



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DEL CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA
COMO AGREGADO GRUESO PARA UTILIZARSE EN
CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO**

PRESENTADA POR

GINA ANA QUISPE VILCHEZ

JONATÁN CORRADO VERA VERA

ASESOR

WILLIAM FREDDY ACEVEDO DAMIAN

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2018



**Reconocimiento - No comercial – Compartir igual
CC BY-NC-SA**

Los autores permiten transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DEL CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA
COMO AGREGADO GRUESO PARA UTILIZARSE EN
CONCRETO ESTRUCTURAL LIVIANO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

**QUISPE VILCHEZ, GINA ANA
VERA VERA, JONATÁN CORRADO**

LIMA – PERÚ

2018

Dedico esta investigación, a Dios por permitir que todo aconteciera en el debido lugar y en el momento oportuno. A mis padres, por la confianza y por siempre brindarme más de lo que realmente necesitaba.

Finalmente, a mi hermano por motivarme a seguir adelante y creer en mí.

Jonatán Corrado Vera Vera

Dedico esta investigación, a Dios por permitirme vivir esta experiencia. A mis padres quienes me enseñan que con amor y perseverancia puedo cumplir mis metas, a mi hermano que me incentiva a vencer los obstáculos y a mi tía Sara por enseñarme a nunca rendirme.

Gina Ana Quispe Vilchez

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación no hubiera sido posible desarrollar sin el interés, apoyo, esfuerzo y experiencia otorgada por personas que han contribuido de forma directa o indirecta con nosotros.

Agradecemos a la Universidad de San Martín de Porres, por habernos acogido durante nuestros años de estudio en la carrera, a los profesores por exigirnos y enseñarnos a ser perseverantes en cada proyecto realizado durante nuestro tiempo de estudio, y a nuestros asesores por orientarnos durante el desarrollo de la presente investigación.

Deseamos realizar una mención especial a la Ingeniera Leonor Nancy Ruiz Panduro, Jefa del departamento de Control de Calidad de la empresa Mixercon por permitirnos desarrollar nuestra investigación en el Laboratorio de Diseño de Mezcla del área de Calidad.

Deseamos agradecer al Ingeniero William Freddy Acevedo Damian por apoyarnos, orientarnos e incentivarnos de manera directa durante las etapas de la elaboración de las dosificaciones y supervisión de los ensayos realizados de la presente investigación.

Una mención especial al Ingeniero Javier Jovanny Valdez Chambi, Jefe de Control de Calidad de Cemento Nacional, por brindarnos su tiempo, compartir con nosotros sus conocimientos e ilustrarnos acerca de los componentes químicos del agregado empleado en la investigación.

Agradecemos de manera especial al Ingeniero Ricardo Alex Toledo Gonzalez, por la confianza y constante apoyo que nos brindó durante el desarrollo de la presente investigación.

Finalmente, reconocemos y agradecemos al equipo técnico de Mixercon conformado por Francisco León, Iván Fernandez, Alex Cairo y Gian Marcos Quispe, por el apoyo, esfuerzo y la atención brindada durante la investigación.

ÍNDICE

| | Página |
|---|---------------|
| RESUMEN | xviii |
| ABSTRACT | xix |
| INTRODUCCIÓN | xx |
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1 Descripción de la situación problemática | 1 |
| 1.2 Formulación del problema | 2 |
| 1.2.1 Problema general | 2 |
| 1.2.2 Problemas específicos | 2 |
| 1.3 Objetivos de la investigación | 2 |
| 1.3.1 Objetivo general | 2 |
| 1.3.2 Objetivos específicos | 2 |
| 1.4 Justificación de la investigación | 3 |
| 1.4.1 Importancia de la investigación | 3 |
| 1.4.2 Viabilidad de la investigación | 4 |
| 1.4.3 Limitaciones del estudio | 5 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 6 |
| 2.1 Antecedentes de la investigación | 6 |
| 2.2 Bases teóricas | 8 |
| 2.2.1 Agregados gruesos livianos | 8 |
| 2.2.2 Arcilla expandida como agregado grueso | 11 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 2.2.3 | Cemento | 14 |
| 2.2.4 | Agua | 19 |
| 2.2.5 | Clasificación del concreto | 20 |
| 2.3 | Definición de términos básicos | 22 |
| CAPÍTULO III. HIPÓTESIS Y VARIABLES | | 24 |
| 3.1 | Hipótesis | 24 |
| 3.1.1 | Hipótesis general | 24 |
| 3.1.2 | Hipótesis específicas | 24 |
| 3.2 | Variables | 24 |
| 3.2.1 | Variable independiente | 25 |
| 3.2.2 | Variables dependientes | 25 |
| 3.3 | Matriz de consistencia | 26 |
| CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA | | 27 |
| 4.1 | Diseño metodológico | 27 |
| 4.1.1 | Tipo de investigación: Investigación aplicada | 27 |
| 4.1.2 | Diseño de la investigación: Explicativo cuantitativo experimental | 27 |
| 4.1.3 | Muestra | 27 |
| 4.1.4 | Instrumentos | 27 |
| 4.1.5 | Procedimientos | 28 |
| 4.2 | Técnicas de recolección de datos | 51 |
| 4.2.1 | Ensayo de peso unitario en estado fresco | 51 |
| 4.2.2 | Ensayo de peso unitario en estado seco | 57 |
| 4.2.3 | Ensayo de resistencia a la compresión | 59 |
| 4.2.4 | Ensayo de resistencia a la flexión | 63 |
| 4.3 | Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información | 69 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO V. RESULTADOS OBTENIDOS | 70 |
| 5.1 Desarrollo de la investigación | 70 |
| 5.1.1 Análisis granulométrico | 70 |
| 5.1.2 Ensayo de absorción y humedad de los agregados | 75 |
| 5.1.3 Ensayo de gravedad específica en estado saturado superficialmente seco | 81 |
| 5.1.4 Dosificación del concreto elaborado con arcilla expandida | 85 |
| 5.2 Resultados obtenidos | 87 |
| 5.2.1 Ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco | 87 |
| 5.2.2 Ensayo de peso unitario del concreto en estado seco | 88 |
| 5.2.3 Ensayo de resistencia a la compresión | 91 |
| 5.2.4 Ensayo de resistencia a la flexión | 104 |
| CAPÍTULO VI. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS | 107 |
| 6.1 Contraste de la hipótesis | 107 |
| 6.1.1 Hipótesis general | 107 |
| 6.1.2 Hipótesis específicas | 107 |
| 6.2 Análisis de los resultados | 108 |
| 6.2.1 Peso unitario | 108 |
| 6.2.2 Resistencia a la compresión | 109 |
| 6.2.3 Resistencia a la flexión | 111 |
| CAPÍTULO VII. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS | 112 |
| 7.1 Peso unitario del concreto elaborado con arcilla expandida | 112 |
| 7.1.1 Peso unitario en estado fresco | 112 |
| 7.1.2 Peso unitario en estado seco | 114 |
| 7.2 Resistencia a la compresión del concreto elaborado con arcilla expandida | 114 |

| | |
|--|------------|
| 7.3 Resistencia a la flexión del concreto elaborado con arcilla expandida | 115 |
| CONCLUSIONES | 116 |
| RECOMENDACIONES | 117 |
| FUENTES DE INFORMACIÓN | 118 |
| ANEXOS | 122 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | Página |
|---|---------------|
| Figura 1. Mapa de proceso general para la fabricación de arcilla expandida | 13 |
| Figura 2. (izquierda) Micrografía electrónica de barrido de un polvo de cemento con aumento de 1000X y (derecha) distribución del tamaño de las partículas del cemento portland. Recuperada del libro (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 57) | 17 |
| Figura 3. Aparato Vicat | 18 |
| Figura 4. Se hacen cubos de 50 mm (2 pulg.) (izquierda) y se los prensan para la determinación de las características de resistencia del cemento. Recuperada del libro (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 63) | 19 |
| Figura 5. Balanzas debidamente calibradas. (a la izquierda imagen de la balanza empleada en el laboratorio de materiales de la Universidad de San Martín de Porres y a su derecha la balanza empleada en el laboratorio de diseño de la planta de Mixercon) | 29 |
| Figura 6. Tamices que se emplean en el análisis granulométrico del agregado fino | 29 |
| Figura 7. Agitadores mecánicos de tamices que se emplean en los análisis granulométricos | 30 |
| Figura 8. Horno eléctrico | 30 |
| Figura 9. Centrífuga del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres | 35 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 10. | Cuenco de acero inoxidable | 36 |
| Figura 11. | Fiola con capacidad de 1000 ml | 38 |
| Figura 12. | Molde y barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad | 39 |
| Figura 13. | Balanza con precisión de 45 gramos | 52 |
| Figura 14. | Varilla compactadora de 450 mm | 52 |
| Figura 15. | Medida empleada para el ensayo de peso unitario en estado fresco, volumen = 0.00702 m ³ (7.02 litros) | 53 |
| Figura 16. | Placa de enrasado | 54 |
| Figura 17. | Mazo de goma | 54 |
| Figura 18. | Determinación de la masa para obtener el peso unitario del concreto en estado fresco | 56 |
| Figura 19. | Vernier empleado para medir | 58 |
| Figura 20. | Equipo de ensayo de resistencia a la compresión | 60 |
| Figura 21. | Probetas | 60 |
| Figura 22. | Tipos de posibles fallas en la ruptura de muestras para determinar la resistencia a la compresión | 63 |
| Figura 23. | Representación de la aplicación de cargas en el ensayo de resistencia a la flexión para una viga de concreto Norma NTP 339.07:2008 | 64 |
| Figura 24. | Máquina empleada durante el ensayo para determinar la resistencia a la flexión para una viga de concreto | 65 |
| Figura 25. | Aparatos de carga empleados en el ensayo para determinar la resistencia a la flexión para una viga de concreto | 66 |
| Figura 26. | Muestreo de agregados | 70 |
| Figura 27. | Muestra arcilla expandida para granulometría | 71 |
| Figura 28. | Muestra arena para granulometría | 71 |
| Figura 29. | Ingreso de muestras al horno para ser secadas | 72 |
| Figura 30. | Tamices para tamizado de agregado fino | 72 |
| Figura 31. | Tamices para tamizado de agregado grueso | 73 |
| Figura 32. | Agregado fino siendo añadido en tamices debidamente apilados | 73 |
| Figura 33. | Agitador mecánico de tamices con agregado fino | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 34. Curva granulométrica del agregado grueso, arcilla expandida | 74 |
| Figura 35. Curva granulométrica del agregado fino, arena Miranda | 75 |
| Figura 36. Muestreo para absorción del agregado grueso liviano | 76 |
| Figura 37. Agregado grueso liviano sumergido en agua | 76 |
| Figura 38. Agregado grueso liviano colocado en centrífuga luego de 72 horas sumergido en agua | 77 |
| Figura 39. Medición de la masa del agregado grueso liviano luego de ser sacado de la centrífuga (20 minutos a 500 rpm) | 77 |
| Figura 40. Secado del agregado grueso en el horno a 110 °C | 78 |
| Figura 41. Agregado fino sumergido en agua luego de ser secado en el horno a 110 °C | 79 |
| Figura 42. Agregado fino en estado saturado superficialmente seco | 79 |
| Figura 43. Muestra de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco | 82 |
| Figura 44. Fiola llena de agua hasta el punto de calibración | 82 |
| Figura 45. Muestra de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco dentro de fiola con agua hasta la marca de calibración | 83 |
| Figura 46. Muestra de agregado fino en estado saturado superficialmente siendo añadido lentamente en la fiola con agua para evitar dañar el frasco | 84 |
| Figura 47. Muestra de agregado fino en estado saturado superficialmente seco dentro de fiola con agua hasta la marca de calibración | 84 |
| Figura 48. Gráfica de los pesos unitarios en estado fresco de las correspondientes dosificaciones realizadas durante la investigación y el límite máximo permitido de peso unitario para concretos livianos (1850 kg/m ³) | 87 |
| Figura 49. Gráfica de la evolución del peso unitario en el tiempo para la dosificación ID-461 | 88 |
| Figura 50. Gráfica de la evolución del peso unitario en el tiempo para la dosificación ID-471 | 89 |

| | |
|---|-----|
| Figura 51. Gráfica de la evolución del peso unitario en el tiempo para la dosificación ID-479 | 90 |
| Figura 52. Gráfica de los pesos unitarios en estado seco a 28 días para las dosificaciones 461, 471 y 479 | 91 |
| Figura 53. Gráfica de los pesos unitarios en estado seco a 28 días para las dosificaciones 461, 471 y 479 | 92 |
| Figura 54. Gráfica de la evolución de la resistencia a la compresión en el tiempo para los diseños ID-422, ID-426, ID-427, ID-442 e ID-461 | 92 |
| Figura 55. Gráfica de dispersión (Gauss) de los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID - 461 e ID - 442 | 96 |
| Figura 56. Gráfica de dispersión para los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID-442 e ID-461 con los límites máximos, mínimos y promedio simple obtenido | 97 |
| Figura 57. Gráfica de dispersión para los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID-442 e ID-461 con los límites máximos, mínimos y promedio de cada 3 ensayos consecutivos | 97 |
| Figura 58. Gráfica de evolución de la resistencia a la compresión para la dosificación final | 98 |
| Figura 59. Gráfica de la curva de evolución de la resistencia a la compresión de la dosificación final | 98 |
| Figura 60. Gráfica de dispersión (Gauss) de los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID - 471 e ID - 479 | 102 |
| Figura 61. Gráfica de dispersión para los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID-471 e ID-479 con los límites máximos, mínimos y promedio simple obtenido | 102 |
| Figura 62. Gráfica de dispersión para los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID-471 e ID- | |

| | |
|--|-----|
| 479 con los límites máximos, mínimos y promedio de cada 3 ensayos consecutivos | 103 |
| Figura 63. Gráfica de evolución de resistencia a la compresión y desarrollo del peso unitario para la dosificación final | 104 |
| Figura 64. Gráfica comparativa de módulos de rotura experimental y teórico para la dosificación inicial | 105 |
| Figura 65. Gráfica comparativa de módulos de rotura experimental y teórico para la dosificación final | 106 |
| Figura 66. Gráfica de pesos unitarios del concreto con arcilla expandida | 109 |
| Figura 67. Gráfica de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida | 110 |
| Figura 68. Gráfica de la curva de evolución de la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida | 110 |
| Figura 69. Gráfica de resultados de la resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida | 111 |
| Figura 70. Gráfica de dispersión de ensayos según la distribución normal | 115 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|---------------|
| Tabla 1. Tipos de cementos fabricados y utilizados en Perú | 15 |
| Tabla 2. Límites de composición aproximados para cemento Portland | 15 |
| Tabla 3. Funciones de los componentes principales del cemento | 16 |
| Tabla 4. Límites permisibles para agua de mezcla y de curado | 20 |
| Tabla 5. Indicadores y rango de medición de la variable independiente | 25 |
| Tabla 6. Indicadores y rango de medición de las variables dependientes | 25 |
| Tabla 7. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso | 31 |
| Tabla 8. Requisitos de granulometría de agregados livianos para concreto estructural | 32 |
| Tabla 9. Requerimiento de granulometría para agregado fino | 32 |
| Tabla 10. Tamaño de la muestra de agregado | 42 |
| Tabla 11. Slump recomendados para varios tipos de estructuras | 47 |
| Tabla 12. Requisitos aproximados de mezcla de agua y contenido de aire para diferentes asentamientos (slump) y tamaños máximos nominales de agregado grueso | 47 |
| Tabla 13. Relaciones entre a/c y resistencia a la compresión del concreto | 48 |
| Tabla 14. Relaciones máximas permisibles de agua/cemento para concreto en exposiciones severas | 49 |
| Tabla 15. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto | 50 |
| Tabla 16. Primera estimación del peso del concreto liviano nuevo compuesto de agregado grueso liviano y agregado fino de peso normal | 51 |

| | |
|--|----|
| Tabla 17. Capacidad de medidas para ensayo de peso unitario según ASTM C138 | 53 |
| Tabla 18. Tolerancia permisible según edad de los ensayos de rotura del concreto para determinar resistencia a la compresión | 61 |
| Tabla 19. Factores de corrección según relación longitud/diámetro de los especímenes a ensayar | 62 |
| Tabla 20. Muestras para análisis granulométrico | 71 |
| Tabla 21. Resultados de granulometría arcilla expandida | 74 |
| Tabla 22. Resultados de granulometría arena Miranda | 75 |
| Tabla 23. Resultados de ensayo %absorción y %humedad arcilla expandida | 78 |
| Tabla 24. Resultados de ensayo %absorción del agregado fino (arena Miranda) | 80 |
| Tabla 25. Resultados de ensayo %humedad del agregado fino (arena Miranda) | 81 |
| Tabla 26. Resultados de ensayo gravedad específica de los agregados | 85 |
| Tabla 27. Tabla de dosificaciones iniciales considerando densidad del agregado grueso igual a 450 kg/m ³ | 86 |
| Tabla 28. Tabla de dosificaciones optimizadas empleando una densidad del agregado liviano igual a 961 kg/m ³ | 87 |
| Tabla 29. Tabla de evolución de pesos unitarios del concreto en estado seco ID-461 | 88 |
| Tabla 30. Tabla de evolución de pesos unitarios del concreto en estado seco ID-471 | 89 |
| Tabla 31. Tabla de evolución de pesos unitarios del concreto en estado seco ID-479 | 90 |
| Tabla 32. Resumen de ensayos de resistencia a la compresión de las dosificaciones iniciales | 91 |
| Tabla 33. Resultados de ensayo a 28 días para dosificación ID - 461 | 93 |
| Tabla 34. Promedio de medidas para probetas en base a 32 muestras | 95 |
| Tabla 35. Resultados ordenados de forma ascendente, distribución normal y promedio simple y promedio de cada 3 resultados | 95 |
| Tabla 36. Resumen de ensayos de resistencia a la compresión | 98 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 37. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión a 28 días para dosificación ID – 479 | 99 |
| Tabla 38. Promedio de medidas para probetas en base a 30 muestras | 100 |
| Tabla 39. Resultados ordenados de forma ascendente, distribución normal y promedio simple y promedio de cada 3 resultados | 101 |
| Tabla 40. Resumen de ensayos de resistencia a la compresión de las dosificaciones finales y pesos unitarios en estado seco de la dosificación ID – 479 | 103 |
| Tabla 41. Resumen de ensayo de resistencia a la flexión de la dosificación inicial | 104 |
| Tabla 42. Resumen de ensayo de resistencia a la flexión de la dosificación final | 105 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | Página |
|---|---------------|
| Ecuación 1. Fórmula para determinar el porcentaje de absorción del agregado grueso liviano | 37 |
| Ecuación 2. Fórmula para determinar el porcentaje de absorción del agregado fino | 41 |
| Ecuación 3. Fórmula para determinar el contenido de humedad del agregado grueso | 43 |
| Ecuación 4. Fórmula para determinar la gravedad específica en estado saturado superficialmente seco del agregado grueso liviano | 45 |
| Ecuación 5. Fórmula para determinar la gravedad específica en estado saturado superficialmente seco del agregado fino | 46 |
| Ecuación 6. Fórmula para determinar el peso unitario del concreto en estado fresco | 57 |
| Ecuación 7. Fórmula para determinar el peso unitario del concreto en estado seco | 59 |
| Ecuación 8. Fórmula para determinar la relación de carga en N/min | 67 |
| Ecuación 9. Fórmula para determinar el módulo de rotura cuando la falla se origina dentro del tercio medio de la luz | 68 |
| Ecuación 10. Fórmula para determinar el módulo de rotura cuando la falla se origina fuera del tercio medio de la luz | 68 |

RESUMEN

En Perú, desde la década de los años 80, profesionales en la ingeniería civil han realizado tesis de investigación respecto al concreto liviano, brindando aportes con la única finalidad de promover los beneficios de trabajar con elementos que permitan aligerar el peso del concreto.

Actualmente, en nuestro país se ha logrado producir de forma industrializada concreto liviano sin características estructurales. Sin embargo, en países como: España, Portugal, Holanda, Estados Unidos y Venezuela el concreto liviano estructural se emplea desde mediados del siglo XX de manera frecuente en el sector de la construcción.

El objetivo de la presente investigación es evaluar las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano. Esto implica determinar su peso unitario, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión.

Se empleó un diseño explicativo cuantitativo experimental para poder explicar las condiciones del concreto elaborado con arcilla expandida. Luego, se verificaron las hipótesis de manera experimental debido a que se realizó la cuantificación de variables.

La investigación determinó que el concreto con arcilla expandida como agregado grueso tiene propiedades que permiten clasificarlo como concreto estructural liviano, debido a que su peso unitario es menor a 1850.00 kg/m^3 , su resistencia a la compresión mayor a 17.00 MPa y finalmente una resistencia a la flexión mayor a los 2.42 MPa .

Ante los resultados obtenidos se concluye que, el concreto con arcilla expandida como agregado grueso puede utilizarse como concreto estructural liviano.

Palabras clave: Concreto estructural liviano, agregado liviano, arcilla expandida, Arlita.

ABSTRACT

In Peru, since the 80's, civil engineering professionals have made research thesis on lightweight concrete, contributing with the sole purpose of promoting the benefits of working with elements that make it possible to lighten the weight of concrete.

Currently, in our country it has been possible to produce industrialized non-structural lightweight concrete. However, in countries such as Spain, Portugal, Netherlands, United States and Venezuela, lightweight structural concrete has been used frequently in the construction sector since the mid-twentieth century.

The objective of this research is to evaluate the properties of concrete with expanded clay as coarse aggregate to be used in lightweight structural concrete. This implies knowing their unit weight, compressive strength and flexural strength.

An experimental quantitative explanatory design was used to explain the conditions of concrete made with expanded clay. Then, the hypotheses were verified experimentally because the variables were quantified.

This research determined that the concrete with expanded clay as coarse aggregate has properties that allow classify it as lightweight concrete, because its unit weight is less than 1850.00 kg / m³, its compressive strength greater than 17.00 MPa and finally, a resistance to bending greater than 2.42 MPa.

Given the results obtained, it is concluded that concrete with expanded clay as coarse aggregate can be used as lightweight structural concrete.

Key words: Lightweight structural concrete, lightweight aggregate, expanded clay, Arlite.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se encuentra enfocada a la elaboración de concreto liviano estructural, empleando como agregado liviano arcilla expandida en sustitución total de la piedra como agregado grueso.

Las características principales de éste tipo de concreto residen en que, el peso unitario deberá ser menor a 1850.00 kg/m^3 , la resistencia a la compresión como mínimo se espera sea de 17.00 MPa y respecto a la resistencia a la flexión, se espera como mínimo cumpla con el módulo de rotura teórico.

Actualmente en Perú existen diversos recursos naturales para la fabricación de agregados livianos, sin embargo, desde la década de los 80 las investigaciones sobre concreto liviano se han desarrollado lentamente, motivo por el cual; la importancia de la presente investigación se realizó con la finalidad de promover la investigación en Perú sobre la utilización de concreto liviano estructural y dar a conocer los beneficios del uso de la arcilla expandida como agregado liviano.

En el Capítulo I, Planteamiento del problema, se desarrolla la situación problemática, la formulación del problema, los objetivos y justificación de la investigación.

En el Capítulo II, Marco teórico, se da a conocer los antecedentes, bases teóricas y términos básicos que sustentan el proyecto de investigación.

En el Capítulo III, Hipótesis y variables, en esta parte de la investigación se da una respuesta adelantada a nuestros objetivos planteados y daremos a conocer las variables en las cuales se presentan los resultados.

En el Capítulo IV, Metodología, se describe el tipo de diseño que empleamos, la muestra con la que se desarrolló la investigación, los instrumentos y procedimientos que se utilizaron; así mismo, las técnicas para

la recolección de datos que se usaron para cada ensayo y las técnicas estadísticas para el procesamiento de la información.

En el Capítulo V, Resultados obtenidos, se presenta los datos obtenidos durante el desarrollo de la investigación hasta llegar a los resultados de cada ensayo para el logro de los objetivos de la presente investigación.

En el Capítulo VI, Interpretación de los resultados, se desarrolla el contraste de la hipótesis y los análisis de los resultados.

En el Capítulo VII, Discusión de los resultados, en el cual se discuten los resultados obtenidos.

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

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la situación problemática

A partir del año 1980 en Perú se han presentado investigaciones respecto a concretos livianos. El ingeniero Jorge Alejandro Carrera realizó una investigación sobre “Concreto liviano empleando vidrio volcánico como agregado”, obteniendo como resultados a los siete días un peso unitario de 1390 Kg/m^3 y una resistencia a la compresión de 141.50 Kg/m^3 .

En la actualidad debido a la poca investigación respecto a agregados livianos, concretos estructurales livianos y por la falta de interés no se ha podido desarrollar concretos livianos para elementos estructurales.

Sin embargo, existen diversos motivos para emplear concreto liviano estructural en obras de ingeniería en Perú; a continuación, se mencionará uno de los más importantes; las cargas estructurales se encuentran constituidas por el peso propio del concreto, si se empleara concreto estructural liviano, podríamos disminuir considerablemente las cargas permanentes en las edificaciones y las cargas sísmicas; y se podría reducir dimensiones de los elementos estructurales en la etapa de diseño.

Por lo tanto, se eligió la presente investigación debido a que en nuestra localidad no se producen agregados que cumplan con los requisitos necesarios para ser empleados en la elaboración de concreto liviano estructural; se empleará como agregado grueso arcilla expandida importada también conocida como Arlita, para elaborar concreto estructural liviano.

El propósito de la presente investigación es, dar a conocer las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, con la finalidad de incrementar las investigaciones a corto o mediano plazo respecto a concretos livianos.

1.2 Formulación del problema

Debido a la poca evidencia de investigaciones sobre elaboración de concreto liviano en Perú, en la actualidad no se produce concreto liviano para uso estructural. El evaluar las propiedades del concreto con arcilla expandida incrementará las investigaciones a corto o mediano plazo para la elaboración de concreto liviano en Perú con fines estructurales.

1.2.1 Problema general

¿Cuáles son las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano?

1.2.2 Problemas específicos

¿Cuál es el peso unitario del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano?

¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano?

¿Cuál es la resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano.

1.3.2 Objetivos específicos

Determinar el peso unitario del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano.

Medir la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano.

Determinar la resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano.

1.4 Justificación de la investigación

1.4.1 Importancia de la investigación

El uso de los agregados livianos tiene sus orígenes desde los tiempos romanos. No fue hasta la llegada de los procesos industrializados que se pudo fabricar agregado de arcilla expandida de manera industrializada a principios del siglo XX en Estados Unidos cuando el ingeniero Stephen. J. HAYDE en el año 1918 descubrió la manera de expandir pizarra y arcilla en hornos rotatorios consiguiendo un agregado liviano y resistente que podía emplearse en concreto. (American Concrete Institute, 2003)

Sin embargo, a la actualidad en Perú existe una escasa investigación sobre concretos con agregado liviano comparado con otros países de América, como en Estados Unidos, México, Colombia y Ecuador.

Motivo por el cual se presenta a continuación la importancia de la presente investigación en diversos entornos.

1.4.1.1 Importancia tecnológica

Se espera un incremento en las investigaciones respecto a la arcilla expandida y su producción industrializada para la elaboración de concreto liviano de uso estructural.

El uso de concreto liviano de uso estructural, será de utilidad para las edificaciones reduciendo cargas sísmicas debido a la reducción de la carga permanente en la edificación.

1.4.1.2 Importancia económica

Las edificaciones de concreto liviano de uso estructural podrán alcanzar mayores alturas debido a la reducción de carga permanente, brindando un mejor uso del espacio y generando mayores ingresos por metro cuadrado.

1.4.1.3 Importancia medio ambiental

El uso de arcilla expandida en la elaboración de concreto le permite actuar como aislante térmico, logrando la reducción de consumo eléctrico en calefacción.

1.4.1.4 Importancia social

La elaboración de concreto liviano de uso estructural generará un nuevo mercado en el sector de construcción nacional generando nuevos empleos.

Las características aislantes del concreto liviano serán de utilidad en poblaciones de zonas frías si se empleara en proyectos de carácter social.

1.4.2 Viabilidad de la investigación

Para el desarrollo de la presente investigación se cuenta con los recursos humanos, materia prima para la elaboración de concreto (arcilla expandida como agregado grueso, arena como agregado fino, cemento Portland tipo I y agua), equipos del laboratorio para dosificación de mezcla de concreto brindado por la empresa MIXERCON y equipos del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres.

La presente investigación se encuentra apoyada en las competencias del perfil del graduado de Ingeniería Civil de la Universidad de San Martín de Porres.

Sobre el acceso a la información se dispone de bibliografía relacionada con la elaboración de concreto; así mismo, se cuenta con la normativa de dosificación de mezclas para concreto liviano del Instituto Americano del Concreto, la normativa de la ASTM Sociedad Americana para Ensayos y Materiales y la respectiva normativa vigente de agregados, ensayos y elaboración de concreto publicadas por INDECOPI conocidas como Normas Técnicas Peruanas.

1.4.3 Limitaciones del estudio

En la presente investigación el tiempo es considerado un limitante, debido a que mientras no se determine la dosificación óptima no se podrá considerar los resultados para satisfacer los objetivos planteados.

Se debe tener en cuenta que es la primera vez que se pretende elaborar concreto con arcilla expandida en Perú debido a que actualmente no se produce este tipo de agregado para la producción de concreto y tampoco se cuenta con la experiencia del comportamiento de los materiales en conjunto lo cual se irá rectificando durante el desarrollo de la investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

En el ámbito nacional se ha venido realizado ciertas investigaciones sobre concretos livianos desde hace más de 20 años.

(Carrera, 1980) realizó una investigación sobre “Concreto Liviano Empleando Vidrio Volcánico como Agregado”, obteniendo como resultados a los siete (7) días: peso unitario de 1390 Kg/m³ y una resistencia a la compresión de 141.50 Kg/cm².

(Velarde, 1984) realizó su tesis sobre “Estudio sobre Concretos Celulares”, el estudio consistió en un concreto celular de alta densidad utilizando un agente espumante, teniendo como resultado a los veintiocho (28) días: peso unitario 1600 kg/m³ y una resistencia a la compresión de 64.7 Kg/cm².

(Bustamante & Diaz, 2014) realizaron su tesis sobre “Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto Alivianado con Perlas de Poliestireno Expandido Reciclado”, teniendo como resultado a los 28 días: peso unitario menor a 1800 kg/m³, Resistencia a la Compresión entre 70 Kg/cm² y 175 Kg/cm².

(Paulino & Espino, 2017) realizaron su tesis sobre “Análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano con perlitas de Poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú”, teniendo como resultado a los veintiocho (28) días:

peso unitario entre 1500 Kg/m³ a 1600 Kg/m³, resistencia a la compresión de 160 Kg/cm².

En la actualidad se comercializa concretos livianos no estructurales diseñados con agregado a base de polipropileno generando propiedades beneficiosas como aislante térmico, acústico y eléctrico; por ejemplo, en la ciudad de Lima la empresa UNICON es la que fabrica el ya mencionado concreto liviano.

En el ámbito internacional se han realizado algunas investigaciones sobre arcilla expandida en Ecuador y Colombia.

(Martinez, 2010) realizó su tesis de posgrado sobre “Concreto Liviano Estructural con Arcilla Expandida Térmicamente Extraída de Canteras Localizadas en el Sur de la Sabana de Bogotá”, llegando a tener como resultados de las mezclas de concreto con relaciones a/mc de 0.67, 0.59, 0.55, 0.52, concretos con resistencia a la compresión entre 19.3 y 25.2 MPa para concretos elaborados con arcilla de procedencia extranjera (ALIVEN), y para diseños de 0.77 y 0.72 obtuvo concretos con resistencia a la compresión de 29 MPa y 37 MPa en los diseños producidos con arcilla fabricada durante la investigación a la cual denominó ALISUR.

(Yagual & Villacís, 2015) realizaron una tesis de investigación sobre “Hormigón Liviano de alto desempeño con arcilla expandida”, llegando a tener como resultados: peso unitario entre 1594 Kg/m³ a 1781 Kg/m³, resistencia a la compresión de 170 Kg/cm² a 200 Kg/cm².

(Correa & Ratti, 2015) realizaron una tesis de investigación sobre “Evaluación del efecto de la variación de la dosificación de agregado liviano de arcilla expandida en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto estructural aligerado”, llegando a tener como resultados: que la arcilla empleada en la investigación no cumplía con los requisitos granulométricos por la normativa vigente en Colombia; además, que el concreto con arcilla expandida dosificada al 100% no alcanzó la resistencia esperada. Sin

embargo, las dosificaciones de arcilla 0, 25 y 50% alcanzaron la resistencia a la compresión de diseño la cual fue 24.5 MPa.

(Díaz, 2017) realizó una tesis de investigación sobre “Determinación de la resistencia a la compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida (Arlita) en sustitución parcial del agregado grueso”, llegando a tener como resultados favorables en las dosificaciones de 5% a 20% de sustitución de volumen de agregado de peso normal con agregado liviano reduciendo el peso unitario del concreto y no perdiendo significativamente resistencia a la compresión en su diseño de la que se obtuvieron los respectivos resultados 235.13Kg/cm² a 217.19 Kg/cm².

En el ámbito histórico internacional se han realizado construcciones con concreto liviano en el mundo desde hace más de 40 años. Se han construido edificaciones ligeras en Norteamérica, Australia, Canadá, entre otros.

