con las fichas técnicas de ambas marcas de cemento (Yura y Cbb) con respecto a la NTP 334.090, se pudo comprobar que las dos marcas cumplen con los parámetros establecidos en la normativa tanto en su aspecto químico como físico, lo que a primera instancia puede ser un buen indicativo para garantizar que dichas marcas son idóneas para usarlas en el concreto estructural.

Sin embargo, si bien cemento tipo IP Yura presenta un rango de valores aceptables dentro de lo estipulado en la normativa, no especifica concretamente los valores como tal a diferencia de los datos brindados por la ficha técnica del cemento tipo IP Cbb.

Con respecto a los requisitos químicos, el cemento Yura presenta un contenido de óxido de magnesio (MgO) en un rango de 1,5 % a 3 %, mientras que el cemento CBB presenta un valor fijo de 2,6 %, siendo ambos valores muy por debajo del límite máximo del 6 % que contempla la normativa, por lo que se infiere que poseen una baja probabilidad de expansiones tardías que podrían afectar la durabilidad del concreto. Así mismo, el trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) se encuentra dentro del límite permisible de 4 % siendo para cemento Yura un rango de 1,5 % a 3 %, mientras que para CBB se tiene 2%, lo cual evidencia un control correcto del contenido de yeso dentro de sus componentes, siendo un componente necesario para regular el tiempo de fraguado para cada marca de cemento. De igual forma, la pérdida por ignición presenta valores de 1,5% a 4 % y 3,30 % para Yura y Cbb respectivamente, por lo que se encuentran por debajo del valor máximo del 5 % según la norma, reflejando una buena dosificación de material puzolánico.

Cabe resaltar que las fichas técnicas del cemento Yura y Cbb no proporcionan información sobre otros parámetros químicos como residuo insoluble y contenido de puzolana, los cuales también influyen en el desempeño del cemento, sin embargo, se considera que la ficha técnica tomó los requisitos más representativos a fin de dar cumplimiento con los principales requerimientos de calidad química estipulados por la norma.

En cuanto a los requisitos físicos, tanto cemento Yura como Cbb presentan valores dentro de los rangos establecidos por la NTP 334.090. La densidad del cemento YURA varía entre 2,70 y 2,80 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que la del cemento Cbb es de 2,96 gr/cm<sup>3</sup>, sin embargo, la normativa no establece un límite específico para este parámetro, pero se puede inferir que los valores proporcionados en sus fichas técnicas se encuentran dentro del rango habitual para cemento tipo IP, lo que indica una proporción adecuada de compuestos minerales. Por otro lado, la contracción o expansión en autoclave del cemento Yura presenta valores entre -0,09 % y 0,05 %, y para Cbb alcanza 0,08 %, ambos dentro del intervalo establecido por la norma de -0,20 a 0,80 %, lo que da indicios de ausencia de compuestos expansivos perjudiciales. Así mismo, el tiempo de fraguado inicial Vicat, los resultados para Yura y Cbb indican una reactividad adecuada del clinker y un comportamiento normal durante el mezclado y colocación del concreto. De igual manera, el contenido de aire en el cemento Yura oscila entre 3 % y 8 %, por lo que se encuentra dentro del límite máximo de 12 % establecido por la norma, lo que sugiere una buena compacidad del material, por otro lado, para el cemento Cbb, este valor no se especifica en la ficha técnica, por lo que no fue posible verificar su cumplimiento.

En relación a la resistencia a la compresión especificado en las fichas técnicas a los 3, 7 y 28 días, ambos cementos presentaron valores que cumplieran con los mínimos exigidos por la NTP 334.090, la cual establece que debe ser como mínimo 133 kgf/cm<sup>2</sup> a los 3 días, 204 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 255 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días.

Por su parte, el cemento YURA muestra resistencias comprendidas entre 150 y 210 kgf/cm<sup>2</sup> a los 3 días, 210 y 240 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 días, y 290 a 360 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días, superando en todos los casos los valores mínimos establecidos, dichos valores sugieren un desarrollo progresivo de la resistencia, evidenciando un proceso de hidratación eficiente y un adecuado contenido de puzolana en su composición. En cuanto al cemento CBB presenta resistencias promedio de 187,63 kgf/cm<sup>2</sup> a los 3 días, 223,32 kgf/cm<sup>2</sup> a los 7 días y 298,78 kgf/cm<sup>2</sup> a los 28 días, reflejando un comportamiento mecánico equivalente al de cementos de características similares, con un adecuado crecimiento de resistencia a medida que avanza la edad del curado.

En términos generales a primera instancia se puede confirmar la idoneidad de ambas marcas de cemento para uso estructural, sin embargo, el rango superior alcanzado por el cemento Yura sugiere una mayor ganancia potencial de resistencia, lo que podría traducirse en un mejor desempeño mecánico en comparación con el cemento Cbb.

## 5.2. Análisis de ensayos estándares

### 5.2.1. Análisis de granulometría del agregado grueso

De acuerdo a la granulometría del agregado grueso obtenida según la Tabla 10, se pudo determinar que el tamaño máximo nominal corresponde a 3/4" (19 mm), mientras que el tamaño máximo corresponde a 1" (25 mm), por lo que, según la NTP 400.037 el material debe cumplir con los rangos establecidos en el Huso 6 Tabla 52, el cual establece el porcentaje que debe pasar por los tamices normalizados en relación al tamaño máximo nominal del agregado grueso, siendo en el presente caso de 3/4", por lo que correspondería al huso 6.

**Tabla 52**

*Porcentaje que pasa requerido según tamaño máximo nominal del agregado grueso*

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (3 pulg)	37.5 mm (1 1/2 pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	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")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2" a No. 4)				100	95 a 100		35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
4	37.5 mm a 19 mm (1 1/2" a 3/4")				100	90 a 100		20 a 55	0 a 5	-	0 a 5	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2" a No. 4)				100	90 a 100		35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1" a 1/2")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1" a 3/8")					100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1" a No. 4)					100	90 a 100		25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4" a 3/8")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4 mm (3/4" a No. 4)						100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2" a No. 4)							100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8" a No. 8)								100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2" a 3/8")								100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (No. 4 a No. 1)									100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

*Nota.* De "AGREGAGOS. Agregados para concreto. Requisitos" por INACAL, 2018.

Realizando una comparación en la Tabla 53 con los resultados obtenidos de porcentaje que pasa por los tamices normalizados del agregado grueso, se presenta una gradación que se ajusta al huso 6 de la NTP 400.037, aunque se observó que hay una ligera desviación en el tamiz de 3/4", con un porcentaje que pasa del 85,29 %, siendo menor al límite inferior de 90 % indicado en la norma. Dicha desviación indica que la piedra chancada tiene una distribución de partículas ligeramente más gruesa, lo cual, si bien no va a afectar en gran escala la resistencia del concreto, podría incidir en su trabajabilidad.

**Tabla 53**

Comparación de granulometría de agregado grueso y NTP 400.037

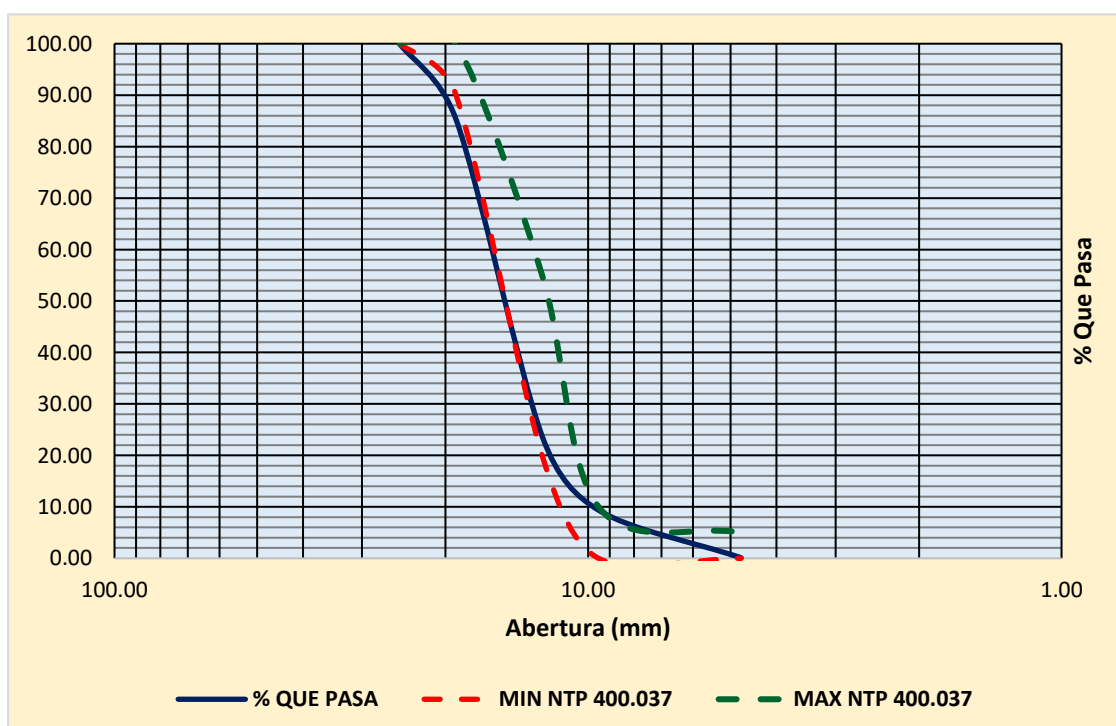
Tamiz	Rango NTP 337.040 (% que pasa)	Granulometría Ag. Grueso	Cumple
1"	100	100	SI
3/4"	90-100	85,29	NO
1/2"	20-55	23,75	SI
3/8"	0-10	9,36	SI
N°4	0-5	0,10	SI

*Nota.* Los datos de granulometría del agregado grueso cumplen en un 80% con los rangos establecidos por la NTP 337.040.

Mediante la Figura 56, se puede observar la curva granulométrica del agregado grueso en comparación con los límites mínimos y máximos establecidos por la NTP 400.037.

**Figura 56**

Verificación de límites en la curva granulométrica del agregado grueso



*Nota.* Se detalla la curva granulométrica del agregado grueso, como el porcentaje que paso y el rango mínimo y máximo que se obtuvo según la NTP 400.037

### 5.2.2. Análisis de granulometría de agregado fino

Según la granulometría del agregado fino obtenida según la Tabla 11, se realizó la comparación de los resultados obtenidos en relación a los valores mínimos y máximos establecidos por la NTP 400.037 según se observa en la Tabla 54, la cual establece el porcentaje que pasa por cada tamiz.

**Tabla 54**

*Porcentaje que pasa requerido para agregado fino*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa</b>
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 um (No. 30)	25 a 60
300 um (No. 50)	5 a 30
150 um (No. 100)	0 a 10
75 um (No. 200)	0 a 3.0

*Nota.* De "AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos" por INACAL, 2018.

Mediante la Tabla 55 se pudo verificar que la arena gruesa cumple con los requisitos normativos en todos los tamices considerados, del mismo modo que se determinó el módulo de fineza, correspondiendo a 3,03.

**Tabla 55**

*Comparación de granulometría de agregado fino y NTP 400.037*

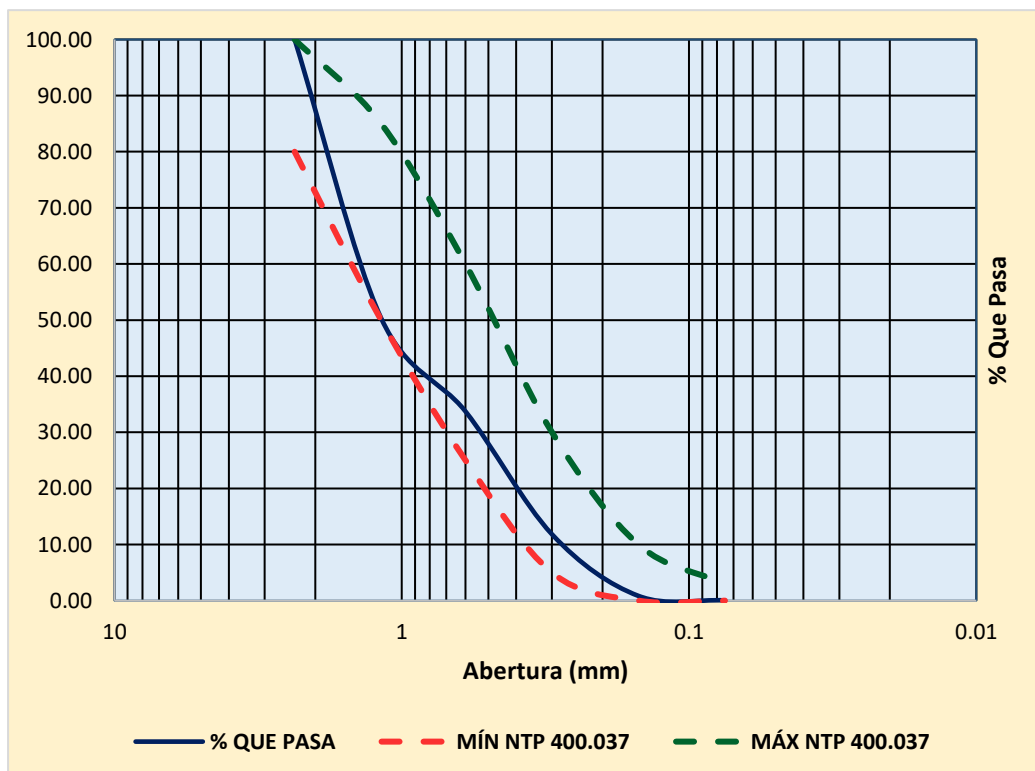
<b>Tamiz</b>	<b>Rango NTP 337.040 (% que pasa)</b>	<b>Granulometría Ag. Fino</b>	<b>Cumple</b>
No. 8	80-100	100	SI
No. 16	50-85	50,33	SI
No. 30	25-60	33,72	SI
No. 50	5-30	11,81	SI
No. 100	0-10	0,84	SI
No. 200	0-3	0,04	SI

*Nota.* Los datos de granulometría del agregado fino cumplen en su totalidad con los rangos establecidos según la NTP 337.040.

Mediante la Figura 57, se puede observar la curva granulométrica del agregado fino en comparación con los límites mínimos y máximos establecidos por la NTP 400.037.

**Figura 57**

Verificación de límites en la curva granulométrica del agregado fino



Nota. Se detalla la curva granulométrica del agregado fino, el porcentaje que pasa se encuentra dentro del rango mínimo y máximo que se obtuvo según la NTP 400.037.

Se puede determinar que la granulometría del agregado fino es adecuada para su uso en concreto estructural, y, asimismo, una arena con un módulo de fineza de 3,03 indica que tendrá tendencia a reducir la demanda de agua y la cantidad de pasta necesaria para lograr una correcta trabajabilidad, lo cual favorece a una mayor densidad y por ende a una mejor resistencia mecánica del concreto, siempre y cuando se tenga en cuenta este factor al momento de hacer la dosificación.

### 5.3. Análisis del contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad realizado sobre la muestra de agregado fino, es decir, arena gruesa, indicó un contenido de humedad de 2,45 % según la Tabla 12, lo cual significa que, al momento de pesar la arena, el material contenía aproximadamente 2,45 kg de agua por cada 100 kg de arena seca.

En la dosificación, el valor de la humedad se comparó con la absorción del agregado, siendo de 0,55 %, en este caso, el porcentaje de contenido de humedad al ser mayor que el porcentaje de absorción, da a entender que el agregado aportará agua

libre a la mezcla, la cual debe restarse a contribución del agua total. Asimismo, se puede considerar que el contenido de humedad es alto para la arena y puede influir en la trabajabilidad si no se corrige la cantidad de agua de mezcla.

Asimismo, el ensayo de contenido de humedad realizado sobre la muestra del agregado grueso, es decir, la piedra chancada, mostró un contenido de humedad de 0,32 % según Tabla 13, lo cual sugiere que la piedra poseía una cantidad de agua superficial relativamente baja en el momento de la realización del ensayo.