(Wilson, 1981) en Australia se construyó el edificio Australia Square Tower, Sydney, es una torre circular de 50 pisos (184 m de altura) con un diámetro de 42.5 m, se empleó concreto liviano en vigas, columnas y pisos. El concreto tenía una resistencia a la compresión de 350 kg/cm² y una densidad promedio de 1792 Kg/m³ a 28 días.

(Álvarez & Saez, 2012) se construyó el Museo Parque Nacional Suizo Valerio Olgiati, esta obra fue realizada completamente con hormigón liviano blanco, siendo el nuevo símbolo de la localidad de Zerner en el cantón de Graubünden en Suiza.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Agregados gruesos livianos

Se llama agregado liviano por su alto contenido en porosidad. La Norma Técnica Peruana NTP 400.011:2008 define como agregado liviano a todo aquel agregado de baja densidad usado para producir hormigón (concreto).

(NTP 400.011 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos), 2008, pág. 4)

Así mismo, la Norma ASTM C 330 menciona que un agregado grueso liviano para uso estructural debe tener una densidad menor a 880 kg/m³.

2.2.1.1 Clasificación según su origen

A. Origen natural

Son aquellos agregados que fueron extraídos de fuentes naturales, los cuales pasaron por un proceso de desintegración, alteración o trituración mecánica de la roca, conservando sus propiedades y características iniciales. Las más utilizadas son: piedra pómez, diatomita, escoria, cenizas volcánicas, viruta de madera y cáscara de arroz. (Martinez, 2010)

La piedra pómez es aquella roca volcánica formada por el gas que se libera de la lava fundida al momento de la erupción, tiene un de color blanco o gris y es un material con alto nivel de porosidad, tiene una textura de celdas interconectadas. Es ligera y resistente, por ello es que se considera un agregado liviano. (Martinez, 2010)

La Diatomita es una roca silícica amorfa derivada de los restos de las plantas acuáticas microscópicas, que se forman cerca de la corteza profunda del océano. La diatomita en su forma pura tiene un peso promedio de 450 kg/m³, pero debido a las impurezas, la diatomita es normalmente usada como un agente para dar mayor manejabilidad y también como un material Puzolánico. La diatomita o tierra diatomácea también puede ser sinterizada en hornos rotatorios para hacer agregados livianos artificiales. (Martinez, 2010, pág. 30)

La escoria es de origen volcánico, tiene un color oscuro y su textura es de celdas largas e irregulares no conectadas entre sí. Es más débil que la piedra pómez.

Las cenizas volcánicas son partículas que tienen menos de 2 mm de diámetro y son producto de la expulsión de una apertura volcánica.

La viruta de madera es un agregado natural al que se debe someter a un tratamiento de mineralización por inmersión de la viruta en una lechada de cal, cemento, silicato potásico o cloruro potásico para así mejorar su resistencia y evitar su putrefacción. Un concreto que tiene como agregado la viruta de madera, tendrá una baja resistencia, pero alta retracción, sin embargo, debe tener un curado intenso y duradero. Se emplea para aislamiento térmico y acústico.

Cáscara de arroz: las partículas de la cascarilla permiten atrapar aire y así aligerar el peso del concreto. Tiene como componente un alto contenido de sílice, el cual llega a ser compatible con el cemento. Si se calcina la cáscara de arroz, entonces se podría emplear como puzolana previa mineralización con cal.

B. Origen artificial

Son aquellos agregados obtenidos mediante un proceso térmico llegando a expandirse. En 1927, se produce el primer agregado liviano de esquisto elaborando con los hornos rotatorios patentados por el ingeniero Stephen J. Hayde. Entre ellas se tiene a la escoria expandida, pizarra expandida, ladrillos triturados, perlita expandida, vermiculita y arcilla expandida.

Escoria expandida: es también conocida como escoria espumosa, escoria esponjosa, pómez artificial o pómez siderúrgica. Para producir escoria expandida, el producto que sale del horno debe de ser sometido a un proceso de enfriamiento moderado, hasta conseguir la estructura porosa adecuada. (Hou Huang, Caicedo Chica, & Falconí Pincay, pág. 4)

Pizarra expandida: El proceso de fabricación es muy similar al proceso de la arcilla expandida, es también resistente. Sin embargo, tiene un tono más

oscuro y es algo más pesado que la arcilla expandida. (Hou Huang, Caicedo Chica, & Falconí Pincay, pág. 4)

Ladrillos triturados: Se obtiene de la trituración de ladrillos reciclados, básicamente de los desperdicios en la fábrica, en las obras o en demoliciones; tiene como finalidad, emplearlos para rellenos, aislamiento térmico o muros no estructurales.

Perlita expandida: El agregado artificial perlita expandida, es el resultado del vidrio volcánico llevado a temperaturas entre 900°C y 1 100°C, es de color claro con alto contenido de sílice lo cual le convierte en un material ultraligero (30 a 180 kg/m³), pero de baja resistencia a la compresión.

Vermiculita: El agregado artificial vermiculita, luego de llevar a cocción los filosilicatos (compuesto por silicatos de aluminio, magnesio y hierro) a temperaturas entre 900°C y 1 100°C se producen láminas inelásticas convirtiéndose en un agregado liviano (50 a 125 kg/m³).

2.2.2 Arcilla expandida como agregado grueso

También conocida como Arlita, es un material de origen artificial que tiene propiedades aislantes y es producido industrialmente. La materia prima para fabricar este producto es la arcilla pura extraída de canteras a cielo abierto, luego del proceso de fabricación se obtiene un agregado duro, redondeado de alta porosidad. (Hou Huang, Caicedo Chica, & Falconí Pincay, pág. 4)

2.2.2.1 Proceso de fabricación

A. Extracción

Se procede a explotar en canteras de arcillas utilizando equipos mecánicos como: excavadoras y retroexcavadoras. Ver **Figura 1** (1, 2 y 3).

B. Trituración del material

La arcilla debe pasar por una trituradora, podría emplearse trituradoras de cono o trituradoras de mandíbulas. Ver **Figura 1** (4 y 5).

C. Granulación

Una vez triturada la arcilla, se procesará para formar las partículas que posteriormente se expandirán en el horno rotatorio, estas partículas deberán estar tamizadas antes de entrar al horno. Ver **Figura 1** (6).

D. Almacenamiento

Luego de la granulación se transportarán las partículas tamizadas para ser almacenado y pasará por un período de maduración. Ver **Figura 1** (7).

E. Horno rotatorio

El tipo de horno utilizado para fabricar arcilla expandida es similar al que se usan para elaborar cemento. El horno es un cilindro largo y con capacidad de rotar alrededor de su eje longitudinal, tiene una inclinación de 5° con respecto a la horizontal; la longitud del horno depende de la composición del material grueso a ser procesado y por lo general tiene una medida entre 30 y 60 metros.

El material se lleva hacia la zona de calor, entonces estas empezarán a incrementar gradualmente su temperatura hasta llegar a la expansión. (Martinez, 2010, pág. 41) .Ver **Figura 1** (8).

F. Enfriamiento

La arcilla ya expandida es llevada por unas mangas para su respectivo enfriamiento. Ver **Figura 1** (9).

G. Tamizar

Se procede a tamizar el producto para clasificarlos como un producto de dimensiones deseadas o como un producto sobredimensionado, si fuera este el caso entonces se lleva el producto nuevamente al proceso de **trituration del material**. Ver **Figura 1** (10).

H. Almacenamiento

Se almacena el producto final para su futura comercialización. Ver **Figura 1** (11, 12, 13, 14 y 15).

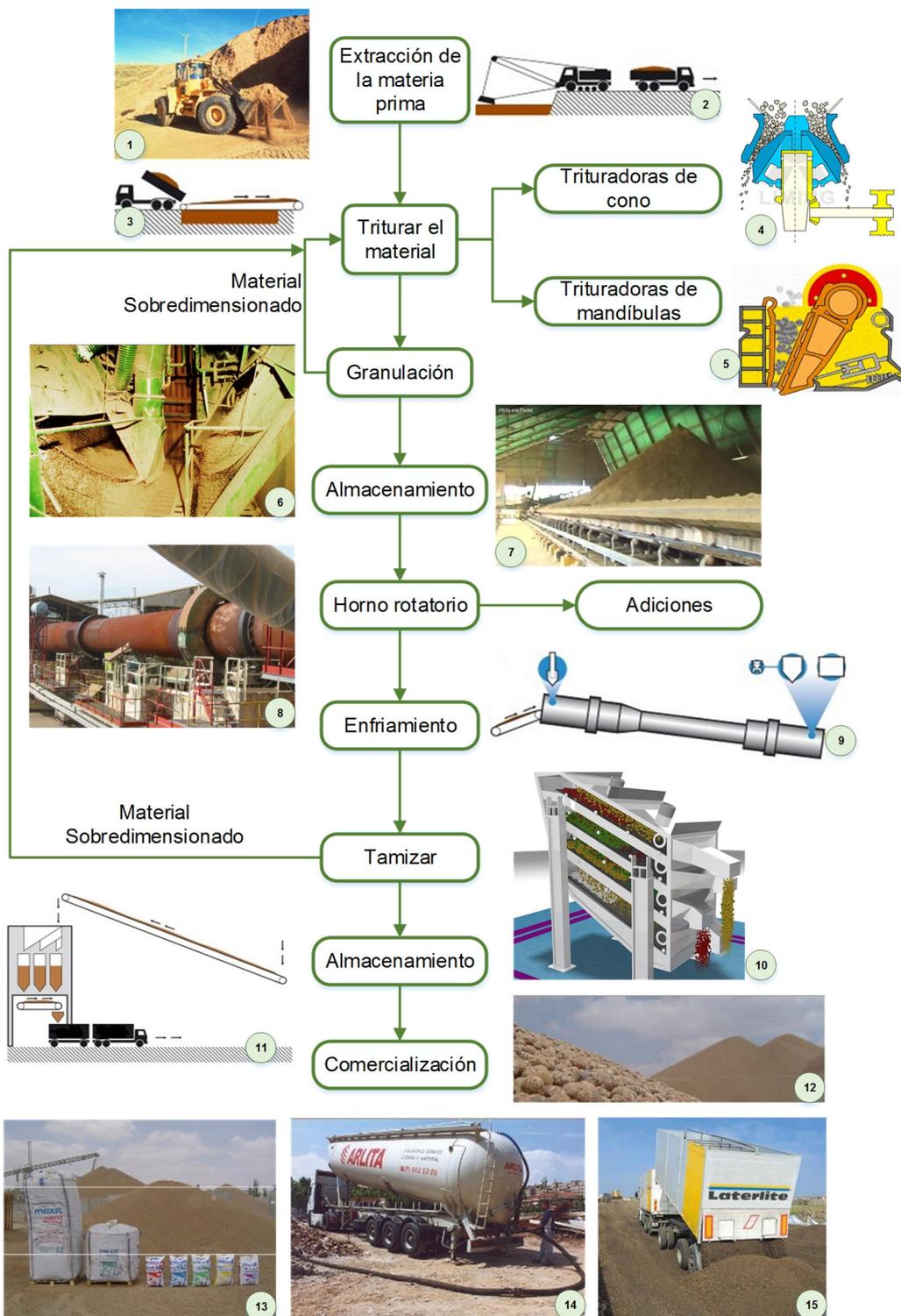


Figura 1. Mapa de proceso general para la fabricación de arcilla expandida
Elaboración: los autores

2.2.3 Cemento

En 1824 un constructor inglés llamado Joseph Apsdin patentó el proceso de calcinación de caliza arcillosa, en la que él aseguraba que tras hidratar éste producto adquiriría una resistencia igual a la de la piedra de la isla de Portland.

En 1845 se industrializa la elaboración del cemento al moler rocas calcáreas con rocas arcillosas y someter el producto a temperaturas sobre los 1300 °C, produciendo así el Clinker en forma de pelotitas endurecidas de diferentes diámetros; posteriormente se molerán junto con yeso para finalmente formar un nuevo polvo fino al que actualmente llamamos cemento. (Pasquel, 1993)

2.2.3.1 Tipos de Cemento

En la actualidad en Perú se producen diversos tipos de cementos según las normas NTP 334.009 (Cementos. Cemento portland – requisitos), NTP 334.090 (Cemento. Cemento portland adicionado – requisitos) y NTP 334.082 (Cementos portland especificación de la performance). En la **Tabla 1** se describe brevemente la variedad de usos de los tipos de cementos existentes según la normativa correspondiente:

Tabla 1. Tipos de cementos fabricados y utilizados en Perú

| NORMA | TIPO | USO |
|---|-------------------------------|--|
| NTP 334.009 CEMENTOS PORTLAND | I | General que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo. |
| | II | General y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos. |
| | II (MH) | General y específicamente cuando se desea moderado calor de hidratación y moderada resistencia a los sulfatos. |
| | III | Para cuando se requiera altas resistencias iniciales. |
| | IV | Para cuando se desea bajo calor de hidratación. |
| NTP 334.090 CEMENTOS PORTLAND ADICIONADOS | V | Para cuando se desea alta resistencia a los sulfatos. |
| | IS | Cemento Portland con escoria de alto horno. |
| | IP | Cemento Portland puzolánico. |
| | I(PM) | Cemento Portland puzolánico modificado. |
| | IT | Cemento adicionado ternario. |
| NTP 334.082 CEMENTOS PORTLAND ESPECIFICACIÓN DE LA PERFORMANCE | ICo | Cemento Portland compuesto. |
| | GU | Cemento Portland para construcciones generales. Usar cuando no se requieran propiedades especiales. |
| | HE | De alta resistencia inicial. |
| | MS | De moderada resistencia a los sulfatos. |
| | HS | De alta resistencia a los sulfatos. |
| | MH | De moderado calor de hidratación. |
| LH | De bajo calor de hidratación. | |

Elaboración: los autores

2.2.3.2 Propiedades químicas

El cemento tiene como materia prima elementos como la cal, sílice, alúmina y óxido de hierro; los cuales durante el proceso de elaboración del cemento producen otros elementos de mayor complejidad.

Tabla 2. Límites de composición aproximados para cemento Portland

| OXIDO | CONTENIDO % |
|--------------------------------|-------------|
| CaO | 60 - 67 |
| SiO ₂ | 17 - 25 |
| Al ₂ O ₃ | 3 - 8 |
| Fe ₂ O ₃ | 0.5 - 6.0 |
| MgO | 0.1 - 4.0 |
| Álcalis | 0.2 - 1.3 |
| SO ₃ | 1 - 3 |

Fuente: Tabla 2.2 del Libro "Tecnología del concreto de alto desempeño" (Portugal, 2007, pág. 21)

Elaboración: los autores

En la **Tabla 2** se mencionan los límites de óxidos aproximados del cemento portland, los cuales luego formarán los compuestos elementales del

cemento que son: Silicato tricálcico (C_3S), Silicato bicálcico (C_2S), Aluminato tricálcico (C_3A) y el Ferroaluminato tetracálcico (C_4AF).

Tabla 3. Funciones de los componentes principales del cemento

| COMPONENTE | FUNCIÓN EN EL CEMENTO |
|------------|---|
| C_3S | Define la resistencia inicial (primera semana) y desarrolla un alto calor de hidratación. |
| C_2S | Define la resistencia a largo plazo, lenta velocidad de hidratación y desarrollo de calor bajo. |
| C_3A | Tiene alta velocidad de hidratación, fraguado casi instantáneo. |
| C_4AF | Durabilidad frente a los agresivos químicos. |

Elaboración: los autores

En la **Tabla 3** se mencionan las funciones de los componentes principales del cemento según las definiciones obtenidas en los libros de Tecnología del concreto de alto desempeño (Portugal, 2007) y Tópicos en Tecnología del concreto en el Perú. (Pasquel, 1993, pág. 22)

2.2.3.3 Propiedades físicas y mecánicas

El cemento portland como toda materia tiene propiedades físicas y mecánicas las cuales son:

A. Propiedades Físicas

La masa específica (peso específico, densidad) del cemento como cualquier otro material posee una masa y en consecuencia también tendrá un peso, el peso específico es la relación de peso sobre volumen de material y la densidad es la relación de la masa sobre volumen de material; así mismo, se debe aclarar que las unidades en las que se describen estas propiedades son en Megagramos por metro cúbico (Mg/m^3) o gramos por centímetro cúbico (gr/cm^3). La masa específica del cemento varía de 3.10 hasta 3.25 Mg/m^3 siempre y cuando sea cemento Portland normal o tipo I, los diferentes tipos de cementos tendrán otros rangos de masa específica.

El cemento Portland tiene partículas de diferentes tamaños, debido a que el Clinker fue pulverizado; en la **Figura 2** se puede apreciar la curva de la distribución de las partículas para los cementos de tipo I y II, las cuales el 95%

de las partículas miden menos que 45 micrómetros (μm) y su promedio de partículas es de 15 micrómetros (μm).

Se dice “finura” cuando se tiene el total de distribución de todas las partículas que componen una muestra de cemento; si el cemento tiene mayor finura, entonces su velocidad de hidratación aumentará y se generará mayor calor, pero tendrá una mayor resistencia inicial. Si los granos de las partículas fueran muy gruesos, se podría decir que estas tardarían años e incluso quizás no se lograrían hidratar

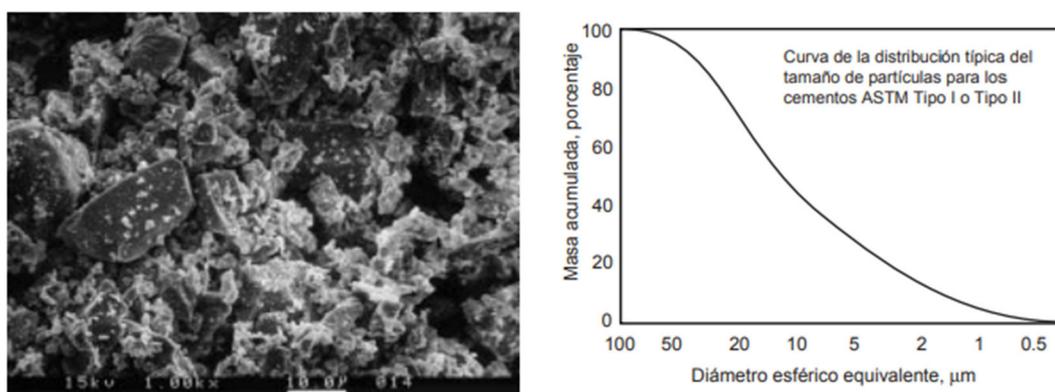


Figura 2. (izquierda) Micrografía electrónica de barrido de un polvo de cemento con aumento de 1000X y (derecha) distribución del tamaño de las partículas del cemento portland.

Fuente: Recuperada de “Diseño y Control de Mezclas de Concreto” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 57)

La consistencia del cemento Portland tiene una relación directa con la cantidad de agua que se le añade, el cemento formará una pasta luego de tener contacto directo con agua. Para determinar la consistencia se realiza el ensayo con el aparato de Vicat ver **Figura 3**, según la norma deberá de ser de 10 ± 1 mm del fondo del molde.



Figura 3. Aparato Vicat¹

El fraguado es un cambio del estado líquido al estado sólido. Este proceso se divide en dos etapas: la primera es llamado fragua inicial, cuando la pasta de cemento va perdiendo plasticidad y da inicio al endurecimiento, es un proceso exotérmico porque se genera calor de hidratación y a su vez se va formando una estructura porosa (gel de hidrato de silicato de calcio); el segundo proceso es llamado fragua final, donde la estructura deja de ser porosa porque todas sus partículas se encuentran endurecidas.

El calor de hidratación es el calor que se genera por la reacción entre el cemento y el agua. La cantidad de calor generado depende, principalmente, de la composición química del cemento, siendo el C_3A y el C_3S los compuestos más importantes para la evolución de calor. La relación agua – cemento, la finura del cemento y la temperatura de curado también son factores que intervienen en la generación de calor. (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 65)

¹ La **figura 3** detalla el instrumento empleado para medir consistencia del cemento. Imagen obtenida de <http://www.mecacisa.com/es/portfolio/aparato-vicat/>.

B. Propiedades Mecánicas

La resistencia a compresión es la capacidad del cemento en estado endurecido de resistir fuerzas de compresión antes de sufrir una falla (rotura).

Se presenta a continuación una muestra del ensayo de resistencia a la compresión del cemento ver **Figura 4**.



Figura 4. Se hacen cubos de 50 mm (2 pulg.) (izquierda) y se los prensan para la determinación de las características de resistencia del cemento. Recuperada de “Diseño y Control de Mezclas de Concreto” (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004, pág. 63)

2.2.4 Agua

El agua es un elemento importante ya que permite que el cemento se hidrate y alcance sus propiedades, beneficiando la mezcla del concreto. Se puede definir el agua en la elaboración del concreto según sus requerimientos durante el proceso de elaboración y curado.

2.2.4.1 Definiciones

Agua de mezcla

Agua utilizada durante la elaboración de la mezcla del concreto, permitirá que la mezcla tenga un estado óptimo de trabajabilidad antes de alcanzar su etapa de fraguado.

Agua de curado

Cualquier agua que permita que el concreto en estado endurecido continúe con su etapa de hidratación y a su vez, reduzca el calor que genera por el mismo proceso de hidratación; evitando que se produzcan fisuras en la estructura endurecida debido a los cambios de temperatura.

2.2.4.2 Requisitos de calidad del agua

En la actualidad la normativa peruana según la norma NTP 339.088 establece unos límites permisibles para el uso del agua que se detallan a continuación en la **Tabla 4**.

Tabla 4. Límites permisibles para agua de mezcla y de curado

| DESCRIPCIÓN | LÍMITE PERMISIBLE |
|--------------------------------------|-------------------|
| 1. Sólidos en suspensión | 5,000 ppm máximo |
| 2. Materia orgánica | 3 ppm máximo |
| 3. Alcalinidad (NaHCO ₃) | 1,000 ppm máximo |
| 4. Sulfato (Ión SO ₄) | 600 ppm máximo |
| 5. Cloruros (Ión Cl ⁻) | 1,000 ppm máximo |
| 6. pH | 5 a 8 |

Fuente: Recuperado de (Pasquel, 1993, pág. 61) y Basado en Norma NTP 339.088

Elaboración: los autores

2.2.5 Clasificación del concreto

Concreto de peso normal

Concreto que contiene agregados finos y gruesos que cumplen con lo especificado en ASTM C33/C33M². (American Concrete Institute, 2015, pág. 37)

Es un concreto que tiene un peso aproximado de 2300 Kg/m³. (NTE E.060 Concreto Armado, 2009, pág. 26)

² ASTM C33 / C33M: Standard Specification for Concrete Aggregates (Especificación Estándar para Agregados de concreto)

Concreto estructural

Concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo concreto simple y reforzado. (American Concrete Institute, 2015, pág. 37)

Todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple y al concreto reforzado. (NTE E.060 Concreto Armado, 2009, pág. 26)

La resistencia mínima para todo concreto estructural deberá ser mayor de 17 MPa.³

Concreto liviano

Concreto con agregado liviano que tiene una densidad de equilibrio, tal como la define ASTM C567, entre 1440 y 1840 Kg/m³. (American Concrete Institute, 2015, pág. 37)

Concreto estructural liviano

Concreto con agregado liviano que cumple con lo especificado en 3.3, y tiene una densidad de equilibrio, determinada por “*Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete*” (ASTM C 567), que no excede los 1850 Kg/m³. (NTE E.060 Concreto Armado, 2009, pág. 26)

Concreto completamente liviano

Concreto de peso liviano que contiene agregado fino y grueso de peso liviano solamente y que cumple con lo especificado en ASTM C330M. (American Concrete Institute, 2015, pág. 37)

Concreto liviano de arena de peso normal

Concreto liviano que contiene agregados finos de peso normal y que cumple con lo especificado en la ASTM C33M y agregados gruesos de peso

³ Información obtenida de la norma de Concreto Armado E 060, punto 9.4 Resistencia Mínima del Concreto Estructural.

liviano que cumplen con lo especificado en la ASTM C330M. (American Concrete Institute, 2015, pág. 37)

2.3 Definición de términos básicos

Concreto

El concreto es una mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (American Concrete Institute, 2015, pág. 37)

Cemento

Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (NTE E.060 Concreto Armado, 2009, pág. 25)

Cemento portland

Producto obtenido por la pulverización del Clinker portland con la adición eventual de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos que no excedan el 1% en peso del total siempre que la norma correspondiente establezca que su inclusión no afecta las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionados deberán ser pulverizados conjuntamente con el clinker. (NTE E.060 Concreto Armado, 2009, pág. 25)

Clinker

Producto obtenido por la calcinación de caliza y arcilla en un rango de temperatura que se encuentra entre los 1350 y 1450 °C. Este producto es el que produce el cemento Portland luego de ser pulverizado.

Curado

Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o endurecimiento del cemento, mortero u hormigón (concreto). (NTP 339.047 HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados., 2006, pág. 9)

Durabilidad

Capacidad del concreto, mortero, grout o revoque de cemento Portland de resistir a la acción de la intemperie y otras condiciones de servicio, tales como ataque químico, congelación – deshielo y abrasión. (NTP 339.047 HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados., 2006, pág. 9)

Densidad relativa (gravedad específica)

Es la relación de la densidad de un material a la densidad del agua a una temperatura indicada; los valores son adimensionales. (NTP 400.022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino, 2013)

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

Las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, cumple las características de concreto estructural liviano.

3.1.2 Hipótesis específicas

El peso unitario del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, cumple las características de un concreto liviano establecido en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE.

La resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, se encuentra dentro de los parámetros de un concreto de uso estructural estipulados en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE.

La resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, cumple los parámetros estipulados en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE.

3.2 Variables

Para demostrar y comprobar las hipótesis anteriormente formuladas, determinamos las variables e indicadores que a continuación se mencionan:

3.2.1 Variable independiente

Se considera como variable independiente la dosificación del concreto usando como agregado grueso arcilla expandida. Para lo cual tendremos como indicadores la relación agua/cemento (a/c) y la proporción en volumen de agregado grueso en la dosificación (%arcilla expandida). Ambos indicadores se encontrarán dentro de los rangos de medición determinados en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Indicadores y rango de medición de la variable independiente

| VARIABLE INDEPENDIENTE | INDICADORES | RANGO DE MEDICIÓN |
|---|----------------------------|--------------------------|
| Dosificación del concreto empleando arcilla expandida | A/C % arcilla expandida | 0.40 – 0.70 50% - 70% |

Elaboración: los autores

3.2.2 Variables dependientes

Se considera como variables dependientes el peso unitario del concreto, la resistencia a la compresión del concreto y la resistencia a la flexión del concreto; debido a que a la mínima variación en la relación A/C y %arcilla expandida generaría cambios en los resultados esperados. Para lo cual nuestros indicadores a las variables dependientes se encontrarán dentro de la **Tabla 6**.

Tabla 6. Indicadores y rango de medición de las variables dependientes

| VARIABLE DEPENDIENTE | INDICADOR | RANGO DE MEDICIÓN |
|-----------------------------|--|--------------------------|
| Peso Unitario | Ensayo de Peso Unitario (Kg/m ³) | < 1850 Kg/m ³ |
| Resistencia a la Compresión | Ensayo de resistencia a la Compresión (MPa) | 17 – 35 MPa |
| Resistencia a la Flexión | Ensayo de módulo de rotura (MPa) | MPa |

Elaboración: los autores

3.3 Matriz de consistencia

| MATRIZ DE CONSISTENCIA | | | | |
|---|---|--|--|---|
| "APLICACIÓN DE ARCILLA EXPANDIDA EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO LIVIANO PARA ELEMENTOS ESTRUCTURALES" | | | | |
| Identificación del Problema | Objetivo | Hipótesis | Variables e Indicadores | Marco Teórico Conceptual |
| | GENERALES | | | |
| ¿Cuáles son las propiedades de un concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino con la finalidad de emplearse como concreto estructural? | Identificar las propiedades del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino con la finalidad de emplearse como concreto estructural. | Las propiedades del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino, cumple las características de concreto liviano estructural. | <p>Para demostrar y comprobar la hipótesis anteriormente formulada, determinamos las variables e indicadores que a continuación se mencionan:</p> <p>VARIABLE INDEPENDIENTE: Dosisificación del concreto usando como agregado grueso arcilla expandida.</p> <p>Indicador : Relación A/C - %AG</p> <p>Medición : 0.40-0.70 y 50%-70%</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE: Peso unitario del concreto.</p> <p>Indicador : Ensayo del peso unitario (kg/m3)</p> <p>Medición : < 1850 kg/m3</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE: Resistencia a la compresión del concreto.</p> <p>Indicador : Ensayo de resistencia a la compresión (MPa)</p> <p>Medición : 17 - 35 MPa</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE: Resistencia a la flexión del concreto.</p> <p>Indicador : Ensayo de tracción por flexión (MPa)</p> <p>Medición : MPa</p> | <p>Se denomina concreto estructural liviano a todo concreto elaborado con agregado liviano, su peso unitario se encuentra entre los 1440 y 1850 kg/m3 y su resistencia mínima a la compresión $f'c$ es de 17MPa.</p> <p>Actualmente en el Perú no se comercializa concreto liviano con fines estructurales debido a la escasa investigación.</p> <p>En comparación con países vecinos como Ecuador y Colombia, quienes desde hace ya un tiempo atrás vienen realizando investigaciones respecto a los beneficios que se obtiene al elaborar concreto con agregado liviano (arcilla expandida).</p> <p>En el 2010 el Ingeniero Martínez Pineda realizó su tesis de posgrado titulada "Concreto Liviano Estructural con Arcilla Expandida Térmicamente Extraída de Canteras Localizadas en el Sur de la Sabana de Bogotá" con el objetivo de incentivar a la producción de agregado liviano en Colombia, alcanzando excelentes resultados en las Propiedades Físicas del Concreto Liviano fabricado con arcilla de las canteras del Sur de la Sabana de Bogotá.</p> |
| | ESPECÍFICOS | | | |
| ¿Cuál es el peso unitario del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino? | Determinar el peso unitario del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino. | El peso unitario del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino, cumple las características de un concreto liviano establecido en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE. | | <p>1. Tipo de investigación Investigación Aplicada: Se propone la aplicación de arcilla expandida para la elaboración de concreto liviano en el Perú. Con el fin de implementar una solución a problemas relacionados con la resistencia a compresión, resistencia a flexión y peso unitario. Se identificarán las propiedades del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino con la finalidad de emplearse como concreto estructural.</p> <p>2. Diseño de la Investigación Explicativo cuantitativo experimental Se propone el diseño explicativo cuantitativo experimental debido a que se pretende explicar las condiciones del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y porque sus variables dependientes están relacionadas con la variable independiente. Además, se realizará la verificación de las hipótesis de manera experimental.</p> <p>3. Muestra Concreto elaborado con arcilla expandida.</p> <p>4. Instrumentos Equipos de laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres. Equipos de laboratorio de diseño de mezclas de la empresa Mixecon.</p> <p>5. Procedimientos Ensayos de humedad, granulometría, peso unitario, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión normados. Normas ASTM y NTP.</p> |
| ¿Cuál es la resistencia a la compresión del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino? | Medir la resistencia a la compresión del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino. | La resistencia a la compresión del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino, se encuentra dentro de los parámetros estipulados en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE. | | |
| ¿Cuál es la resistencia a la flexión del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino? | Determinar la resistencia a la flexión del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino. | La resistencia a la flexión del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino, cumple con los parámetros estipulados en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE. | | |

Elaboración: los autores

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Diseño metodológico

4.1.1 Tipo de investigación: Investigación aplicada

Se propone el uso de arcilla expandida para la elaboración de concreto liviano en el Perú. Con el fin de implementar una solución a problemas relacionados con la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y el peso unitario.

Se evaluarán las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso para utilizarse en concreto estructural liviano.

4.1.2 Diseño de la investigación: Explicativo cuantitativo experimental

Se propone el diseño explicativo cuantitativo experimental debido a que se pretende explicar las condiciones del concreto elaborado con arcilla expandida como agregado grueso y porque sus variables dependientes están relacionadas con la variable independiente. Además, se realizará la verificación de las hipótesis de manera experimental.

4.1.3 Muestra

La muestra se considerará al concreto elaborado con arcilla expandida.

4.1.4 Instrumentos

Se emplearán equipos del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres y equipos de laboratorio de diseño de mezclas de la empresa Mixercon.

Todos los instrumentos empleados se encontrarán debidamente calibrados para asegurar la fiabilidad de los resultados a obtener.

4.1.5 Procedimientos

A continuación, se detallarán los procedimientos a seguir para la elaboración del concreto empleando arcilla expandida como agregado grueso y arena como agregado fino, con la finalidad de emplearse como concreto estructural.

4.1.5.1 Análisis granulométrico

El análisis granulométrico será efectuado según lo estipula la Norma Técnica Peruana NTP 400.012:2013: AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global., 2013), norma que establece los procedimientos necesarios para determinar la distribución por tamaño de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado.

Sin embargo, se establece que, debido a que se empleará agregado grueso liviano de origen artificial se deben considerar los requisitos granulométricos que se encuentran estipulados en la norma ASTM C330 – 05 Especificación Normalizada para Agregados Livianos para Concreto Estructural. (ASTM C 330 - 05, 2006)

Se procederá con la descripción del proceso del análisis granulométrico según normativa nacional.

Resumen del método de análisis granulométrico

Una muestra de agregado seco, será separada a través de una serie de tamices que irán progresivamente de una abertura mayor a una menor, con la finalidad de determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Equipos e instrumentos para el análisis granulométrico

Balanzas, las balanzas (**Figura 5**) empleadas en el ensayo de agregado fino y grueso deberán tener la exactitud de 0.1 gramos o 0.1% y 0.5 gramos o 0.1% respectivamente (agregado fino y grueso) de la masa de la muestra, cualquiera que sea mayor, dentro del rango de uso.



Figura 5. Balanzas debidamente calibradas. (a la izquierda imagen de la balanza empleada en el laboratorio de materiales de la Universidad de San Martín de Porres y a su derecha la balanza empleada en el laboratorio de diseño de la planta de Mixercon) [Fotografías de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Tamices, serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado. Los tamices cumplirán con la NTP 350.001, ver **Figura 6**.



Figura 6. Tamices que se emplean en el análisis granulométrico del agregado fino [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Agitador mecánico de tamices, un agitador mecánico (**Figura 7**) impartirá un movimiento vertical o movimiento lateral al tamiz, causando que las partículas tiendan a saltar y girar presentando así diferentes orientaciones a la superficie del tamizado. La acción del tamizado será dentro de un periodo de tiempo razonable menor a diez (10) minutos con la finalidad de no degradar la muestra. Se recomienda de 2 a 3 minutos.



Figura 7. Agitadores mecánicos de tamices que se emplean en los análisis granulométricos [Fotografías de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Horno, un horno de medidas adecuadas capaz de mantener una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ver **Figura 8**.



Figura 8. Horno eléctrico [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Muestreo

Se procederá a tomar cuatro veces la cantidad requerida mínima según lo establece la norma.

Muestreo del agregado fino, la cantidad de la muestra de ensayo, luego del secado, será de mínimo 300 gramos.

Muestreo del agregado grueso (arcilla expandida), la cantidad de la muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo indicado en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso

| TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL ABERTURAS CUADRADAS MM (PULG) | CANTIDAD DE LA MUESTRA DE ENSAYO, MÍNIMO KG (LB) |
|---|--|
| 9.5 (3/8) | 1 (2) |
| 12.5 (1/2) | 2 (4) |
| 19.0 (3/4) | 5 (11) |
| 25.0 (1) | 10 (22) |
| 37.5 (1 1/2) | 15 (33) |

Fuente: Norma NTP 400.012 :2013 Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

Elaboración: los autores

Procedimiento del análisis granulométrico

Tener en cuenta que los procedimientos detallados a continuación son los mismos que se encuentran especificados en la norma NTP 400.012:2013.

Primer paso: secar la muestra a peso constante a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Considerar que para agregados livianos la norma técnica peruana NTP 400.012:2013 afirma que es necesario efectuar el primer paso debido al alto porcentaje de absorción de este tipo de agregados.

Segundo paso: se seleccionarán tamaños adecuados de tamices para proporcionar la información requerida por las especificaciones que cubran el material a ser ensayado. El uso de tamices adicionales puede ser necesario

para obtener otra información, tal como módulo de fineza o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Encajar los tamices en orden de abertura decreciente desde la tapa hasta el fondo y colocar la muestra sobre el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de un aparato mecánico por un periodo suficiente.

Los tamices considerados para el agregado grueso (arcilla expandida) serán los requeridos según la norma ASTM C330 – 05 y están estipulados en la **Tabla 8** y son los siguientes tamices:

Tabla 8. Requisitos de granulometría de agregados livianos para concreto estructural

| DESIGNACIÓN DEL TAMAÑO NOMINAL | PORCENTAJE (MASA) QUE PASA TAMICES CON ABERTURAS CUADRADAS | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | 25.0 mm (1 in.) | 19.0 mm (3/4 in.) | 12.5 mm (1/2 in.) | 9.5 mm (3/8 in.) | 4.75 mm (N° 4) | 2.36 mm (N° 8) | 1.18 mm (N° 16) | 300 µm (N° 50) | 150 µm (N° 100) | 75 µm (N° 200) |
| Agregado fino: | | | | | | | | | | |
| 4.75 mm a 0 | --- | --- | --- | 100 | 85 - 100 | --- | 40 - 80 | 10 - 35 | 5 - 25 | --- |
| Agregado grueso: | | | | | | | | | | |
| 25.0 a 4.75 mm | 95 - 100 | --- | 25 - 60 | --- | 0 - 10 | --- | --- | --- | --- | 0 - 10 |
| 19.0 a 4.75 mm | 100 | 90 - 100 | --- | 10 - 50 | 0 - 15 | --- | --- | --- | --- | 0 - 10 |
| 12.5 a 4.75 mm | --- | 100 | 90 - 100 | 40 - 80 | 0 - 20 | 0 - 10 | --- | --- | --- | 0 - 10 |
| 9.5 a 2.36 mm | --- | --- | 100 | 80 - 100 | 5 - 40 | 0 - 20 | 0 - 10 | --- | --- | 0 - 10 |
| Agregado combinado de fino y grueso: | | | | | | | | | | |
| 12.5 mm a 0 | --- | 100 | 95 - 100 | --- | 50 - 80 | --- | --- | 5 - 20 | 2 - 15 | 0 - 10 |
| 9.5 mm a 0 | --- | --- | 100 | 90 - 100 | 65 - 90 | 35 - 65 | --- | 10 - 25 | 5 - 15 | 0 - 10 |

Fuente: Norma ASTM C330 - 05 Especificación Normalizada para Agregados Livianos para Concreto Estructural

Así mismo, los tamices (**Tabla 9**) considerados para el agregado fino (arena) serán los requeridos según la norma NTP 400.037:2018 (NTP 400.037 AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos, 2018) y son los siguientes:

Tabla 9. Requerimiento de granulometría para agregado fino

| TAMIZ | PORCENTAJE QUE PASA |
|--------------------|---------------------|
| 9.50 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 µm (No. 30) | 25 a 60 |
| 300 µm (No. 50) | 5 a 30 |
| 150 µm (No. 100) | 0 a 10 |
| 75 µm (No. 200) | 0 a 5 |

Fuente: Norma NTP 400.037:2018 Agregados para concreto. Requisitos.

Elaboración: los autores

Tercer paso: limitar la cantidad de material sobre el tamiz utilizado de tal manera que todas las partículas tengan la oportunidad de alcanzar la abertura del tamiz un número de veces durante la operación de tamizado. Se deberá tener cuidado de que la cantidad retenida no genere deformaciones permanentes al tamiz.

Para evitar sobrecarga de material sobre un tamiz individual se deberá considerar uno de los siguientes procedimientos:

- Colocar un tamiz adicional con abertura inmediata entre el tamiz que va a ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior en la disposición original de tamices.
- Separar la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individual. Combinar las masas de cada porción retenidas sobre un tamiz especificado antes de calcular el porcentaje de la muestra sobre el tamiz.
- Utilizar tamices de mayor armazón que provean mayor área de tamizado.

Cuarto paso: continuar el tamizado por un período suficiente, de tal manera que al final no más del 1% de la masa del residuo sobre uno de los tamices, pasará a través de él durante un (1) minuto de tamizado manual como sigue: sostener firmemente el tamiz individual con su tapa y fondo bien ajustado en posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear el filo contra el talón de la otra mano con un movimiento hacia arriba y una velocidad de cerca 150 veces por minuto, girando el tamiz un sexto de una revolución por cada 25 golpes. En la determinación de la eficacia del tamizado para medidas mayores de 4.75 mm (N°4), limitar a una capa simple de partículas sobre el tamiz. Si la medida del tamiz hace impracticable el movimiento de tamizado descrito, utilizar el tamiz de 203 mm de diámetro para verificar la eficiencia del tamizado.

Quinto paso: la masa total de material luego del tamizado deberá ser verificada con la masa de la muestra colocada sobre cada tamiz. Si la cantidad difiere en más de 0.3%, sobre la masa seca original de la muestra, el resultado no deberá utilizarse para propósitos de aceptación.

Cálculo

Calcular el porcentaje que pasa, los porcentajes totales retenidos, o los porcentajes sobre cada tamiz, aproximado al 0.1% más cercano de la masa seca inicial de la muestra.

Si se desea calcular el módulo de fineza, sumando el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido) y dividir la suma entre 100: 150 μm (N°100); 300 μm (N°50); 600 μm (N°30); 1.18 mm (N°16); 2.36 mm (N°8); 4.75 mm (N°4); 9.5 mm (3/8 de pulgada); 19.0 mm (3/4 de pulgada).

Solo se emplearon los tamices previamente mencionados en el apartado de procedimientos de análisis granulométrico.

Reporte

Para el reporte se deberá incluir porcentaje total que pasa cada tamiz, porcentaje total retenido en cada tamiz.

Los porcentajes serán en números enteros, excepto que si el porcentaje que pasa la malla de 75 μm (N° 200) es menor del 10%, se aproximará al 0.1% más cercano.

4.1.5.2 Ensayo de absorción agregado grueso liviano (arcilla expandida)

Para determinar el porcentaje de absorción del agregado grueso (arrita) a utilizar para la dosificación de concreto se debe tener en cuenta que en la Norma de ACI 211.2 R04 Standard Practice for Selecting Proportions for Structural Lightweight Concrete (American Concrete Institute, 1998) en su Apéndice B determina el procedimiento necesario para dicho ensayo.

El método presentado a continuación describe el procedimiento para determinar la absorción del agregado grueso liviano por centrifugación para producir una condición saturado superficialmente seco (SSS) después de veinticuatro (24) horas de inmersión en agua.

Equipos e instrumentos para el ensayo de absorción del agregado grueso liviano

Centrífuga, equipo de sobremesa con un control de velocidad capaz de hacer girar una muestra de 0.67 a 0.88 lb (300 a 400 g) de agregado grueso clasificado a 500 rpm. Ver **Figura 9**.

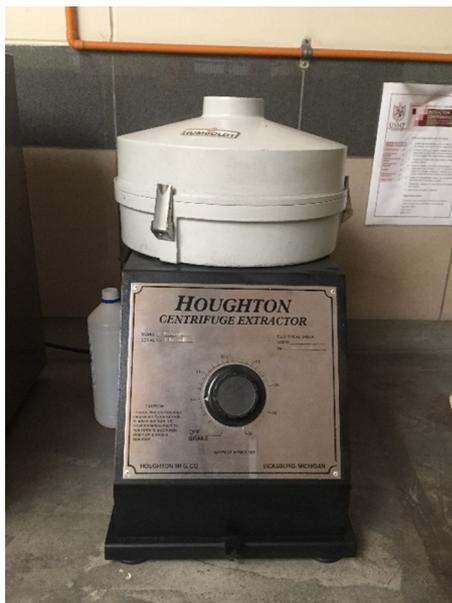


Figura 9. Centrífuga del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de San Martín de Porres [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Balanza, se debe considerar que deberá tener una capacidad mínima de mil (1000 g) gramos y una precisión de 0.1 g. Para este ensayo se empleó el equipo utilizado en el análisis granulométrico véase la **Figura 5**.

Tazón o cuenco, se empleará un tazón metálico de material inoxidable como el que vemos en la **Figura 10**.



Figura 10. Cuenco de acero inoxidable
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Horno, emplearemos un horno con la capacidad suficiente para almacenar nuestras muestras y poder secarlas a temperatura constante, véase la **Figura 8**.

Muestreo

Se tomará una muestra representativa de veinte a treinta (20 a 30 kg) kilogramos de agregado clasificado y se procederá a cuartear hasta obtener una muestra de trescientos a cuatrocientos (300 a 400 g) gramos. Durante esta operación, debemos tomar las precauciones para evitar la segregación de las partículas más gruesas de aquellas de menor tamaño. Deben tomarse dos o más muestras representativas.

Procedimiento de ensayo de absorción del agregado grueso liviano (arrita)

Primer paso: sumerja las muestras de agregado grueso liviano y clasificados durante aproximadamente $72 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ en agua a temperatura ambiente.

Segundo paso: luego de ese período, decante el exceso de agua y transfiera la muestra al tazón o colador de la centrífuga y asegure la tapa. Active la centrífuga incrementando gradualmente la velocidad hasta 500 rpm., el tiempo que deberá estar activa la centrífuga será de 20 minutos.

Tercer paso: retire la muestra y mida su peso Saturado Superficialmente Seco (SSS).

Cuarto paso: seque la muestra a temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5$ $^{\circ}\text{C}$. durante aproximadamente 24 horas.

Quinto paso: luego de secar la muestra se deberá medir el peso seco de la muestra para finalmente realizar el cálculo respectivo.

Cálculos

La absorción del agregado grueso liviano se calculará de la siguiente manera:

$$A\% = 1 * \frac{w - D}{D}$$

Ecuación 1. Fórmula para determinar el porcentaje de absorción del agregado grueso liviano

Donde:

A% : es el porcentaje de absorción del agregado grueso liviano.

W : es el peso seco superficialmente saturado del agregado grueso liviano en gramos (SSS).

D : es el peso seco al horno del agregado grueso liviano en gramos.

4.1.5.3 Ensayo de absorción agregado fino (arena)

Para determinar el porcentaje de absorción del agregado fino (arena) se empleará el procedimiento mencionado en la Norma Técnica Peruana NTP 400.022:2013 Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino (NTP 400.022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino, 2013).

Resumen del método de ensayo de absorción de agregado fino (arena)

Una muestra de agregado fino es sumergida en agua durante $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$ para esencialmente llenar los poros. Luego se retirará para secar el agua que se encuentre en la superficie del agregado y poder determinar la masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico

o volumétrico (emplearemos el método gravimétrico). Finalmente, la muestra es secada en horno y la masa se vuelve a determinar. Empleando los valores obtenidos de la masa y, mediante fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, gravedad específica y la absorción.

Equipos e instrumentos para determinar la absorción del agregado fino (arena)

Balanza, balanza o báscula que tiene una capacidad de 1 kilogramo o más, sensibles a 0.1 gramo o menos, y una precisión de 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro de la gama de uso de este método de ensayo. Véase **Figura 5**.

Picnómetro, un frasco u otro contenedor apropiado (**Figura 11**) en el cual la muestra de agregado fino puede ser rápidamente introducida y en el cual el contenido del volumen puede ser calibrado hasta $\pm 0.1 \text{ cm}^3$. El volumen del recipiente lleno hasta la marca será de al menos 50% mayor que el espacio necesario para acomodar la muestra de ensayo. Un matraz aforado de 500 cm^3 de capacidad o un frasco de vidrio, equipado con una tapa de picnómetro es satisfactorio para una muestra de 500 g de la mayoría de los áridos finos.

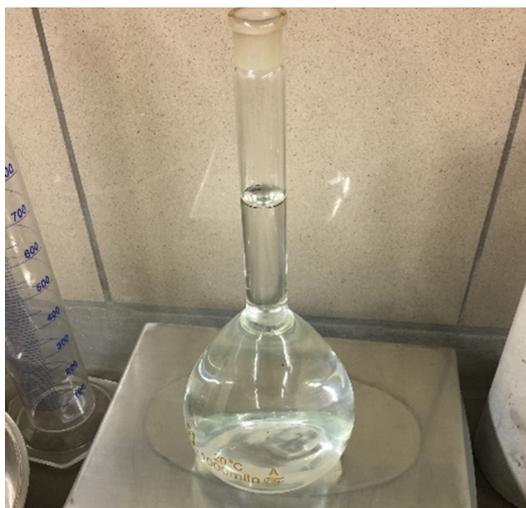


Figura 11. Fiola con capacidad de 1000 ml [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Horno, emplearemos un horno con la capacidad suficiente para almacenar nuestras muestras y poder secarlas a temperatura constante, véase la **Figura 8**.

Molde y barra compactadora, para los ensayos superficiales de humedad el molde deberá tener la forma de un tronco de cono con las dimensiones de la siguiente manera: 40 mm \pm 3 mm de diámetro interior en la parte superior, 99 mm \pm 3 mm de diámetro interior en la parte inferior y 75 mm \pm 3 mm de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0.8 mm. La barra compactadora de metal tendrá una masa de 340 g \pm 15 g y una cara plana circular de apisonamiento de 25 mm \pm 3 mm de diámetro. Ver **Figura 12**.



Figura 12. Molde y barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Preparación de la muestra

Primer paso, colocar la muestra de ensayo en un recipiente adecuado y secar en el horno a una temperatura 110 °C \pm 5 °C. Dejar que se enfríe a temperatura apropiada de manipulación (aproximadamente 50 °C), cubrir con agua, la sea por inmersión o por adición hasta alcanzar al menos 6% de humedad del agregado fino y se deja reposar durante 24 h \pm 4 h.

Segundo paso, decantar el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de finos, extender la muestra sobre una superficie plana no absorbente expuesta a una corriente suave de aire caliente y moverla con frecuencia para garantizar el secado homogéneo. Continuar la operación hasta que la muestra de ensayo obtenga una condición de flujo libre.

Tercer paso, para la prueba de humedad superficial, colocar el molde firmemente sobre una superficie no absorbente suave con el diámetro mayor hacia abajo. Colocar una porción del agregado fino suelto parcialmente seco en el molde llenándolo hasta el tope y amontonar material adicional por encima de la parte superior del molde sujetándolo con los dedos de la mano que sostiene el molde. Ligeramente apisonar el agregado fino en el molde con 25 golpes con la barra compactadora. Comience cada golpe aproximadamente a 5 mm por encima de la superficie superior del agregado fino. Permita que la barra compactadora caiga libremente bajo la atracción gravitatoria de cada golpe y distribuir los golpes sobre la superficie. Retirar la arena suelta de la base y levantar verticalmente el molde. Si la humedad de la superficie está todavía presente, el agregado fino conservará la forma moldeada. La ligera caída del agregado fino moldeado indica que se ha llegado a un estado de superficie seca.

Procedimiento para determinar la absorción del agregado fino (arena) por método gravimétrico (Picnómetro)

Primer paso: llenar parcialmente la fiola con agua. Introducir en la fiola 500 g \pm 10 g de agregado fino saturado superficialmente seco, y llenar de agua adicional hasta aproximadamente el 90% de su capacidad.

Segundo paso: agitar la fiola rodándolo, invirtiéndolo o agitándolo manualmente (o empleando una combinación de estas acciones) para eliminar las burbujas de aire visibles.

Tercer paso: luego de eliminar las burbujas de aire, ajustar la temperatura de la fiola y su contenido a 23.0 °C \pm 2.0 °C, si es necesario por

inmersión parcial en agua circulante, y llevar el nivel de agua en la fiola a su capacidad de calibración. Determinar la masa total de la fiola, el espécimen y el agua.

Cuarto paso: retirar el agregado fino de la fiola, secar en el horno a una masa constante, a temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, enfriar en el aire a temperatura ambiente durante $1\text{ h} \pm \frac{1}{2}\text{ h}$ y determinar la masa.

Quinto paso: determinar la masa de la fiola llena a su capacidad de calibración con agua a $23.0\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cálculos de la Absorción del agregado fino (arena)

$$\text{Absorción, \%} = 100 \left[\frac{(S - A)}{A} \right]$$

Ecuación 2. Fórmula para determinar el porcentaje de absorción del agregado fino

Donde:

S : es la masa de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico) en gramos.

A : es la masa de la muestra seca al horno en gramos.

Expresión de resultados

Los resultados deberán estar especificados con aproximación al 0.1% para absorción.

4.1.5.4 Ensayo de contenido de humedad agregado grueso (arcilla expandida)

Para el presente ensayo se emplearon los procedimientos descritos en la Norma Técnica Peruana NTP 339.185:2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. (NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado., 2013)

Equipos e instrumentos para determinar el contenido de humedad del agregado grueso (arcilla expandida)

Balanza, las especificaciones para la balanza se considerarán la sensibilidad al 0.1% del peso de prueba en cualquier punto dentro del rango de uso. Véase **Figura 5**.

Horno, emplearemos un horno con la capacidad suficiente para almacenar nuestras muestras y poder secarlas a temperatura constante, véase la **Figura 8**.

Recipiente para la muestra, tazón o cuenco que no sea afectado por el calor y con suficiente capacidad para contener la muestra sin peligro de derramarse, véase **Figura 10**.

Revolvedor, una cuchara de metal o espátula de tamaño conveniente.

Muestreo para determinar el contenido de humedad del agregado grueso (arcilla expandida).

Primer paso: deberá disponerse de una muestra representativa del contenido de humedad de la fuente de abastecimiento que está evaluándose con una masa no menor de la cantidad indicada en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Tamaño de la muestra de agregado

| TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO MM (PULG). | MASA MÍNIMA DE MUESTRA DE AGREGADO DE PESO NORMAL EN KG |
|---|---|
| 4.75 (0.187) (No. 4) | 0.5 |
| 9.5 (3/8) | 1.5 |
| 12.5 (1/2) | 2.0 |
| 19.0 (3/4) | 3.0 |
| 25.0 (1) | 4.0 |
| 37.5 (1 ½) | 6.0 |
| 50.0 (2) | 8.0 |
| 63.0 (2 ½) | 10.0 |
| 75.0 (3) | 13.0 |
| 90.0 (3 ½) | 16.0 |
| 100.0 (4) | 25.0 |
| 150.0 (6) | 50.0 |

Fuente: Norma NTP 339.185:2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

Elaboración: los autores

Sin embargo, para agregados livianos se deberá multiplicar el valor indicado por la unidad de masa en base seca del agregado en kg/m^3 y dividido por 1600. (NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado., 2013)

Procedimiento para determinar el contenido de humedad del agregado grueso (arcilla expandida)

Primer paso: determinar la masa del agregado grueso (muestra) con una precisión del 0.1%.

Segundo paso: secar la muestra completamente en el recipiente por medio de una fuente de calor elegida, teniendo cuidado de evitar la pérdida de las partículas. Un secado muy rápido puede causar que exploten algunas partículas resultando en pérdidas de partículas. Emplear un horno de temperatura controlada cuando el calor excesivo puede alterar las características del agregado o cuando se requiera una medición más precisa. Si se usa una fuente de calor diferente al horno de temperatura controlada revolver la muestra durante el secado para acelerar la operación y evitar sobrecalentamiento localizado.

Tercer paso: la muestra estará suficientemente seca cuando la aplicación de calor adicional cause o pueda causar menos de 0.1 % de pérdida adicional de masa. Entonces determinaremos la masa de la muestra seca con una aproximación de 0.1% después que se haya secado y enfriado lo suficiente para no dañar la balanza.

Cálculo del contenido de humedad del agregado grueso (arcilla expandida)

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

Ecuación 3. Fórmula para determinar el contenido de humedad del agregado grueso

Donde:

P : es el contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje.

W : es la masa de la muestra húmeda original en gramos.

D : es la masa de la muestra seca en gramos.

Expresión de resultados

Los resultados deberán estar especificados con aproximación al 0.1% para contenido de humedad.

4.1.5.5 Ensayo de contenido de humedad del agregado fino (arena)

Para determinar el ensayo de contenido de humedad del agregado fino se deberá seguir las instrucciones descritas en el apartado de contenido de humedad del agregado grueso, obviando la modificación en el peso de la muestra ya que el agregado fino es un agregado de peso normal.

4.1.5.6 Ensayo de gravedad específica en estado saturado superficialmente seco del agregado liviano grueso (arcilla expandida)

Para el presente ensayo emplearemos la norma ACI 211.2 para el agregado grueso según lo detalla en su Apéndice A.

Ensayo de gravedad específica en estado saturado superficialmente seco del agregado grueso (arcilla expandida).

Esta metodología aplica para agregados livianos ya sean finos o gruesos siempre y cuando vayan a ser empleados en concreto estructural.

Equipos e instrumentos para determinar el factor de gravedad específico del agregado grueso

Fiola, véase **Figura 11**.

Balanza, véase **Figura 5**.

Tazón o Cuenco, véase **Figura 10**.

Procedimiento para determinar el factor de gravedad específica del agregado grueso

El procedimiento será el mismo que el que se estipula en la Norma Técnica Peruana NTP 400.022:2013 para agregado fino (arena).

Cálculos de la gravedad específica (SSS) del agregado grueso liviano (arcilla expandida)

El método gravimétrico según la norma NTP 400.022:2013 define a la gravedad específica en estado saturado superficialmente seco (SSS) de la siguiente manera.

$$GE(SSS) = \frac{S}{B + S - C}$$

Ecuación 4. Fórmula para determinar la gravedad específica en estado saturado superficialmente seco del agregado grueso liviano

Donde:

- S : es la masa de la muestra de agregado grueso saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico) en gramos.
- B : es la masa de la fiola llenada de agua hasta la marca de calibración en gramos.
- C : es la masa de la fiola llena de la muestra y el agua hasta la marca de calibración en gramos.

Expresión de resultados

Los resultados deberán estar especificados con aproximación al 0.01 para gravedad específica e indicar la base de la densidad saturado superficialmente seca (SSS).

4.1.5.7 Ensayo de gravedad específica en estado saturado superficialmente seco del agregado fino (arena)

Para el ensayo de gravedad específica emplearemos la norma NTP 400.022:2013 para el agregado fino en estado saturado superficialmente seco del agregado se realizará el procedimiento descrito a detalle previamente para la obtención del porcentaje (%) de absorción del agregado fino (arena) por lo que se procederá directamente con el cálculo de la gravedad específica en estado saturado superficialmente seco por el método gravimétrico (Picnómetro) debido a que el procedimiento mismo permite la toma de datos suficientes para los cálculos de gravedad específica (SSS) del agregado fino (arena).

Cálculos de la gravedad específica (SSS) del agregado fino (arena)

El método gravimétrico según la norma NTP 400.022:2013 define a la gravedad específica en estado saturado superficialmente seco (SSS) de la siguiente manera.

$$GE(SSS) = \frac{S}{B + S - C}$$

Ecuación 5. Fórmula para determinar la gravedad específica en estado saturado superficialmente seco del agregado fino

Donde:

- S : es la masa de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico) en gramos.
- B : es la masa de la fiola llena de agua hasta la marca de calibración en gramos.
- C : es la masa de la fiola llena de la muestra y el agua hasta la marca de calibración en gramos.

Expresión de resultados

Los resultados deberán estar especificados con aproximación al 0.01 para gravedad específica e indicar la base de la densidad saturado superficialmente seca (SSS).

4.1.5.8 Dosificación del concreto elaborado con arcilla expandida

Para desarrollar la dosificación de concreto elaborado con arcilla expandida nos guiaremos de la norma de ACI 211.2 -98 R04 a partir de ahí comenzaremos a variar la dosificación hasta obtener un concreto que muestre propiedades físicas y mecánicas adecuadas para considerarlo concreto liviano estructural.

Primer paso: escogeremos el Slump adecuado según la **Tabla 11** recordando que se busca dosificar un concreto de uso estructural.

Segundo Paso: del análisis granulométrico del agregado grueso determinaremos el tamaño máximo nominal. Recordar que si se emplea un agregado con un tamaño máximo nominal no tan grande es posible alcanzar altas resistencias a una determinada relación a/c.

Tabla 11. Slump recomendados para varios tipos de estructuras

| TIPOS DE CONSTRUCCIÓN | SLUMP.* | |
|-----------------------------------|------------------|----------------|
| | MÁXIMO** | MÍNIMO** |
| Vigas y muros reforzados (placas) | 4 pulg. (100 mm) | 1 pulg (25 mm) |
| Columnas | 4 pulg. (100 mm) | 1 pulg (25 mm) |
| Losas | 3 pulg. (75 mm) | 1 pulg (25 mm) |

* Slump puede aumentar cuando se emplean aditivos químicos, siempre que el concreto tratado con aditivos tenga el mismo o menor valor de a/c y no presente una potencial segregación o un exceso de sangrado.

** Puede incrementar 1 pulg. Para métodos de consolidación que no sean vibraciones.

Fuente: Norma ACI 211.2.

Elaboración: los autores

Tabla 12. Requisitos aproximados de mezcla de agua y contenido de aire para diferentes asentamientos (Slump) y tamaños máximos nominales de agregado grueso*

| TAMAÑO DE AGREGADO (TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL) | 3/8 PULG. (9.5 MM) | 1/2 PULG. (12.7 MM) | 3/4 PULG. (19.0 MM) |
|---|-----------------------|------------------------|------------------------|
| CONCRETO CON AIRE INCORPORADO | | | |
| AGUA, LB/YD3 (KG/M3) DE CONCRETO | | | |
| Slump, 1 a 2 pulg. (25 a 50 mm) | 305 (181) | 295 (175) | 280 (166) |
| Slump, 3 a 4 pulg. (75 a 100 mm) | 340 (202) | 325 (193) | 305 (181) |
| Slump, 5 a 6 pulg. (125 a 150 mm) | 355 (211) | 335 (199) | 315 (187) |
| Promedio recomendado de aire ** total contenido, %, para el nivel de exposición. | | | |
| Exposición leve | 4.5 | 4.0 | 4.0 |
| Exposición moderada | 6.0 | 5.5 | 5.0 |
| Exposición extrema*** | 7.5 | 7.0 | 6.0 |
| CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO | | | |
| AGUA, LB/YD3 (KG/M3) DE CONCRETO | | | |
| Slump, 1 a 2 pulg. (25 a 50 mm) | 350 (208) | 335 (199) | 315 (187) |
| Slump, 3 a 4 pulg. (75 a 100 mm) | 385 (228) | 365 (217) | 340 (202) |
| Slump, 5 a 6 pulg. (125 a 150 mm) | 400 (237) | 375 (222) | 350 (208) |
| Cantidad aproximada de aire contenido en el concreto sin aire incorporado, % | | | |
| | 3.0 | 2.5 | 2.0 |

* Las cantidades de agua de mezclado suministradas para el concreto con aire incorporado se basan en los requisitos típicos de contenido total que se muestran para "exposición moderada" en la tabla anterior. Estas cantidades de agua de mezcla son para usar en el cálculo de contenido de cemento o materiales cementosos para lotes de prueba a 68 a 77 °F (20 a 25 °C). Son máximos para agregados angulares razonablemente bien graduados dentro de los límites de las especificaciones aceptadas. Es uso de aditivos químicos reductores de agua (ASTM C 494) también puede reducir el agua de mezcla en un 5% o más. El volumen de las mezclas líquidas se incluye como parte de volumen total del agua de mezclado. Los valores de asentamiento de 7 a 11 pulg. (175 a 275 mm) solo se obtienen mediante el uso de aditivos químicos reductores de agua; son para concreto que contiene un agregado de tamaño máximo nominal no mayor que 1pulg. (25 mm).

** En varios documentos de ACI, incluidos ACI 201.2R, 345R, 318, 301 y 302.1R, se proporcionan recomendaciones adicionales para el contenido de aire y las tolerancias necesarias del contenido de aire para el control en el campo. La norma ASTM C94 para concreto premezclado también brinda límites de contenido de aire. Es posible que los requisitos de otros documentos no siempre coincidan exactamente, por lo que, al proporcionar el concreto, se debe considerar la selección de un contenido de aire que satisfaga las necesidades del trabajo y también cumpla con las especificaciones aplicables.

*** Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% de aire en la fase de mortero del concreto. Si el volumen del mortero será sustancialmente diferente del determinado en esta práctica recomendada, puede ser conveniente calcular el contenido de aire necesario tomando el 9% del valor real del mortero.

Fuente: Norma ACI 211.2.

Elaboración: los autores

Tercer paso: se procederá a realizar la estimación de agua de mezcla y contenido de aire el cual dependerá del tamaño máximo nominal de los agregados. Emplearemos la **Tabla 12**.

Cuarto paso: se procederá con la selección aproximada de la relación a/c que se determina por la resistencia, factores de durabilidad y propiedades de acabado. Se empleará la **Tabla 13**.

Tabla 13. Relaciones entre a/c y resistencia a la compresión del concreto*

| RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS, PSI (MPA) | PROPORCIÓN APROXIMADA DE AGUA/CEMENTO, EN PESO | |
|--|---|----------|
| | SIN AIRE | CON AIRE |
| 6000 (41.40) | 0.41 | ----- |
| 5000 (34.50) | 0.48 | 0.40 |
| 4000 (27.60) | 0.57 | 0.48 |
| 3000 (20.70) | 0.68 | 0.59 |
| 2000 (13.80) | 0.82 | 0.74 |

* Los valores son resistencias promedio estimadas para concreto que contiene no más de 2% de aire para concreto sin aire incorporado y 6% de contenido total de aire para concreto con aire incorporado. Para una constante w/c o w/cm, la resistencia del concreto se reduce a medida que aumenta el contenido de aire. Los valores de fuerza de 28 días pueden ser conservadores y pueden cambiar cuando se usan varios materiales cementosos. La velocidad a la que se desarrolla la resistencia de 28 días también puede cambiar.

- La resistencia se basa en cilindros de 6 x 12 pulg. (150 x 300 mm) curados en húmedo durante 28 días de acuerdo con las secciones sobre "Curado Inicial" y "Curado de cilindros para verificar la adecuación de las proporciones de la mezcla de laboratorio para resistencia o como base para la aceptación o para el control de calidad" de ASTM C 31 de fabricación y curado de muestras de concreto en el campo. Estos son cilindros con curado húmedo a 73.4 ± 3 °F (23 ± 2 °C) antes de la prueba.

- La relación en esta tabla supone un tamaño de agregado nominal máximo de aproximadamente 3/4 a 1 Pulgada (19 a 25 mm). Para una fuente dada de agregado, la resistencia producida a una w/c o w/cm determinada aumentará a medida que disminuya el tamaño máximo nominal del agregado.

Fuente: Norma ACI 211.2.

Elaboración: los autores

Así mismo, por temas de durabilidad se deberá considerar ciertas restricciones cuando la estructura del concreto a dosificar se encuentre bajo algún tipo de exposición por lo que se debería incorporar aire. Ver **Tabla 14**.

Quinto paso: se procederá a calcular el contenido de cemento según el tercer y cuarto paso. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezcla obtenido en el tercer paso, dividido por la relación a/c obtenida en el cuarto paso.