Al realizar la comparación del contenido de humedad con el porcentaje de absorción de 0,89 %, se determina que el agregado absorberá agua durante la mezcla del concreto. Sin embargo, 0,32 % de humedad se puede considerar un valor bajo y si bien su efecto sobre la cantidad de agua total es pequeño, no debe ser despreciable, por lo que se debe realizar la corrección correspondiente.

#### **5.4. Análisis de ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso**

El ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso se realizó teniendo como base la NTP 400.021, obteniéndose los resultados:

- Peso específico aparente: 2,28 gr/cm<sup>3</sup>
- Peso específico relativo (SSS): 2,26 gr/cm<sup>3</sup>
- Peso específico seco al horno: 2,24 gr/cm<sup>3</sup>

Los valores obtenidos se compararon con el rango típico de peso específico para agregados gruesos que varía entre 2,4 gr/cm<sup>3</sup> y 2,9 gr/cm<sup>3</sup> según la norma ASTM C127, por lo que se determinó que los valores hallados se encuentran ligeramente por debajo del promedio, lo que sugiere que la piedra chancada presenta cierta porosidad que podría influir en la absorción del agua durante el mezclado de concreto.

Del mismo modo, se debe especificar que el valor que se usará para realizar el diseño de mezcla es el peso específico relativo de la Tabla 14, ya que no absorbe ni libera agua al concreto, a diferencia del peso específico seco al horno de la Tabla 15 y el aparente de la Tabla 16, que no reflejan el comportamiento real del agregado en el concreto.

Con respecto a la absorción, el valor obtenido fue de 0,89 %, lo cual indica que el agregado no presenta una absorción excesiva, y, por lo tanto, no afectará la relación agua/cemento de la mezcla.

### 5.5. Análisis de ensayo de peso específico y absorción del agregado fino

Para el desarrollo del Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino se tuvo como referencia la Norma ASTM C – 128 y la Norma Técnica Peruana NTP 400.022. Inicialmente, se determinó el estado saturado superficialmente seco (SSS) mediante un molde cónico, y se trabajó con dos muestras de 350,10 gr y 350,40 gr, las cuales fueron sometidas a un proceso de eliminación de aire y estabilización en baño María. Posterior a ello, se obtuvo como resultado los pesos del matraz con agregado y agua: 879,60 gr para la muestra 1 y 870,70 gr para la muestra 2; y los pesos del matraz con solo agua: 662,90 gr y 653,40 gr respectivamente a cada muestra. Con estos datos, se calculó el volumen desplazado por el agregado y, en consecuencia, se determinó el peso específico en estado seco superficialmente saturado, obteniendo valores de 2,624 gr/cm<sup>3</sup> según la Tabla 18 y 2,633 gr/cm<sup>3</sup> según la Tabla 19. El valor promedio fue de **2,629 gr/cm<sup>3</sup> de acuerdo a lo observado en la Tabla 20**, cumpliendo con los parámetros establecidos según la normativa.

Seguidamente se realizó el Ensayo de Porcentaje de absorción del Agregado Fino, para el cual se calculó el agua de absorción mediante la fórmula de la ecuación 12, siendo equivalente a la diferencia del peso del agregado fino en un estado Saturado Superficialmente Seco y el peso del agregado fino seco, donde se obtuvo como resultado 1,9 gr para la muestra 1 y 2,6 gr para la muestra 2. Luego de conocer los valores del agua de absorción para cada muestra se aplicó la fórmula de la ecuación 13, donde el porcentaje de absorción es equivalente a el agua de absorción dividido entre el peso del agregado seco multiplicado por cien. Teniendo como resultado final 0,55 % para la muestra 1 de acuerdo a la Tabla 21 y 0,74% para la muestra 2 según la Tabla 22, finalmente se obtuvo un promedio de las dos muestras cuyo valor del porcentaje de absorción fue de 0,64 % según la Tabla 23.

De acuerdo con los resultados obtenidos y conforme a los procedimientos establecidos en las normas ASTM C-128 y NTP 400.022, el peso específico del agregado fino en condición saturada superficialmente seca (SSS) presentó un valor promedio de 2,629 gr/cm<sup>3</sup>, lo que indica una densidad adecuada para un agregado natural de buena calidad, además, dicho valor se encuentra dentro del rango típico de arenas silíceas o cuarzosas empleadas en concretos estructurales. Por otro lado, el porcentaje de absorción promedio fue de 0,64 %, lo cual evidencia una baja porosidad del material, característica favorable para el control de la relación agua/cemento y la durabilidad del concreto.

Los resultados reflejan una correcta preparación, secado y determinación del estado SSS de las muestras, confirmando que el agregado fino cumple con los criterios de aceptación establecidos por la norma, garantizando un comportamiento estable y predecible dentro de las mezclas de concreto estructural.

#### **5.6. Análisis de ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino**

Para el ensayo del peso unitario suelto se tuvo como referencia la Norma ASTM C-29 y la NTP 400.017, donde el material fue vertido sin compactación, eliminando el excedente a ras con una varilla metálica, obteniéndose la masa total del agregado, obteniéndose 3 muestras en el molde cilíndrico con un volumen de 5301,44 cm<sup>3</sup>. La muestra 1 se obtuvo de resultado un peso unitario de 2,825 gr/cm<sup>3</sup> según Tabla 24, para la muestra 2 se obtuvo de resultado 2,822 gr/cm<sup>3</sup> según la Tabla 25 y finalmente la muestra 3 se obtuvo un peso unitario de 2,932 gr/cm<sup>3</sup> según Tabla 26. Finalmente se determinó el promedio del peso unitario suelto del agregado fino para las tres muestras, dando como resultado 2,860 gr/cm<sup>3</sup> según Tabla 27.

Por otro lado, para el peso unitario varillado, el agregado se incorporó en tres capas, cada una compactada mediante 25 golpes con la varilla metálica, asegurando que todo el agregado que se encuentre dentro del molde sea uniformemente distribuido. Se obtuvo como resultado de las 3 muestras los siguientes valores: 3,130 gr/cm<sup>3</sup> para la muestra 1 según Tabla 28, 3,233 gr/cm<sup>3</sup> para la muestra 2 según la Tabla 29 y 3,215 gr/cm<sup>3</sup> para la muestra 3 según la Tabla 30. Finalmente se calculó el promedio del peso unitario varillado del agregado fino, dando como resultado 3,193 gr/cm<sup>3</sup> de acuerdo a la Tabla 31.

Según los resultados obtenidos, el peso unitario promedio del agregado fino en condición suelto fue de 2,860 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que en condición compactada alcanzó un valor de 3,193 gr/cm<sup>3</sup>. Esta diferencia evidencia el efecto del grado de compactación sobre la densidad aparente del material, lo cual influye directamente en el volumen ocupado por los vacíos del agregado dentro de la mezcla. Los valores obtenidos se encuentran dentro de los rangos esperados para arenas naturales, indicando una granulometría uniforme y una adecuada forma de partículas. De acuerdo con la norma, estos resultados permiten estimar correctamente la proporción volumétrica de agregados en el diseño de mezcla, garantizando la trabajabilidad, resistencia y durabilidad del concreto estructural. Por tanto, el agregado fino ensayado cumple con

las especificaciones técnicas requeridas para su uso en mezclas de concreto conforme a la normativa vigente.

### **5.7. Análisis de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso**

Para el ensayo del peso unitario suelto se tuvo como referencia la Norma ASTM C-29 y la NTP 400.017, donde el material fue vertido sin compactación, eliminando el excedente a ras con la varilla metálica, obteniéndose la masa total del agregado. Donde se obtuvieron 3 muestras en el molde cilíndrico con un volumen de  $5301,44 \text{ cm}^3$ . Para la muestra 1 se obtuvo de resultado un peso unitario de  $2,73 \text{ gr/cm}^3$  según la Tabla 32, la muestra 2 se obtuvo de resultado  $2,449 \text{ gr/cm}^3$  de acuerdo a la Tabla 33, y finalmente, la muestra 3 se obtuvo un peso unitario de  $2,665 \text{ gr/cm}^3$  según la Tabla 34. Finalmente se determinó el promedio del peso unitario suelto del agregado fino para las tres muestras, dando como resultado  $2,614 \text{ gr/cm}^3$  de acuerdo a la Tabla 35.

Por otro lado, para el peso unitario varillado, el agregado se incorporó en tres capas, cada una compactada mediante 25 golpes con la varilla metálica, asegurando que todo el agregado que se encuentre dentro del molde sea uniformemente distribuido. Se obtuvo como resultado de las 3 muestras los siguientes valores:  $2,871 \text{ gr/cm}^3$  para la muestra 1 según la Tabla 36;  $2,752 \text{ gr/cm}^3$  para la muestra 2 según la Tabla 37 y  $2,863 \text{ gr/cm}^3$  para la muestra 3 de acuerdo a la Tabla 38. Finalmente se determinó el promedio del peso unitario varillado del agregado fino, dando como resultado  $2,829 \text{ gr/cm}^3$  según la Tabla 39.

De acuerdo con los procedimientos establecidos por las normas ASTM C-29 y NTP 400.017, el peso unitario promedio del agregado grueso en condición suelta fue de  $2.614 \text{ gr/cm}^3$ , mientras que en condición compactada alcanzó un valor de  $2,829 \text{ gr/cm}^3$ . Esta diferencia representa el efecto de la compactación sobre la densidad aparente, reduciendo el volumen de vacíos y evidenciando una adecuada distribución granulométrica y forma angular del agregado. Asimismo, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango típico de los agregados pétreos naturales, indicando que el material presenta una alta densidad y baja porosidad, las cuales son condiciones favorables para el desarrollo de concretos estructurales de buena resistencia. Según los criterios de la norma, estos resultados permiten estimar con precisión las proporciones volumétricas en el diseño de mezcla, contribuyendo al control de la trabajabilidad, compacidad y desempeño mecánico del concreto, garantizando así su calidad y durabilidad en aplicaciones estructurales.

## **5.8. Análisis de ensayo de consistencia**

En el ensayo de asentamiento (slump), se evaluó la consistencia del concreto fresco compuesto por cemento, agua, agregado fino y grueso. La mezcla fue colocada en un molde tronco cónico en tres capas compactadas mediante 25 golpes de varilla por capa, conforme a la metodología estándar. Al retirar el molde verticalmente, se midió la pérdida de altura del concreto, obteniéndose un asentamiento de 60 mm. Este valor, según la NTP 339.035, clasifica la mezcla como de consistencia plástica, lo cual indica una buena trabajabilidad sin riesgo inmediato de segregación, adecuada para elementos estructurales moldeados con cierta facilidad.

La consistencia obtenida demuestra una correcta dosificación de los materiales y una relación agua/cemento equilibrado, garantizando un comportamiento óptimo del concreto fresco durante su manipulación.

## **5.9. Análisis de dosificación**

### **5.9.1. Dosificación con cemento Yura**

En la dosificación con cemento Yura, se consideró un peso específico de 2,85 gr/cm<sup>3</sup> para el cemento de acuerdo a lo señalado en su ficha técnica, así mismo, se tomaron en cuenta valores diferentes para el caso del porcentaje de absorción y porcentaje de contenido de humedad del agregado fino, siendo anteriormente de 0,64 % y 2,45 % respectivamente, sin embargo, a sugerencia del técnico responsable de laboratorio, se optó por usar valores sugeridos de 1,40 % para la absorción y 1,20 % para el contenido de humedad. Del mismo modo, se ajustaron los valores de 1 610 kg/m<sup>3</sup> y 1 850 kg/m<sup>3</sup> para el peso unitario suelto y compactado del agregado fino. Con respecto al agregado grueso, se tomó el valor de 2,64 gr/cm<sup>3</sup> como peso específico, siendo anteriormente de 2,26 gr/cm<sup>3</sup>, así como el peso unitario suelto y compactado, que se cambiaron a 1 320 kg/m<sup>3</sup> y 1 530 kg/m<sup>3</sup>.

Al hallar la resistencia a la compresión media requerida, se usó la Tabla 41 extraída del método ACI 211, debido a que no se contaban con datos para estimar la desviación estándar. El valor obtenido de 294 kgf/cm<sup>2</sup> se consideró como la media que debe alcanzarse en los ensayos de control, tomando en cuenta que durante el proceso siempre hay cierta dispersión y variabilidad en el mezclado y curado, por lo que garantiza que la resistencia especificada se cumpla con una probabilidad aceptable, de forma que se estima que parte de los resultados que arroje la rotura de ciertas probetas

queden por debajo o por encima, pero que la media quede situada lo suficientemente alta para cumplir la resistencia especificada.

Para la dosificación se seleccionó una consistencia del concreto correspondiente a asentamiento plástico (3" – 4") según la Tabla 40 y en concordancia al ensayo de consistencia, a fin de obtener una mezcla que facilite llenar los moldes cilíndricos, la compactación y el acabado sin provocar segregación ni exceso de exudación.

El porcentaje de aire atrapado del 2 % para agregados con tamaño máximo nominal de 3/4" según Tabla 42, representó el aire que queda atrapado en la mezcla por la acción del mezclado en el trompo y en menor medida por la forma de los agregados. Dicho valor incide en la dosificación ya que el aire ocupa volumen en la mezcla, reduciendo la cantidad de agregados y de pasta requerida.

La relación agua/cemento se halló mediante la interpolación de datos presentados en la Tabla 43, que relaciona la resistencia a la compresión media requerida con la relación agua/cemento. Al obtener previamente un  $f'_{cr}$  de 294 kgf/cm<sup>2</sup>, se realizó el cálculo resultando en una relación agua/cemento de 0,56, dicho valor contribuye a mantener un equilibrio entre la durabilidad y manejabilidad de la mezcla, sin comprometer la consistencia plástica seleccionada, por lo que se considera un valor medio ya que si la relación agua/cemento es baja, habrá menos agua, indicando que el concreto será más resistente pero también más seco y menos trabajable, por el contrario, si la relación es muy alta, el concreto será más fluido y más trabajable, pero su resistencia y durabilidad disminuirán por el exceso de agua que dejará vacíos.

El valor de 205 lt/m<sup>3</sup> de agua obtenido según la Tabla 44, indica la cantidad necesaria de agua por metro cúbico de concreto para alcanzar la consistencia plástica deseada, garantizando buena trabajabilidad durante el mezclado y colocación del concreto fresco, evitando un exceso de agua que comprometa la resistencia final. Del mismo modo, en relación al valor unitario de agua por m<sup>3</sup> de concreto se halló el contenido de cemento de 367,71 kg/m<sup>3</sup>, lo cual refleja la cantidad óptima requerida para lograr la resistencia media de diseño de 294 kg/cm<sup>2</sup> en función de la relación agua/cemento de 0,56 hallada previamente, siendo dicho valor una evidencia de un equilibrio moderado entre la trabajabilidad, durabilidad y resistencia.

Con respecto al factor cemento de 8,65, representa la cantidad de bolsas de cemento de 42,5 kg necesarias para elaborar un metro cúbico de concreto con la dosificación obtenida, permitiendo estimar la cantidad de material requerido. Asimismo,

de acuerdo a conocimiento general de obra, se puede considerar que un factor cercano a 9 bolsas de por metro cúbico es típico para concretos de resistencia media, es decir, concretos de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , por lo que se contempla la coherencia en la dosificación obtenida.

En relación al volumen unitario de agregado grueso, se debe considerar que, según la Tabla 45, se relaciona el tamaño máximo nominal del agregado grueso con el módulo de fineza del agregado fino, siendo este último de 3,03, por lo que al ser un valor muy cercano a 3,00, se optó por no realizar la interpolación y tomar directamente el valor entero mostrado en la misma tabla, obteniéndose un valor 0,60 como volumen unitario de agregado grueso. Dicho valor indica que el 60 % del volumen total del concreto está ocupado por el agregado grueso, lo cual es un valor común para concretos con agregados de tamaño máximo nominal de  $3/4''$ . Además, a partir del volumen se obtuvo el peso del agregado grueso de  $918 \text{ kg/m}^3$ , representando la cantidad de piedra chancada necesaria para producir un metro cúbico de concreto con la trabajabilidad y resistencia requerida.