Tabla 14. Relaciones máximas permisibles de agua/cemento para concreto en exposiciones severas*

| TIPO DE ESTRUCTURA | ESTRUCTURA MOJADA CONTINUAMENTE O CON FRECUENCIA; EXPUESTO A CONGELACIÓN Y DESCONGELACIÓN** | ESTRUCTURA EXPUESTA AL AGUA DE MAR O SULFATOS |
|---|---|---|
| Secciones delgadas (barandillas, bordillos, alféizares, salientes, trabajos ornamentales) secciones con una cubierta de acero inferior a 1 pulg. (25 mm). | 0.45 | 0.40*** |
| Todas las otras estructuras | 0.50 | 0.45*** |

* Basado en ACI 201.2R.

** El concreto también debe tener aire incorporado.

*** Si se usa cemento resistente a los sulfatos (Tipo II o Tipo V de ASTM C 150), se puede aumentar w/c o w/cm en 0.05.

Fuente: Norma ACI 211.2.

Elaboración: los autores

Sexto paso: se procede con el estimado de contenido de agregado grueso liviano. Emplearemos la **Tabla 15** en la cual determina valores apropiados en volumen para cierto tamaño máximo nominal de agregado. Tener en cuenta que puede existir variabilidad en la cantidad de mortero necesario debido a temas de trabajabilidad ya que para ello influye la graduación de las partículas y forma del agregado. Para los valores de módulo de finura es posible que sea necesario realizar interpolaciones.

El valor obtenido es la porción de agregado en 1 m³ de concreto, la cual deberá multiplicarse por el peso del agregado en 1 m³ para obtener en peso la cantidad que entrará por 1 m³ de concreto.

Por ejemplo: Si decimos que nuestro tamaño máximo nominal de agregado es ½ pulgada y el módulo de finura de nuestra arena es 2.40 tendríamos 0.67 m³ de agregado grueso liviano en 1 m³ de concreto. Sin embargo, debemos recordar que nuestro agregado liviano tendrá una densidad relativa seca al horno de 700 kg/m³ para lo cual deberemos multiplicar 0.67 m³ x 700 kg/m³ de agregado y así obtendremos que nuestra dosificación incluirá al menos 469 kg de agregado grueso liviano en estado seco al horno.

Tabla 15. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto*

| TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO, PULG. (MM) | VOLUMEN DE AGREGADOS* GRUESOS SUELTOS SECOS POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO PARA DIFERENTES MÓDULOS DE FINURA DE ARENA | | | |
|---|--|------|------|------|
| | 2.40 | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 3/8 (9.5) | 0.58 | 0.56 | 0.54 | 0.52 |
| 1/2 (12.7) | 0.67 | 0.65 | 0.63 | 0.61 |
| 3/4 (19.0) | 0.74 | 0.72 | 0.70 | 0.68 |

* Los volúmenes se basan en agregados en condiciones de secado en horno seco como se describe en ASTM C 29 / C29M para el peso unitario del agregado. Estos volúmenes se seleccionan de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para la construcción reforzada usual. Para obtener más concreto manejable, tal como a veces se requiere cuando la colocación se realiza mediante bombeo, se pueden reducir hasta un 10%.

Fuente: Norma ACI 211.2.

Elaboración: los autores

Séptimo paso: al completar el sexto paso, se han estimado todos los ingredientes del concreto, excepto el agregado fino. La cual estará determinada por la diferencia en peso.

Si el peso del concreto por unidad de volumen se estima por experiencia, el peso requerido del agregado fino es la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros ingredientes. (American Concrete Institute, 1998)

Al no tener la información podríamos emplear la **Tabla 16** la cual nos brinda pesos del concreto en función a la gravedad específica del agregado grueso liviano y el contenido de aire del concreto.

Finalmente tocará emplear la información recolectada de los agregados como %Absorción, Gravedad específica SSS y contenido de humedad; finalmente se realizará la debida corrección por humedad. Luego de haber realizado la dosificación se deberá realizar los ensayos para verificar las características del concreto resultante e ir variando dicha dosificación para mejorar hasta obtener los resultados deseados.

Tabla 16. Primera estimación del peso del concreto liviano nuevo compuesto de agregado grueso liviano y agregado fino de peso normal

| FACTOR DE GRAVEDAD ESPECÍFICA | PRIMERA ESTIMACIÓN DEL PESO DEL CONCRETO LIVIANO, Lb/Yd ³ (Kg/m ³)* | | |
|-------------------------------|--|----------------------|----------------------|
| | CONCRETO CON AIRE INCORPORADO | | |
| | 4% | 6% | 8% |
| 1.00 | 2690 (1596) | 2630 (1561) | 2560 (1519) |
| 1.20 | 2830 (1680) | 2770 (1644) | 2710 (1608) |
| 1.40 | 2980 (1769) | 2910 (1727) | 2850 (1691) |
| 1.60 | 3120 (1852) | 3050 (1810) | 2990 (1775) |
| 1.80 | 3260 (1935) | 3200 (1899) | 3130 (1858) |
| 2.00 | 3410 (2024) | 3340 (1982) | 3270 (1941) |

* Valores para concreto de riqueza media (550 lb de cemento por yd³ [326 kg/m³]) y asentamiento medio con requisitos de agua basados en valores de Slump de 75 a 100 mm (3 a 4 pulgadas) en la Tabla 12. Si lo desea, el peso estimado se puede refinar de la siguiente manera, si es necesario, hay información disponible: por cada 10 lb (5.9kg) de diferencia en el agua de la Tabla 12, corrija el peso 15lb por yd³ en la dirección opuesta (8.9 kg por m³); por cada 100 lb (59.3 kg) de diferencia en el contenido de cemento de 550 lb (326 kg), corrija el peso 15lb por yd³ en la misma dirección (8.9kg por m³).

Fuente: Norma ACI 211.2.

Elaboración: los autores

4.2 Técnicas de recolección de datos

Para procesar los datos a fin de determinar si se cumplen las hipótesis es necesario conocer las técnicas empleadas para obtener una respuesta a cada uno de los objetivos específicos.

4.2.1 Ensayo de peso unitario en estado fresco

Para determinar el peso unitario en estado fresco del concreto se empleará como guía la norma: Método de ensayo normalizado de densidad, rendimiento, y contenido de aire del concreto. (ASTM C138/C138M -14, 2014) con la finalidad de que los resultados obtenidos durante el proceso del desarrollo de la investigación puedan ser fiables.

4.2.1.1 Equipos e instrumentos empleados para determinar el peso unitario en estado fresco

Balanza, se requerirá una balanza o báscula (**Figura 13**) con precisión de 45 g (0.1 lb) o dentro del 0.3% de la carga de ensayo, lo que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso. Se debe considerar que el rango de uso se extiende desde la masa de la medida vacía hasta la masa de la medida más su contenido a 2600 kg/m³ (160 lb/ft³).



Figura 13. Balanza con precisión de 45 gramos [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Varilla compactadora, una varilla redonda, lisa, derecha, de acero, con un diámetro de $16 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ (**Figura 14**). La longitud de la varilla compactadora debe ser al menos 100 mm mayor que la profundidad de la medida en la cual se realiza el varillado, pero no mayor que 600 mm de longitud total. La varilla debe tener el extremo para compactar, o ambos extremos, redondeados en una punta semiesférica del mismo diámetro de la varilla.



Figura 14. Varilla compactadora de 450 mm [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Medida, un contenedor cilíndrico hecho de acero u otro metal apropiado (**Figura 15**). La capacidad mínima de la medida debe cumplir con los requisitos de la **Tabla 17** en base al tamaño nominal de agregado del concreto a ensayar. De emplearse el recipiente para determinar también el contenido de aire, éste deberá cumplir con los parámetros del método de ensayo C231 y deberá tener su volumen calibrado.



Figura 15. Medida empleada para el ensayo de peso unitario en estado fresco, volumen = 0.00702 m³ (7.02 litros)
[Fotografía de Gina Quispe].
(Lima. 2018).

Tabla 17. Capacidad de medidas para ensayo de peso unitario según ASTM C138

| TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO | | CAPACIDAD DE LA MEDIDA ^A | |
|---|-----|-------------------------------------|-----------------|
| mm | in | L | ft ³ |
| 25.0 | 1 | 6 | 0.2 |
| 37.5 | 1 ½ | 11 | 0.4 |
| 50 | 2 | 14 | 0.5 |
| 75 | 3 | 28 | 1.0 |
| 112 | 4 ½ | 70 | 2.5 |
| 150 | 6 | 100 | 3.5 |

^A El tamaño indicado de la medida debe usarse para ensayar concreto que contiene agregados de un tamaño máximo nominal igual o menor que el indicado. El volumen de la medida debe ser al menos el 95% del volumen nominal indicado.

Fuente: Norma ASTM C138/C138M -14a.

Elaboración: los autores

Placa de Enrasado, una placa plana rectangular de metal (**Figura 16**) de al menos 6 mm de espesor o una placa de vidrio o acrílico de al menos 12

mm de espesor con una longitud y un ancho al menos 50 mm lisos dentro de una tolerancia de 2mm.



Figura 16. Placa de enrasado
[Fotografía de Jonatán Vera].
(Lima. 2018).

Mazo, un mazo con cabeza de goma o de cuero crudo (**Figura 17**) con una masa de 600 ± 200 g para usar con medidas (**Figura 15**) de 14 L o menores.



Figura 17. Mazo de goma
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Pala, de un tamaño suficientemente grande como para que cada cantidad de concreto obtenido del receptáculo de muestreo sea representativa y suficientemente pequeña como para que no se derrame durante la colocación en la medida.

4.2.1.2 Muestreo para determinar el peso unitario del concreto en estado fresco

Para el muestreo el concreto deberá ser recién mezclado para cada dosificación efectuada.

4.2.1.3 Procedimiento para determinar el peso unitario del concreto en estado fresco

Primer paso: seleccionar el método de compactación según el asentamiento, a menos que el método sea indicado en las especificaciones bajo las cuales se realizará el trabajo. Varillado y/o vibración interna. Compactar el concreto con varillado para asentamientos mayores a 75 mm (3 pulg). Varillar o vibrar para concretos con asentamientos de 25 mm a 75 mm (1 pulg a 3 pulg). Consolidar con vibración, los concretos con asentamientos menores a 25 mm (1 pulg).

Segundo paso: método de compactación por varillado, coloque el concreto en la medida distribuido en tres capas aproximadamente de igual volumen. Compacte por varillado cada capa con 25 golpes de la varilla compactadora cuando se usen medidas de 14 litros nominales o más pequeñas, 50 golpes cuando se usen medidas de 28 litros nominales y un golpe por cada 20 cm² de superficie para medidas más grandes. Compacte por varillado cada capa uniformemente sobre la sección transversal con el extremo redondeado de la varilla usando el número de golpes requerido. Compacte por varillado la capa inferior atravesando todo su espesor. Cuando compacte esta capa, tenga cuidado de no dañar el fondo de la medida. Para cada capa superior, deje que la varilla atraviese la capa que está compactando y se introduzca en la capa anterior aproximadamente 25 mm. Luego de que cada capa se ha compactado por varillado, golpee los costados de la medida 10 a 15 veces con el mazo apropiado con una fuerza tal para cerrar cualquier hueco dejado por la varilla compactadora y para liberar todas las burbujas grandes de aire que puedan haber quedado atrapadas. Agregue la capa final de manera de evitar el llenado excesivo.

Tercer paso: luego de completar la compactación la medida no debe contener un exceso ni una deficiencia de sustancias de concreto. Un exceso de concreto que sobresalga aproximadamente 3 mm por encima del molde es óptimo. Para corregir una deficiencia se puede agregar una pequeña cantidad de concreto. Si la medida contiene un gran exceso de concreto al terminar la compactación, elimine una parte representativa del concreto en exceso con

una pala inmediatamente luego de terminar la compactación y antes de proceder a enrasar la medida.

Cuarto paso: luego de la compactación, enrase la cara superior del concreto y realice un acabado liso del mismo usando la placa de enrasado plana de modo de lograr un llenado completo y a nivel de la medida. Enrase la medida presionando la placa de enrasado sobre la superficie superior de la medida, cubriendo aproximadamente dos tercios de la superficie y retire la placa con un movimiento de aserrado realizando sólo el acabado del área cubierta originalmente.

Quinto paso: finalmente, luego de enrasar limpie todo el concreto en exceso del exterior de la medida y determine la masa del concreto y la medida. Ver **Figura 18**.



Figura 18. Determinación de la masa para obtener el peso unitario del concreto en estado fresco [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

4.2.1.4 Cálculo para determinar el peso unitario del concreto en estado fresco

Densidad (Peso Unitario): calcule la masa neta del concreto en kilogramos sustrayendo la masa de la medida de la masa de la medida rellena

con concreto. Calcule la densidad dividiendo la masa neta de concreto por el volumen de la medida.

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Ecuación 6. Fórmula para determinar el peso unitario del concreto en estado fresco

Donde:

- D : es la densidad (Peso Unitario).
- M_c : es la masa de la medida rellena con concreto.
- M_m : es la masa de la medida.
- V_m : es el volumen de la medida.

4.2.1.5 Expresión de resultados

Los resultados deberán estar especificados con aproximación al 1.0 Kg/m³ para peso unitario.

4.2.2 Ensayo de peso unitario en estado seco

4.2.2.1 Equipos e instrumentos empleados para determinar el peso unitario del concreto en estado seco

Balanza: se empleará una balanza o báscula que tiene una capacidad de 1 kilogramo o más, sensibles a 0.1 gramo o menos, y una precisión de 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro de la gama de uso de este método de ensayo. Véase **Figura 5**.

Vernier: se empleará la herramienta de medición calibrada denominada Vernier (**Figura 19**), la cual servirá para determinar longitudes y diámetros en las muestras obtenidas de los respectivos diseños para luego determinar su peso unitario. Deberá estar calibrado y tener una aproximación comprendida entre 0.02 mm a 0.05 mm.



Figura 19. Vernier empleado para medir
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

4.2.2.2 Muestreo para determinar el peso unitario del concreto en estado seco

Para el muestreo se considerará al menos dos muestras las cuales deberán ser de las probetas elaboradas y no se deberán curar, estas probetas no podrán incluirse dentro del ensayo de resistencia a la compresión.

4.2.2.3 Procedimiento para determinar el peso unitario del concreto en estado seco

Primer paso: se procederá a medir cada muestra y codificar debidamente para su reconocimiento y facilidad de obtención de datos. Las mediciones consistirán en emplear el vernier para cuantificar la longitud de cada probeta y su respectivo diámetro; el diámetro a considerar será el promedio simple de las medidas en la parte superior, media e inferior.

Segundo paso: luego de realizar la medición respectiva de las muestras se procederá a realizar el debido pesaje en la balanza con aproximación a 0.1 gramos.

4.2.2.4 Cálculo para determinar el peso unitario del concreto en estado seco

Para determinar el peso unitario del concreto en estado seco emplearemos la siguiente relación.

Densidad teórica (peso unitario): calcule la masa neta del concreto en kilogramos sustrayendo la masa de la medida de la masa de la medida rellena

con concreto. Calcule la densidad dividiendo la masa neta de concreto por el volumen de la medida.

$$D_T = \frac{M}{V}$$

Ecuación 7. Fórmula para determinar el peso unitario del concreto en estado seco

Donde:

D_T : es la densidad del concreto en estado seco determinado mediante la ecuación de densidad teórica determinada en ASTM C138.

M : es la masa de la muestra (probeta sin curar).

V : es el volumen de la muestra (probeta sin curar).

4.2.2.5 Expresión de resultados

Los resultados deberán estar especificados con aproximación al 1.0 Kg/m³ para peso unitario.

4.2.3 Ensayo de resistencia a la compresión

El presente método está desarrollado según la Norma Técnica Peruana NTP 339.034:2008 y aplica exclusivamente para concretos con peso unitario mayores a 800 Kg/m³. (NTP 339.034 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas., 2008)

4.2.3.1 Equipos e instrumentos empleados para determinar el ensayo de resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido

Máquina de ensayo: la máquina de ensayo (**Figura 20**) será de capacidad conveniente, suficiente y capaz de proveer una velocidad de carga continuamente y sin detenimiento según se determinará en el procedimiento de ensayo.

Con respecto a la calibración se debe tener en cuenta que deberá tener no más de 13 meses desde la última calibración.

La máquina deberá ser operada por energía y aplicar la carga continua sin intermitencia ni detenimiento.

El espacio previsto para las probetas de ensayo será bastante grande para acomodarlas en la posición adecuada.

Con respecto a la exactitud de la máquina deberá estar dentro del rango de uso propuesto y será $\pm 1.0 \%$ de la carga indicada. Para mayor detalle del equipo a emplear y sus requisitos mínimos se deberá revisar la normativa vigente según NTP 339.034.



Figura 20. Equipo de ensayo de resistencia a la compresión
[Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Probetas: las probetas (**Figura 21**) para determinar la resistencia a la compresión deben ser cilindros moldeados y fraguados en posición vertical, con una longitud igual a dos veces el diámetro. El diámetro del cilindro debe ser de al menos 3 veces el tamaño máximo nominal del árido grueso. Para los ensayos se considerarán probetas normadas de 100 x 200 mm que cumplan con la normativa ASTM C470/C470M, Especificaciones Normalizadas para la fabricación de los moldes para ensayos de hormigón.



Figura 21. Probetas
[Fotografía de Gina Quispe].
(Lima. 2018).

4.2.3.2 Muestreo para determinar la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido

Respecto al muestreo se empleará un mínimo de treinta (30) probetas, para ser ensayadas a veintiocho (28) días, de los diseños considerados definitivos. Esta recomendación respecto a las 30 probetas está determinada en la norma E060 Concreto Armado en el punto 5.3.1 Desviación estándar. El cual estipula en la necesidad de al menos 30 ensayos consecutivos. (NTE E.060 Concreto Armado, 2009)

4.2.3.3 Procedimiento para determinar la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido

Primer paso: los ensayos a compresión de probetas del curado húmedo serán hechas tan pronto como sea practico luego de retirarlos del almacenaje de humedad.

Segundo paso: los cilindros serán protegidos de pérdida de humedad por cualquier método conveniente durante el periodo entre el retiro del almacenaje de humedad y el ensayo. Los cilindros serán ensayados en condición húmedos.

Tercer paso: todos los cilindros de ensayo para una determinada edad de ensayo serán fracturados dentro el tiempo permisible de tolerancias descritas en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Tolerancia permisible según edad de los ensayos de rotura del concreto para determinar resistencia a la compresión

| EDAD DE ENSAYO | TOLERANCIA PERMISIBLE |
|----------------|-----------------------|
| 24 h | ± 0.5 h o 2.1 % |
| 3 d | ± 2 h o 2.8 % |
| 7 d | ± 6 h o 3.6 % |
| 28 d | ± 20 h o 3.0 % |
| 90 d | ± 48 h o 2.2 % |

Fuente: Norma NTP 339.034:2008

Elaboración: los autores

Cuarto paso: colocar el bloque de rotura inferior, sobre el cabezal de la máquina de ensayo. El bloque de rotura superior directamente bajo la rótula del cabezal. Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y las de la probeta de ensayo y colocar el cilindro sobre el bloque inferior de rotura. Cuidadosamente alinear los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque asentado. Antes de realizar el ensayo verificar que el indicador de carga este en cero.

Quinto paso: aplicar la carga continuamente y sin detenimiento. Lo que implica a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de 0.25 ± 0.05 MPa/s.

Sexto paso: aplicar la carga de compresión mientras el indicador muestra que la carga disminuye constantemente y el espécimen muestra un patrón de fractura bien definido.

4.2.3.4 Cálculo para determinar la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido

Primer paso: calcular la resistencia a la compresión del espécimen por dividir la carga máxima alcanzada por espécimen durante el ensayo entre el área promedio de la sección recta. Se deberá expresar el resultado con una aproximación a 0.1 MPa.

Segundo paso: si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es de 1.75 o menor, corregir el resultado obtenido por un apropiado factor de corrección según **Tabla 19**.

Tabla 19. Factores de corrección según relación longitud/diámetro de los especímenes a ensayar

| L/D | FACTOR |
|------|--------|
| 1.75 | 0.98 |
| 1.50 | 0.96 |
| 1.25 | 0.93 |
| 1.00 | 0.87 |

Fuente: Norma NTP 339.034:2008

Elaboración: los autores

Tercer paso: si es conveniente se deberá describir el tipo de falla de acuerdo a la **Figura 22**.

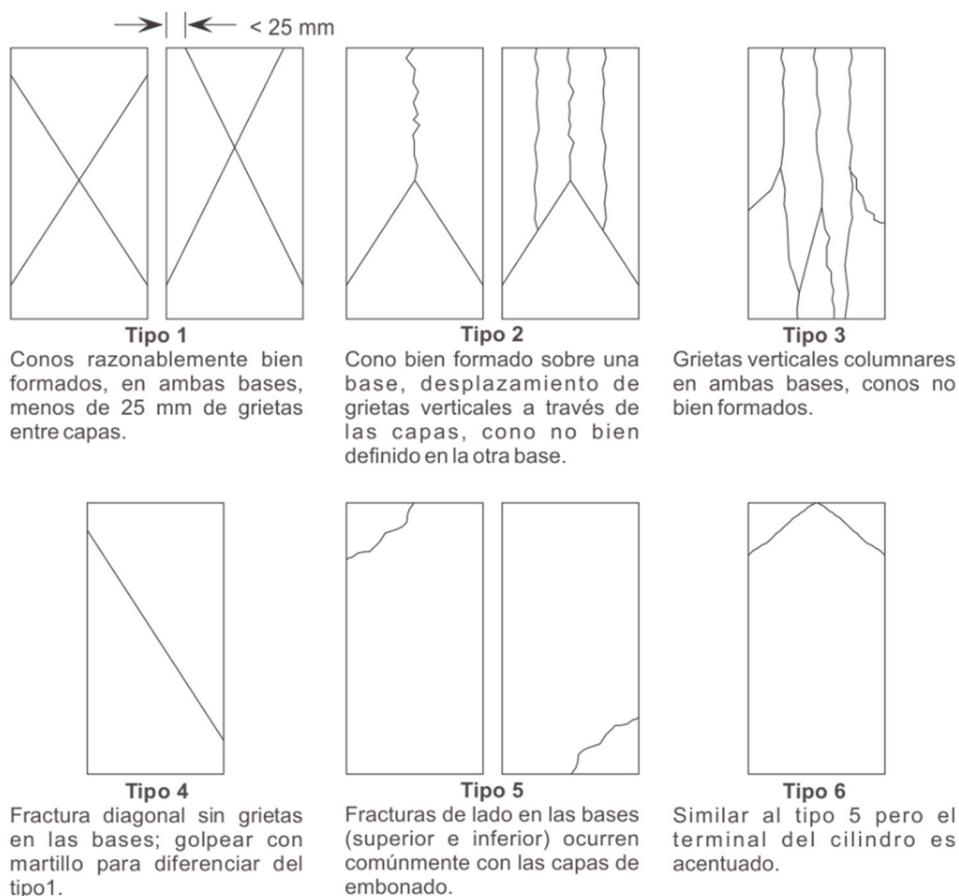


Figura 22. Tipos de posibles fallas en la ruptura de muestras para determinar la resistencia a la compresión

Fuente: Norma NTP 339.034:2008

Elaboración: los autores

4.2.3.5 Expresión de resultados

Se deberá reportar la siguiente información: número de identificación, resistencia a la compresión calculado con aproximación a 0.1 MPa, edad del espécimen y tipo de falla si es necesario.

4.2.4 Ensayo de resistencia a la flexión

La Norma Técnica Peruana NTP 339.078, menciona que este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión de especímenes preparados y curados, los resultados se calculan y reportan como el módulo de rotura. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz libre de la viga de concreto (**Figura 23**) hasta que ocurra la falla, los

resultados se calculan y se reportan como el módulo de rotura, este se calculará según la ubicación de la falla: dentro del tercio medio o a una distancia de éste no mayor del 5% de la luz libre. (NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo., 2012)

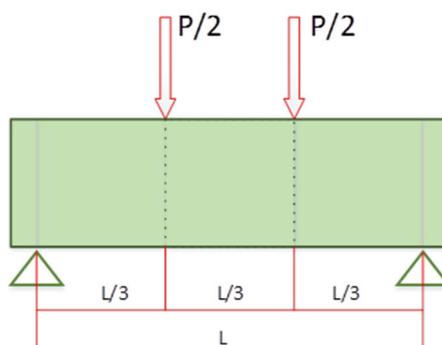


Figura 23. Representación de la aplicación de cargas en el ensayo de resistencia a la flexión para una viga de concreto Norma NTP 339.07:2008
Fuente: Dibujo por los autores.
Elaboración: los autores

Así mismo, la resistencia varía debido a los tamaños del espécimen, a su preparación o a las condiciones de humedad.

4.2.4.1 Equipos e instrumentos empleados para determinar el ensayo de la resistencia a la flexión del concreto en estado endurecido

La Norma Técnica Peruana NTP 339.078, comenta sobre los equipos e instrumentos lo siguiente:

Máquina de ensayo, debe cumplir los requisitos de las secciones sobre la base de la verificación, correcciones, e intervalo de tiempo entre verificaciones, según ASTM E 4. No están permitidas las máquinas de ensayo manuales que funciona con bombas que no aplican una carga continua en una sola carrera del pistón. Son permitidas las motobombas o bombas manuales de desplazamiento positivo, con volumen suficiente para completar el ensayo en una sola carrera del pistón sin necesidad de reabastecimientos.

Deberá ser capaz de aplicar cargas a una velocidad uniforme, sin golpes ni interrupciones. Ver **Figura 24**.



Figura 24. Máquina empleada durante el ensayo para determinar la resistencia a la flexión para una viga de concreto [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Aparatos de carga, se emplean placas de apoyo (**Figura 25**) las que aseguran que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara de la probeta y debe aplicarse sin excentricidad. Todos los aparatos para hacer el ensayo deben ser capaces de mantener constante la longitud del tramo especificado y las distancias entre placas de carga dentro de ± 1.0 mm. La relación de la distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y el punto de aplicación de la reacción más cercana a la profundidad de la viga deberá ser de $1.0 \text{ mm} \pm 0.03 \text{ mm}$. El aparato deberá mantener constante la distancia entre apoyos y la distancia entre placas de carga, con una aproximación de 2.0 mm. La carga deberá aplicarse perpendicularmente a la cara superior de la viga de manera tal que evite toda excentricidad. La dirección de las reacciones deberá ser paralelas a la dirección de la carga aplicada mientras se realice la prueba. La carga deber ser incrementada gradualmente y sin impacto. La relación entre la distancia desde el punto de aplicación de la carga a su reacción más cercana y la altura de la viga no debe ser menor que la unidad.



Figura 25. Aparatos de carga empleados en el ensayo para determinar la resistencia a la flexión para una viga de concreto
[Fotografía de Gina Quispe].
(Lima. 2018).

4.2.4.2 Muestreo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en estado endurecido

Los especímenes de ensayo deberán cumplir conforme mencione la norma NTP 339.078, en la cual se menciona que la viga tendrá una luz libre entre apoyos equivalente a tres veces su altura con una tolerancia del 2 % y las caras laterales de la viga formarán ángulos rectos con las caras superior e inferior de la misma; todas las superficies deberán ser lisas y libres de asperezas, porosidad o marcas de identificación no apropiadas.

4.2.4.3 Procedimiento para determinar la resistencia a la flexión del concreto en estado endurecido

Primer paso: se realizará tan pronto como sea posible, luego de retirar la viga de la cámara de curado. Las vigas con superficie seca arrojan resultados menores en mediciones del módulo de rotura.

Segundo paso: la viga se asegura sobre uno de los lados con respecto a la posición de moldeado y se centra sobre las placas de apoyo.

Tercer paso: se centra el sistema de aplicación de carga en relación con la fuerza aplicada. Se colocan los bloques a los cuales se aplicará la carga en contacto con la superficie de la muestra en los tercios de la luz de viga y aplicar una carga entre 3 % y 6 % de la carga de rotura estimada.

Cuarto paso: se debe utilizar medidores de espesores tipo láminas de 0.10 mm y 0.40 mm, para determinar si algún espacio existente entre la muestra y el bloque de carga o los de soporte, es mayor o menor que cada uno de los medidores de espesor en una longitud de 25 mm o más. Si no se obtiene un contacto completo entre la viga y los bloques de aplicación de la carga, será necesario lijar o poner una cuña de cuero y seguir con las recomendaciones mencionadas en la Norma Técnica Peruana NTP 339.078.

Quinto paso: se aplica la carga al espécimen de forma continua y sin impactos. La carga se aplica a una velocidad constante hasta el punto de ruptura. Se debe aplicar la carga a una velocidad que incremente constantemente la resistencia de la fibra extrema, entre 0.86 MPa/min y 1.2 MPa/min, hasta producir la rotura de la viga.

$$r = \frac{Sbd^2}{L}$$

Ecuación 8. Fórmula para determinar la relación de carga en N/min

Donde:

- r : es la relación de carga, en N/min.
- S : es la tasa de incremento de la tensión máxima en la cara de tracción, en MPa/min.
- b : es el ancho promedio de la viga según lo disposición para el ensayo, en mm.
- d : es la altura promedio de la viga según lo disposición para el ensayo, en mm.
- L : es la longitud del tramo, en mm.

Sexto paso: tomar las mediciones a través de una de las caras fracturas después de la prueba. El ancho y profundidad se miden en la muestra conforme se dispuso para el ensayo. Para cada dimensión, tomar una medición en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Tomar tres medidas a lo largo de cada dimensión (una en cada extremo y al centro), para determinar el ancho promedio, altura promedio y ubicación de línea de

fractura de la viga en la sección de falla. Tomar todas las medidas con una precisión de 1 mm.

4.2.4.4 Cálculo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en estado endurecido

Primer paso: revisar si la falla se origina en el tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calculará de la siguiente manera.

$$M_r = \frac{PL}{bh^2}$$

Ecuación 9. Fórmula para determinar el módulo de rotura cuando la falla se origina dentro del tercio medio de la luz

Donde:

- M_r : es el módulo de rotura, en MPa.
- P : es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N.
- L : es la luz libre entre apoyos, en mm.
- b : es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm.
- h : es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

Segundo paso: revisar si la falla se origina fuera del tercio medio de la luz y a una distancia de éste no mayor del 5.0% de la luz libre, el módulo de rotura se calculará de la siguiente manera.

$$M_r = \frac{3Pa}{bh^2}$$

Ecuación 10. Fórmula para determinar el módulo de rotura cuando la falla se origina fuera del tercio medio de la luz

Donde:

- M_r : es el módulo de rotura, en MPa.
- P : es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N.
- a : es la distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en mm.
- b : es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en mm.
- h : es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en mm.

Tercer paso: revisar si la falla ocurre fuera del tercio y a una distancia de éste mayor del 5.0% de la luz libre, se rechazará el ensayo.

4.2.4.5 Expresión de resultados

Se deberá reportar la siguiente información: número de identificación de la viga, ancho y altura promedio con aproximación de 1 mm, luz libre entre apoyos en mm, carga máxima aplicada en N, módulo de rotura en MPa con una aproximación de 0.05 MPa y edad de la viga.

4.3 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Se empleará hoja de cálculo de Microsoft Excel para el procesamiento de datos y se considerarán las recomendaciones brindadas en la Norma E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones para el manejo de resultados sobre resistencia a la compresión en la cual se requieren al menos treinta (30) ensayos a veintiocho (28) días para asegurar la validez y confiabilidad de los resultados a compresión.

Para los ensayos de peso unitario no se cuenta con recomendaciones por lo que se realizará un ensayo en estado fresco por cada dosificación realizada. Así mismo, para la dosificación final se analizarán probetas sin curar para verificar la variación del peso unitario a 28 días.

CAPÍTULO V

RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 Desarrollo de la investigación

En la presente investigación, se detalla paso a paso la realización de todos los ensayos que fueron necesarios para poder determinar una dosificación óptima, de la cual se obtiene las muestras para analizar el peso unitario, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión en la presente investigación.

5.1.1 Análisis granulométrico

5.1.1.1 Análisis granulométrico de los agregados

Muestreo

Se procedió con realizar el muestreo (**Figura 26**) de agregados (arena y arcilla expandida) para realizar el debido análisis granulométrico.



Figura 26. Muestreo de agregados
[Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

El tamaño de las muestras (**Figura 27** y **Figura 28**) empleadas en el análisis granulométrico se detalla en la **Tabla 20**

Tabla 20. Muestras para análisis granulométrico

| MATERIAL | MUESTRA REQUERIDA | MUESTRA EMPLEADA |
|-------------------|-------------------|------------------|
| Arcilla expandida | 2000 gr | 2188.30 gr |
| Arena | 300 gr | 677.10 gr |

Elaboración: los autores



Figura 27. Muestra arcilla expandida para granulometría [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Figura 28. Muestra arena para granulometría [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Primer paso: se procedió con el secado de las muestras en el horno a una temperatura constante de 110 °C. Ver **Figura 29**.



Figura 29. Ingreso de muestras al horno para ser secadas [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Segundo paso: se seleccionaron los tamaños de tamices (**Figura 30** y **Figura 31**) adecuados para cada análisis granulométrico (agregado fino y grueso) según lo indicado en la **Tabla 8** y la **Tabla 9**.



Figura 30. Tamices para tamizado de agregado fino [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Figura 31. Tamices para tamizado de agregado grueso
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Tercer paso: se añadió el agregado en los tamices apilados según su tamaño para proceder con el tamizado. Ver **Figura 32.**



Figura 32. Agregado fino siendo añadido en tamices debidamente apilados
[Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Cuarto paso: se realizó el tamizado con un agitador mecánico de tamices durante tres (3) minutos. Ver **Figura 33.**



Figura 33. Agitador mecánico de tamices con agregado fino
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Quinto paso: finalmente se procedió con el pesaje de material retenido en cada tamiz y el pesaje del material en conjunto (**Tabla 21** y **Tabla 22**) y así poder graficar las respectivas curvas granulométricas.