El cálculo de los volúmenes absolutos permitió conocer la proporción que ocupa cada componente dentro de un metro cúbico de concreto, para el presente caso, se determinó que el cemento ocupa un volumen de  $0,129 \text{ m}^3$ , el agregado grueso ocupó  $0,348 \text{ m}^3$ , el agua ocupa  $0,205 \text{ m}^3$  y el aire atrapado  $0,02 \text{ m}^3$ . Al restar la suma de dichos volúmenes al volumen total representado por 1 unidad de metro cúbico, es decir  $1 \text{ m}^3$ , se obtuvo que volumen del agregado fino, siendo de  $0,298 \text{ m}^3$ , representando aproximadamente el 29,8 % del volumen total del concreto, este valor indica que en la mezcla predominará el agregado grueso que posee un valor mayor, a diferencia del agregado fino hallado previamente, este resultado se considera como algo deseable ya que refleja una dosificación adecuada para concretos estructurales, de forma que un mayor contenido de agregado grueso reduce la cantidad de cemento y agua necesaria para llenar los vacíos, disminuyendo el calor de hidratación y mejorando la estabilidad del concreto.

Del mismo modo, el peso del agregado fino obtenido de  $785,29 \text{ kg/m}^3$ , representa la cantidad necesaria de arena gruesa para conformar un metro cúbico de concreto con las características establecidas. Dicho valor guarda relación con la proporción de agregados gruesos y finos dentro de la mezcla, indicando un equilibrio adecuado para lograr una buena trabajabilidad y cohesión.

Al obtener todos los resultados anteriores, se realizó la corrección por humedad de los valores de diseño, los cuales representan las cantidades reales de los materiales

que se emplearán, considerando la presencia de agua en los agregados. Para el caso del agregado fino, la corrección por contenido de humedad (1,2 %) aumentó ligeramente su peso a  $794,71 \text{ kg/m}^3$ , mientras que, para el agregado grueso, con un contenido de humedad menor (0,32%), el peso corregido fue de  $920,94 \text{ kg/m}^3$ . Estas correcciones se realizaron para asegurar que la cantidad total de agua efectiva en la mezcla sea la adecuada, evitando que el exceso o déficit de humedad afecte la trabajabilidad, resistencia o durabilidad del concreto.

Del mismo modo se realizó la corrección por absorción para ajustar la cantidad real de agua en la mezcla, considerando que los agregados tienden a retener o aportar humedad al concreto. Para el presente caso, se consideró que tanto el agregado fino como grueso presentaron un contenido de humedad menor que su capacidad de absorción, por lo que absorberán parte del agua de mezclado, lo cual se refleja en los valores negativos de la corrección de  $-1,57 \text{ kg}$  para el agregado fino y  $-4,87 \text{ kg}$  para el agregado grueso, indicando una demanda adicional de agua. Es a razón de ello, que el agua efectiva aumentó a  $211,44 \text{ lt/m}^3$ , valor que representa la cantidad total necesaria para lograr la trabajabilidad y resistencia requerida en el concreto de diseño.

Para el caso del contenido de cemento efectivo de  $379,26 \text{ kg/m}^3$ , este parámetro representa la cantidad real necesaria para mantener la relación agua/cemento establecida en el diseño, siendo de 0,56, en consideración a la corrección del agua efectiva, es por ello que, al incrementarse ligeramente el agua disponible en la mezcla, también aumenta proporcionalmente la cantidad de cemento para conservar la misma relación agua/cemento, por lo que el valor obtenido garantiza que el concreto posea resistencia sin comprometer la trabajabilidad.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, se realizó la proporción para la dosificación, comenzando por la proporción de acuerdo al peso, expresando la relación en peso entre los materiales que conforman el concreto. Al tomar una parte entera de cemento, se requieren 2,10 partes de agregado fino y 2,43 partes de agregado grueso para mantener una composición óptima de mezcla, y del mismo modo, la verificación de la relación agua/cemento confirma que el valor de 0,56 se conserva tras los ajustes por humedad y absorción, lo que garantiza la coherencia del diseño. Es a razón de ello, que se puede determinar que las proporciones obtenidas de 1: 2,10: 2,43 reflejan una distribución aceptable de agregados, manteniendo una relación estable entre el agregado fino y grueso.

La proporción de materiales por bolsa de cemento se realizó tomando en cuenta que cada bolsa de cemento típica pesa 42,5 kg, esta proporción permitió determinar la

cantidad de materiales necesarios para preparar el concreto. Los resultados obtenidos muestran que por cada bolsa de cemento de 42,5 kg se requieren aproximadamente 89,06 kg de agregado fino, 103,20 kg de agregado grueso y 24,44 litros de agua, lo cual mantiene la relación agua/cemento efectivo de 0,56. Estos valores se pueden considerar como representativos de una mezcla típica, asegurando una adecuada densidad y compacidad de concreto en estado fresco y endurecido.

Para mayor practicidad, se realizó la dosificación de cada material por probeta, considerando las dimensiones y volumen del molde a usar. La cantidad de cemento de 2,01 kg guarda una relación adecuada con el volumen total de la mezcla, lo que asegura una pasta suficientemente cementante que sirva de pegamento para los agregados, garantizando una buena cohesión. Asimismo, la proporción del agregado fino de 4,21 kg resultó menor que el del agregado grueso de 4,88 kg, lo cual es deseable, ya que un exceso de arena gruesa podría reducir la resistencia y aumentar la demanda de agua, que de acuerdo a los cálculos se determinó que es de 1,12 lt, mientras que una proporción de agregado grueso mejora la estabilidad volumétrica y reduce la retracción, es decir, que el concreto mantendrá su volumen sin deformarse significativamente.

En resumen, las proporciones obtenidas indican que la dosificación propuesta es adecuada para elaborar probetas representativas del concreto diseñado con cemento YURA, garantizando una mezcla homogénea y con alta probabilidad de obtener las propiedades mecánicas esperadas según el diseño planteado.

### **5.9.2. Dosificación con cemento Cbb**

En la dosificación con cemento Cbb, se consideró un peso específico de  $2,975 \text{ gr/cm}^3$  para el cemento de acuerdo a lo señalado en su ficha técnica, siendo la única variación en los parámetros usados en la realización de la dosificación. Para el resto de constantes físicas se tomaron en cuenta los mismos valores que en la dosificación de Yura, tomando en cuenta del mismo modo, los valores sugeridos para el caso del porcentaje de absorción y porcentaje de contenido de humedad del agregado fino, siendo anteriormente de 0,64 % y 2,45 % respectivamente, cambiando a los valores de 1,40 % para la absorción y 1,20 % para el contenido de humedad. Del mismo modo, se ajustaron los valores de  $1\ 610 \text{ kg/m}^3$  y  $1\ 850 \text{ kg/m}^3$  para el peso unitario suelto y compactado del agregado fino. Con respecto al agregado grueso, se tomó el valor de

2,64 gr/cm<sup>3</sup> como peso específico, siendo anteriormente de 2,26 gr/cm<sup>3</sup>, así como el peso unitario suelto y compactado, que se cambiaron a 1 320 kg/m<sup>3</sup> y 1 530 kg/m<sup>3</sup>.

Al hallar la resistencia a la compresión media requerida, se usó la Tabla 41 extraída del método ACI 211, debido a que no se contaban con datos para estimar la desviación estándar. El valor obtenido de 294 kgf/cm<sup>2</sup> se consideró como la media que debe alcanzarse en los ensayos de control, tomando en cuenta que durante el proceso siempre hay cierta dispersión y variabilidad en el mezclado y curado, por lo que garantiza que la resistencia especificada se cumpla con una probabilidad aceptable, de forma que se estima que parte de los resultados que arroje la rotura de ciertas probetas queden por debajo o por encima, pero que la media quede situada lo suficientemente alta para cumplir la resistencia especificada.

Para la dosificación se seleccionó una consistencia del concreto correspondiente a asentamiento plástico (3" – 4") según la Tabla 40 y en concordancia al ensayo de consistencia, a fin de obtener una mezcla que facilite llenar los moldes cilíndricos, la compactación y el acabado sin provocar segregación ni exceso de exudación.

El porcentaje de aire atrapado del 2 % para agregados con tamaño máximo nominal de 3/4" según Tabla 42, representó el aire que queda atrapado en la mezcla por la acción del mezclado en el trompo y en menor medida por la forma de los agregados. Dicho valor incide en la dosificación ya que el aire ocupa volumen en la mezcla, reduciendo la cantidad de agregados y de pasta requerida.

La relación agua/cemento se halló mediante la interpolación de datos presentados en la Tabla 43, que relaciona la resistencia a la compresión media requerida con la relación agua/cemento. Al obtener previamente un  $f'_{cr}$  de 294 kgf/cm<sup>2</sup> se realizó el cálculo resultando en una relación agua/cemento de 0,56, dicho valor contribuye a mantener un equilibrio entre la durabilidad y manejabilidad de la mezcla, sin comprometer la consistencia plástica seleccionada, por lo que se considera un valor medio ya que si la relación agua/cemento es baja, habrá menos agua, indicando que el concreto será más resistente pero también más seco y menos trabajable, por el contrario, si la relación es muy alta, el concreto será más fluido y más trabajable, pero su resistencia y durabilidad disminuirán por el exceso de agua que dejará vacíos.

El valor de 205 lt/m<sup>3</sup> de agua obtenido según la Tabla 44, indica la cantidad necesaria de agua por metro cúbico de concreto para alcanzar la consistencia plástica deseada, garantizando buena trabajabilidad durante el mezclado y colocación del

concreto fresco, evitando un exceso de agua que comprometa la resistencia final. Del mismo modo, en relación al valor unitario de agua por  $m^3$  de concreto se halló el contenido de cemento de  $367,71 \text{ kg}/m^3$ , lo cual refleja la cantidad óptima requerida para lograr la resistencia media de diseño de  $294 \text{ kg}/cm^2$  en función de la relación agua/cemento de 0,56 hallada previamente, siendo dicho valor una evidencia de un equilibrio moderado entre la trabajabilidad, durabilidad y resistencia.

Con respecto al factor cemento de 8.65, representa la cantidad de bolsas de cemento de 42,5 kg necesarias para elaborar un metro cúbico de concreto con la dosificación obtenida, permitiendo estimar la cantidad de material requerido. Asimismo, de acuerdo a conocimiento general de obra, se puede considerar que un factor cercano a 9 bolsas de por metro cúbico es típico para concretos de resistencia media, es decir, concretos de  $210 \text{ kg}/cm^2$ , por lo que se contempla la coherencia en la dosificación obtenida.

En relación al volumen unitario de agregado grueso, se debe considerar que, según la Tabla 45, se relaciona el tamaño máximo nominal del agregado grueso con el módulo de fineza del agregado fino, siendo este último de 3,03, por lo que al ser un valor muy cercano a 3,00, se optó por no realizar la interpolación y tomar directamente el valor entero mostrado en la misma tabla, obteniéndose un valor 0,60 como volumen unitario de agregado grueso. Dicho valor indica que el 60 % del volumen total del concreto está ocupado por el agregado grueso, lo cual es un valor común para concretos con agregados de tamaño máximo nominal de  $3/4"$ . Además, a partir del volumen se obtuvo el peso del agregado grueso de  $918 \text{ kg}/m^3$ , representando la cantidad de piedra chancada necesaria para producir un metro cúbico de concreto con la trabajabilidad y resistencia requerida.

El cálculo de los volúmenes absolutos permitió conocer la proporción que ocupa cada componente dentro de un metro cúbico de concreto, para el presente caso, se determinó que el cemento ocupa un volumen de  $0,124 \text{ m}^3$ , el agregado grueso ocupó  $0,348 \text{ m}^3$ , el agua ocupa  $0,205 \text{ m}^3$  y el aire atrapado  $0,02 \text{ m}^3$ . Al restar la suma de dichos volúmenes al volumen total representado por 1 unidad de metro cúbico, es decir  $1 \text{ m}^3$ , se obtuvo que volumen del agregado fino, siendo de  $0,304 \text{ m}^3$ , representando aproximadamente el 30,4% del volumen total del concreto, este valor indica que en la mezcla predominará el agregado grueso que posee un valor mayor, a diferencia del agregado fino hallado previamente, este resultado se considera como algo deseable ya que refleja una dosificación adecuada para concretos estructurales, de forma que un mayor contenido de agregado grueso reduce la cantidad de cemento y agua necesaria

para llenar los vacíos, disminuyendo el calor de hidratación y mejorando la estabilidad del concreto.

Del mismo modo, el peso del agregado fino obtenido de  $799,57 \text{ kg/m}^3$ , representa la cantidad necesaria de arena gruesa para conformar un metro cúbico de concreto con las características establecidas. Dicho valor guarda relación con la proporción de agregados gruesos y finos dentro de la mezcla, indicando un equilibrio adecuado para lograr una buena trabajabilidad y cohesión.

Al obtener todos los resultados anteriores, se realizó la corrección por humedad de los valores de diseño, los cuales representan las cantidades reales de los materiales que se emplearán, considerando la presencia de agua en los agregados. Para el caso del agregado fino, la corrección por contenido de humedad (1,2 %) aumentó su peso a  $809,16 \text{ kg/m}^3$ , mientras que, para el agregado grueso, con un contenido de humedad menor (0,32 %), el peso corregido fue de  $920,94 \text{ kg/m}^3$ . Estas correcciones se realizaron para asegurar que la cantidad total de agua efectiva en la mezcla sea la adecuada, evitando que el exceso o déficit de humedad afecte la trabajabilidad, resistencia o durabilidad del concreto.

Del mismo modo se realizó la corrección por absorción para ajustar la cantidad real de agua en la mezcla, considerando que los agregados tienden a retener o aportar humedad al concreto. Para el presente caso, se consideró que tanto el agregado fino como grueso presentaron un contenido de humedad menor que su capacidad de absorción, por lo que absorberán parte del agua de mezclado, lo cual se refleja en los valores negativos de la corrección de  $-1,60 \text{ kg}$  para el agregado fino y  $-4,87 \text{ kg}$  para el agregado grueso, indicando una demanda adicional de agua. Es a razón de ello, que el agua efectiva aumentó a  $211,46 \text{ lt/m}^3$ , valor que representa la cantidad total necesaria para lograr la trabajabilidad y resistencia requerida en el concreto de diseño.

Para el caso del contenido de cemento efectivo de  $379,31 \text{ kg/m}^3$ , este parámetro representa la cantidad real necesaria para mantener la relación agua/cemento establecida en el diseño, siendo de 0,56, en consideración a la corrección del agua efectiva, es por ello que, al incrementarse ligeramente el agua disponible en la mezcla, también aumenta proporcionalmente la cantidad de cemento para conservar la misma relación agua/cemento, por lo que el valor obtenido garantiza que el concreto posea resistencia sin comprometer la trabajabilidad.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, se realizó la proporción para la dosificación, comenzando por la proporción de acuerdo al peso, expresando la relación

en peso entre los materiales que conforman el concreto. Al tomar una parte entera de cemento, se requieren 2,13 partes de agregado fino y 2,43 partes de agregado grueso para mantener una composición óptima de mezcla, y del mismo modo, la verificación de la relación agua/cemento confirma que el valor de 0,56 se conserva tras los ajustes por humedad y absorción, lo que garantiza la coherencia del diseño. Es a razón de ello, que se puede determinar que las proporciones obtenidas de 1: 2,13: 2,43 reflejan una distribución aceptable de agregados, manteniendo una relación estable entre el agregado fino y grueso.