Tabla 21. Resultados de granulometría arcilla expandida

| GRANULOMETRÍA ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | |
|---------------------------------|---------------------|----------------|----------|--------------------|-------------------|------------------------|----------|----------|
| Tamiz | PARÁMETROS NORMADOS | | | ENSAYO LABORATORIO | | | Pasa (%) | |
| | Abertura Malla (mm) | ASTM C330 - 05 | | Peso Retenido (g) | Retenido (%) | Retenido Acumulado (%) | | |
| | | Inferior | Superior | | | | | |
| TM | 3/4" | 19.00 | 100% | 100% | 0.00 gr | 0.000% | 0.000% | 100.000% |
| TMN | 1/2" | 12.50 | 90% | 100% | 203.86 gr | 9.316% | 9.316% | 90.684% |
| | 3/8" | 9.50 | 40% | 80% | 895.37 gr | 40.916% | 50.232% | 49.768% |
| | N°4 | 4.75 | 0% | 20% | 1083.65 gr | 49.520% | 99.752% | 0.248% |
| | N°8 | 2.36 | 0% | 10% | 0.68 gr | 0.031% | 99.783% | 0.217% |
| | N°200 | 0.075 | 0% | 10% | 4.74 gr | 0.217% | 100.000% | 0.000% |
| Total Muestra | | | | | 2188.30 gr | 100.000% | | |

Elaboración: los autores

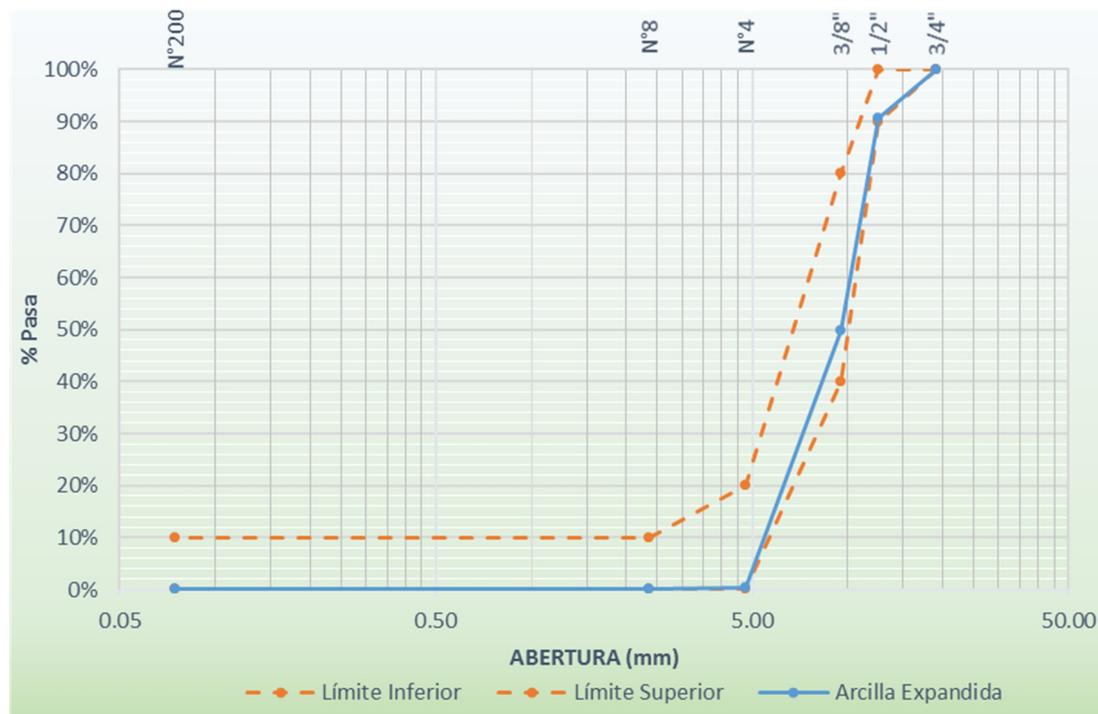


Figura 34. Curva granulométrica del agregado grueso, arcilla expandida

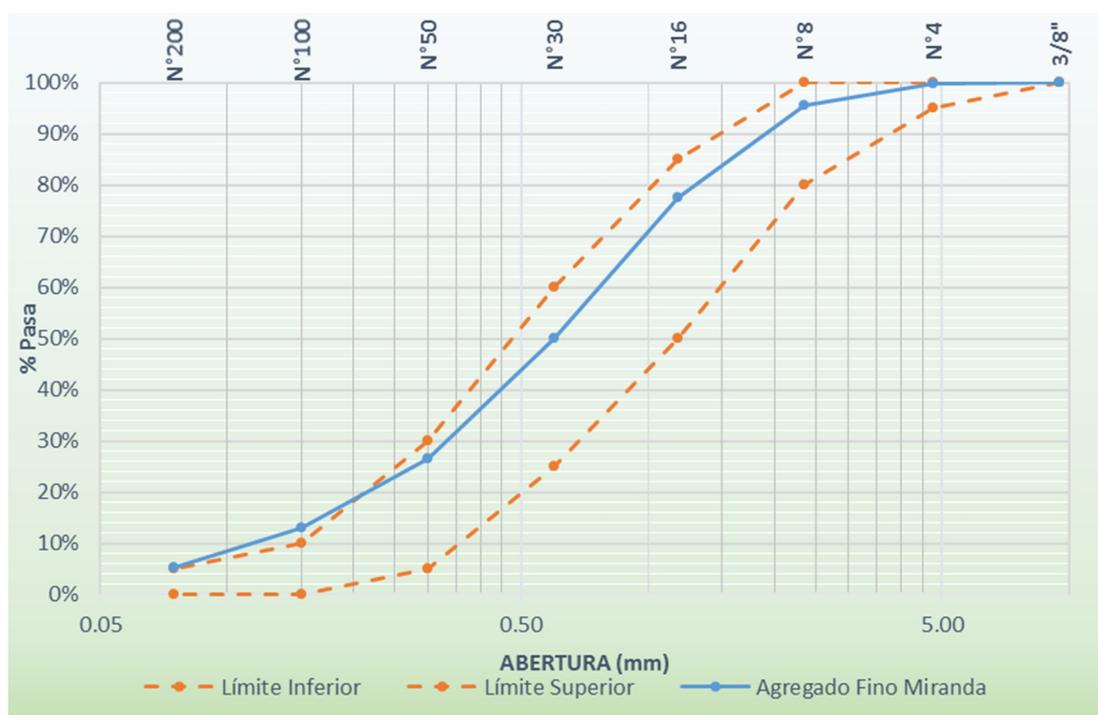
Elaboración: los autores

Como se puede observar en la **Figura 34** la granulometría se encuentra dentro de los parámetros recomendados en la norma ASTM C330 – 05 para agregados livianos.

Tabla 22. Resultados de granulometría arena Miranda

| | GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO "MIRANDA" | | | | ENSAYO LABORATORIO | | | Pasa (%) |
|----------------------|---------------------------------------|----------|------------------|------|--------------------|-----------------|------------------------|----------|
| | PARÁMETROS NORMADOS | | NTP 400.037:2018 | | Peso Retenido (g) | Retenido (%) | Retenido Acumulado (%) | |
| Tamiz | Abertura Malla (mm) | Inferior | Superior | | | | | |
| TM | 3/8" | 9.50 | 100% | 100% | 0.00 gr | 0.000% | 0.000% | 100.000% |
| TMN | N°4 | 4.75 | 95% | 100% | 0.50 gr | 0.074% | 0.074% | 99.926% |
| | N°8 | 2.36 | 80% | 100% | 29.20 gr | 4.313% | 4.386% | 95.614% |
| | N°16 | 1.18 | 50% | 85% | 121.90 gr | 18.003% | 22.390% | 77.610% |
| | N°30 | 0.600 | 25% | 60% | 186.10 gr | 27.485% | 49.874% | 50.126% |
| | N°50 | 0.300 | 5% | 30% | 159.80 gr | 23.601% | 73.475% | 26.525% |
| | N°100 | 0.150 | 0% | 10% | 92.00 gr | 13.587% | 87.062% | 12.938% |
| | N°200 | 0.075 | 0% | 5% | 51.30 gr | 7.576% | 94.639% | 5.361% |
| | Fondo | 0.00 | 0% | 5% | 36.30 gr | 5.361% | 100.000% | 0.000% |
| Total Muestra | | | | | 677.10 gr | 100.000% | M.F= 2.37 | |

Elaboración: los autores

**Figura 35.** Curva granulométrica del agregado fino, arena Miranda

Elaboración: los autores

Como se puede observar en la **Figura 35** la granulometría se encuentra dentro (en su mayoría de tamices) de los parámetros recomendados en la norma NTP 400.037:2018 para agregados finos.

5.1.2 Ensayo de absorción y humedad de los agregados

5.1.2.1 Ensayo de absorción y humedad del agregado grueso liviano (arcilla expandida)

Muestreo

Se procedió con la toma de una muestra de 396.50 gramos (**Figura 36**) de agregado grueso (arcilla expandida).



Figura 36. Muestreo para absorción del agregado grueso liviano
[Fotografía de Jonatán Vera].
(Lima. 2018).

Primer paso: se sumergió la muestra de agregado grueso liviano durante aproximadamente $72 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ en agua a temperatura ambiente. Ver **Figura 37**.



Figura 37. Agregado grueso liviano sumergido en agua
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Segundo paso: luego de ese período, se decantó el exceso de agua y se transfirió la muestra al tazón o colador de la centrífuga. Se procedió con la

activación de la centrifuga incrementando gradualmente la velocidad hasta 500 rpm., el tiempo que estuvo activa la centrifuga fue de 20 minutos. Ver **Figura 38**.



Figura 38. Agregado grueso liviano colocado en centrifuga luego de 72 horas sumergido en agua [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Tercer paso: se retiró la muestra y pesó para determinar el peso Saturado Superficialmente Seco (SSS). Ver **Figura 39**.



Figura 39. Medición de la masa del agregado grueso liviano luego de ser sacado de la centrifuga (20 minutos a 500 rpm) [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Cuarto paso: se procedió a secar la muestra a temperatura constante de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. durante aproximadamente 24 horas. Ver **Figura 40**.



Figura 40. Secado del agregado grueso en el horno a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
[Fotografía de Jonatán Vera].
(Lima. 2018).

Quinto paso: luego de secar la muestra se midió el peso seco de la muestra para finalmente realizar los cálculos respectivos, obteniendo finalmente los resultados de la **Tabla 23**.

Tabla 23. Resultados de ensayo %absorción y %humedad arcilla expandida

| INFORMACIÓN | MUESTRA ARCILLA EXPANDIDA |
|--------------------------------------|---------------------------|
| Peso Tara | 187.50 gramos |
| Agregado Analizado | arcilla expandida |
| Peso Húmedo | 396.50 gramos |
| Peso bandeja + Material Seco | 584.00 gramos |
| Peso Seco | 396.50 gramos |
| % Humedad arcilla expandida | 0.00 % |
| Peso Saturado Superficialmente Seco | 499.45 gramos |
| % Absorción arcilla expandida | 25.96 % |

Elaboración: los autores

5.1.2.2 Ensayo de absorción del agregado fino (arena miranda)

Primer paso: se secó al horno una muestra de ensayo a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas y luego se determinó su masa.

Segundo paso: se sumergió en agua durante 24 h (**Figura 41**) para determinar luego la masa en estado saturado superficialmente seco (**Figura 42**), obteniendo así los resultados de la **Tabla 24**.



Figura 41. Agregado fino sumergido en agua luego de ser secado en el horno a 110 °C [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Figura 42. Agregado fino en estado saturado superficialmente seco [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Tabla 24. Resultados de ensayo %absorción del agregado fino (arena Miranda)

| INFORMACIÓN | MUESTRA ARENA MIRANDA |
|-------------------------------------|-----------------------|
| Peso Tara | 187.50 gramos |
| Agregado Analizado | Arena Miranda |
| Peso bandeja + Material Seco | 864.60 gramos |
| Peso Seco | 677.10 gramos |
| Peso Saturado Superficialmente Seco | 684.14 gramos |
| % Absorción arena Miranda | 1.04 % |

Elaboración: los autores

5.1.2.3 Ensayo de humedad del agregado fino (arena miranda)

Los ensayos de humedad se realizaron inmediatamente antes de comenzar con la dosificación del concreto con agregado liviano, esto se debe a que para cada dosificación se realiza la debida corrección por humedad.

Por motivos de practicidad se detallarán los pasos de un ensayo de humedad, debido a que las dosificaciones se realizaron días diferentes se tuvo que realizar un ensayo de humedad por dosificación presentada en la presente investigación.

Primer paso: se toma una muestra representativa de agregado aproximadamente 20 kilogramos y se mezcla hasta homogeneizarla.

Segundo paso: de la mezcla homogeneizada se empleará 500 gramos para ser pesados y será nuestra masa en estado húmedo.

Tercer paso: se procede con el secado en la sartén hasta que la muestra no presente indicios de humedad o evaporización empleando un vidrio sobre el recipiente en la sartén.

Cuarto paso: se procede a expandir en un recipiente la muestra caliente hasta que se enfríe hasta unos 50 °C y la muestra pueda ser maniobrada sin correr riesgo de quemaduras. Se procede con la medición de su masa y finalmente se determina el %humedad empleando la **Ecuación 3.** de la presente investigación. Los resultados obtenidos se detallan en la **Tabla 25.**

Tabla 25. Resultados de ensayo %humedad del agregado fino (arena Miranda)

| INFORMACIÓN | MUESTRA ARENA MIRANDA |
|------------------|-----------------------|
| % Humedad ID-422 | 0.28% |
| % Humedad ID-426 | 0.40% |
| % Humedad ID-427 | 0.40% |
| % Humedad ID-441 | 0.88% |
| % Humedad ID-442 | 0.88% |
| % Humedad ID-461 | 0.54% |
| % Humedad ID-471 | 1.64% |
| % Humedad ID-479 | 1.91% |
| % Humedad ID-482 | 1.50% |

Elaboración: los autores

5.1.3 Ensayo de gravedad específica en estado saturado superficialmente seco

Para realizar la dosificación se requiere del factor de gravedad específica en estado saturado superficialmente seco, debido a que con esta información podemos controlar el volumen de materiales hasta alcanzar la unidad de diseño la cual vendría a ser un metro cúbico de concreto.

5.1.3.1 Ensayo de gravedad específica del agregado grueso (arcilla expandida)

Para el presente ensayo se requieren tres datos importantes del agregado que son: masa de la muestra en estado saturado superficialmente seca, masa de la fiola llena de agua hasta la marca de calibración y finalmente la masa de la fiola llena hasta la marca de calibración, pero con la masa del agregado saturado superficialmente seco para poder emplear la **Ecuación 4**.

Primer paso: se determina la masa del agregado en estado saturado superficialmente seco a emplear en el ensayo. Ver **Figura 43**.

Segundo paso: se determina la masa de la fiola llena de agua a temperatura de ambiente hasta la marca de calibración, asegurándonos de extraer todas las burbujas de aire atrapado posible en el agua. Ver **Figura 44**.



Figura 43. Muestra de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

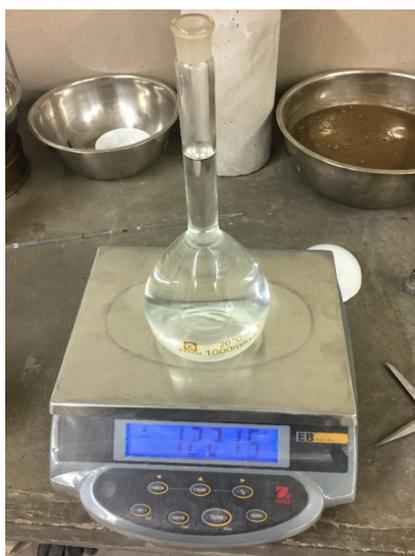


Figura 44. Fiola llena de agua hasta el punto de calibración [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

Tercer paso: se añade la muestra de agregado grueso a la fiola con agua para evitar un posible daño irreparable al frasco y se determinará la masa de la fiola con la muestra. Ver **Figura 45**.



Figura 45. Muestra de agregado grueso en estado saturado superficialmente seco dentro de fiola con agua hasta la marca de calibración [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

5.1.3.2 Ensayo de gravedad específica del agregado fino (arena miranda)

Para el presente ensayo el procedimiento se repite tal cual en el ensayo del agregado grueso.

Primer paso: se determina la masa del agregado en estado saturado superficialmente seco a emplear en el ensayo.

Segundo paso: se determina la masa de la fiola llena de agua a temperatura de ambiente hasta la marca de calibración, asegurándonos de extraer todas las burbujas de aire atrapado posible en el agua.

Tercer paso: se añade la muestra de agregado fino a la fiola (**Figura 46**) con agua para evitar un posible daño irreparable al frasco y se determinará la masa de la fiola con la muestra (**Figura 47**).



Figura 46. Muestra de agregado fino en estado saturado superficialmente siendo añadido lentamente en la fiola con agua para evitar dañar el frasco [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

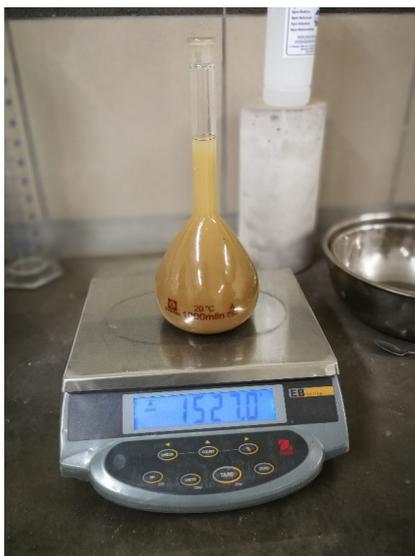


Figura 47. Muestra de agregado fino en estado saturado superficialmente seco dentro de fiola con agua hasta la marca de calibración [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

Una vez obtenido los respectivos datos de los agregados se obtuvieron los resultados de la **Tabla 26**.

Tabla 26. Resultados de ensayo gravedad específica de los agregados

| INFORMACIÓN | RESULTADOS |
|--|------------|
| Gravedad específica de arcilla Expandida | 0.961 |
| Gravedad específica de arena | 2.700 |

Elaboración: los autores

5.1.4 Dosificación del concreto elaborado con arcilla expandida

Las dosificaciones empleadas en la presente investigación están divididas en dos etapas. La etapa inicial está definida por el empleo de la densidad relativa brindada por el fabricante del agregado liviano y la segunda etapa está conformada por las dosificaciones en las cuales se empleó la densidad relativa saturada superficialmente seca.

5.1.4.1 Proporción inicial para dosificaciones del concreto

Para determinar la proporción inicial se parte del método ACI 211.2.

Primer paso: se determinó el slump requerido de 5 a 6", de la **Tabla 12**.

Segundo paso: de la granulometría se obtuvo ½ pulgada como tamaño máximo nominal del agregado liviano.

Tercer paso: se determinó la cantidad de agua a emplear a partir de la **Tabla 12** siendo 222 litros requeridos, sin embargo, se emplearán 220 litros de agua.

Cuarto paso: la relación agua/cemento para una resistencia requerida de 24 MPa obtenida mediante interpolación es de 0.63 según **Tabla 13**.

Quinto paso: la cantidad de cemento a emplear en la proporción inicial será de 350 kilogramos de cemento, partiendo de la relación a/c previamente obtenida de 0.63.

Sexto paso: en la presente investigación se empleará una distribución equitativa de los agregados, siendo 50% agregado liviano y 50% agregado fino.

5.1.4.2 Dosificaciones iniciales empleando una densidad de 450 kg/m³

A continuación, se presentará las dosificaciones realizadas con su respectiva codificación (**Tabla 27**). Las dosificaciones consideraron una densidad de 450 kg/m³, no se tenía en cuenta si dicha densidad relativa estaba en estado saturado o seco.

Tabla 27. Tabla de dosificaciones iniciales considerando densidad del agregado grueso igual a 450 kg/m³

| CÓDIGO | ID-422 | ID-426 | ID-427 | ID-442 | ID-461 |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Cemento | 350 | 350 | 300 | 280 | 280 |
| Agua | 220 | 130 | 130 | 130 | 130 |
| Relación A/C | 0.63 | 0.37 | 0.43 | 0.46 | 0.46 |
| % Arena Gruesa Miranda | 50% | 50% | 45% | 45% | 45% |
| % Arcilla Expandida | 50% | 50% | 55% | 55% | 55% |
| Arena Gruesa Miranda | 892.77 | 948.4 | 873.95 | 880.35 | 880.35 |
| Arcilla Expandida | 148.79 | 158.07 | 178.03 | 179.33 | 179.33 |
| % Plastiment TM30 | 0.40% | 0.00% | 0.00% | 0.60% | 0.60% |
| % Sikament TM100 | 0.80% | 0.80% | 0.80% | 0.80% | 0.80% |
| Peso Unitario Teórico | 1615.8 | 1589.3 | 1484.4 | 1473.65 | 1473.65 |
| Peso Unitario Estado Fresco | 1772.4 | 1783.7 | 1722.6 | 1907.40 | 1921.65 |
| Rendimiento | 0.91 | 0.89 | 0.86 | 0.77 | 0.77 |

Elaboración: los autores

5.1.4.3 Dosificaciones optimizadas empleando una densidad saturada superficialmente seca de 961 kg/m³

Luego de realizar las 5 primeras dosificaciones y tras observar que el rendimiento se encontraba alejándose cada vez más del metro cúbico de diseño, se procedió a revisar la información y se llegó a la conclusión que se requería dosificar con la densidad saturada superficialmente seca, la cual es de 961 kg/m³ para el agregado liviano. Se realizaron mejoras en el rendimiento de las dosificaciones a partir del cambio. Ver **Tabla 28**.

Respecto a la dosificación ID-471 (dosificación de prueba) presenta observaciones durante el proceso de elaboración las cuales aclara que no fue necesaria la utilización total del agua de diseño (130 litros) y tampoco se requirió el uso de Sikament TM100 por lo que las dosificaciones ID-479 e ID-482 (dosificaciones finales) muestran variaciones respecto a la ID-471, pero en la presente investigación se considerarán como una sola dosificación.

Tabla 28. Tabla de dosificaciones optimizadas empleando una densidad del agregado liviano igual a 961 kg/m³

| CÓDIGO | ID-471 | ID-479 | ID-482 |
|-----------------------------|---------|---------|---------|
| cemento | 280 | 280 | 280 |
| agua | 130 | 115 | 115 |
| relación a/c | 0.46 | 0.41 | 0.41 |
| % arena gruesa Miranda | 35% | 35% | 35% |
| % arcilla expandida | 65% | 65% | 65% |
| arena gruesa Miranda | 684.71 | 700.67 | 702.04 |
| arcilla expandida | 452.60 | 463.14 | 464.05 |
| % Plastiment tm30 | 0.40% | 0.60% | 0.00% |
| % Sikament tm100 | 0.80% | 0.00% | 0.00% |
| peso unitario teórico | 1551.28 | 1560.54 | 1561.13 |
| peso unitario estado fresco | 1589.74 | 1537.04 | 1620.98 |
| rendimiento | 0.98 | 1.02 | 0.96 |

Elaboración: los autores

5.2 Resultados obtenidos

5.2.1 Ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco

Luego de realizar las dosificaciones se procedió a realizar ensayo de peso unitario de cada concreto en estado fresco según los tipos de dosificaciones realizadas; se realizaron dosificaciones iniciales con una densidad relativa igual a 0.450 y también con una densidad relativa saturada igual a 0.961 como se puede observar en la **Figura 48**.

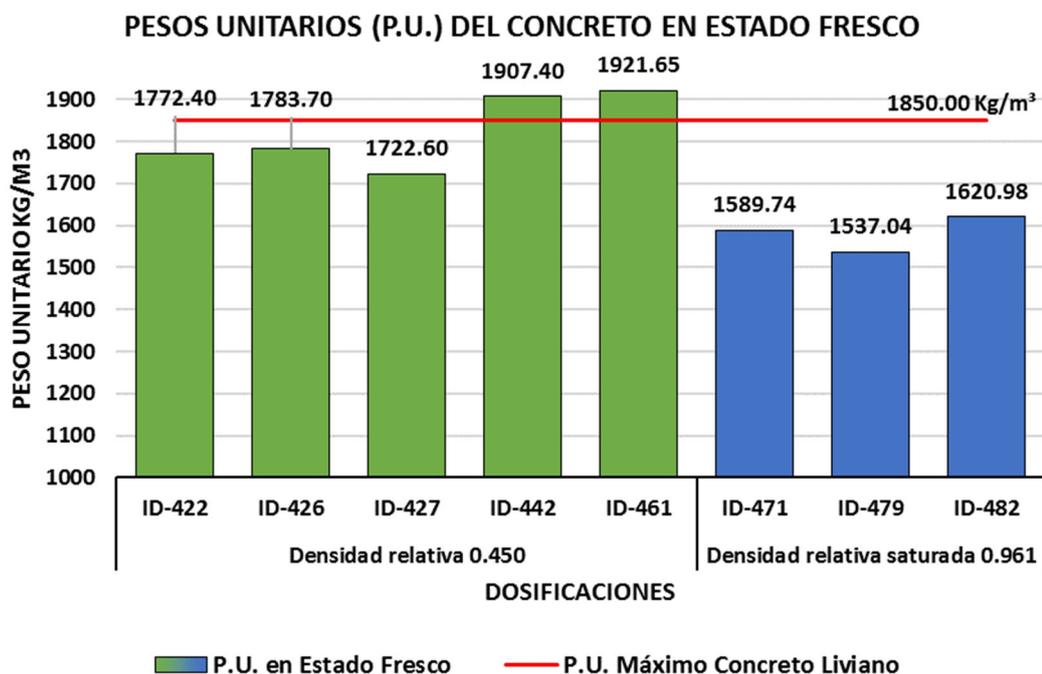


Figura 48. Gráfica de los pesos unitarios en estado fresco de las correspondientes dosificaciones realizadas durante la investigación y el límite máximo permitido de peso unitario para concretos livianos (1850 kg/m³)

Elaboración: los autores

5.2.2 Ensayo de peso unitario del concreto en estado seco

Se están empleando dos muestras después del moldeo que serán puestas a secar durante 28 días y se irá midiendo su masa para poder observar la evolución del peso unitario del concreto en estado seco. Estas muestras se obtuvieron de las dosificaciones ID-461, ID-471 e ID-479.

Tabla 29. Tabla de evolución de pesos unitarios del concreto en estado seco ID-461

| NÚMERO DE MUESTRA | | 1 | 2 |
|-----------------------|--|--|--|
| Longitud muestra | | 0.2096 m | 0.2086 m |
| Diámetro inicial | | Do = 0.1028 m | Do = 0.1033 m |
| Diámetro medio | | D1 = 0.1033 m | D1 = 0.1031 m |
| Diámetro final | | D2 = 0.1034 m | D2 = 0.1030 m |
| Área promedio | | ÁREA = 0.00835 m ² | ÁREA = 0.00835 m ² |
| Volumen | | VOLUMEN = 0.00175 m³ | VOLUMEN = 0.00174 m³ |
| Fecha de dosificación | | 26/04/2018 | |

| Días | Fecha Muestra | PESOS POR DOSIFICACIÓN | | PESOS UNITARIOS | | |
|------|---------------|------------------------|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | ID - 461 :18 | ID - 461 :27 | ID - 461 : 1 | ID - 461 : 2 | ID - 461 : PROM |
| 0 | 26/04/2018 | | | 1921.65 kg/m ³ | 1921.65 kg/m ³ | 1921.65 kg/m ³ |
| 11 | 07/05/2018 | 3.35720 kg | 3.21570 kg | 1917.33 kg/m ³ | 1845.92 kg/m ³ | 1881.63 kg/m ³ |
| 13 | 09/05/2018 | 3.35330 kg | 3.21220 kg | 1915.11 kg/m ³ | 1843.91 kg/m ³ | 1879.51 kg/m ³ |
| 15 | 11/05/2018 | 3.34770 kg | 3.20900 kg | 1911.91 kg/m ³ | 1842.08 kg/m ³ | 1876.99 kg/m ³ |
| 18 | 14/05/2018 | 3.34230 kg | 3.20410 kg | 1908.83 kg/m ³ | 1839.26 kg/m ³ | 1874.04 kg/m ³ |
| 21 | 17/05/2018 | 3.33760 kg | 3.20070 kg | 1906.14 kg/m ³ | 1837.31 kg/m ³ | 1871.73 kg/m ³ |
| 28 | 24/05/2018 | 3.32640 kg | 3.19060 kg | 1899.74 kg/m ³ | 1831.51 kg/m ³ | 1865.63 kg/m ³ |
| 32 | 28/05/2018 | 3.32530 kg | 3.18930 kg | 1899.12 kg/m ³ | 1830.77 kg/m ³ | 1864.94 kg/m ³ |
| 34 | 30/05/2018 | 3.32500 kg | 3.18900 kg | 1898.94 kg/m ³ | 1830.60 kg/m ³ | 1864.77 kg/m ³ |
| 36 | 01/06/2018 | 3.32450 kg | 3.18880 kg | 1898.66 kg/m ³ | 1830.48 kg/m ³ | 1864.57 kg/m ³ |

Elaboración: los autores

De la **Tabla 29** se obtiene la **Figura 49** que detalla la evolución de la dosificación ID-461 en el tiempo, observando que el peso unitario tiende a disminuir hasta alcanzar un peso estable.

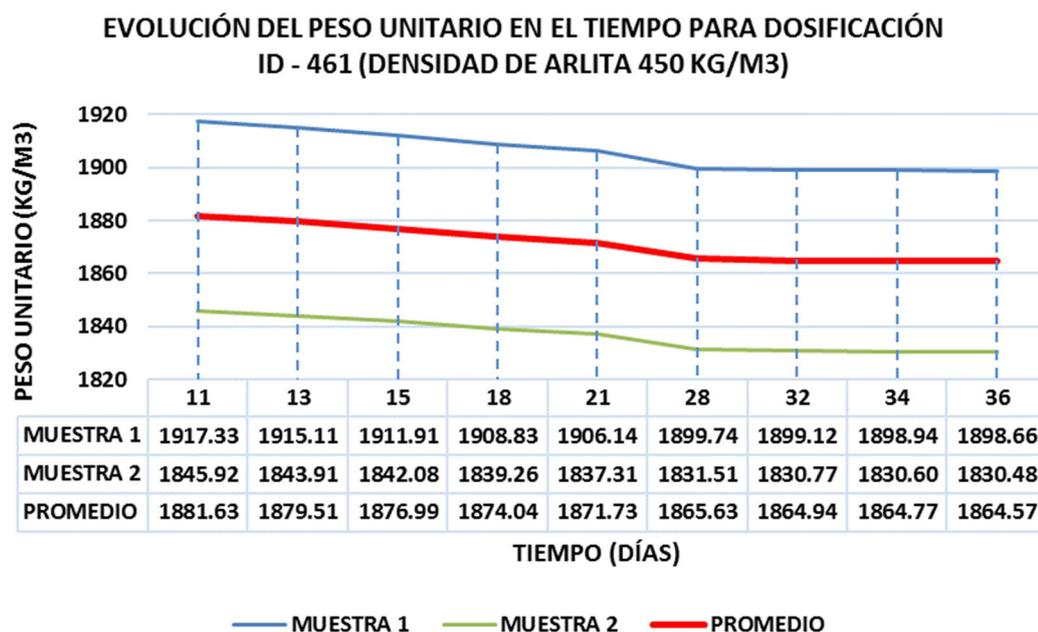


Figura 49. Gráfica de la evolución del peso unitario en el tiempo para la dosificación ID-461

Elaboración: los autores

Tabla 30. Tabla de evolución de pesos unitarios del concreto en estado seco ID-471

| NÚMERO DE MUESTRA | | 1 | 2 | | | |
|-----------------------|---------------|--|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Longitud muestra | | 0.2093 m | 0.2116 m | | | |
| Diámetro inicial | | Do = 0.1015 m | Do = 0.1026 m | | | |
| Diámetro medio | | D1 = 0.1025 m | D1 = 0.1040 m | | | |
| Diámetro final | | D2 = 0.1036 m | D2 = 0.1051 m | | | |
| Área promedio | | ÁREA = 0.00825 m ² | ÁREA = 0.00848 m ² | | | |
| Volumen | | VOLUMEN = 0.00173 m³ VOLUMEN = 0.00179 m³ | | | | |
| Fecha De Dosificación | | 02/05/2018 | | | | |
| Días | Fecha Muestra | PESOS POR DOSIFICACIÓN | | PESOS UNITARIOS | | |
| | | ID - 471 :1 | ID - 471 :2 | ID - 471 :1 | ID - 471 :2 | ID - 471 : PROM |
| 0 | 02/05/2018 | | | 1589.70 kg/m ³ | 1589.70 kg/m ³ | 1589.70 kg/m ³ |
| 2 | 04/05/2018 | 2.68000 kg | 2.72460 kg | 1552.28 kg/m ³ | 1519.04 kg/m ³ | 1535.66 kg/m ³ |
| 5 | 07/05/2018 | 2.62480 kg | 2.66800 kg | 1520.30 kg/m ³ | 1487.48 kg/m ³ | 1503.89 kg/m ³ |
| 7 | 09/05/2018 | 2.61710 kg | 2.65900 kg | 1515.84 kg/m ³ | 1482.46 kg/m ³ | 1499.15 kg/m ³ |
| 9 | 11/05/2018 | 2.60780 kg | 2.65200 kg | 1510.46 kg/m ³ | 1478.56 kg/m ³ | 1494.51 kg/m ³ |
| 12 | 14/05/2018 | 2.60000 kg | 2.64370 kg | 1505.94 kg/m ³ | 1473.93 kg/m ³ | 1489.94 kg/m ³ |
| 15 | 17/05/2018 | 2.59370 kg | 2.63840 kg | 1502.29 kg/m ³ | 1470.98 kg/m ³ | 1486.64 kg/m ³ |
| 22 | 24/05/2018 | 2.58340 kg | 2.62880 kg | 1496.33 kg/m ³ | 1465.63 kg/m ³ | 1480.98 kg/m ³ |
| 26 | 28/05/2018 | 2.58170 kg | 2.62660 kg | 1495.32 kg/m ³ | 1464.40 kg/m ³ | 1479.87 kg/m ³ |
| 28 | 30/05/2018 | 2.58150 kg | 2.62650 kg | 1495.22 kg/m ³ | 1464.34 kg/m ³ | 1479.78 kg/m ³ |
| 30 | 01/06/2018 | 2.58110 kg | 2.62610 kg | 1494.99 kg/m ³ | 1464.12 kg/m ³ | 1479.56 kg/m ³ |

Elaboración: los autores

De la **Tabla 30** se obtiene la **Figura 50** que detalla la evolución de la dosificación ID-471 en el tiempo, observando que el peso unitario tiende a disminuir hasta alcanzar un peso estable.

EVOLUCIÓN DEL PESO UNITARIO EN EL TIEMPO PARA DOSIFICACIÓN ID- 471 (DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA DE ARLITA = 961 KG/M3)

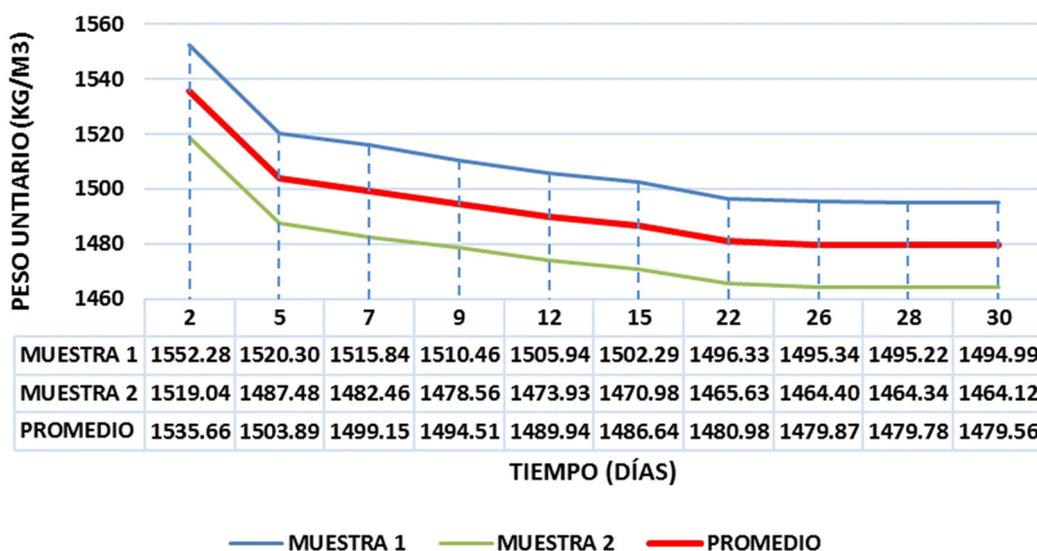


Figura 50. Gráfica de la evolución del peso unitario en el tiempo para la dosificación ID-471
Elaboración: los autores

Tabla 31. Tabla de evolución de pesos unitarios del concreto en estado seco ID-479

| NÚMERO DE MUESTRA | | 1 | 2 |
|-----------------------|--|--|-------------------------------|
| Longitud muestra | | 0.2113 m | 0.212 m |
| Diámetro inicial | | Do = 0.1028 m | Do = 0.1029 m |
| Diámetro medio | | D1 = 0.1034 m | D1 = 0.1031 m |
| Diámetro final | | D2 = 0.1042 m | D2 = 0.1028 m |
| Área promedio | | ÁREA = 0.00840 m ² | ÁREA = 0.00832 m ² |
| Volumen | | VOLUMEN = 0.00177 m³ VOLUMEN = 0.00176 m³ | |
| Fecha De Dosificación | | 04/05/2018 | |

| Días | Fecha Muestra | PESOS POR DOSIFICACIÓN | | PESOS UNITARIOS | | |
|------|---------------|------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | | ID - 479 :1 | ID - 479 :2 | ID - 479 :1 | ID - 479 :2 | ID - 479 : PROM |
| 0 | 04/05/2018 | | | 1537.04 kg/m ³ | 1537.04 kg/m ³ | 1537.04 kg/m ³ |
| 3 | 07/05/2018 | 2.80690 kg | 2.67440 kg | 1581.45 kg/m ³ | 1518.74 kg/m ³ | 1550.09 kg/m ³ |
| 5 | 09/05/2018 | 2.79350 kg | 2.65790 kg | 1573.90 kg/m ³ | 1509.37 kg/m ³ | 1541.64 kg/m ³ |
| 7 | 11/05/2018 | 2.78360 kg | 2.64650 kg | 1568.33 kg/m ³ | 1502.89 kg/m ³ | 1535.61 kg/m ³ |
| 10 | 14/05/2018 | 2.77430 kg | 2.63700 kg | 1563.09 kg/m ³ | 1497.50 kg/m ³ | 1530.29 kg/m ³ |
| 13 | 17/05/2018 | 2.76830 kg | 2.63100 kg | 1559.71 kg/m ³ | 1494.09 kg/m ³ | 1526.90 kg/m ³ |
| 20 | 24/05/2018 | 2.75800 kg | 2.62040 kg | 1553.90 kg/m ³ | 1488.07 kg/m ³ | 1520.99 kg/m ³ |
| 24 | 28/05/2018 | 2.75550 kg | 2.61810 kg | 1552.49 kg/m ³ | 1486.76 kg/m ³ | 1519.63 kg/m ³ |
| 26 | 30/05/2018 | 2.75560 kg | 2.61800 kg | 1552.55 kg/m ³ | 1486.71 kg/m ³ | 1519.63 kg/m ³ |
| 28 | 01/06/2018 | 2.75500 kg | 2.61760 kg | 1552.21 kg/m ³ | 1486.48 kg/m ³ | 1519.35 kg/m ³ |

Elaboración: los autores

De la **Tabla 31** se obtiene la **Figura 51** que detalla la evolución de la dosificación ID-479 en el tiempo, observando que el peso unitario tiende a disminuir hasta alcanzar un peso estable.

EVOLUCIÓN DEL PESO UNITARIO EN EL TIEMPO PARA DOSIFICACIÓN ID - 479 (DENSIDAD SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA DE ARLITA = 961 KG/M³)

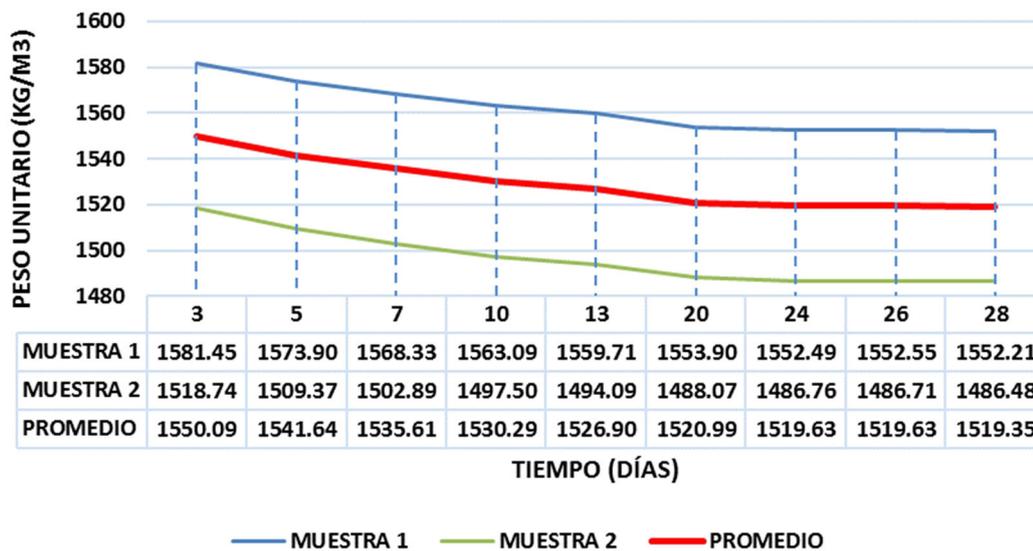


Figura 51. Gráfica de la evolución del peso unitario en el tiempo para la dosificación ID-479
Elaboración: los autores

Como se puede observar de las dosificaciones ID-461, ID-471, ID-479 en todos los casos el peso unitario del concreto en estado seco tiende a disminuir a lo largo del tiempo hasta alcanzar un peso estable final.

Finalmente podemos observar en la **Figura 52** los pesos unitarios finales de las dosificaciones ID – 461, ID – 471, ID – 479.

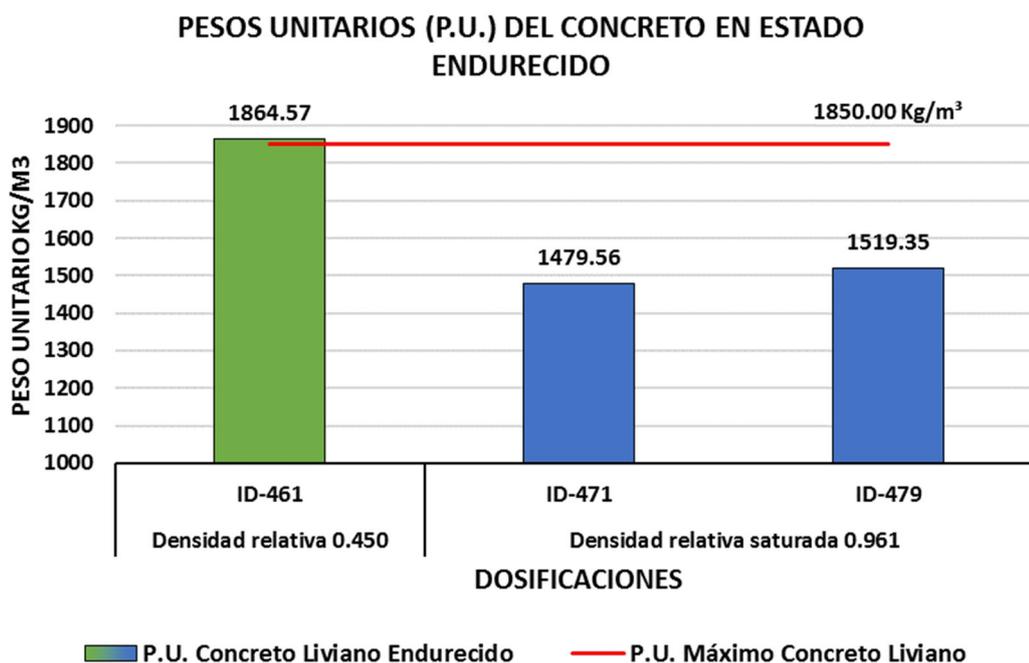


Figura 52. Gráfica de los pesos unitarios en estado seco a 28 días para las dosificaciones 461, 471 y 479

Elaboración: los autores

5.2.3 Ensayo de resistencia a la compresión

5.2.3.1 Ensayos de dosificaciones iniciales

A continuación, en la **Tabla 32** se presentan los resultados obtenidos para las siguientes dosificaciones iniciales ensayadas a 1, 3, 7 y 28 días. Todas las dosificaciones se realizaron considerando una densidad relativa igual a 450 kg/m³.

Tabla 32. Resumen de ensayos de resistencia a la compresión de las dosificaciones iniciales

| DOSIFICACIONES | DÍAS DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN | | | |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 DÍA | 3 DÍAS | 7 DÍAS | 28 DÍAS |
| ID - 422 | 17.27 MPa | 26.77 MPa | 29.90 MPa | 35.00 MPa |
| ID - 426 | 21.53 MPa | 29.57 MPa | 31.97 MPa | 36.67 MPa |
| ID - 427 | 12.70 MPa | 21.47 MPa | 26.30 MPa | 29.20 MPa |
| ID - 442 | 10.43 MPa | 17.57 MPa | 25.53 MPa | 28.80 MPa |
| ID - 461 | | | | |

Elaboración: los autores

Como se puede observar los resultados obtenidos a 28 días han variado desde los 27.67 MPa hasta los 36.67 MPa.

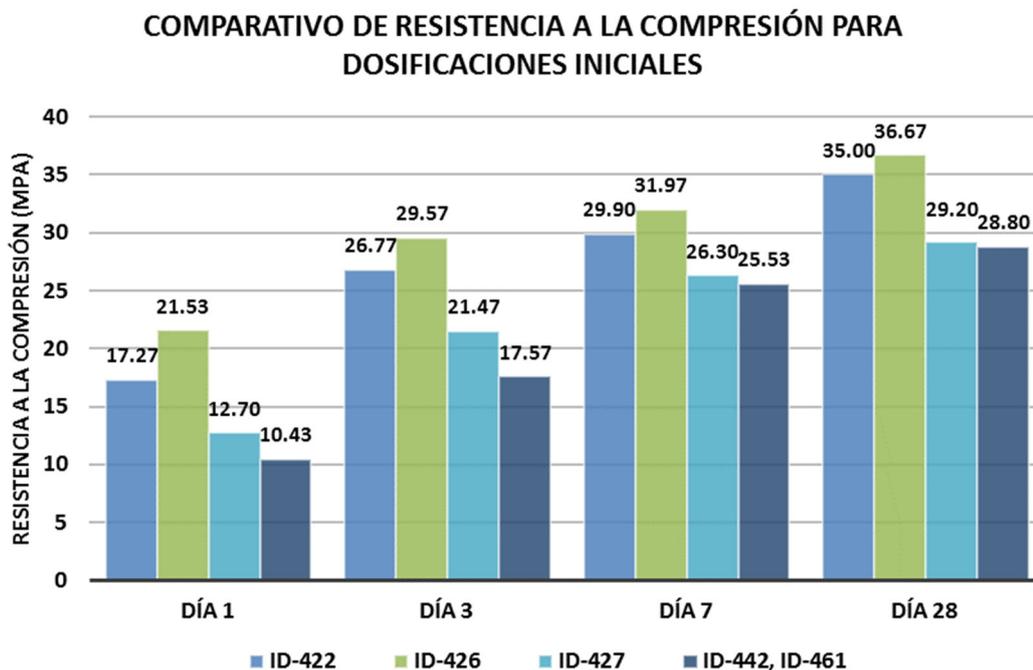


Figura 53. Gráfica de los pesos unitarios en estado seco a 28 días para las dosificaciones 461, 471 y 479

Elaboración: los autores

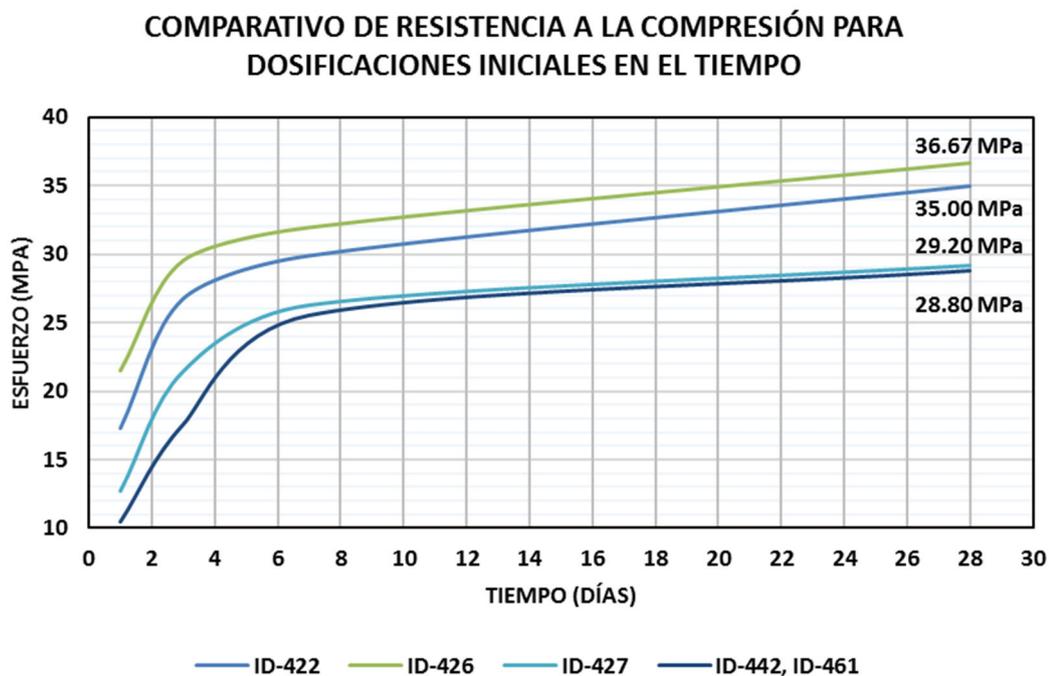


Figura 54. Gráfica de la evolución de la resistencia a la compresión en el tiempo para los diseños ID-422, ID-426, ID-427, ID-442 e ID-461

Elaboración: los autores

Para temas de validación de la información presentada se debe aclarar que, la dosificación ID – 461 se obtuvo el resultado a 28 días mediante el promedio de 38 ensayos incluyendo 6 ensayos realizados con la misma dosificación a la cual se le denominó con el código ID – 422; por lo tanto, para las dosificaciones ID – 422 e ID – 461 se consideró un promedio de 38 muestras a 28 días las cuales se presentarán en la **Figura 53** y **Figura 54**.

Para determinar el esfuerzo promedio se necesitaron un total de treinta y ocho (38) ensayos, de los cuales treinta y dos (32) se obtuvieron de la dosificación ID – 461 (réplica de ID – 442) y seis (6) de la ID – 442 la cual sirvió para monitorear el comportamiento antes de elaborar las treinta y dos (32) probetas; en la **Tabla 33** se detallará los esfuerzos obtenidos a veintiocho (28) días para la dosificación ID – 461.

Tabla 33. Resultados de ensayo a 28 días para dosificación ID - 461

| MUESTRA | DIÁMETRO MM | DIÁMETRO CM | ÁREA CM ² | CARGA (KGF) | ESFUERZO (KGF/CM ²) | ESFUERZO (MPA) |
|---------|----------------|----------------|----------------------|-------------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | 100.05 | 10.01 | 78.723 | 21291.0 | 270.45 | 27.05 |
| | 100.25 | 10.03 | | | | |
| | 100.05 | 10.01 | | | | |
| 2 | 100.40 | 10.04 | 79.775 | 23497 | 294.54 | 29.45 |
| | 101.00 | 10.10 | | | | |
| | 100.95 | 10.10 | | | | |
| 3 | 100.35 | 10.04 | 79.670 | 22920.9 | 287.70 | 28.77 |
| | 101.00 | 10.10 | | | | |
| | 100.80 | 10.08 | | | | |
| 4 | 101.35 | 10.14 | 80.277 | 22342.7 | 278.32 | 27.83 |
| | 101.25 | 10.13 | | | | |
| | 100.70 | 10.07 | | | | |
| 5 | 100.95 | 10.10 | 79.986 | 24426.8 | 305.39 | 30.54 |
| | 100.90 | 10.09 | | | | |
| | 100.90 | 10.09 | | | | |
| 6 | 101.25 | 10.13 | 80.330 | 24351.1 | 303.14 | 30.31 |
| | 101.30 | 10.13 | | | | |
| | 100.85 | 10.09 | | | | |
| 7 | 101.85 | 10.19 | 80.967 | 21990.9 | 271.60 | 27.16 |
| | 101.70 | 10.17 | | | | |
| | 101.05 | 10.11 | | | | |
| 8 | 101.45 | 10.15 | 80.171 | 24436.2 | 304.80 | 30.48 |
| | 101.25 | 10.13 | | | | |
| | 100.40 | 10.04 | | | | |
| 9 | 100.25 | 10.03 | 78.907 | 24980.7 | 316.59 | 31.66 |
| | 100.20 | 10.02 | | | | |
| | 100.25 | 10.03 | | | | |
| 10 | 101.65 | 10.17 | 80.542 | 23983.8 | 297.78 | 29.78 |
| | 101.25 | 10.13 | | | | |
| | 100.90 | 10.09 | | | | |
| 11 | 101.15 | 10.12 | 79.986 | 22499.2 | 281.29 | 28.13 |
| | 101.35 | 10.14 | | | | |
| | 100.25 | 10.03 | | | | |
| 12 | 100.90 | 10.09 | 79.801 | 24777.2 | 310.49 | 31.05 |
| | 100.85 | 10.09 | | | | |
| | 100.65 | 10.07 | | | | |

| MUESTRA | DIÁMETRO MM | DIÁMETRO CM | ÁREA CM ² | CARGA (KGF) | ESFUERZO (KGF/CM ²) | ESFUERZO (MPA) |
|---------|----------------------------|-------------------------|----------------------|-------------|------------------------------------|-------------------|
| 13 | 101.15 100.85 100.25 | 10.12 10.09 10.03 | 79.722 | 22277.1 | 279.43 | 27.94 |
| 14 | 101.35 101.30 100.89 | 10.14 10.13 10.09 | 80.404 | 21753.7 | 270.55 | 27.06 |
| 15 | 101.25 101.30 100.95 | 10.13 10.13 10.10 | 80.383 | 22765.4 | 283.21 | 28.32 |
| 16 | 101.65 101.55 100.85 | 10.17 10.16 10.09 | 80.675 | 23200.1 | 287.58 | 28.76 |
| 17 | 101.25 101.00 100.65 | 10.13 10.10 10.07 | 80.066 | 21772.5 | 271.93 | 27.19 |
| 18 | 101.35 101.15 100.80 | 10.14 10.12 10.08 | 80.277 | 22697.5 | 282.74 | 28.27 |
| 19 | 100.65 100.80 100.65 | 10.07 10.08 10.07 | 79.643 | 23626.1 | 296.65 | 29.66 |
| 20 | 100.80 100.40 100.05 | 10.08 10.04 10.01 | 79.196 | 22817.9 | 288.12 | 28.81 |
| 21 | 100.80 100.55 100.10 | 10.08 10.06 10.01 | 79.301 | 20883.4 | 263.34 | 26.33 |
| 22 | 100.25 100.20 100.05 | 10.03 10.02 10.01 | 78.802 | 21440.1 | 272.08 | 27.21 |
| 23 | 101.20 101.00 100.75 | 10.12 10.10 10.08 | 80.092 | 23571.5 | 294.31 | 29.43 |
| 24 | 101.65 101.30 100.85 | 10.17 10.13 10.09 | 80.542 | 21380.2 | 265.45 | 26.55 |
| 25 | 100.65 101.05 100.50 | 10.07 10.11 10.05 | 79.696 | 24102.1 | 302.43 | 30.24 |
| 26 | 101.25 101.30 100.95 | 10.13 10.13 10.10 | 80.383 | 27088.6 | 336.99 | 33.70 |
| 27 | 101.05 101.25 100.75 | 10.11 10.13 10.08 | 80.145 | 26197.1 | 326.87 | 32.69 |
| 28 | 101.25 101.10 100.30 | 10.13 10.11 10.03 | 79.933 | 22055 | 275.92 | 27.59 |
| 29 | 100.50 100.95 100.40 | 10.05 10.10 10.04 | 79.511 | 21725.7 | 273.24 | 27.32 |
| 30 | 101.30 101.35 100.75 | 10.13 10.14 10.08 | 80.330 | 23186.8 | 288.64 | 28.86 |
| 31 | 101.10 100.85 100.30 | 10.11 10.09 10.03 | 79.722 | 23410.5 | 293.65 | 29.37 |
| 32 | 101.25 101.20 100.85 | 10.13 10.12 10.09 | 80.277 | 25348.1 | 315.76 | 31.58 |

Elaboración: los autores

De los resultados obtenidos para el ensayo de resistencia a la compresión, se obtuvo un promedio estandarizado para determinar el área de las probetas de la dosificación ID – 442 los que se muestran en la **Tabla 34**.

Tabla 34. Promedio de medidas para probetas en base a 32 muestras

| | |
|-------------------|------------------------|
| Diámetro Promedio | 100.89 mm |
| Diámetro Promedio | 10.09 cm |
| Área Promedio | 79.944 cm ² |

Elaboración: los autores

Para temas de confiabilidad de los resultados se presenta el resumen ordenado de menor a mayor de cada ensayo obtenido en la **Tabla 35**.

Tabla 35. Resultados ordenados de forma ascendente, distribución normal y promedio simple y promedio de cada 3 resultados

| MUESTRA | RESISTENCIA MPa | DISTRIBUCIÓN NORMAL | PROMEDIO DE 3 |
|---------|-----------------|---------------------|---------------|
| 1 | 25.90 | 0.06077714 | |
| 2 | 26.28 | 0.08369268 | |
| 3 | 26.33 | 0.08709779 | 26.17 |
| 4 | 26.55 | 0.10145112 | 26.39 |
| 5 | 27.05 | 0.13791138 | 26.64 |
| 6 | 27.06 | 0.13865209 | 26.88 |
| 7 | 27.16 | 0.14640458 | 27.09 |
| 8 | 27.19 | 0.14882231 | 27.14 |
| 9 | 27.21 | 0.14986746 | 27.19 |
| 10 | 27.32 | 0.15828943 | 27.24 |
| 11 | 27.59 | 0.17669789 | 27.37 |
| 12 | 27.83 | 0.19141957 | 27.58 |
| 13 | 27.94 | 0.19746806 | 27.79 |
| 14 | 28.06 | 0.20315786 | 27.94 |
| 15 | 28.09 | 0.20473724 | 28.03 |
| 16 | 28.13 | 0.20621416 | 28.09 |
| 17 | 28.16 | 0.20769846 | 28.13 |
| 18 | 28.27 | 0.21176383 | 28.19 |
| 19 | 28.32 | 0.21330480 | 28.25 |
| 20 | 28.74 | 0.22078345 | 28.45 |
| 21 | 28.76 | 0.22082772 | 28.61 |
| 22 | 28.77 | 0.22085670 | 28.76 |
| 23 | 28.81 | 0.22087781 | 28.78 |
| 24 | 28.86 | 0.22073679 | 28.82 |
| 25 | 29.37 | 0.21027656 | 29.01 |
| 26 | 29.43 | 0.20776206 | 29.22 |

| MUESTRA | RESISTENCIA MPa | DISTRIBUCIÓN NORMAL | PROMEDIO DE 3 |
|-------------------------|-----------------|---------------------|---------------|
| 27 | 29.45 | 0.20679913 | 29.42 |
| 28 | 29.66 | 0.19687121 | 29.52 |
| 29 | 29.78 | 0.19067332 | 29.63 |
| 30 | 30.24 | 0.16044710 | 29.90 |
| 31 | 30.31 | 0.15534667 | 30.11 |
| 32 | 30.48 | 0.14319763 | 30.35 |
| 33 | 30.54 | 0.13885149 | 30.44 |
| 34 | 31.05 | 0.10165383 | 30.69 |
| 35 | 31.58 | 0.06771707 | 31.05 |
| 36 | 31.66 | 0.06304216 | 31.43 |
| 37 | 32.69 | 0.02175197 | 31.97 |
| 38 | 33.70 | 0.00556219 | 32.68 |
| Promedios (\bar{X}) | 28.80 | | 28.75 |
| Desviación Estándar (S) | | 1.81 | |

Elaboración: los autores

De la **Tabla 33** y **Tabla 35** se determinan las figuras: **Figura 55**, **Figura 56** y **Figura 57**.

DISPERSIÓN DE ENSAYOS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

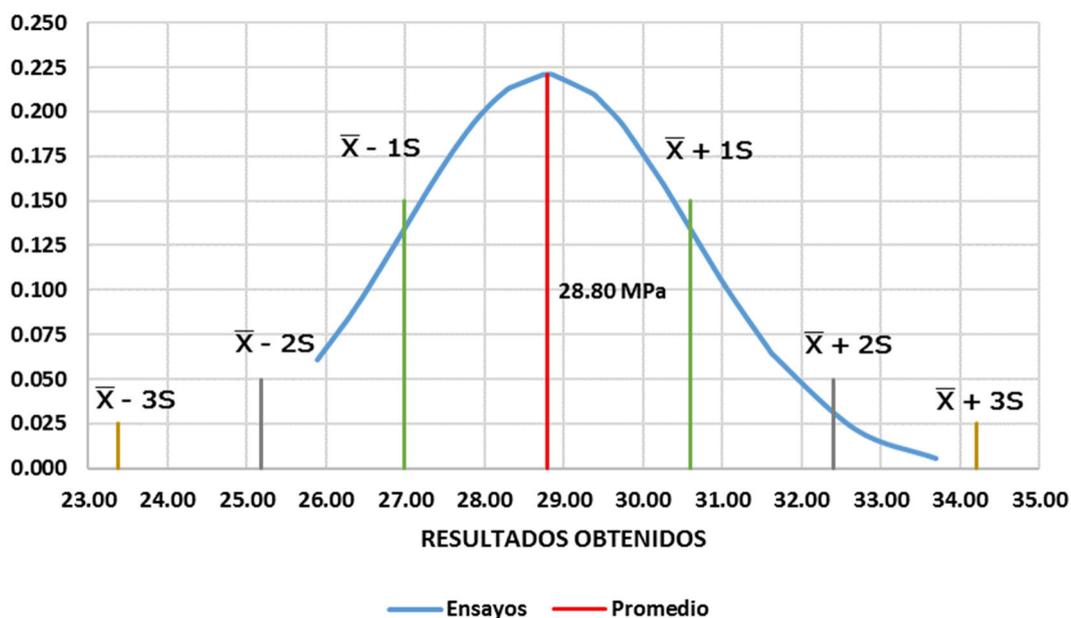


Figura 55. Gráfica de dispersión (Gauss) de los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID - 461 e ID - 442

Elaboración: los autores

DISPERSIÓN DE ENSAYOS ID-461 ENTORNO AL PROMEDIO SIMPLE

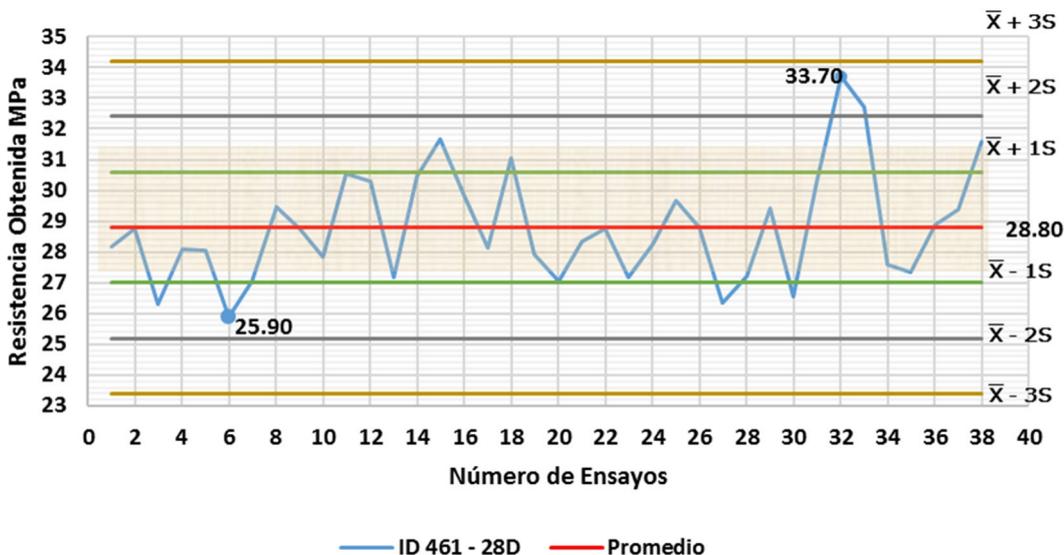


Figura 56. Gráfica de dispersión para los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID-442 e ID-461 con los límites máximos, mínimos y promedio simple obtenido

Elaboración: los autores

DISPERSIÓN DE ENSAYOS ID-461 ENTORNO AL PROMEDIO DE CADA 3 ENSAYOS

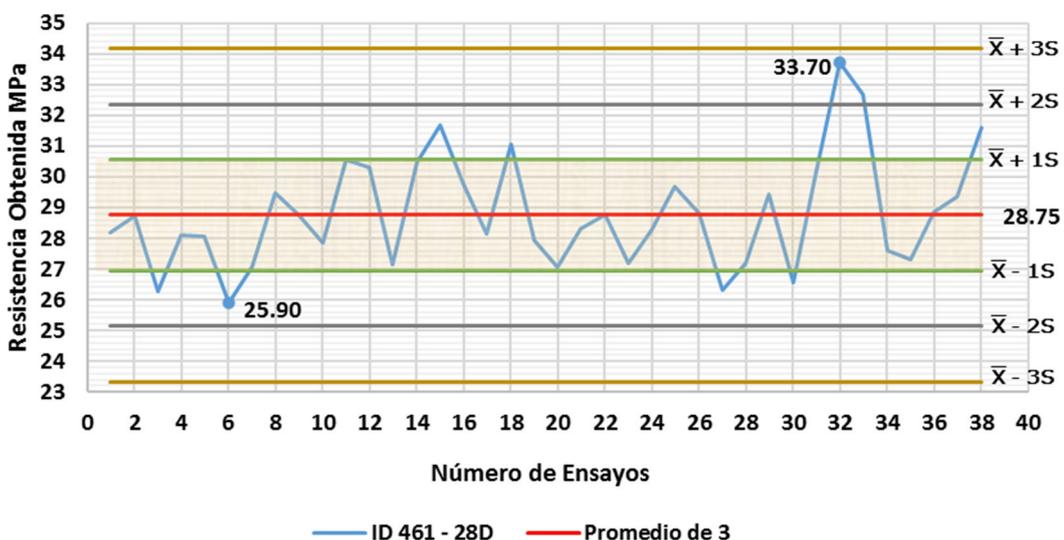


Figura 57. Gráfica de dispersión para los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID-442 e ID-461 con los límites máximos, mínimos y promedio de cada 3 ensayos consecutivos

Elaboración: los autores

5.2.3.2 Ensayo de dosificación final

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para la siguiente dosificación final (en la **Tabla 36**) ensayada a 1, 3, 7, 14 y 28 días. Todas las

dosificaciones se realizaron considerando una densidad saturada superficialmente seca de la arlita equivalente a 961 kg/m^3 .