La proporción de materiales por bolsa de cemento se realizó tomando en cuenta que cada bolsa de cemento típica pesa 42,5 kg, esta proporción permitió determinar la cantidad de materiales necesarios para preparar el concreto. Los resultados obtenidos muestran que por cada bolsa de cemento de 42,5 kg se requieren aproximadamente 90,66 kg de agregado fino, 103,19 kg de agregado grueso y 24,44 litros de agua, lo cual mantiene la relación agua/cemento efectivo de 0.56. Estos valores se pueden considerar como representativos de una mezcla típica, asegurando una adecuada densidad y compacidad de concreto en estado fresco y endurecido.

Para mayor practicidad, se realizó la dosificación de cada material por probeta, considerando las dimensiones y volumen del molde a usar. La cantidad de cemento de 2,01 kg guarda una relación adecuada con el volumen total de la mezcla, lo que asegura una pasta suficientemente cementante que sirva de pegamento para los agregados, garantizando una buena cohesión. Asimismo, la proporción del agregado fino de 4,29 kg resultó menor que el del agregado grueso de 4,88 kg, lo cual es deseable, ya que un exceso de arena gruesa podría reducir la resistencia y aumentar la demanda de agua, que de acuerdo a los cálculos se determinó que es de 1,12 lt, mientras que una proporción de agregado grueso mejora la estabilidad volumétrica y reduce la retracción, es decir, que el concreto mantendrá su volumen sin deformarse significativamente.

En resumen, las proporciones obtenidas indican que la dosificación propuesta es adecuada para elaborar probetas representativas del concreto diseñado con cemento Cbb, garantizando una mezcla homogénea y con alta probabilidad de obtener las propiedades mecánicas esperadas según el diseño planteado.

Como acotación, es necesario resaltar que los datos relacionados con el agregado fino cambiaron en relación a la variación del peso específico del cemento Cbb que es de  $2,975 \text{ gr/cm}^3$ . Estas variaciones en la dosificación demuestran la influencia de los cambios en las propiedades del cemento, donde un peso específico mayor del cemento genera un menor volumen ocupado por el mismo, permitiendo que el agregado

fino ocupe un mayor volumen, lo cual a su vez influye en la trabajabilidad y densidad del concreto fresco. El resultado final evidencia que el uso del cemento Cbb no altera significativamente las proporciones generales de la mezcla, pero sí produce un incremento relativamente notorio en la cantidad de agregado fino necesario, lo que podría influir en la textura y cohesión del concreto.

### 5.10. Análisis de rotura de probetas

Para evaluar los resultados de la rotura de las probetas, se aplicaron las técnicas estadísticas, a fin de comparar objetivamente el desempeño de los concretos con cemento Yura y cemento Cbb.

Para ello, se calcularon las medidas de tendencia central, es decir y de dispersión para verificar la uniformidad, consistencia y la confiabilidad de los resultados obtenidos. A razón de ello, se calculó la media o promedio para los resultados de las briquetas de edad de 7 días de Yura mediante la ecuación 30.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (30)$$

$$\bar{x} = \frac{159,64 + 159,25 + 163,99 + 152,21 + 149,87 + 166,17}{6}$$

$$\bar{x} = \frac{951,13}{6}$$

$$\bar{x} = 158,52 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia promedio de las briquetas realizadas con cemento Yura a edad de 7 días es de 158,52 kgf/cm<sup>2</sup>.

Del mismo modo, se calculó el promedio para los resultados de las briquetas de edad de 7 días de Cbb mediante la ecuación 30.

$$\bar{x} = \frac{169,27 + 170,16 + 170,93 + 160,67 + 176,49 + 176,59}{6}$$

$$\bar{x} = \frac{1024,11}{6}$$

$$\bar{x} = 170,69 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia promedio de las briquetas realizadas con cemento Cbb a edad de 7 días es de 170,69 kgf/cm<sup>2</sup>.

Igualmente, se calculó el promedio para los resultados de las briquetas de edad de 14 días de Yura mediante la ecuación 30.

$$\bar{x} = \frac{179,84 + 177,47 + 190,38 + 193,16 + 174,89 + 172,91}{6}$$

$$\bar{x} = \frac{1093,65}{6}$$

$$\bar{x} = 181,44 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia promedio de las briquetas realizadas con cemento Yura a edad de 14 días es de 182,28 kgf/cm<sup>2</sup>.

Se calculó el promedio para los resultados de las briquetas de edad de 14 días de CBB mediante la ecuación 30.

$$\bar{x} = \frac{189,43 + 196,09 + 190,73 + 189,28 + 201,29 + 187,35}{6}$$

$$\bar{x} = \frac{1154,17}{6}$$

$$\bar{x} = 192,36 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia promedio de las briquetas realizadas con cemento Cbb a edad de 14 días es de 192,36 kgf/cm<sup>2</sup>.

Se calculó el promedio para los resultados de las briquetas de edad de 28 días de Yura mediante la ecuación 30.

$$\bar{x} = \frac{237,07 + 235,18 + 226,76 + 236,58 + 246,67 + 246,36}{6}$$

$$\bar{x} = \frac{1428,62}{6}$$

$$\bar{x} = 238,10 \text{ kgf/cm}^2$$

La resistencia promedio de las briquetas realizadas con cemento Yura a edad de 28 días es de 238,10 kgf/cm<sup>2</sup>.

Se calculó el promedio para los resultados de las briquetas de edad de 28 días de Cbb mediante la ecuación 30.

$$\bar{x} = \frac{229,35 + 212,85 + 210,26 + 214,58 + 214,56 + 222,35}{6}$$

$$\bar{x} = \frac{1303,95}{6}$$

$$\bar{x} = 217,33 \text{ kgf/cm}^2$$

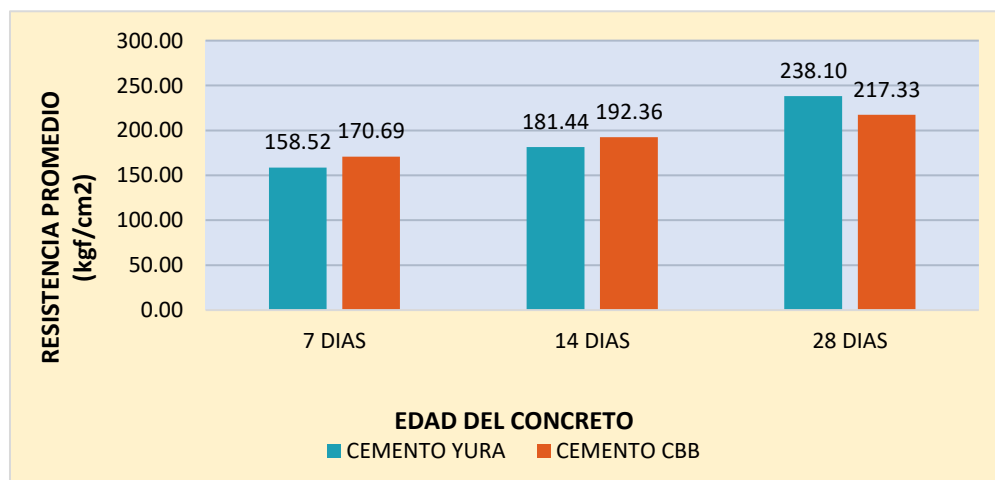
La resistencia promedio de las briquetas realizadas con cemento Cbb a edad de 14 días es de 217,33 kgf/cm<sup>2</sup>.

Los valores promedio obtenidos para las probetas elaboradas con los cementos Yura y Cbb evidencian una ganancia de resistencia a la compresión conforme avanza la edad del concreto, observándose que, en ambos casos, la resistencia incrementa progresivamente de los 7 a los 28 días, lo cual es consistente con el proceso típico de hidratación del cemento.

Mediante la Figura 58 se realizó la comparación de los resultados entre cementos de acuerdo al promedio obtenido para cada edad, donde se aprecia que el cemento Cbb presenta un valor ligeramente superior al de Yura a los 7 y 14 días, lo que sugiere un desarrollo inicial de resistencia más rápido. Sin embargo, a los 28 días el cemento YURA alcanza una resistencia promedio mayor, siendo de 238,10 kgf/cm<sup>2</sup> frente a 217,33 kgf/cm<sup>2</sup> del Cbb, indicando que su ganancia de resistencia es más consistente en el tiempo. Dicho comportamiento puede atribuirse a diferencias en la composición química de ambos cementos, así como a su finura y adición puzolánica.

**Figura 58**

*Comparación de resistencias promedio de cementos Yura y Cbb*

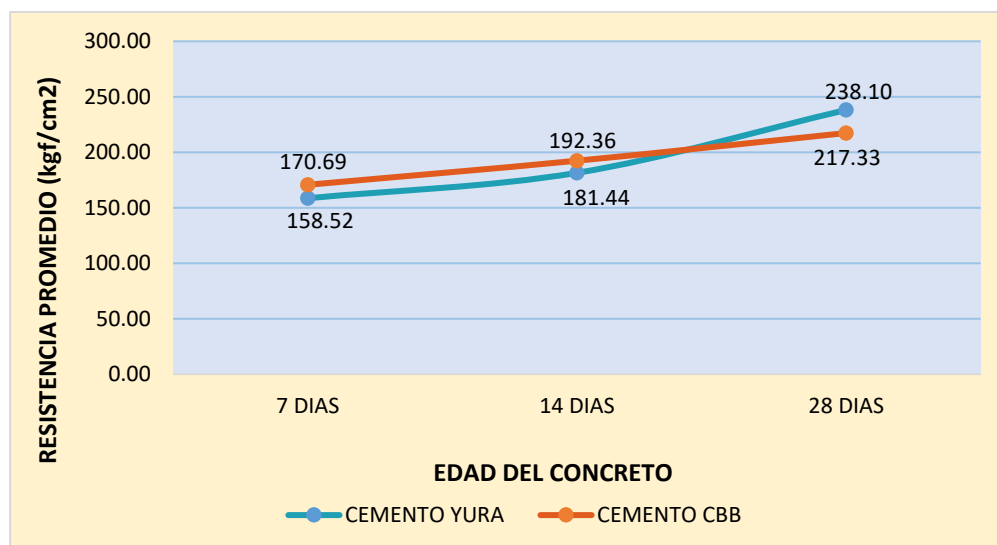


*Nota.* Se detalla la resistencia promedio del concreto elaborado con cemento Yura y Cbb, que se obtuvo a distintas edades del concreto 7,14 y 28 días.

Asimismo, mediante la Figura 59 se puede corroborar la evolución de la resistencia en función al tiempo, donde el cemento Cbb demuestra un crecimiento gradual conforme avanza el tiempo, mientras que Yura mantenía un crecimiento gradual pero relativamente bajo a diferencia de Cbb a los 7 y 14 días, sin embargo, en la línea de evolución se puede apreciar que de los 14 a los 28 días da un salto en su resistencia, aumentando exponencialmente.

**Figura 59**

*Evolución de la resistencia del concreto por edad*



*Nota.* Se detalla la evolución de la resistencia promedio del concreto elaborado con cemento Yura y Cbb, que se obtuvo a distintas edades del concreto 7,14 y 28 días.

Del mismo modo, se halló la mediana a fin de verificar el valor típico de la resistencia a la compresión de cada cemento, para ello, se ordenaron los valores de cada resistencia para tomar un valor intermedio.

Para el cemento Yura de edad de 7 días se ordenó de la siguiente manera: 149,87; 152,21; 159,25; 159,64; 163,99; 166,17; por lo que la mediana sería:

$$\frac{159,25 + 159,64}{2} = 159,45 \text{ kgf/cm}^2$$

Para el cemento Cbb de edad de 7 días se ordenó de la siguiente manera: 160,67; 169,27; 170,16; 170,93; 176,49; 176,59; por lo que la mediana sería:

$$\frac{170,16 + 170,93}{2} = 170,55 \text{ kgf/cm}^2$$

Para el cemento Yura de edad de 14 días se ordenó de la siguiente manera: 172,91; 174,89; 177,47; 179,84; 190,38; 193,16; por lo que la mediana sería:

$$\frac{177,47 + 179,84}{2} = 178,66 \text{ kgf/cm}^2$$

Para el cemento Cbb de edad de 14 días se ordenó de la siguiente manera: 187,35; 189,28; 189,43; 190,73; 196,09; 201,29; por lo que la mediana sería:

$$\frac{189,43 + 190,73}{2} = 190,08 \text{ kgf/cm}^2$$

Para el cemento Yura de edad de 28 días se ordenó de la siguiente manera: 226,76; 235,18; 236,58; 237,07; 246,36; 246,67; por lo que la mediana sería:

$$\frac{236,58 + 237,07}{2} = 236,83 \text{ kgf/cm}^2$$

Para el cemento Cbb de edad de 28 días se ordenó de la siguiente manera: 210,26; 212,85; 214,56; 214,58; 222,35; 229,35; por lo que la mediana sería:

$$\frac{214,56 + 214,58}{2} = 214,57 \text{ kgf/cm}^2$$

Para el presente caso, la mediana indica la resistencia típica, es decir, aquella que refleja el comportamiento estructural promedio sin verse influenciada por valores atípicos o desviaciones extremas, de forma que permite identificar el valor de resistencia más representativo del grupo de probetas ensayadas, brindando una visión más estable y confiable del desempeño del concreto frente a posibles variaciones individuales entre las briquetas. Realizando una verificación de la media y la mediana, se puede determinar que ambos presentan valores cercanos entre sí, por lo que se infiere que los resultados son consistentes y que la distribución de resistencias es aproximadamente simétrica.

Asimismo, se realizó el cálculo de la varianza para medir la dispersión de los valores individuales con respecto a la media, de esa forma se podrá determinar si las resistencias obtenidas son uniformes o variables. A razón de ello, se utilizó la ecuación 31 para hallar la varianza muestral, y luego se despejó la varianza para obtener la desviación estándar.

$$s^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (31)$$

Mediante la Tabla 56 se puede observar la sumatoria de todos los valores para YURA a la edad de 7 días.

**Tabla 56**

*Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de Yura a los 7 días*

<b>Yura – 7 días</b>				
<b>N°</b>	<b>Xi (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>	<b><math>x_i - \bar{x}</math></b>	<b><math>(x_i - \bar{x})^2</math></b>
1	159,64	158,52	1,12	1,25
2	159,25	158,52	0,73	0,53
3	163,99	158,52	5,47	29,92
4	152,21	158,52	-6,31	39,82
5	149,87	158,52	-8,65	74,82
6	166,17	158,52	7,65	58,52
<b>sumatoria</b>				<b>204,87</b>

*Nota.* Se detalla el total de la varianza muestral de las 6 muestras del concreto elaborado con el cemento Yura a edad de 7 días.

$$s^2 = \frac{204,87}{5}$$

$$s^2 = 40,97$$

$$s = \sqrt{40,97}$$

$$s = 6,40$$

Mediante la Tabla 57 se puede observar la sumatoria de todos los valores para Yura a la edad de 14 días.

**Tabla 57**

*Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de Yura a los 14 días*

<b>Yura - 14 días</b>				
<b>N°</b>	<b>Xi (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>	<b><math>x_i - \bar{x}</math></b>	<b><math>(x_i - \bar{x})^2</math></b>
1	179,84	181,44	-1,60	2,56
2	177,47	181,44	-3,97	15,76
3	190,38	181,44	8,94	79,92
4	193,16	181,44	11,72	137,36
5	174,89	181,44	-6,55	42,90
6	172,91	181,44	-8,53	72,76
<b>sumatoria</b>				<b>278,51</b>

*Nota.* Se detalla el total de la varianza muestral de las 6 muestras del concreto elaborado con el cemento Yura a edad de 14 días.

$$s^2 = \frac{278,51}{5}$$

$$s^2 = 55,70$$

$$s = \sqrt{55,70} = 7,46$$

Mediante la Tabla 58 se puede observar la sumatoria de todos los valores para YURA a la edad de 28 días.