Tabla 36. Resumen de ensayos de resistencia a la compresión de la dosificación final

| DOSIFICACIONES | DÍAS DE ENSAYO A LA COMPRESIÓN | | | |
|----------------|--------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| | 1 DÍA | 3 DÍAS | 7 DÍAS | 28 DÍAS |
| ID – 471 | | | | |
| ID – 479 | 13.91 MPa | 18.33 MPa | 19.50 MPa | 21.08 MPa |
| ID – 482 | | | | |

Elaboración: los autores

A continuación, se presenta la **Figura 58** y **Figura 59** respecto a la evolución de la resistencia a la compresión de la dosificación final.

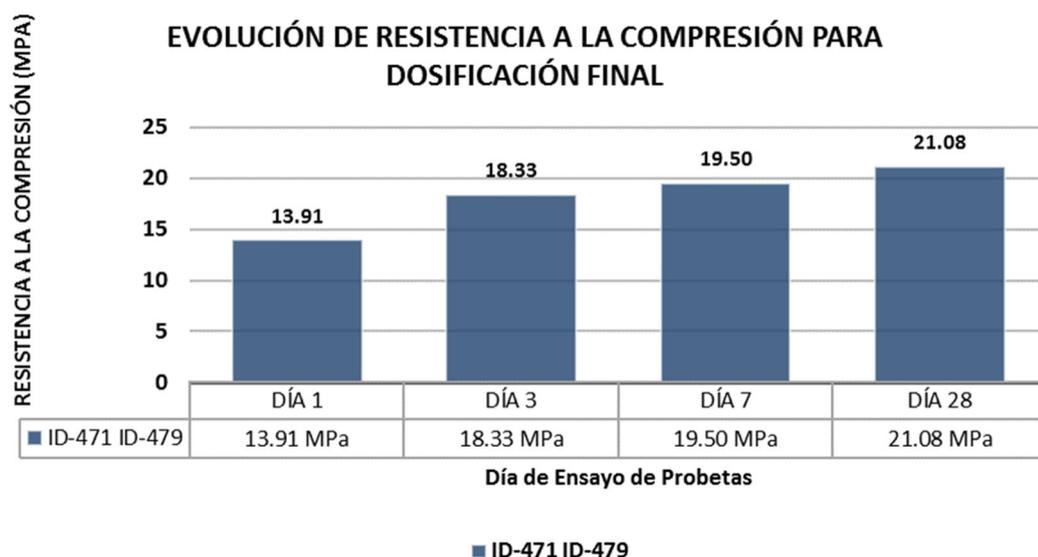


Figura 58. Gráfica de evolución de la resistencia a la compresión para la dosificación final
Elaboración: los autores

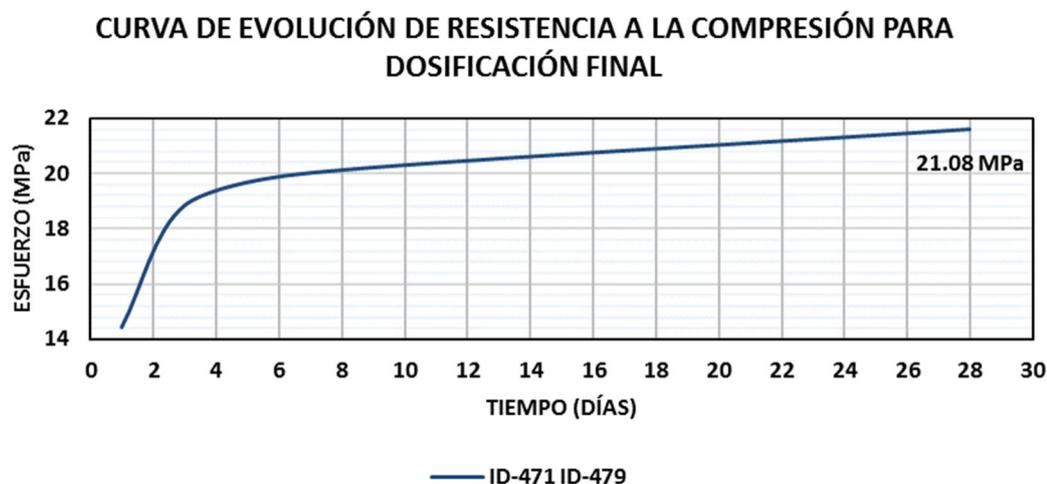


Figura 59. Gráfica de la curva de evolución de la resistencia a la compresión de la dosificación final
Elaboración: los autores

Para determinar el esfuerzo promedio se necesitaron un total de treinta y cuatro (34) ensayos, de los cuales treinta (30) se obtuvieron de la dosificación ID – 479 (réplica de ID – 471) y cuatro (4) de la ID – 471 la cual sirvió para monitorear el comportamiento antes de elaborar las treinta (30) probetas, en la **Tabla 37** se detallará los esfuerzos obtenidos a veintiocho (28) días para la dosificación ID – 479.

Tabla 37. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión a 28 días para dosificación ID – 479

| MUESTRA | DIÁMETRO MM | DIÁMETRO CM | ÁREA CM ² | CARGA (KGF) | ESFUERZO (KGF/CM ²) | ESFUERZO (MPA) |
|---------|----------------|----------------|----------------------|-------------|------------------------------------|-------------------|
| 1 | 101.80 | 10.18 | 80.595 | 18120.5 | 224.83 | 22.48 |
| | 101.35 | 10.14 | | | | |
| | 100.75 | 10.08 | | | | |
| 2 | 101.05 | 10.11 | 79.722 | 17474.3 | 219.19 | 21.92 |
| | 100.95 | 10.10 | | | | |
| | 100.25 | 10.03 | | | | |
| 3 | 101.85 | 10.19 | 80.383 | 17324 | 215.52 | 21.55 |
| | 101.25 | 10.13 | | | | |
| | 100.40 | 10.04 | | | | |
| 4 | 102.00 | 10.20 | 80.728 | 16443.4 | 203.69 | 20.37 |
| | 101.35 | 10.14 | | | | |
| | 100.80 | 10.08 | | | | |
| 5 | 101.70 | 10.17 | 80.489 | 16523.6 | 205.29 | 20.53 |
| | 101.30 | 10.13 | | | | |
| | 100.70 | 10.07 | | | | |
| 6 | 102.00 | 10.20 | 80.595 | 16207.7 | 201.10 | 20.11 |
| | 101.50 | 10.15 | | | | |
| | 100.40 | 10.04 | | | | |
| 7 | 101.25 | 10.13 | 79.933 | 16967.1 | 212.27 | 21.23 |
| | 100.90 | 10.09 | | | | |
| | 100.50 | 10.05 | | | | |
| 8 | 101.50 | 10.15 | 80.516 | 17102.3 | 212.41 | 21.24 |
| | 101.50 | 10.15 | | | | |
| | 100.75 | 10.08 | | | | |
| 9 | 100.45 | 10.05 | 78.933 | 17095.8 | 216.59 | 21.66 |
| | 100.30 | 10.03 | | | | |
| | 100.00 | 10.00 | | | | |
| 10 | 101.05 | 10.11 | 79.801 | 17735.1 | 222.24 | 22.22 |
| | 100.95 | 10.10 | | | | |
| | 100.40 | 10.04 | | | | |
| 11 | 101.25 | 10.13 | 80.118 | 16784.8 | 209.50 | 20.95 |
| | 101.10 | 10.11 | | | | |
| | 100.65 | 10.07 | | | | |
| 12 | 101.20 | 10.12 | 79.854 | 16312.8 | 204.28 | 20.43 |
| | 100.90 | 10.09 | | | | |
| | 100.40 | 10.04 | | | | |
| 13 | 101.55 | 10.16 | 80.145 | 16030.46 | 200.02 | 20.00 |
| | 101.25 | 10.13 | | | | |
| | 100.25 | 10.03 | | | | |
| 14 | 101.55 | 10.16 | 80.224 | 16517.34 | 205.89 | 20.59 |
| | 101.15 | 10.12 | | | | |
| | 100.50 | 10.05 | | | | |
| 15 | 101.95 | 10.20 | 80.383 | 16487.4 | 205.11 | 20.51 |
| | 101.05 | 10.11 | | | | |
| | 100.50 | 10.05 | | | | |
| 16 | 100.35 | 10.04 | 79.564 | 17007.6 | 213.76 | 21.38 |
| | 100.65 | 10.07 | | | | |
| | 100.95 | 10.10 | | | | |

| MUESTRA | DIÁMETRO MM | DIÁMETRO CM | ÁREA CM ² | CARGA (KGF) | ESFUERZO (KGF/CM ²) | ESFUERZO (MPA) |
|---------|----------------|----------------|----------------------|-------------|------------------------------------|-------------------|
| 17 | 101.35 | 10.14 | 80.569 | 17368.8 | 215.58 | 21.56 |
| | 101.15 | 10.12 | | | | |
| | 101.35 | 10.14 | | | | |
| 18 | 101.45 | 10.15 | 79.960 | 16432.5 | 205.51 | 20.55 |
| | 100.85 | 10.09 | | | | |
| | 100.40 | 10.04 | | | | |
| 19 | 101.15 | 10.12 | 80.251 | 16240.14 | 202.37 | 20.24 |
| | 101.25 | 10.13 | | | | |
| | 100.85 | 10.09 | | | | |
| 20 | 101.65 | 10.17 | 80.516 | 16563.9 | 205.72 | 20.57 |
| | 101.15 | 10.12 | | | | |
| | 100.95 | 10.10 | | | | |
| 21 | 100.45 | 10.05 | 79.511 | 16466.94 | 207.10 | 20.71 |
| | 100.75 | 10.08 | | | | |
| | 100.65 | 10.07 | | | | |
| 22 | 100.90 | 10.09 | 79.960 | 16301.3 | 203.87 | 20.39 |
| | 101.05 | 10.11 | | | | |
| | 100.75 | 10.08 | | | | |
| 23 | 101.55 | 10.16 | 80.463 | 17346.3 | 215.58 | 21.56 |
| | 101.35 | 10.14 | | | | |
| | 100.75 | 10.08 | | | | |
| 24 | 100.95 | 10.10 | 79.801 | 16594.2 | 207.94 | 20.79 |
| | 101.05 | 10.11 | | | | |
| | 100.40 | 10.04 | | | | |
| 25 | 101.25 | 10.13 | 80.039 | 17982.8 | 224.68 | 22.47 |
| | 101.05 | 10.11 | | | | |
| | 100.55 | 10.06 | | | | |
| 26 | 101.35 | 10.14 | 80.304 | 16509.3 | 205.59 | 20.56 |
| | 101.25 | 10.13 | | | | |
| | 100.75 | 10.08 | | | | |
| 27 | 100.00 | 10.00 | 79.749 | 16304 | 204.44 | 20.44 |
| | 101.35 | 10.14 | | | | |
| | 100.95 | 10.10 | | | | |
| 28 | 100.95 | 10.10 | 79.960 | 16526.90 | 206.69 | 20.67 |
| | 101.05 | 10.11 | | | | |
| | 100.70 | 10.07 | | | | |
| 29 | 100.55 | 10.06 | 79.459 | 17103 | 215.24 | 21.52 |
| | 100.65 | 10.07 | | | | |
| | 100.55 | 10.06 | | | | |
| 30 | 101.35 | 10.14 | 80.330 | 17342 | 215.88 | 21.59 |
| | 101.15 | 10.12 | | | | |
| | 100.90 | 10.09 | | | | |

Elaboración: los autores

De los resultados obtenidos para el ensayo de resistencia a la compresión, se obtuvo un promedio estandarizado para determinar el área de las probetas de la dosificación ID – 471 los que se muestran en la **Tabla 38**.

Tabla 38. Promedio de medidas para probetas en base a 30 muestras

| | |
|-------------------|------------------------|
| Diámetro Promedio | 100.99 mm |
| Diámetro Promedio | 10.10 cm |
| Área Promedio | 80.095 cm ² |

Elaboración: los autores

Para temas de confiabilidad de los resultados se presenta el resumen ordenado de menor a mayor de cada ensayo obtenido en la **Tabla 39**.

Tabla 39. Resultados ordenados de forma ascendente, distribución normal y promedio simple y promedio de cada 3 resultados

| MUESTRA | RESISTENCIA MPa | DISTRIBUCIÓN NORMAL | PROMEDIO DE 3 |
|---|-----------------|---------------------|---------------|
| 1 | 20.00 | 0.17055290 | |
| 2 | 20.11 | 0.21476183 | |
| 3 | 20.24 | 0.27278214 | 20.12 |
| 4 | 20.37 | 0.33788293 | 20.24 |
| 5 | 20.39 | 0.34684980 | 20.33 |
| 6 | 20.43 | 0.36756328 | 20.39 |
| 7 | 20.44 | 0.37554763 | 20.42 |
| 8 | 20.51 | 0.40844677 | 20.46 |
| 9 | 20.53 | 0.41711843 | 20.49 |
| 10 | 20.55 | 0.42756434 | 20.53 |
| 11 | 20.56 | 0.43117327 | 20.55 |
| 12 | 20.57 | 0.43757190 | 20.56 |
| 13 | 20.59 | 0.44524903 | 20.57 |
| 14 | 20.67 | 0.48016672 | 20.61 |
| 15 | 20.71 | 0.49661017 | 20.66 |
| 16 | 20.79 | 0.52623492 | 20.72 |
| 17 | 20.85 | 0.54179027 | 20.78 |
| 18 | 20.95 | 0.56350275 | 20.86 |
| 19 | 21.23 | 0.56228478 | 21.01 |
| 20 | 21.24 | 0.55977665 | 21.14 |
| 21 | 21.33 | 0.54051652 | 21.26 |
| 22 | 21.38 | 0.52579339 | 21.31 |
| 23 | 21.52 | 0.46988628 | 21.41 |
| 24 | 21.55 | 0.45793169 | 21.48 |
| 25 | 21.56 | 0.45527032 | 21.54 |
| 26 | 21.56 | 0.45507199 | 21.56 |
| 27 | 21.59 | 0.44137123 | 21.57 |
| 28 | 21.66 | 0.40809185 | 21.60 |
| 29 | 21.78 | 0.34832003 | 21.68 |
| 30 | 21.92 | 0.27913487 | 21.79 |
| 31 | 22.13 | 0.18458796 | 21.94 |
| 32 | 22.22 | 0.14960351 | 22.09 |
| 33 | 22.47 | 0.07919274 | 22.27 |
| 34 | 22.48 | 0.07565369 | 22.39 |
| Promedios (\bar{X}) | 21.08 | | 21.07 |
| Desviación Estándar (S) | | 0.69 | |

Elaboración: los autores

De la **Tabla 37** y **Tabla 39** se determinan las figuras: **Figura 60**, **Figura 61** y **Figura 62**.

DISPERSIÓN DE ENSAYOS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

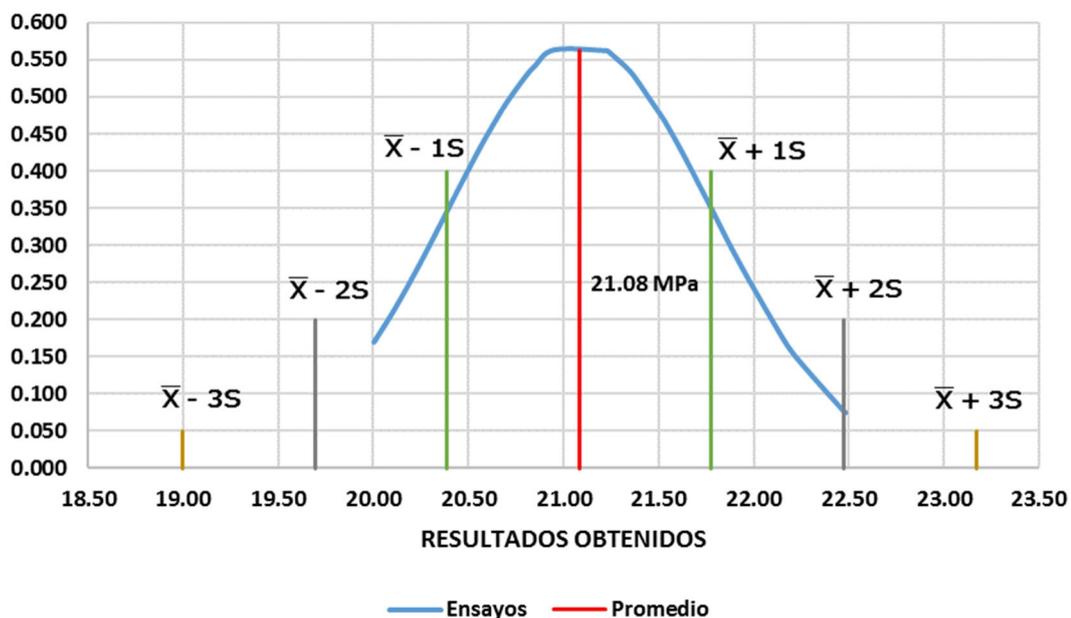


Figura 60. Gráfica de dispersión (Gauss) de los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID - 471 e ID - 479
Elaboración: los autores

DISPERSIÓN DE ENSAYOS ID-471 e ID-479 ENTORNO AL PROMEDIO SIMPLE

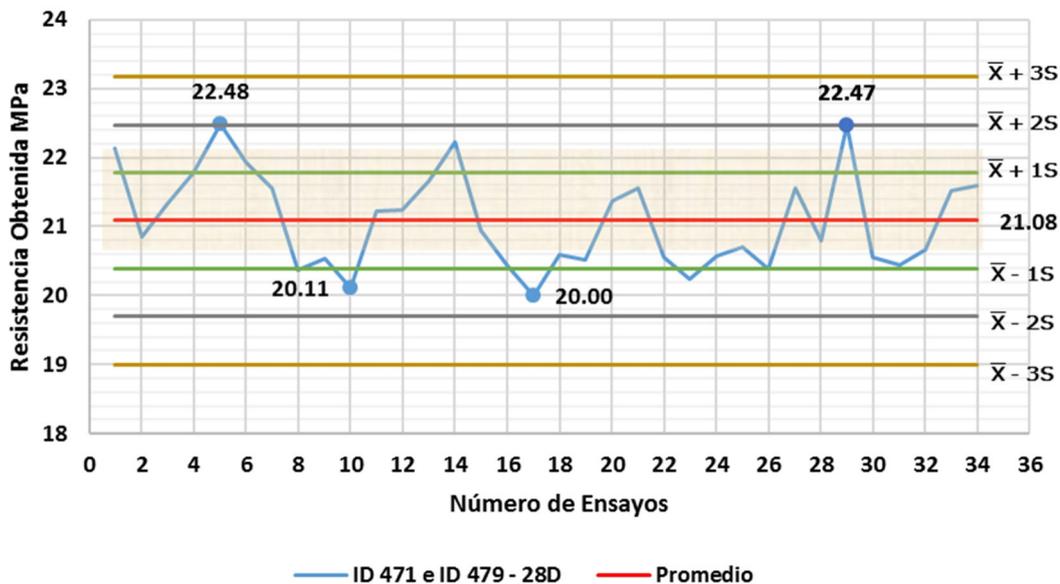


Figura 61. Gráfica de dispersión para los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID-471 e ID-479 con los límites máximos, mínimos y promedio simple obtenido
Elaboración: los autores

DISPERSIÓN DE ENSAYOS ID-471 e ID-479 ENTORNO AL PROMEDIO DE 3 ENSAYOS CONSECUTIVOS

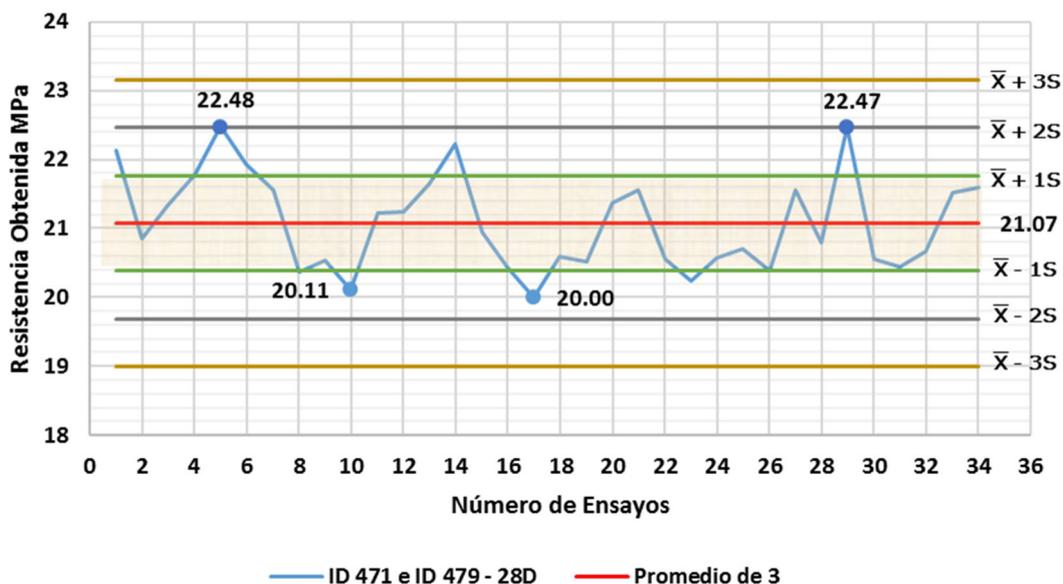


Figura 62. Gráfica de dispersión para los ensayos de resistencia a la compresión a 28 días de las dosificaciones ID-471 e ID-479 con los límites máximos, mínimos y promedio de cada 3 ensayos consecutivos

Elaboración: los autores

A continuación, según lo indicado en la **Tabla 40** se realizará un comparativo sobre la evolución del peso unitario y la resistencia a la compresión para la dosificación final en el tiempo.

Tabla 40. Resumen de ensayos de resistencia a la compresión de las dosificaciones finales y pesos unitarios en estado seco de la dosificación ID – 479

| DOSIFICACIONES | DÍAS DE ENSAYOS | | | |
|----------------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| | 1 DÍA | 3 DÍAS | 7 DÍAS | 28 DÍAS |
| ID-471 | | | | |
| ID-479 | 13.91 MPa | 18.33 MPa | 19.50 MPa | 21.08 MPa |
| Peso Unitario | | 1550 kg/m ³ | 1535 kg/m ³ | 1519 kg/m ³ |

Elaboración: los autores

A continuación, en la **Figura 63** se puede ver a detalle la evolución del peso unitario y la resistencia a la compresión para la dosificación final.

EVOLUCIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y DESARROLLO DEL PESO UNITARIO PARA DOSIFICACIÓN FINAL

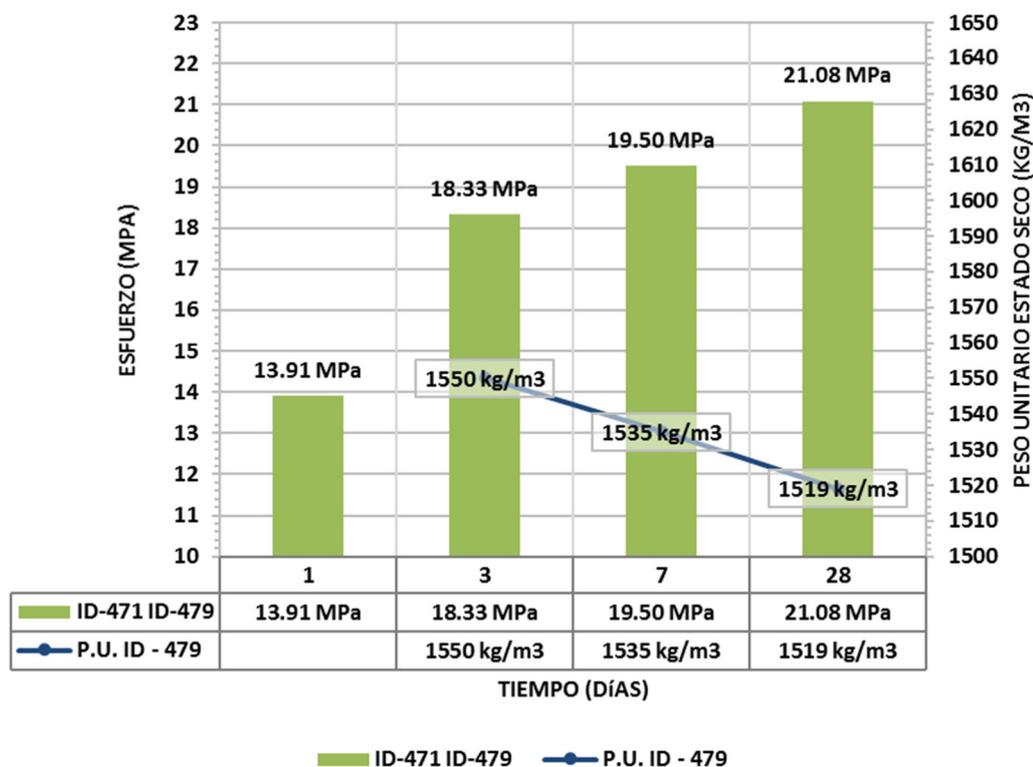


Figura 63. Gráfica de evolución de resistencia a la compresión y desarrollo del peso unitario para la dosificación final

Elaboración: los autores

5.2.4 Ensayo de resistencia a la flexión

5.2.4.1 Ensayo de dosificación inicial ID – 461

A continuación, se presentan en la **Tabla 41** los resultados obtenidos para la dosificación inicial ensayada a 28 días a flexión. La dosificación se realizó considerando una densidad igual a 450 kg/m³.

Tabla 41. Resumen de ensayo de resistencia a la flexión de la dosificación inicial

| DOSIFICACIÓN | MUESTRA | b (mm) | b promedio (mm) | h (mm) | h promedio (mm) | Luz (mm) | P Carga (kgf) | P Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) |
|--------------|---------|--------|-----------------|--------|-----------------|----------|---------------|-------------|------------------------|
| ID - 461 | Viga 1 | 150.20 | 150.23 | 150.60 | 150.63 | 450.00 | 3282.99 | 32829.9 | 4.33 |
| | | 150.25 | | 150.65 | | | | | |
| | Viga 2 | 150.30 | 150.33 | 150.70 | 150.68 | | | | |
| | | 150.35 | | 150.65 | | | | | |

Elaboración: los autores

En la **Tabla 41** se puede observar el módulo de rotura (F_r) obtenido en MPa. Se presenta en la **Figura 64** un comparativo con el módulo de rotura teórico que se obtiene mediante la fórmula $F_r = 0.62 \cdot 0.85 \cdot \sqrt{F'_c}$, donde el valor 0.85 resulta de un factor de reducción que se emplea para concretos elaborados con agregado grueso liviano y agregado fino de peso normal (caso de estudio).

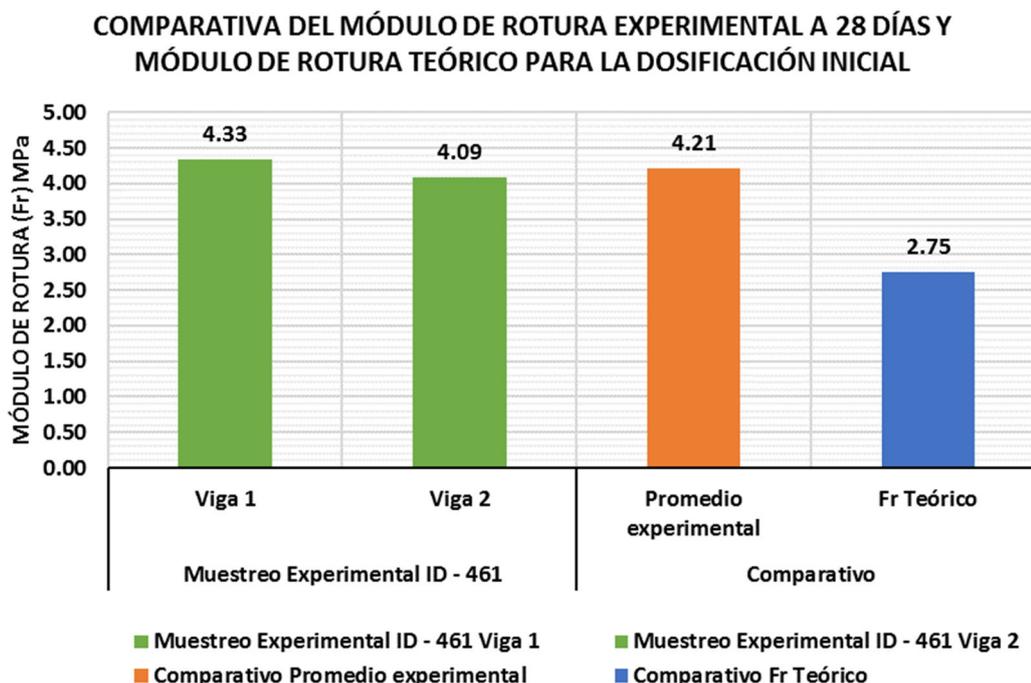


Figura 64. Gráfica comparativa de módulos de rotura experimental y teórico para la dosificación inicial

Elaboración: los autores

5.2.4.2 Ensayo de dosificación final ID – 482

Finalmente, se presentan en la **Tabla 42** los resultados obtenidos para la dosificación inicial ensayada a 28 días a flexión. La dosificación se realizó considerando una densidad relativa igual a 961 kg/m^3 .

Tabla 42. Resumen de ensayo de resistencia a la flexión de la dosificación final

| Dosificación | Muestra | b (mm) | b promedio (mm) | h (mm) | h promedio (mm) | Luz (mm) | P Carga (kgf) | P Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) |
|--------------|---------|--------|-----------------|--------|-----------------|----------|---------------|-------------|------------------------|
| ID - 482 | Viga 1 | 152.55 | 152.68 | 151.60 | 151.58 | 450.00 | 2177.22 | 21772.2 | 2.79 |
| | | 152.80 | | 151.55 | | | | | |
| | Viga 2 | 151.00 | 150.58 | 151.50 | | | | | |
| | | 150.15 | | 150.95 | | | | | |
| | Viga 3 | 150.25 | 150.48 | 151.80 | | | | | |
| | | 150.70 | | 150.1 | | | | | |

Elaboración: los autores

En la **Tabla 42** se puede observar el módulo de rotura (F_r) obtenido en MPa. Se presenta en la **Figura 65** un comparativo con el módulo de rotura teórico que se obtiene mediante la fórmula $F_r = 0.62 \cdot 0.85 \cdot \sqrt{F'_c}$, donde el valor 0.85 resulta de un factor de reducción que se emplea para concretos elaborados con agregado grueso liviano y agregado fino de peso normal (caso de estudio).

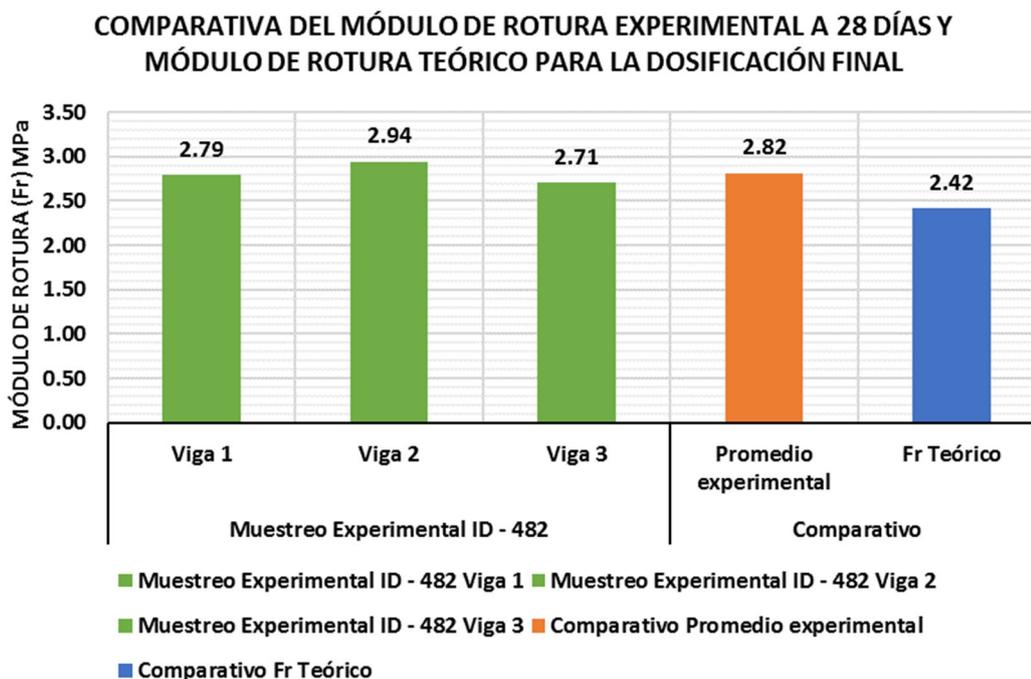


Figura 65. Gráfica comparativa de módulos de rotura experimental y teórico para la dosificación final

Elaboración: los autores

CAPÍTULO VI

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente capítulo se realizó el análisis e interpretación de los resultados obtenidos de las dosificaciones finales. Luego de realizar el debido contraste de las hipótesis se realizó la interpretación de los resultados de la presente investigación.