**Tabla 58**

*Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de Yura a los 28 días*

<b>Yura – 28 días</b>				
<b>N°</b>	<b>Xi (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	237,07	238,10	-1,03	1,06
2	235,18	238,10	-2,92	8,53
3	226,76	238,10	-11,34	128,60
4	236,58	238,10	-1,52	2,31
5	246,67	238,10	8,57	73,44
6	246,36	238,10	8,26	68,23
<b>Sumatoria</b>				<b>282,17</b>

*Nota.* Se detalla el total de la varianza muestral de las 6 muestras del concreto elaborado con el cemento Yura a edad de 28 días.

$$s^2 = \frac{282,17}{5}$$

$$s^2 = 56,43$$

$$s = \sqrt{56,43}$$

$$s = 7,51$$

Mediante la Tabla 59 se puede observar la sumatoria de todos los valores para Cbb a la edad de 7 días.

**Tabla 59**

*Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de Cbb a los 7 días*

<b>Cbb – 7 días</b>				
<b>N°</b>	<b>Xi (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	169,27	170,69	-1,42	2,02
2	170,16	170,69	-0,53	0,28
3	170,93	170,69	0,24	0,06
4	160,67	170,69	-10,02	100,40
5	176,49	170,69	5,8	33,64
6	176,49	170,69	5,8	33,64
<b>sumatoria</b>				<b>170,04</b>

$$s^2 = \frac{170,04}{5}$$

$$s^2 = 34,01$$

$$s = \sqrt{34,01}$$

$$s = 5,83$$

Mediante la Tabla 60 se puede observar la sumatoria de todos los valores para Cbb a la edad de 14 días.

**Tabla 60**

*Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de Cbb a los 14 días*

<b>Cbb – 14 días</b>				
<b>N°</b>	<b>Xi (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\bar{x}</math></b>	<b><math>x_i - \bar{x}</math></b>	<b><math>(x_i - \bar{x})^2</math></b>
1	189,43	192,36	-2,93	8,58
2	196,09	192,36	3,73	13,91
3	190,73	192,36	-1,63	2,66
4	189,28	192,36	-3,08	9,49
5	201,29	192,36	8,93	79,74
6	187,35	192,36	-5,01	25,10
<b>sumatoria</b>				<b>139,49</b>

*Nota.* Se detalla el total de la varianza muestral de las 6 muestras del concreto elaborado con el cemento Cbb a edad de 14 días.

Se procedió a aplicar la ecuación obteniendo el siguiente resultado.

$$s^2 = \frac{139,49}{5}$$

$$s^2 = 27,90$$

$$s = \sqrt{27,90}$$

$$s = 5,28$$

Mediante la Tabla 61 se puede observar la sumatoria de todos los valores para Cbb a la edad de 28 días.

**Tabla 61**

*Sumatoria de valores para obtener la varianza muestral de Cbb a los 28 días*

<b>Cbb – 28 días</b>				
<b>N°</b>	<b>Xi (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	$\bar{x}$	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	229,35	217,33	12,02	144,48
2	212,85	217,33	-4,48	20,07
3	210,26	217,33	-7,07	49,98
4	214,58	217,33	-2,75	7,56
5	214,56	217,33	-2,77	7,67
6	222,35	217,33	5,02	25,20
<b>sumatoria</b>				<b>254,97</b>

*Nota.* Se detalla el total de la varianza muestral de las 6 muestras del concreto elaborado con el cemento Cbb a edad de 28 días.

Se procedió a aplicar la ecuación obteniendo el siguiente resultado.

$$s^2 = \frac{254,97}{5}$$

$$s^2 = 50,99$$

$$s = \sqrt{50,99}$$

$$s = 7,14$$

De acuerdo con los resultados obtenidos de varianza y desviación estándar, para el cemento Yura se observa una tendencia creciente en la varianza, mientras que la desviación estándar aumenta según la edad del curado, lo cual indica que, si bien las resistencias promedio aumentan con el tiempo, también existe una ligera variabilidad entre probetas, lo cual puede deberse a diferencias en el proceso de compactación, curado o variaciones en la mezcla. Sin embargo, dichas dispersiones se mantienen bajas, lo cual sugiere un comportamiento homogéneo.

Para el caso de cemento Cbb, presenta valores menores de dispersión, sobre todo a los 14 días, donde se alcanza la menor desviación estándar. Dicho resultado refleja una mayor uniformidad en los resultados de resistencia, lo que puede interpretarse como una mezcla más estable o un proceso de curado más uniforme. A

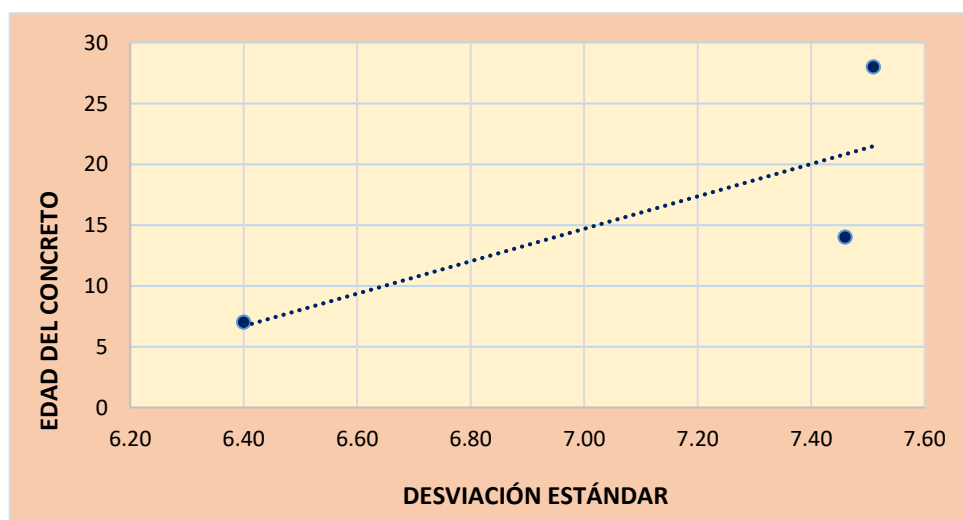
los 28 días, la dispersión aumenta a 7.14, similar al comportamiento de Yura, lo que se considera común a edades mayores cuando se manifiestan pequeñas diferencias de hidratación o fisuras pequeñas.

Mediante la Figura 60 se puede observar gráficamente la dispersión de la desviación estándar a los 7, 14 y 28 días para el cemento Yura.

Durante los primeros 7 días, la desviación estándar fue de 6,40 kgf/cm<sup>2</sup>, evidenciando una dispersión baja y resultados relativamente homogéneos entre las probetas, mientras que a los 14 y 28 días, los valores de dispersión se alejan de la línea de tendencia, aumentando a 7,46 y 7,51 kgf/cm<sup>2</sup> respectivamente, indicando una ligera pero notoria variabilidad en los resultados a medida que el concreto avanza en edad, lo cual puede deberse a que, con el tiempo las diferencias en el proceso de curado se hacen más evidentes

**Figura 60**

*Gráfico de dispersión de la desviación estándar según edad - Yura*

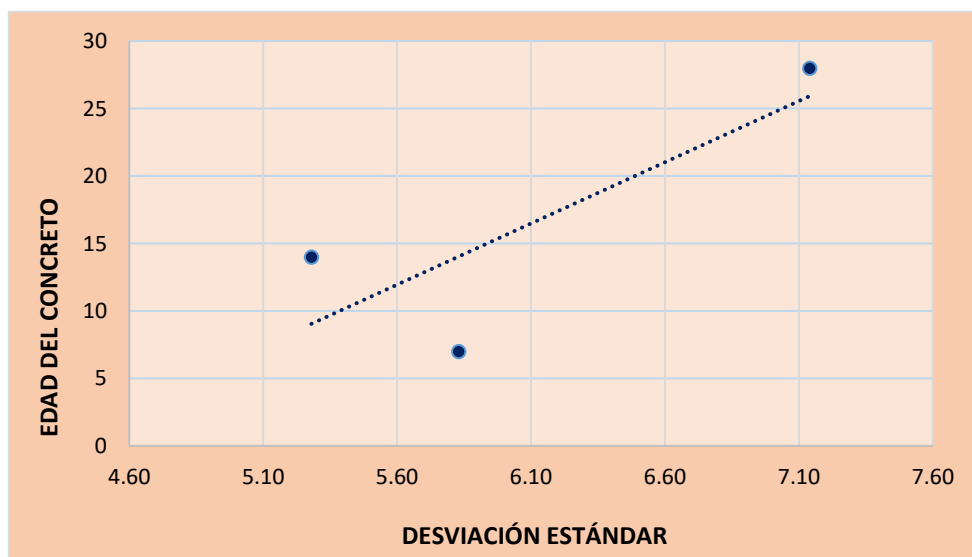


*Nota.* Se detalla la desviación estándar del concreto elaborado con el cemento Yura a edad de 7, 14 y 28 días.

Del mismo modo, mediante la Figura 61 se puede observar gráficamente la dispersión de la desviación estándar a los 7, 14 y 28 días para el cemento Cbb.

**Figura 61**

*Gráfico de dispersión de la desviación estándar según edad - Cbb*



*Nota.* Se detalla la desviación estándar del concreto elaborado con el cemento Cbb a edad de 7, 14 y 28 días.

A los 7 días, se puede apreciar que la desviación estándar fue de 5,83 kgf/cm<sup>2</sup>, evidenciando homogeneidad en los valores de resistencia a la compresión, mientras que, a los 14 días, la dispersión disminuye levemente a 5,28 kgf/cm<sup>2</sup>, sugiriendo un comportamiento más uniforme del concreto en esta etapa, sin embargo, a los 28 días se observa un aumento hasta 7,14 kgf/cm<sup>2</sup>, reflejando una mayor diferencia entre las probetas ensayadas. A razón de ello, se puede determinar que los valores de dispersión se encuentran en un rango controlado, y el leve incremento a los 28 días puede deberse a diferencias en las condiciones de curado o a un desarrollo no completamente uniforme de la hidratación del cemento en las muestras.

Igualmente, se calculó el coeficiente de variación a fin de verificar la homogeneidad y precisión de los resultados, para ello, se usó la ecuación 32.

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} * 100 \quad (32)$$

Se realizó el cálculo para el cemento Yura a los 7 días, obteniéndose el siguiente resultado.

$$CV = \frac{6,40}{158,52} \times 100 = 4,04 \%$$

Se realizó el cálculo para el cemento Yura a los 14 días, obteniéndose el siguiente resultado.

$$CV = \frac{7,46}{181,44} \times 100 = 4,11 \%$$

Se realizó el cálculo para el cemento Yura a los 28 días, obteniéndose el siguiente resultado.

$$CV = \frac{7,51}{238,10} \times 100 = 3,15 \%$$

En la Tabla 62 se podrá visualizar el resumen de los resultados del coeficiente de variación a los 7, 14 y 28 días para el cemento Yura.

**Tabla 62**

*Coeficientes de variación para Yura*

<b>Yura</b>			
<b>Edad</b>	<b>Promedio (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coef. de variación (%)</b>
7	158,52	6,40	4,04%
14	181,44	7,46	4,11%
28	238,10	7,51	3,15%

*Nota.* Se detalla el coeficiente de variación del concreto elaborado con el cemento Yura a edad de 7, 14 y 28 días.

De igual modo, se realizó el cálculo para el cemento Cbb a los 7 días, obteniéndose el siguiente resultado.

$$CV = \frac{5,83}{170,69} \times 100 = 3,42 \%$$

Se realizó el cálculo para el cemento Cbb a los 14 días, obteniéndose el siguiente resultado.

$$CV = \frac{5,28}{192,36} \times 100 = 2,74 \%$$

Se realizó el cálculo para el cemento Cbb a los 28 días, obteniéndose el siguiente resultado.

$$CV = \frac{7,14}{217,33} \times 100 = 3,29 \%$$

En la Tabla 63 se podrá visualizar el resumen de los resultados del coeficiente de variación a los 7, 14 y 28 días para el cemento Cbb.

**Tabla 63**

*Coefficientes de variación para Cbb*

<b>Cbb</b>			
<b>Edad</b>	<b>Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Desviación estándar</b>	<b>Coef. de variación (%)</b>
7	170,69	5,83	3,42%
14	192,36	5,28	2,74%
28	217,33	7,14	3,29%

*Nota.* Se detalla el coeficiente de variación del concreto elaborado con el cemento Cbb a edad de 7, 14 y 28 días.

Para ambos tipos de cemento los valores del coeficiente de variación se encuentran por debajo del 5%, indicando una homogeneidad bastante alta en los resultados de resistencia a la compresión, sin embargo, el cemento Cbb muestra valores más bajos respecto a Yura, lo que sugiere que sus resultados son más consistentes a lo largo del tiempo. Se puede determinar que los ensayos fueron consistentes, por lo que los datos se consideran confiables para realizar la comparación de los cementos.

De igual modo, se aplicaron técnicas de estadística inferencial para validar los datos obtenidos de las roturas de probetas, siendo la prueba de Shapiro Wilk la técnica

para evaluar la normalidad de la muestra, de acuerdo a Huaroc-Ponce et al. (2024), inicialmente se debe considerar un supuesto de normalidad, para el presente caso, se espera que todos los datos producto de las roturas de las briquetas sean de distribución normal ( $H_0$ ) y se considera un nivel de significancia estadística de  $\alpha=0,05$ .

Para las resistencias de cemento Yura a los 7 días se obtuvo el resultado de la Tabla 64.

**Tabla 64**

Test de Shapiro Wilk para resistencias de Yura a los 7 días

<b>Test de shapiro wilk para Yura 7 días</b>		
<b>N° briqueeta</b>	<b>resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>p-value</b>
1	159,64	<b>0,7156</b>
2	159,25	
3	163,99	
4	152,21	
5	149,87	
6	166,17	

*Nota.* Se detalla el p-value según la resistencia obtenida de las 6 roturas de probetas a edad de 7 días mediante el test de Shaphiro Wilk.

Para las resistencias de cemento Yura a los 14 días se obtuvo el resultado de la Tabla 65.

**Tabla 65**

Test de Shapiro Wilk para resistencias de Yura a los 14 días

<b>Test de shapiro wilk para Yura 14 días</b>		
<b>N° briqueeta</b>	<b>resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>p-value</b>
1	179,84	<b>0,3059</b>
2	177,47	
3	190,38	
4	193,16	
5	174,89	
6	172,91	

*Nota.* Se detalla el p-value según la resistencia obtenida de las 6 roturas de probetas a edad de 14 días mediante el test de Shaphiro Wilk.

Para las resistencias de cemento Yura a los 28 días se obtuvo el resultado de la Tabla 66.

**Tabla 66***Test de Shapiro Wilk para resistencias de YURA a los 28 días*

<b>Test de shapiro wilk para Yura 28 Días</b>		
<b>N° briqueta</b>	<b>resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>p-value</b>
1	237,07	
2	235,18	
3	226,76	<b>0,4773</b>
4	236,58	
5	246,67	
6	246,36	

*Nota.* Se detalla el p-value según la resistencia obtenida de las 6 roturas de probetas a edad de 28 días mediante el test de Shaphiro Wilk.

Al realizar la comparación de p-value con respecto a la significancia estadística elegida de 0,05, se determina que p-value > 0,05 para todos los casos de cemento Yura, entonces no se rechaza Ho, y, por lo tanto, los datos de resistencia siguen una distribución normal.

Para las resistencias de cemento Cbb a los 7 días se obtuvo el resultado de la Tabla 67.

**Tabla 67***Test de Shapiro Wilk para resistencias de Cbb a los 7 días*

<b>Test de shapiro wilk para Cbb 7 Días</b>		
<b>N° briqueta</b>	<b>resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>p-value</b>
1	169,27	
2	170,16	
3	170,93	<b>0,3563</b>
4	160,67	
5	176,49	
6	176,59	

*Nota.* Se detalla el p-value según la resistencia obtenida de las 6 roturas de probetas a edad de 7 días mediante el test de Shaphiro Wilk.

Para las resistencias de cemento Cbb a los 14 días se obtuvo el resultado de la Tabla 68.

**Tabla 68**

*Test de Shapiro Wilk para resistencias de CBB a los 14 días*

<b>Test de shapiro wilk para Cbb 14 días</b>		
<b>N° briqueta</b>	<b>resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>p-value</b>
1	189,43	<b>0,2397</b>
2	196,09	
3	190,73	
4	189,28	
5	201,29	
6	187,35	

*Nota.* Se detalla el p-value según la resistencia obtenida de las 6 roturas de probetas a edad de 14 días mediante el test de Shaphiro Wilk.

Para las resistencias de cemento Cbb a los 28 días se obtuvo el resultado de la Tabla 69.

**Tabla 69**

*Test de Shapiro Wilk para resistencias de Cbb a los 28 días*

<b>Test de shapiro wilk para Cbb 28 días</b>		
<b>N° briqueta</b>	<b>resistencia (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>p-value</b>
1	229,35	<b>0,2870</b>
2	212,85	
3	210,26	
4	214,58	
5	214,56	
6	222,35	

*Nota.* Se detalla el p-value según la resistencia obtenida de las 6 roturas de probetas a edad de 28 días mediante el test de Shaphiro Wilk.

Al realizar la comparación de p-value con respecto a la significancia estadística elegida de 0,05, se determina que p-value > 0,05 para todos los casos de cemento Cbb, entonces no se rechaza Ho, y, por lo tanto, los datos de resistencia siguen una distribución normal.

En vista que para ambos cementos todos los casos son superiores al nivel de significancia, se asume que las muestras se comportan de manera estadísticamente estable y homogénea, es decir, que la mayoría de las briquetas tienen resistencias cercanas al promedio, por lo que, si bien hay muestras ligeramente más resistentes o menos resistentes, no hay extremos fuera de lo común entre los resultados para cada

edad. Se determina que la variabilidad de resultados de resistencia es natural y esperada, ya que no hay resultados que se consideren anómalos.

### 5.11. Módulo de elasticidad

Para determinar el módulo de elasticidad se aplicó la ecuación de acuerdo a lo establecido a los Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI 318 – 19 mediante la **ecuación 33**.

$$E_c = 4\,700\sqrt{f'_c} \quad (33)$$

Donde  $E_c$  se expresa en megapascales (MPa) y  $f'_c$  corresponde a la resistencia a la compresión especificada del concreto.

Cuando se requiere expresar el módulo de elasticidad en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), la expresión se adapta la ecuación 34.

$$E_c = 15\,000\sqrt{f'_c} \quad (34)$$

Siendo  $f'_c$  la resistencia característica a la compresión del concreto, expresada en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

En total se determinó el módulo de elasticidad de 36 probetas de concreto, donde como primer dato, se recopiló la información de las resistencias de concreto obtenidas a los 7,14 y 28 días de curado, con un total de 18 probetas de concreto elaborado con el cemento Cbb y las otras 18 probetas de concreto elaborados con el cemento Yura.

En la Tabla 70 se aplicó la ecuación 34 para determinar el módulo de elasticidad correspondiente a cada resistencia del concreto obtenida a los 7 días de curado. En total se tiene recopilado la información de 12 probetas comprendidas entre 06 del concreto elaborado con el cemento Cbb y 06 del concreto elaborado con el cemento Yura.

**Tabla 70**

*Módulo de elasticidad para resistencias de concreto Cbb y Yura a los 07 días*

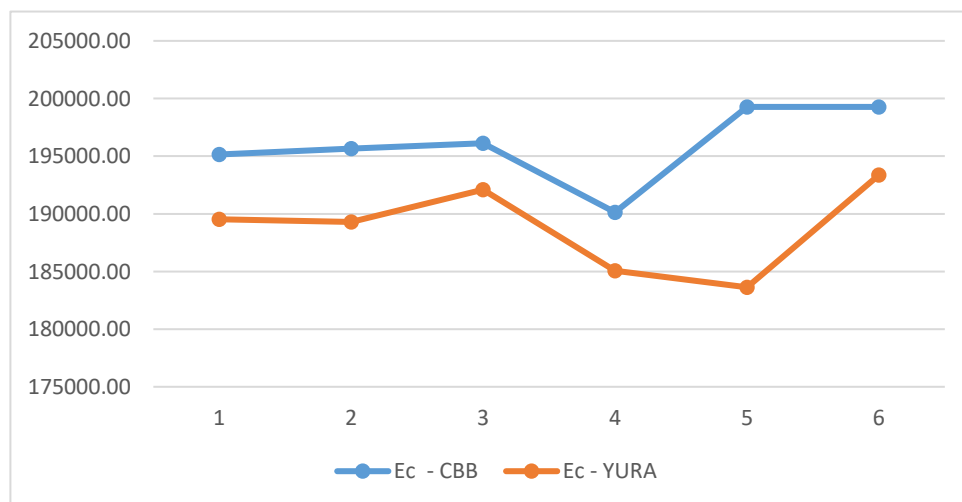
<b>Módulo de elasticidad – 07 días (Cbb y Yura)</b>			
<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ec - Cbb</b>	<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ec - Yura</b>
169,27	195 158,34	159,64	189 520,423
170,16	195 669,75	159,25	189 290,865
170,93	196 110,36	163,99	192 088,268
160,67	190 135,77	152,21	185 057,558
176,49	199 274,80	149,87	183 631,837
176,49	199 274,80	166,17	193 361,08

*Nota.* Se detalla el módulo de elasticidad en base a la resistencia del concreto que se obtuvo con el cemento Yura y Cbb a la edad de 7 días.

A los 7 días, se observa que el concreto elaborado con cemento CBB presenta valores de módulo de elasticidad ligeramente superiores a los del cemento Yura. Tal como se aprecia en la Figura 62. En promedio, el cemento CBB alcanza valores cercanos a 196 000 – 199 000 kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que el cemento Yura se mantiene entre 185 000 y 193 000 kgf/cm<sup>2</sup>. Esta diferencia inicial se atribuye a una mayor velocidad de ganancia de resistencia temprana del cemento Cbb, lo que sugiere una hidratación más rápida de sus compuestos principales, particularmente del C<sub>3</sub>S. Por tanto, el concreto Cbb desarrolla una rigidez inicial más alta, favorable en elementos que requieren una pronta puesta en servicio.

**Figura 62**

*Módulo de Elasticidad a los 7 días de cementos Yura y Cbb*



*Nota.* Se detalla el módulo de elasticidad para resistencias de concreto Yura y Cbb a la edad de 7 días.

En la Tabla 71 se aplicó la fórmula de la ecuación 34 para determinar el módulo de elasticidad correspondiente a cada resistencia del concreto obtenida a los 14 días de curado. En total se tiene recopilado la información de 12 probetas comprendidas entre 06 del concreto elaborado con el cemento Cbb y 06 del concreto elaborado con el cemento Yura.

**Tabla 71**

*Módulo de elasticidad para resistencias de concreto Cbb y Yura a los 14 días*

<b>Módulo de elasticidad – 14 días (Cbb y Yura)</b>			
<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ec - Cbb</b>	<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ec - Yura</b>
189,43	206 450,06	179,84	201 157,9538
196,09	210 046,18	177,47	199 824,3954
190,73	207 156,11	190,38	206 964,9284
189,28	206 368,31	193,16	208 473,8968
201,29	212 814,71	174,89	198 367,4096
187,35	205 312,17	172,91	197 245,4019

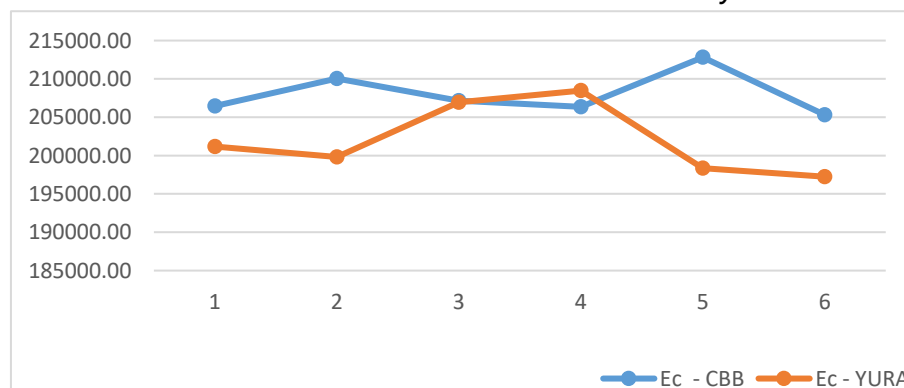
*Nota.* Se detalla el módulo de elasticidad en base a la resistencia del concreto que se obtuvo con el cemento Yura y Cbb a la edad de 14 días.

A los 14 días, ambos tipos de cemento muestran un incremento significativo en el módulo de elasticidad según la Figura 63, evidenciando la evolución natural de la

resistencia del concreto. El cemento Cbb alcanza valores medios del orden de 206 000–212 000 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el Yura se sitúa entre 197 000 y 208 000 kg/cm<sup>2</sup>. Aunque la brecha entre ambos se reduce respecto a los 7 días, el Cbb continúa presentando un mejor desempeño mecánico. Este comportamiento indica una maduración más estable del concreto con Cbb, lo que podría relacionarse con una mejor proporción de finos o con un mayor grado de compactación.

**Figura 63**

*Módulo de Elasticidad a los 14 días de cementos Yura y Cbb*



*Nota.* Se detalla el módulo de elasticidad para resistencias de concreto Yura y Cbb a la edad de 14 días.

En la Tabla 72 se aplicó la fórmula de la ecuación 34 para determinar el módulo de elasticidad correspondiente a cada resistencia del concreto obtenida a los 28 días de curado. En total se tiene recopilado la información de 12 probetas comprendidas entre 06 del concreto elaborado con el cemento Cbb y 06 del concreto elaborado con el cemento Yura.

**Tabla 72**

*Módulo de elasticidad para resistencias de concreto Cbb y Yura a los 28 días*

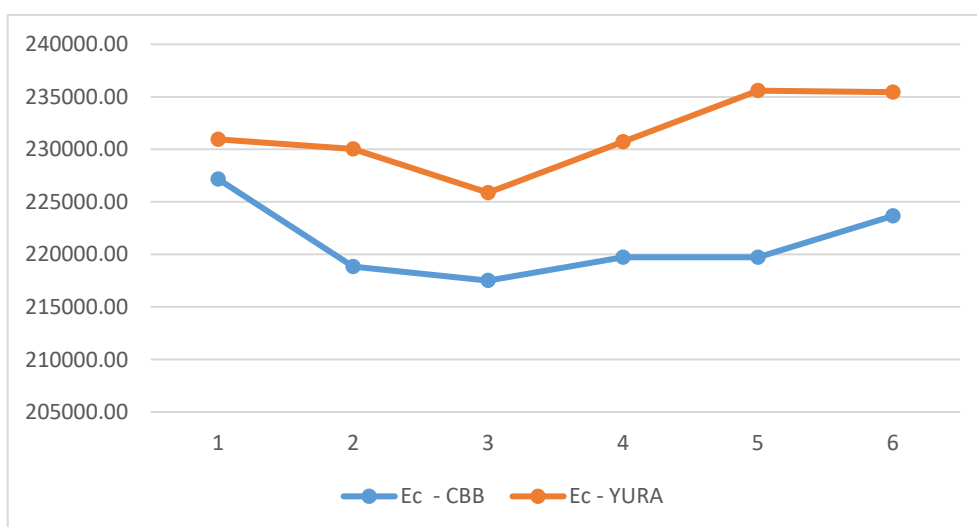
<b>Módulo de elasticidad – 28 días (Cbb y Yura)</b>			
<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ec - Cbb</b>	<b>f'c (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Ec - Yura</b>
229,35	227 165,95	237,07	230 956,6076
212,85	218 840,32	235,18	230 033,1378
210,26	217 504,78	226,76	225 876,7705
214,58	219 728,14	236,58	230 717,6486
214,56	219 716,33	246,67	235 585,7689
222,35	223 671,01	246,36	235 439,729

*Nota.* Se detalla el módulo de elasticidad en base a la resistencia del concreto que se obtuvo con el cemento Yura y Cbb a la edad de 28 días.

A los 28 días, el concreto elaborado con cemento Yura alcanza e incluso supera ligeramente al obtenido con cemento Cbb según la Figura 64. Los valores de módulo de elasticidad para Yura oscilan entre 225 000 y 235 000 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que los de Cbb se mantienen entre 217 000 y 223 000 kg/cm<sup>2</sup>. Esta inversión en el comportamiento refleja que el cemento Yura desarrolla su resistencia de manera más progresiva, alcanzando un grado de hidratación más completo a largo plazo.

**Figura 64**

*Módulo de Elasticidad a los 28 días de cementos Yura y Cbb*



*Nota.* Se detalla el módulo de elasticidad para resistencias de concreto Yura y Cbb a la edad de 28 días.

En términos estructurales, ambos concretos cumplen con el rango esperado según el ACI 318-19, pero el concreto elaborado con el cemento Yura muestra una mejor respuesta a edad estándar, evidenciando un mayor potencial de rigidez y durabilidad final.

## 5.12. Comprobación de hipótesis

### 5.12.1. Primera hipótesis

De acuerdo a lo descrito en la primera hipótesis específica, la marca de cemento internacional tiene mayor resistencia a la compresión del concreto en comparación del cemento nacional a los 7, 14 y 28 días, para poder verificar dicho enunciado, se procedió a realizar la prueba t de Student de muestras independientes para cada edad de

cemento Yura y Cbb, a fin de determinar si existe una diferencia significativa entre ambos grupos. Para ello se consideró un nivel de significancia de 0,05 ( $\alpha=0,05$ ) para todos los casos.

Para la prueba t de Student para muestras independientes se consideraron los datos para la edad de 7 días tanto de cemento Yura como Cbb, los cuales se procesaron mediante el programa RStudio, de forma que se obtuvieron los resultados de la Figura 65.

### Figura 65

#### *Procesamiento de prueba t de Student para resultados de YURA y CBB a los 7 días*



```

1 Grupo.YURA = c(159.64, 159.25, 163.99, 152.21, 149.87, 166.17)
2 Grupo.CBB = c(169.27, 170.16, 170.93, 160.67, 176.49, 176.59)
3 t.test(Grupo.YURA,Grupo.CBB)

```

Salida del programa

```

Welch Two Sample t-test

data: Grupo.YURA and Grupo.CBB
t = -3.4354, df = 9.9205, p-value = 0.006455
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -20.06088  -4.265819
sample estimates:
mean of x mean of y
158.5217 170.6850

[Execution complete with exit code 0]

```

*Nota.* Se detalla el procedo de prueba T de Student para resistencias de concreto Yura y Cbb a la edad de 07 días.

Para dicho resultado, se rescatan los valores más importantes:

- p-value=0,006455
- t= -3,4354

El dato de p-value de 0,006455 es significativamente menor a 0,05 del nivel de significancia, por lo que se rechaza la hipótesis nula que indicaba que ambas medias son iguales, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente grande entre las resistencias de Yura y Cbb a los 7 días de edad.

Igualmente, al obtener un valor t negativo, indica que la media de Yura es menor que la de Cbb, habiendo una diferencia de 12,16 kg/cm<sup>2</sup> a favor de Cbb entre los promedios de ambos cementos, lo cual se puede corroborar en los cálculos de media realizados anteriormente. Del mismo modo, el p-value al tener un valor bastante bajo de 0,0006455 (0,06%), implica que hay una probabilidad menor al 1 % de que esta diferencia sea aleatoria, por lo que el efecto es real y consistente a nivel estadístico. A

razón de ello, se puede determinar que el cemento CBB tiene mayor desarrollo inicial de resistencia a los 7 días.

Para la edad de 14 días tanto de cemento Yura como Cbb se obtuvieron los resultados de la Figura 66 mediante procesamiento en RStudio.

**Figura 66**

*Procesamiento de prueba t de Student para resultados de Yura y Cbb a los 14 días*

```

Introduce un título...
R
1 Grupo.Yura14dias = c(179.84, 177.47, 190.38, 193.16, 174.89, 172.91)
2 Grupo.CBB14dias = c(189.43, 196.09, 198.73, 189.28, 201.29, 187.35)
3 t.test(Grupo.Yura14dias, Grupo.CBB14dias)

Entrada del programa

Salida del programa

Welch Two Sample t-test

data: Grupo.Yura14dias and Grupo.CBB14dias
t = -2.6999, df = 8.4381, p-value = 0.02584
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -20.164579 -1.679421
sample estimates:
mean of x mean of y
181.4417 192.3617

[Execution complete with exit code 0]

```

*Nota.* Se detalla el procedo de prueba T de Student para resistencias de concreto Yura y Cbb a la edad de 14 días.

Para dicho resultado, se rescatan los valores más importantes:

- p-value= 0,02584
- t= -2,6999

El dato de p-value de 0,02584 es menor a 0,05 del nivel de significancia, por lo que se rechaza la hipótesis nula que indicaba que ambas medias son iguales, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente grande entre las resistencias de Yura y Cbb a los 14 días de edad.

Igualmente, que, en el caso anterior, al obtener un valor t negativo, indica que la media de Yura es menor que la de Cbb, habiendo una diferencia de 10,92 kg/cm<sup>2</sup> a favor de Cbb entre ambos cementos. Por otro lado, aunque la diferencia sigue siendo notoria, el p-value de 0,02584 es mayor que el valor obtenido a los 7 días, reflejando que las resistencias comienzan a igualarse sutilmente conforme avanza la hidratación del cemento, considerando también que la diferencia entre promedios de resistencia bajó, lo cual puede deberse a que Yura tiende a ganar resistencia de manera más

progresiva, mientras que Cbb desarrolla resistencia a edades más tempranas. A razón de ello, se puede determinar que, si bien Yura ganó más resistencia, el cemento Cbb sigue presentando mayor resistencia a una edad intermedia.

Para la edad de 28 días tanto de cemento Yura como Cbb se obtuvieron los resultados de la Figura 67 mediante procesamiento en RStudio.

**Figura 67**

*Procesamiento de prueba t de Student para resultados de Yura y Cbb a los 28 días*

The screenshot shows the RStudio interface with the following code in the console:

```
1 Grupo.Yura28dias = c(237.07, 225.18, 226.76, 236.58, 246.07, 246.36)
2 Grupo.Cbb28dias = c(229.35, 212.85, 210.26, 214.58, 214.56, 222.35)
3 t.test(Grupo.Yura28dias, Grupo.Cbb28dias)
```

The output in the 'Salida del programa' pane is:

```
Welch Two Sample t-test

data: Grupo.Yura28dias and Grupo.Cbb28dias
t = 4.9105, df = 9.9744, p-value = 0.0006181
alternative hypothesis: true difference in means is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 11.34696 30.20971
sample estimates:
mean of x mean of y
238.1033 217.2250

[Execution complete with exit code 0]
```

*Nota.* Se detalla el procedo de prueba T de Student para resistencias de concreto Yura y Cbb a la edad de 28 días.

Para dicho resultado, se rescatan los valores más importantes:

- p-value= 0,0006181
- t= 4,9105

El dato de p-value de 0,0006181 es menor a 0,05 del nivel de significancia, por lo que se rechaza la hipótesis nula que indicaba que ambas medias son iguales, por lo tanto, existe una diferencia estadísticamente grande entre las resistencias de Yura y Cbb a los 28 días de edad.

Para este caso, el valor positivo de t indica que las medias de resistencia de Yura son claramente mayores al de Cbb, representando un cambio en comparación de los resultados de edades tempranas, donde Cbb si era superior en todo aspecto. A los 28 días Yura logra una ganancia de resistencia más prolongada y consistente, sugiriendo que podría tener una hidratación más lenta pero un contenido de puzolana mayor, razón por la cual alcanzó una resistencia significativamente mayor, habiendo una diferencia de 20,78 kg/cm<sup>2</sup> a favor de Yura. A razón de ello, se puede determinar

que Yura ganó más resistencia a los 28 días, mientras que el cemento Cbb incrementó su resistencia gradualmente, pero sin superar a Yura.

Los resultados de la prueba t de Student muestran diferencias en las resistencias a la compresión entre los concretos elaborados con cemento nacional e internacional, ya que, a las edades de 7 y 14 días, el cemento internacional Cbb alcanzó mayores valores de resistencia, mientras que a los 28 días el cemento nacional Yura superó al internacional, indicando que el tipo de cemento si influye en la resistencia del concreto, pero el desempeño a largo plazo varía con el tiempo de curado. Por lo tanto, la hipótesis se comprueba parcialmente, ya que, si bien el cemento internacional presenta mayor resistencia en las primeras edades, el cemento nacional desarrolla una mejor resistencia final a los 28 días.

### **5.12.2. Segunda hipótesis**

El método ACI 211 se aplicó para determinar la dosificación del concreto realizado con cemento Yura y Cbb, a partir de la resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ , considerando los parámetros físicos calculados a partir de los ensayos estándares realizados. Los resultados obtenidos en la Tabla 46; Tabla 47; Tabla 48 para Yura y Tabla 49; Tabla 50; Tabla 51 para Cbb para las diferentes edades de curado demostraron que la dosificación propuesta permitió alcanzar resistencias típicas según la edad de curado, de forma que, a los 28 días todos los resultados superaron los  $210 \text{ kg/cm}^2$ .

Sin embargo, a los 7 días, se observa que ninguna de las briquetas de ambos cementos alcanzó los  $210 \text{ kg/cm}^2$ , lo cual puede deberse a que a esta edad temprana el proceso de hidratación del cemento aún no se completa, por lo que, en esta etapa la ganancia de resistencia dependía principalmente de los compuestos más reactivos del cemento. Por lo tanto, los valores bajos de resistencia inicial reflejan el comportamiento del concreto durante las primeras edades, el cuál irá aumentando conforme avance el tiempo y el continuo proceso de hidratación, lo cual se confirma con las resistencias ascendentes a los 14 y 28 días.

Es por ello, que se comprueba la hipótesis ya que el método ACI 211 facilitó el cálculo de una dosificación adecuada para lograr la resistencia prevista del concreto, del mismo modo que las diferencias podrían atribuirse a variaciones en la finura, el tipo y cantidad de adiciones puzolánicas, y las condiciones de curado, las cuales influyen directamente en la velocidad de ganancia de resistencia.

### 5.12.3. Tercera hipótesis

Para la obtención de las resistencias a la compresión del concreto elaborado tanto con cemento Yura como Cbb, se tuvieron que aplicar los principales métodos de ensayo, desde el ensayo de granulometría para corroborar la idoneidad de los agregados según la NTP 339.128 hasta los ensayos estándares de contenido de humedad según 338.185, peso específico y absorción según NTP 400.021 y NTP 400.022, peso unitario según NTP 400.017 y consistencia según NTP 339.035, los cuales fueron los pasos previos para poder realizar el ensayo de elaboración y curado de probetas según NTP 339.033, y finalmente, el ensayo de compresión axial de acuerdo a NTP 339.034 que permitió obtener los resultados claves para poder realizar la comparación mediante tablas y gráficos, los cuales reflejaron diferencias en la resistencia entre ambos tipos de cemento, lo que evidencia que los métodos de ensayo aplicados son adecuados para comparar y evaluar el comportamiento y desempeño del concreto.

Por lo tanto, se comprueba la hipótesis, ya que los ensayos realizados descritos anteriormente permitieron identificar y cuantificar las variaciones de resistencia entre las mezclas analizadas, demostrando su efectividad como herramientas de comparación en el estudio.

En síntesis, los resultados obtenidos permitieron confirmar que existen diferencias en la resistencia a la compresión del concreto elaborado con cementos tipo IP de origen nacional e internacional Yura y Cbb respectivamente, cumpliéndose así la hipótesis general de que los diferentes cementos tipo IP influyen en la resistencia del concreto elaborado en la ciudad de Tacna en el año 2025.

El análisis comparativo mostró que, si bien ambos cementos cumplen con los requisitos normativos, el cemento Yura de origen nacional presentó mayores resistencias a los 28 días, mientras que Cbb de origen internacional destacó a edades tempranas de 7 y 14 días, evidenciando la influencia del tipo de cemento en el comportamiento mecánico del concreto, pero también demostrando que el tiempo de curado juega un rol importante en la ganancia de resistencia a largo plazo.

Asimismo, se comprobó que los métodos de ensayo empleados resultaron adecuados para el análisis comparativo, los cuales al someterse a técnicas de procesamiento estadístico garantiza que los resultados sean confiables, no obstante, se reconoce como limitación el empleo de una única granulometría y dosificación, por lo que se recomienda ampliar el estudio con diferentes proporciones de mezcla, diversificación de gradaciones granulométricas, curados prolongados y análisis complementarios de durabilidad del concreto.

En conjunto, los hallazgos contribuyen a un mejor entendimiento del desempeño de los cementos Tipo IP, sentando las bases para futuras investigaciones orientadas a la selección óptima de cementos para lograr concretos con resistencias adecuadas, así como futuros análisis complementarios de durabilidad, tales como la absorción, permeabilidad o resistencia a ambientes agresivos, con el fin de ampliar la comprensión sobre el desempeño del concreto a largo plazo.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos confirmaron que los cementos tipo IP presentaron variaciones significativas en la resistencia a la compresión del concreto, evidenciando que la selección de la marca de cemento influyó directamente en el desarrollo de la resistencia mecánica del material. Este comportamiento ratificó que la elección del cemento constituyó un factor crítico para asegurar el desempeño estructural en las obras ejecutadas en la ciudad de Tacna.

El análisis comparativo de las resistencias a los 7, 14 y 28 días permitió determinar que el cemento CBB (origen internacional) desarrolló mayores resistencias en edades tempranas, mientras que el cemento YURA (origen nacional) mostró un desempeño superior a los 28 días. Ambos cementos alcanzaron únicamente a los 28 días la resistencia de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual evidenció un comportamiento diferenciado en función del tiempo de curado.

La aplicación del método ACI 211 permitió calcular de manera precisa la dosificación óptima del concreto, empleando datos obtenidos de ensayos normalizados. Dicho procedimiento garantizó que los agregados utilizados cumplieran los requisitos normativos, lo que aseguró una coherencia en los valores de resistencia y facilitó la evidencia de los resultados en laboratorio.

Los métodos de ensayo aplicados, principalmente los relacionados con la caracterización de agregados y las pruebas de compresión axial en probetas cilíndricas fueron determinantes para comparar objetivamente el desempeño de los concretos fabricados con ambas marcas de cemento Yura y Cbb. La correcta ejecución y control de dichos ensayos aseguró la validez experimental de los resultados, destacando la importancia de las técnicas de ensayo en la evaluación del comportamiento mecánico del concreto.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda al Gobierno Regional de Tacna considerar, en sus futuras obras públicas, la importancia de seleccionar adecuadamente la marca de cemento tipo IP, debido a que se evidenció que cada marca presentó un comportamiento mecánico diferente. Esta decisión debería incorporarse como criterio técnico obligatorio dentro de los expedientes y especificaciones de construcción.

Se recomienda a los profesionales y empresas constructoras de la ciudad de Tacna evaluar previamente el desempeño de las marcas de cemento disponibles, especialmente cuando las obras requieran resistencia temprana o resistencia a los 28 días. Esto permitirá optimizar la selección del material según las necesidades estructurales del proyecto y evitar riesgos derivados de un inadecuado comportamiento del concreto durante el curado.

Se recomienda a la Universidad Privada de Tacna fortalecer la enseñanza y práctica del método ACI 211, como el método Walker en los cursos de tecnología del concreto y laboratorio, debido a su efectividad comprobada para obtener dosificaciones coherentes y reproducibles. Asimismo, se sugiere promover el uso de agregados provenientes de distintas canteras que cumplan con las normas técnicas vigentes, para asegurar resultados confiables en las investigaciones estudiantiles.

Se recomienda a futuros tesisistas e investigadores de ingeniería civil mantener un estricto control en la ejecución de ensayos de laboratorio, especialmente en la caracterización de agregados y pruebas de compresión axial, pues estos procedimientos demostraron ser esenciales para validar el comportamiento mecánico del concreto. Asimismo, se les sugiere documentar rigurosamente cada fase experimental para garantizar la calidad científica de sus estudios.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abanto, W., Calvache, O., Cardona, F., Castañeda, G., Polanía, C. y Vargas, I. (2020). Metodología de investigación Cuantitativa & Cualitativa. Institución Universitaria Antonio José Camacho. <https://repositorio.uniajc.edu.co/handle/uniajc/596>
- Abril, M. y Ramos, A. (2017). Identificación de la variación en la resistencia del concreto debido al origen del agregado grueso [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Colombia]. <https://bibliotecadigital.oducal.com/Record/oai:repository.ucatolica.edu.co:10983-15280>
- Aguilar, J. (2015). Fabricación y evaluación de concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante y silices con cemento portland tipo IP en la ciudad de Tacna [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/items/85fa7608-7b46-4677-b9ec-859b0a3d4278>
- Ahmad, A., Awais, M., Hassan, A., Muneer, M., Ur-Rehman, H. y Zahra, E. (2024). Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de diferentes marcas de cemento disponibles localmente en Pakistán. Revista Internacional de Investigación y Tecnología en Ingeniería, 13(06), 1-10. <https://www.ijert.org/research/a-comparative-analysis-of-compressive-strength-of-different-cement-brands-locally-available-in-pakistan-IJERTV13IS060072.pdf>
- Akasaki, J., Fioriti, C., Moraes, M., Silva, C. y Tashima, M. (2016). Evaluación del concepto de madurez en el hormigón con adición de cenizas de cascarilla de arroz. Revista Ingeniería de Construcción, 31(3), 175–182. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732016000300003>
- American Concrete Institute. (2019). Requisitos del código de construcción para hormigón estructural y comentarios (ACI Committee 318). <https://www.concrete.org/topicsinconcrete/topicdetail/318%20building%20code?search=318%20Building%20Code>
- American Concrete Institute. (2022). Guía para la selección de proporciones en hormigón de densidad normal y alta. (ACI Committee 211). [https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/211.1-22\\_preview.pdf](https://www.concrete.org/Portals/0/Files/PDF/Previews/211.1-22_preview.pdf)

- Aragón, Y. (2018). Análisis comparativo de la edad vs la resistencia a la compresión del concreto elaborado con las marcas de cementos portland tipo I - IP en la ciudad de Puno 2018 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Altiplano]. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/14694>
- Ávila, Y., Orozco, M., Parody, A. y Restrepo, S. (2018). Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. *Revista Ingeniería de Construcción*, 33(2), 161–172. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732018000200161>
- Bamigboye, G., Ede, A., Ekwuatu, C., Jolayemi, J., Olowu, O. y Odewumi, T. (2015). Assessment of compressive strength of concrete produced from different brands of Portland cement. *International Journal of Civil and Environmental Research*, 7(8), 1081-1092. [https://www.researchgate.net/publication/305984958\\_Assessment\\_of\\_Compressive\\_Strength\\_of\\_Concrete\\_Produced\\_from\\_Different\\_Brands\\_of\\_Portland\\_Cement/references#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/305984958_Assessment_of_Compressive_Strength_of_Concrete_Produced_from_Different_Brands_of_Portland_Cement/references#fullTextFileContent)
- Ben-Hmida, E., Edwards, H., Elbagerma, M. y Hamoda, W. (2020). Estudio comparativo de las propiedades físicas de algunas marcas de cemento Portland disponibles en el mercado libio. *Revista Internacional de Nueva Química*, 7(3), 220-231. <https://doi.org/10.22034/ijnc.2020.124118.1107>
- Caicedo, J., Chisag, E., Haro, A. y Ruiz, J. (2024). Tipos y clasificación de las investigaciones. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(2), 956–966. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i2.1927>
- Cárdenas, G., Cordero, E. y Rojas, J. (2022). Diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI. Editorial-UFPS. <https://libros.ufps.edu.co/index.php/editorial-ufps/catalog/book/25>
- Castillo, J. y Pastor, D. (2024). Estudio comparativo de propiedades mecánicas y físicas del concreto empleando cemento portland tipo I de orígenes nacional e internacional Chiclayo 2022 [Tesis de bachiller, Universidad Tecnológica del Perú]. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/11319>
- Castillo, J., Ortiz, P. y Ospina, M. (2022). Horno cementero rotatorio: una revisión al control mediante sistemas expertos. *Tecnológicas*, 25(55), 1–27. <https://doi.org/10.22430/22565337.2391>

- Cementos Bío Bío S.A. (2023). Ficha Técnica Cemento Portland Puzolánico Tipo IP (NTP 334.090). <https://grupodmat.com/assets/pdf/Cemento%20CBB%20tipo%201p%20%E2%80%93%20ft.pdf>
- Chahuaris, E. y Chahua, J. (2023). Evaluación y diseño de concretos autocompactantes elaborados con cemento Tipo I, Tipo IP y Tipo HS con aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango en estructuras densas en acero en la ciudad de Tacna [Tesis de bachiller, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman]. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/items/afa4b70e-3b67-4b5d-9580-f6ea7735ed85>
- Chinchón, S. y SanJuán, M. (2014). Introducción a la fabricación y normalización del cemento Portland. San Vicente del Raspeig: Publicaciones de la Universidad de Alicante. <http://hdl.handle.net/10045/45347>
- Chougule, N. y Patil, N. (2025). Un estudio exhaustivo sobre la caracterización de diferentes marcas de cemento para la construcción con hormigón. ResearchSquare. <https://www.researchsquare.com/article/rs-6888276/v1>
- Contreras, A., Gómez, J., Hernández, L. y Padilla, L. (2018). Resistencia a la compresión del concreto. ResearchGate. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.16390.63044>
- Coronel-Carbajal, C. (2022). Las variables y su operacionalización. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/373396938\\_Las\\_variables\\_y\\_su\\_operacionalizacion](https://www.researchgate.net/publication/373396938_Las_variables_y_su_operacionalizacion)
- Cuba, R. y Humpire, R. (2019). Análisis comparativo de las propiedades mecánicas para un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  usando cemento Yura tipo IP y cemento Wari tipo IP, con la adición de escoria de cobre de la minera Southern Perú, para la ciudad de Arequipa [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/b4108ba5-9c7c-4389-abd0-f9f9f862f40d>
- De Jesús, C. (2024). La investigación cuantitativa. Corporación Universitaria de Asturias. [https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/investigacion\\_cuantitativa/unidad1\\_pdf1.pdf](https://www.centro-virtual.com/recursos/biblioteca/pdf/investigacion_cuantitativa/unidad1_pdf1.pdf)
- Ezeokoli, F., Ohazulume, G., Okolie, K. y Okonkword, C. (2020). Análisis comparativo de la resistencia del hormigón elaborado con marcas seleccionadas de cemento

- en el estado de Anambra, Nigeria. Archivos de Investigación Actual Internacional, 19(4), 1–10. <https://doi.org/10.9734/acri/2019/v19i430162>
- Flores, E. y Ochoa, R. (1994). Química del cemento. Revista de Química, 8(2), 207–214. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5537>
- Gallego, J. (2018). Cómo se construye el marco teórico de la investigación. Cuadernos de Pesquisa, 48(169), 830–854. <https://doi.org/10.1590/198053145177>
- García, J. y Jaimes, D. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. Formación Estratégica, 2(1), 1–13. <https://formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/18>
- Guzmán, M. (2023). Peso específico y absorción del agregado fino. Scribd. <https://es.scribd.com/doc/219857828/Peso-Especifico-y-Absorcion-Del-Agregado-Fino>
- Huaranga, J. (2024). Procedimiento de peso unitario suelto y varillado ASTM C29. Sildeshare. <https://es.slideshare.net/slideshow/39-procedimiento-de-peso-unitario-suelto-y-varillado-astm-c29pdf/257982248>
- Instituto Nacional de Calidad. (2015). Hormigón (Concreto). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland (NTP 339.035). <https://pdfcoffee.com/ntp-3390352009pdf-pdf-free.html>
- Instituto Nacional de Calidad. (2018). Agregados. Agregados para concreto. Requisitos (NTP 400.037). <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-tecnologica-del-peru/tecnologia-del-concreto/ntp-400-037-2018-agregados-para-concreto/26361656>
- Iranifard, E. y Jatifnejad, R. (2022). Investigación comparativa: un método antiguo pero poco conocido. Journal of Midwifery and Reproductive Health, 10(3), 3317–3318. <https://doi.org/10.22038/jmrh.2022.66873.1954>
- Kwame, C. y Thomas, A. (2022). Estudio comparativo de la resistencia a la compresión del hormigón fabricado con diferentes marcas de cemento en Ghana. Journal of Engineering Research and Reports, 23(9), 41-43. [https://www.researchgate.net/publication/364716394\\_Comparative\\_Study\\_of\\_the\\_Compressive\\_Strength\\_of\\_Concrete\\_made\\_from\\_Different\\_Brands\\_of\\_Cements\\_in\\_Ghana#fullTextFileContent](https://www.researchgate.net/publication/364716394_Comparative_Study_of_the_Compressive_Strength_of_Concrete_made_from_Different_Brands_of_Cements_in_Ghana#fullTextFileContent)

- López, J. y Tufino, W. (2020). Relación agua/cementante para mejorar las propiedades de los concretos fluidos premezclados de alta resistencia [Tesis de licenciatura, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/3659>
- Medina, R. (2016). Propiedades del concreto. <https://www.acerosarequipa.com/pe/es/download/file/BOLETIN-CONSTRUYENDO-30.pdf/boletines/archivos/2020-03>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2019). Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado. Norma Técnica de Edificación. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- Monitor Empresarial de Reputación Corporativa. (2024). Ranking Empresas. Merco. <https://www.merco.info/pe/ranking-merco-empresas>
- Otzen, T. y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227–232. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
- Pacheco, L. (2017). Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad José Carlos Mariátegui]. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/226>
- Paco, E. (2023). Calidad de concreto en viviendas autoconstruidas en el distrito de Ciudad Nueva de la Ciudad de Tacna en el año 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/4353>
- Pincay, E., Reyes, K., Rodríguez, L., Vasques, S. y Velez, H. (2020). Cemento: material fundamental en la construcción. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/publication/343304512\\_CEMENTO\\_MATERIAL\\_FUNDAMENTAL\\_EN\\_LA\\_CONSTRUCCION](https://www.researchgate.net/publication/343304512_CEMENTO_MATERIAL_FUNDAMENTAL_EN_LA_CONSTRUCCION)
- Pingcuo, Z., Qin, X., Shen, D., Yan, G., Zhang, J. y Zhu, F. (2025). Efectos de la marca de cemento en el macrocomportamiento y la microestructura del hormigón autocompactante sometido a ciclos de congelación-descongelación. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 23(8), 373-384. <https://doi.org/10.3151/jact.23.373>
- Pipa, M. y Rojas, M. (2021). Análisis comparativo de la Resistencia del Concreto elaborado con cemento Mochica y cemento Pacasmayo Portland Tipo I, en la

- ciudad de Yurimaguas – Alto Amazonas – Loreto [Tesis de licenciatura, Universidad Científica del Perú]. <https://repositorio.ucp.edu.pe/items/510a8403-ea26-4e17-936a-4e12e9cd048e>
- Ramos, C. (2020). Los Alcances de una Investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Real Academia Española. (2014). Rendimiento. En *Diccionario de la lengua española*. Recuperado el 29 de julio de 2025, de <https://dle.rae.es/rendimiento>
- Sistema Electrónico de Contrataciones del Estado. (2023). Ficha Técnica Aprobada (Cemento Portland Puzolánico). <https://prod4.seace.gob.pe/documentos/documentos/FichaSubInv/19092024102054.pdf>
- Tahsin, S. (2017). Diferencia entre clínker y cemento. *Civil Engineering*. <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/cement/109-difference-between-clinker-and-cement>
- Umeres, F. y Umeres, J. (2021). Análisis comparativo de la resistencia a compresión del concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> usando cemento IP Mishky, Wari y Yura, Cusco – 2020 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/59855>
- Vega, G. (2016). Revisión del empleo de fibras de acero en hormigones autocompactantes. *Canales de Edificación*, 2(3). <https://doi.org/10.20868/ade.2016.3471>
- Vicente, R. (2016). Diferencia en la resistencia de los concretos por efecto de los tipos de cemento comercializados en la ciudad de Tacna, 2016 [Tesis de licenciatura, Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/160/Vicente-Mercado-Rodrigo-Alexander%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villafuerte Quimiz, B. A., Ortiz Hernández, E. H., & Panchana de Calderero, R. (2022). Análisis del impacto económico en la vivienda social en Portoviejo de un diseño de hormigón, enfocado en las características de los agregados gruesos y finos suministrados por canteras locales. *Journal of Business and Entrepreneurial Studie*. <https://doi.org/10.37956/jbes.v6i3.307>

- Villca, A., & Condori, F. (2023). Innovación en los morteros de cal/puzolana para una construcción sostenible de viviendas sociales. *Orbis Tertius - UPAL*, 7(13). <https://doi.org/10.59748/ot.v7i13.127>
- Virruet, R. (2022). Análisis comparativo en el diseño de mezcla de concreto empleando aditivos superplastificantes e incorporadores de aire para evaluar la resistencia mecánica máxima del concreto autocompactante, Tacna 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional. <https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/6578763>
- Yura S.A. (2022). Ficha Técnica V1 IP Cemento Multi-Propósito de Alta Durabilidad (NTP 334.090). <https://www.yura.com.pe/wp-content/uploads/ficha-tecnica-yura-ip.pdf>
- Yuva, Y. (2023). Propiedades del hormigón de baja resistencia en estructuras existentes mediante ensayos no destructivos y resultados de ensayos de núcleos. *Journal of Building Engineering*, 76, 107–281. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.107281>
- Zambrano, L., Alava, R., Ruíz, W., & Menéndez, E. (2022). Aplicación de métodos de curado y su influencia en la resistencia a la compresión del hormigón. *Gaceta Técnica*, 23(1), 35-47. <https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4>

### Anexo 1. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Dimensiones	Indicador	Metodología
<p><b>Problema general</b></p> <p>¿De qué manera los cementos tipo IP influyen en la resistencia del concreto en la ciudad de Tacna 2025?</p>	<p><b>Objetivo general</b></p> <p>Analizar la influencia de los cementos tipo IP en la resistencia del concreto en la ciudad de Tacna 2025.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>Los diferentes cementos tipo IP influyen en la resistencia del concreto elaborado en la ciudad de Tacna 2025.</p>	<p><b>Variable independiente</b></p> <p>- Cementos tipo IP</p>	<p>1.Marca del cemento 2.Dosificación 3. Métodos del ensayo</p>	<p>1.1 Compuestos del cemento 1.2. Calidad de los materiales 1.3. Porcentaje y tipo de puzolana 2.1. Método ACI 211 2.2. Relación agua/cemento 2.3. Proporción y tipo de agregado 2.4. Cantidad de cemento por m3 de concreto 3.1. Ensayo de Granulometría de los agregados 3.2. Ensayo de contenido de humedad 3.3. Ensayo de peso específico de agregados 3.4. Ensayo de absorción de agregados 3.5. Ensayo de peso unitario de agregados</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Básica de enfoque cuantitativo</li> </ul> <p><b>Nivel de investigación:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El nivel de investigación es mixto, ya que comprende el nivel correlacional, así como el nivel explicativo</li> </ul>

<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variable dependiente</b>	1.Edad del concreto 2. Rigidez del concreto	1.1 Resistencia a los 7 días 1.2 Resistencia a los 14 días 1.3 Resistencia a los 28 días  2.1. Módulo de elasticidad	<b>Diseño de investigación</b>
<p>a. ¿Cuál es la marca de cemento tipo IP que presenta mayor resistencia a la compresión del concreto a las edades de 7,14 y 28 días?</p> <p>b. ¿De qué manera se calculará la dosificación adecuada para obtener la resistencia a la compresión del concreto?</p> <p>c. ¿Qué métodos de ensayos se aplicarán para comparar la resistencia a la compresión del concreto?</p>	<p>a. Determinar la marca de cemento que presenta mayor resistencia a la compresión del concreto a las edades de 7, 14 y 28 días.</p> <p>b. Calcular la dosificación adecuada para obtener la resistencia a la compresión del concreto.</p> <p>c. Aplicar métodos de ensayo para comparar la resistencia a la compresión del concreto.</p>	<p>a. La marca del cemento internacional tiene mayor resistencia a la compresión del concreto en comparación del cemento nacional a las edades de 7, 14 y 28 días.</p> <p>b. El método ACI Comité-211 facilita calcular la dosificación adecuada para obtener la resistencia a la compresión del concreto</p> <p>c. Los principales métodos de ensayo permiten comparar las diferencias en la resistencia a la compresión del concreto</p>	Resistencia del concreto			<p>- El diseño de la investigación es experimental</p>

## Anexo 2. Ficha Técnica de Cemento Yura tipo IP



### DESCRIPCIÓN

**EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP** es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

*Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.*

### DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS REQUISITOS QUÍMICOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.030 ASTM C-595			
MgO (%)			6.00 Máx.			
SO <sub>3</sub> (%)	1.5 a 3.0		4.00 Máx.			
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 4.0		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.75 a 2.85		-			
Expansión en autodate (%)	0.07 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat Inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx			
Resistencia a la compresión	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	REQUISITOS NORMA NTP 334.030 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Min	13	122 Min	12Min
7 días	225 a 255	22 a 25	204 Min	20	194 Min	19 Min
28 días	306 a 340	30 a 33.3	255 Min	25	-	-
Resistencia a la tracción	%		%			
% Expansión a los 6 meses	< 0.04		0.05 Máx			
% Expansión a 1 año	< 0.05		0.10 Máx			

## Anexo 3. Ficha Técnica de cemento Cbb tipo IP


**PROPIEDADES  
QUÍMICAS**
**PROPIEDADES  
FÍSICAS**
**MANIPULACIÓN**
**ALMACENAMIENTO**
**DURACIÓN**

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Cumple los requisitos de la norma NTP 334.090 Cementos hidráulicos adicionados – Requisitos

Parámetros	Resultado
Óxido de magnesio [%]	6,0 máximo
Trióxido de azufre [%]	4,0 máximo
Pérdida por ignición [%]	5,0 máximo

Parámetros	Resultado
Peso específico [g/cm <sup>3</sup> ]	2,90 – 3,05
<b>Tiempos de fraguado</b>	
Inicio [minutos]	Mínimo 45 min.
Fin [minutos]	Máximo 420 min.
Expansión en autoclave [%]	Máximo 0,80
Contracción en autoclave [%]	Máximo 0,20
Contenido de aire del mortero [%]	Máximo 12
<b>Resistencia a la compresión</b>	
3 días [MPa]	Mayor que 13
7 días [MPa]	Mayor que 20
28 días [MPa]	Mayor que 25

Cbb Cementos cuenta con productos orientados a satisfacer múltiples aplicaciones en todas las áreas de la construcción, desde los pequeños proyectos hasta obras de infraestructura.

Se recomienda manipular el cemento en ambientes ventilados para evitar la inhalación prolongada del producto. Cubra su cuerpo con ropa de trabajo, guantes y anteojos de seguridad. En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón. Se debe evitar el contacto del cemento con los ojos, en caso de producirse, lavar con abundante agua limpia.

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se debe proteger del aire húmedo. Guárdelo en bodegas ventiladas y secas, aisladas del suelo y separado de los muros. En caso de bodegaje prolongado, recomendamos cubrir los sacos con polietileno o carpas, en acopios de no más de 10 sacos de altura.

Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días a partir de la fecha de envasado registrada en el saco.