6.1 Contraste de la hipótesis

6.1.1 Hipótesis general

Hipótesis alterna (Ha)

Las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, **cumple las características** de concreto estructural liviano.

Hipótesis nula (Ho)

Las propiedades del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, **no cumple las características** de concreto estructural liviano.

6.1.2 Hipótesis específicas

Hipótesis alterna 1 (Ha1)

El peso unitario del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, **cumple las características** de un concreto liviano establecido en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE.

Hipótesis nula 1 (Ho1)

El peso unitario del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, **no cumple las características** de un concreto liviano establecido en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE.

Hipótesis alterna 2 (Ha2)

La resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, **se encuentra dentro de los parámetros** de un concreto de uso estructural estipulados en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE.

Hipótesis nula 2 (Ho2)

La resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, **no se encuentra dentro de los parámetros** de un concreto de uso estructural estipulados en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE.

Hipótesis alterna 3 (Ha3)

La resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, **cumple con los parámetros** estipulados en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE.

Hipótesis nula 3 (Ho3)

La resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, **no cumple con los parámetros** estipulados en la norma ACI 318S-14 y la norma E.060 del RNE.

6.2 Análisis de los resultados

6.2.1 Peso unitario

Se presenta la siguiente gráfica de los resultados obtenidos para los pesos unitarios en estado fresco y estado seco a veintiocho días de la dosificación final y sus réplicas.

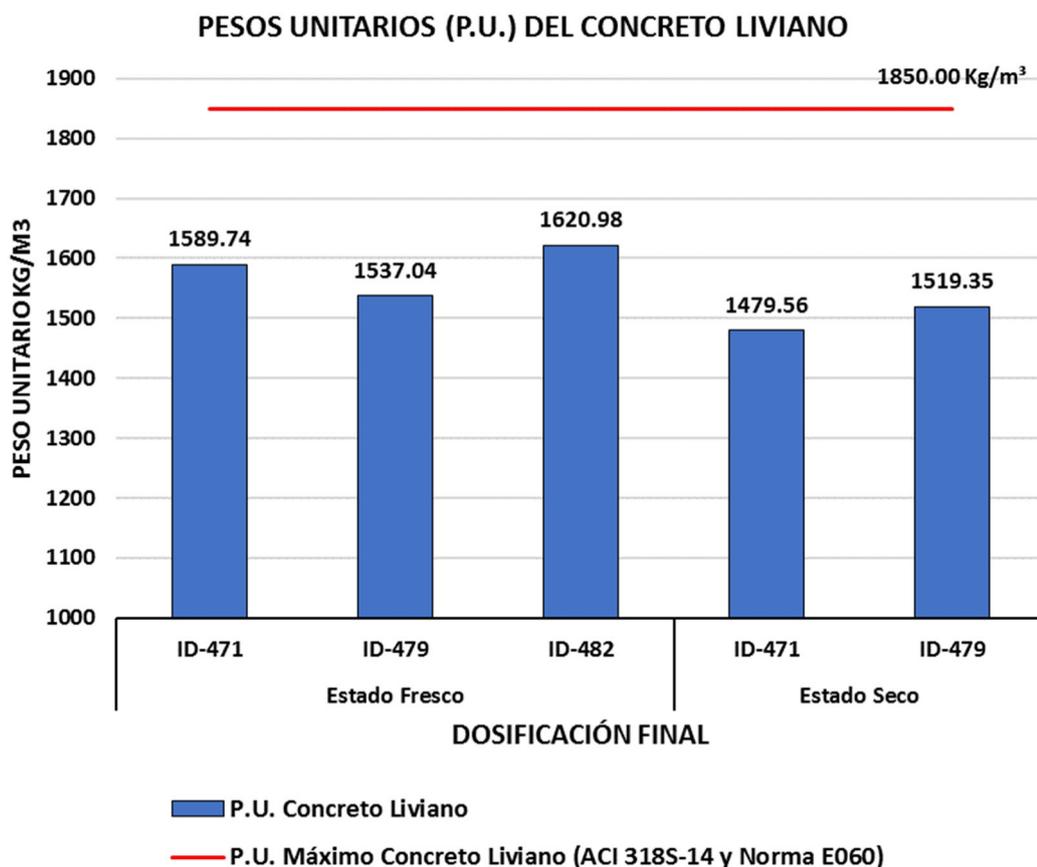


Figura 66. Gráfica de pesos unitarios del concreto con arcilla expandida
Elaboración: los autores

Interpretación: La **Figura 66** permite interpretar que los pesos unitarios tanto en estado fresco como en estado seco, son menores de **1850 Kg/m³**, siendo el límite máximo permitido en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE para concreto liviano. Se acepta la hipótesis alterna 1 (Ha1)

6.2.2 Resistencia a la compresión

Se presentan las siguientes gráficas de los resultados obtenidos para los ensayos de resistencia a la compresión de 1, 3, 7 y 28 días de la dosificación final.

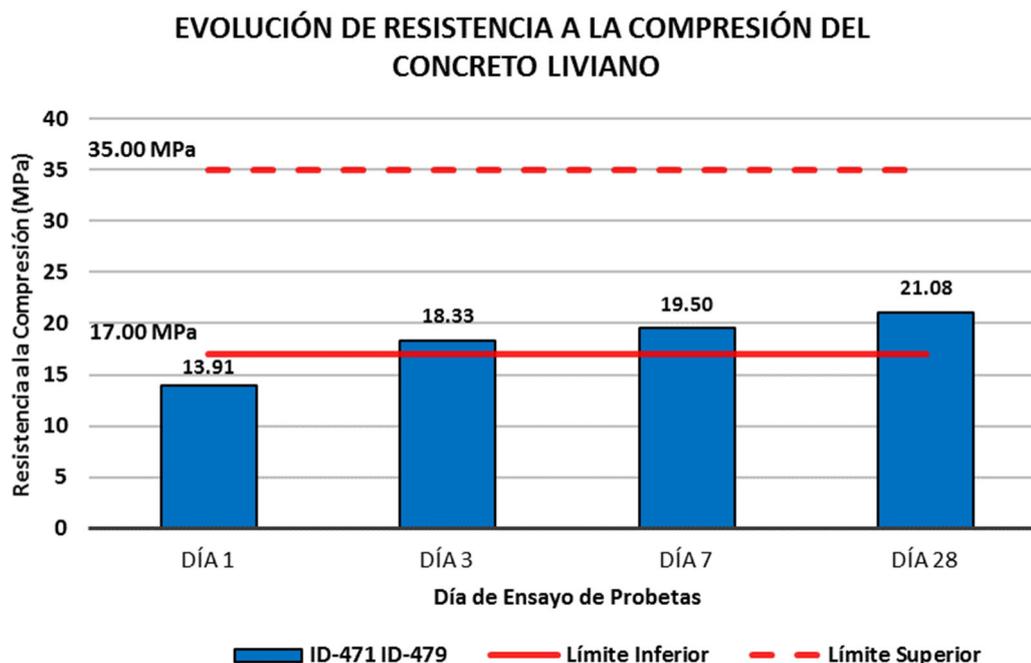


Figura 67. Gráfica de la evolución de la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida

Elaboración: los autores

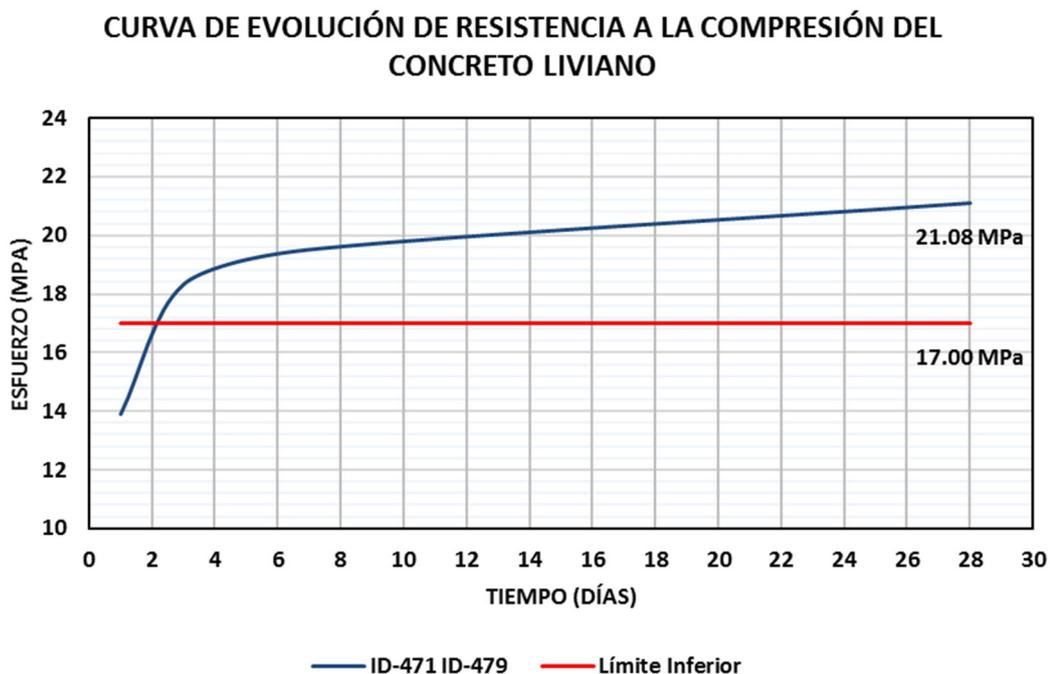


Figura 68. Gráfica de la curva de evolución de la resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida

Elaboración: los autores

Interpretación: La **Figura 67** y la **Figura 68** permite interpretar que la resistencia a la compresión obtenida a los veintiocho días (28), se encuentra dentro de los límites establecidos (**17 MPa – 35 MPa**) en la norma

ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE para concreto estructural. Se acepta la hipótesis alterna 2 (Ha2).

6.2.3 Resistencia a la flexión

Se presentan las siguientes gráficas de los resultados obtenidos para los ensayos de resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida ensayado a 28 días.

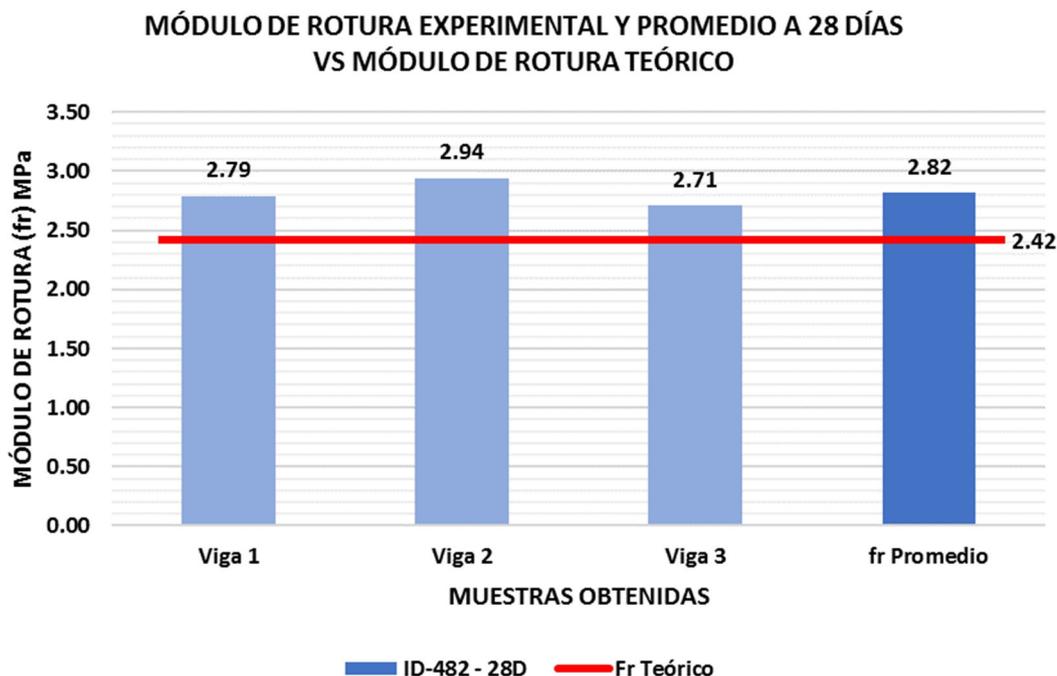


Figura 69. Gráfica de resultados de la resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida

Elaboración: los autores

Interpretación: La **Figura 69** permite interpretar que la resistencia a la flexión obtenida a los veintiocho días (28), tiene como módulo de rotura experimental el valor de $F_{r\text{promedio}} = 2.82 \text{ MPa}$ mayor al módulo de rotura teórico ($F_{r\text{teórico}} = 2.42 \text{ MPa}$) obtenido de la ecuación $F_r = 0.62 \cdot \lambda \cdot \sqrt{F'_c}$ que se encuentra establecida en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE para concreto estructural. Se acepta la hipótesis alterna 3 (Ha3).

CAPÍTULO VII

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1 Peso unitario del concreto elaborado con arcilla expandida

7.1.1 Peso unitario en estado fresco

Luego de realizarse la dosificación de prueba inicial ID – 422 y basados en los ensayos de resistencia a la compresión en edades tempranas, se procedió a corregir la relación de agua/cemento en la primera dosificación de prueba reduciéndola de 0.63 a 0.37 y 0.43 modificando la cantidad de agua, cemento y volumen de agregados según se puede observar en el resumen de dosificaciones iniciales en la **Tabla 27** dando origen a las dosificaciones ID – 426 e ID – 427. Las dosificaciones ID – 426 e ID – 427 al igual que la dosificación de prueba inicial, mostraron un comportamiento en el peso unitario favorable para considerar los concretos obtenidos como concretos livianos debido a que su peso unitario se encuentra por debajo de 1850.00 Kg/m³.

En la **Figura 48**, se puede observar que las dosificaciones ID – 442 e ID – 461 son mayores a 1850.00 Kg/m³ (límite máximo del concreto liviano según norma E.060), esto fue a consecuencia de la reducción del volumen de cemento para buscar su optimización, en efecto se incrementó el volumen de arena y arcilla expandida; sin embargo, se pudo observar que el indicador del rendimiento de la dosificación disminuyó de 0.86 a 0.77 indicando una tendencia anormal.

Basados en el indicador de rendimiento de las dosificaciones iniciales que se realizaron considerando una densidad relativa de la arcilla expandida equivalente a 0.450 (valor suministrado por el proveedor del agregado), se

procedió a utilizar la densidad relativa en estado saturado superficialmente seco el cual es equivalente a 0.961, valor obtenido del ensayo de gravedad específica para el agregado grueso de arcilla expandida.

Luego de realizar la corrección de densidad relativa en estado saturado superficialmente seco se elaboró una nueva dosificación, ID – 471 en la que el porcentaje de volumen de arcilla expandida se incrementó de 55% a 65%, lo que finalmente influyó de manera significativa en el comportamiento del concreto. El concreto resultante de la dosificación ID – 471 no requería aditivos debido a la alta fluidez observada en la mezcla, motivo por el cual tampoco se añadió el 100% del agua de la dosificación y el aditivo superplastificante TM 100. Finalmente, se procedió a realizar el ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco obteniendo como resultado un peso unitario de 1589.74 Kg/m³ el cual es menor a 1850.00 Kg/m³ e inferior a los resultados iniciales, así mismo se obtuvo un índice de rendimiento de 0.98, lo que originó la necesidad de realizar una réplica del diseño para la elaboración de las respectivas probetas de ensayo a compresión.

Para elaborar la dosificación ID – 479 se realizó la corrección de agua disminuyendo la relación de agua/cemento de 0.46 a 0.41 y no se añadió aditivo superplastificante TM 100. Durante el proceso de elaboración del concreto se siguió observando su fluidez. El peso unitario obtenido fue de 1537.04 Kg/m³ y un rendimiento equivalente a 1.02; sin embargo, debido a la alta fluidez que aún se conservaba se procedió a realizar una última dosificación en la cual se retiró el aditivo retardante de fragua.

La dosificación ID – 482 se realizó sin ningún tipo de aditivos y aún se apreció fluidez en la mezcla, el peso unitario obtenido fue de 1620.68 Kg/m³ y su rendimiento fue equivalente a 0.96; estos resultados se deben a que el ensayo de peso unitario se realizó cuando el slump de la muestra aún no era menor a 15 cm.

7.1.2 Peso unitario en estado seco

El peso unitario del concreto en estado seco se realizó días después de efectuarse el desmoldado de las probetas correspondientes a las dosificaciones ID – 461, 471 y 479. La dosificación ID – 461 corresponde al grupo inicial del cual se empleó una densidad relativa equivalente a 0.450 para el agregado grueso (arcilla expandida), las dosificaciones ID – 471 e ID – 479 tuvieron una densidad relativa saturada superficialmente seca de 0.961 para el agregado grueso (arcilla expandida).

En las tablas: **Tabla 29**, **Tabla 30** y **Tabla 31** se desarrolló la evolución de los pesos unitarios en el tiempo, se aprecia que en todos los casos el peso unitario tiende a disminuir hasta lograr un peso estable a los 28 días aproximadamente. Para una mejor apreciación se presentaron las gráficas en las figuras: **Figura 49**, **Figura 50** y **Figura 51** .

Finalmente, todas las dosificaciones finales lograron pesos unitarios a 28 días con valores de peso unitario dentro de los parámetros de la normativa de ACI y RNE para clasificarlos como concretos livianos.

7.2 Resistencia a la compresión del concreto elaborado con arcilla expandida

Sobre la resistencia a la compresión podemos discutir que luego de realizar los 34 ensayos para la dosificación final ID – 479 se obtuvo un resultado promedio de 21.08 MPa con una desviación estándar igual a 0.69.

Como podemos observar en la **Figura 70** el 70.59 % de los resultados se encuentran dentro del primer límite de desviación estándar ($\bar{X} \pm 1S$), el 26.47 % de los resultados se encuentran dentro del segundo límite de desviación estándar ($\bar{X} \pm 2S$) y sólo 2.94 % de los resultados se encuentran dentro del tercer límite de desviación estándar ($\bar{X} + 3S$).

De los resultados obtenidos se puede determinar que la información es válida y confiable debido a la poca dispersión en los ensayos. Además,

sabiendo que se obtuvo una resistencia promedio a la compresión a los 28 días de 21.08 MPa determinamos que este concreto puede ser empleado en elementos estructurales debido a que el requisito mínimo es de 17 MPa.

DISPERSIÓN DE ENSAYOS SEGÚN LA DISTRIBUCIÓN NORMAL

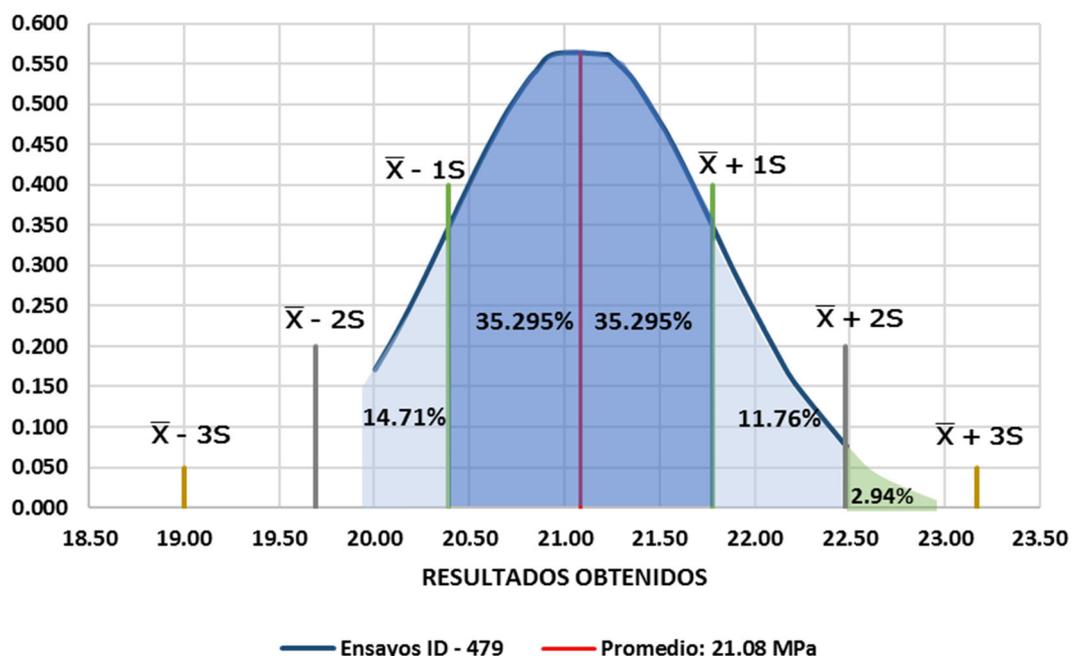


Figura 70. Gráfica de dispersión de ensayos según la distribución normal
Elaboración: los autores

7.3 Resistencia a la flexión del concreto elaborado con arcilla expandida

De las dosificaciones realizadas, la dosificación ID – 482 se destinó para los ensayos a flexión siendo una réplica de la dosificación ID – 479; se realizó el ensayo de tres (3) vigas de 15 x 15 x 75 cm aplicando el método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.

Para los tres ensayos realizados se pudo observar que la falla ocurrió dentro del tercio medio de la luz, por lo tanto, los resultados obtenidos se consideran válidos dentro de los parámetros de la normativa vigente NTP 339.078; los resultados obtenidos de los tres ensayos dieron valores superiores al módulo de rotura teórico (2.42 MPa para una resistencia a compresión de 21.08 MPa, resultado promedio obtenido de 34 ensayos con la dosificación ID – 479), tal cual lo detalla la **Figura 65** .

CONCLUSIONES

1. El peso unitario del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, cumple las características de un concreto liviano establecido en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE obteniendo un peso unitario mínimo de 1479.56 Kg/m³ a veintiocho (28) días.
2. La resistencia a la compresión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, se encuentra dentro de los parámetros de un concreto de uso estructural estipulados en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE. Alcanzando una resistencia a la compresión de 21.08 MPa a los veintiocho (28) días.
3. La resistencia a la flexión del concreto con arcilla expandida como agregado grueso, cumple los parámetros estipulados en la norma ACI 318S – 14 y la norma E.060 del RNE superando el módulo de rotura mínimo teórico 2.42 MPa a los veintiocho (28) días con un valor promedio de 2.82 MPa.

RECOMENDACIONES

De la experiencia adquirida en la presente investigación se recomienda lo siguiente:

1. Investigar la factibilidad de elaborar arcilla expandida en el Perú.
2. Investigar las propiedades del concreto elaborado con arcilla expandida fabricada en el Perú y analizar sus propiedades de peso unitario, compresión, flexión, adherencia y durabilidad.
3. Analizar el comportamiento sismorresistente del concreto elaborado con arcilla expandida fabricada en el Perú.
4. Realizar las dosificaciones según lo estipulado en la normativa de ACI 211.2 y considerar los apéndices A y B contenidos en ella, para obtener la densidad relativa del agregado liviano y el porcentaje de absorción.
5. Emplear slump mínimo de 5 a 6 pulgadas para que el concreto gane consistencia antes de realizar el vaciado de probetas.
6. Prescindir el uso de aditivos plastificantes si el slump inicial es mayor a 8 pulgadas, cuando las dosificaciones contengan un volumen mayor al 60% de agregado liviano.
7. Efectuar los ensayos de peso unitario preferentemente cuando la mezcla tenga un slump de 5 a 6 pulgadas.
8. Considerar la evolución del peso unitario en el tiempo con un mayor número de muestras.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Acevedo, W. F., & Martinez, W. V. (2017). *Desempeño de las propiedades físicas y mecánicas del concreto dosificado con cemento "Nacional" comparado con el concreto dosificado con cemento "Sol" (tesis de pregrado)*. Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Álvarez Palacios, G., & Saez Bravo, E. (2012). *Hormigón ligero: aspectos técnicos y estéticos*. (CEMEX, Ed.)
- American Concrete Institute. (1998). *Standard practice for selecting proportions for structural lightweight concrete (ACI 211.2-98 R04)*. Detroit, Michigan, U.S.A.
- American Concrete Institute. (2003). *Guide for structural lightweight - aggregate concrete (ACI 213R-03)*. Detroit, Michigan, U.S.A.
- American Concrete Institute. (2015). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318 SR-14)*. Farmington Hill, Michigan, U.S.A.
- ASTM C 330 - 05. (2006). Especificación normalizada para agregados livianos para concreto estructural. En American Society of Testing Materials, *Annual Book of ASTM Standards*.
- ASTM C138/C138M -14. (2014). Método de ensayo normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto. En A. S. Materials, *Annual Book of ASTM Standards*.
- Bustamante, D. M., & Diaz, C. A. (2014). *Evaluación de las propiedades mecánicas del concreto alivianado con perlas de poliestireno expandido reciclado (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

- Carrera, J. A. (1980). *Concreto liviano empleando vidrio volcánico como agregado (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Correa, J. D., & Ratti, G. L. (2015). *Evaluación del efecto de la variación de la dosificación de agregado ligero de arcilla expandida en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto estructural aligerado. (tesis de pregrado)*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Díaz, S. (2017). *Determinación de la resistencia a la compresión del hormigón adicionado árido de arcilla expandida (Arlita) en sustitución parcial del agregado grueso (tesis de pregrado)*. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Harmon, K. (s.f.). *Physical characteristics of expanded slate aggregate*. Obtenido de Stalite Lightweight Aggregate:
<http://www.stalite.com/uploads/EngineeringProperties.pdf>
- Hou Huang, D. E., Caicedo Chica, J. L., & Falconí Pincay, A. A. (s.f.). Hormigones Livianos de Alto Desempeño. *Revista Tecnológica ESPOL*.
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., & Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (1ra ed.). (PCA, Ed.) México.
- Martinez, D. (2010). *Concreto Liviano Estructural con Arcilla Expandida Termicamente Extraída de Canteras Localizadas en el Sur de la Sabana de Bogota (tesis de posgrado)*. Universidad Nacional de Colombia, Bogota D.C., Colombia.
- Neville, A. (1999). *Properties of concrete (Fourth and Final Edition)*. (IMCYC, Ed.)
- NTE E.060 Concreto Armado. (2009). En *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú.
- NTP 239.701 CONCRETO. *Métodos de especificación y lineamientos para el diseñador*. (2017). Lima, Perú.
- NTP 334.009 CEMENTOS. *Cementos Portland. Requisitos*. (2013). Lima, Perú.
- NTP 334.082 CEMENTOS. *Cementos Portland. Especificación de la Performance*. (2000). Lima, Perú.

- NTP 334.090 CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos.* (2013). Lima, Perú.
- NTP 339.034 HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.* (2008). Lima, Perú.
- NTP 339.047 HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados.* (2006). Lima, Perú.
- NTP 339.078 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.* (2012). Lima, Perú.
- NTP 339.185 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.* (2013). Lima, Perú.
- NTP 400.011 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos).* (2008). Lima, Perú.
- NTP 400.012 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.* (2013). Lima, Perú.
- NTP 400.022 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.* (2013). Lima, Perú.
- NTP 400.037 AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos.* (2018). Lima, Perú.
- NTP 400.037 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.* (2014). Lima, Perú.
- Pasquel, E. (1993). *Tópicos en Tecnología del Concreto en el Perú.*
- Paulino, J. C., & Espino, R. A. (2017). *Análisis comparativo de la utilización del concreto simple y el concreto liviano con perlitas de poliestireno como aislante térmico y acústico aplicado a unidades de albañilería en el Perú (tesis de pregrado).* Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Portugal, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño.* Arequipa, Arequipa, Perú.
- Rivera, G. A. (s.f.). *Concreto Simple.* Universidad del Cauca, Colombia.

- Velarde, R. L. (1984). *Estudio sobre concretos celulares (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Wilson, H. S. (diciembre de 1981). Agregados ligeros: propiedades, aplicaciones y perspectivas. *Revista IMCYC*, 19(128).
- Yagual, D. G., & Villacís, D. W. (2015). *Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida (tesis de pregrado)*. Universidad Estatal Península de Santa Elena, La Libertad, Ecuador.

ANEXOS

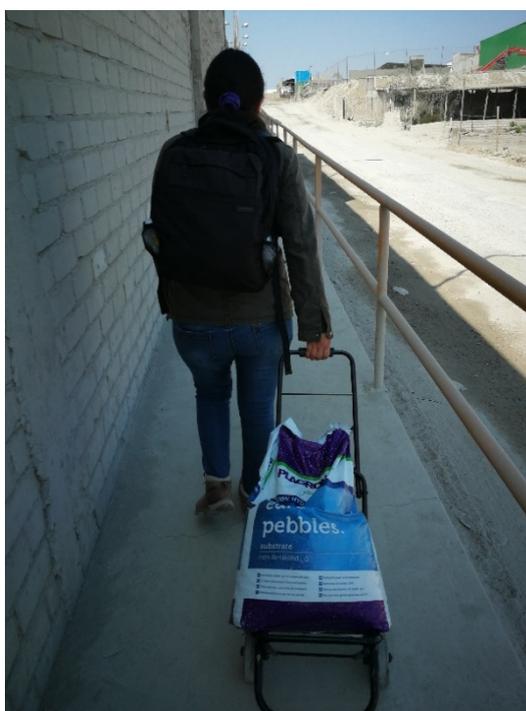
| | Página |
|--|---------------|
| ANEXO I PANEL FOTOGRÁFICO | 123 |
| ANEXO II CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE PRENSA | 138 |
| ANEXO III CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE PRENSA PARA FLEXIÓN DE VIGAS | 141 |
| ANEXO IV CERTIFICADOS QUÍMICO DEL AGUA | 144 |
| ANEXO V CERTIFICADOS QUÍMICO DE LA ARENA | 146 |
| ANEXO VI CERTIFICADOS DE CALIDAD DE ADITIVOS | 153 |
| ANEXO VII VALORES PARA GRÁFICAS DE DISPERSIÓN | 155 |
| ANEXO VIII DISEÑOS DE LAS DOSIFICACIONES | 159 |

ANEXO I

PANEL FOTOGRÁFICO



Fotografía 1: Muestra de agregado grueso liviano, arcilla expandida Arlita [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 2: Ingreso a la planta [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 3: (Izquierda) Proceso de tamizado, (derecha) Pesado del agregado grueso liviano.

Izquierda: [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).

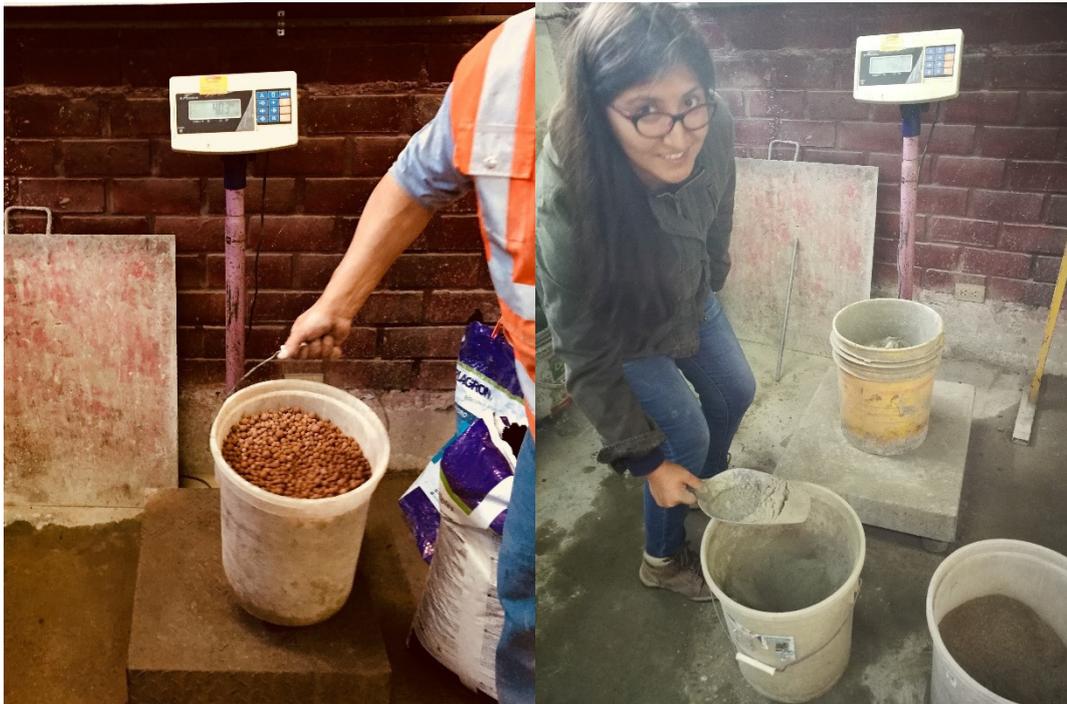
Derecha: [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 4: Proceso de verificación de estado saturado superficialmente seco del agregado fino, arena [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



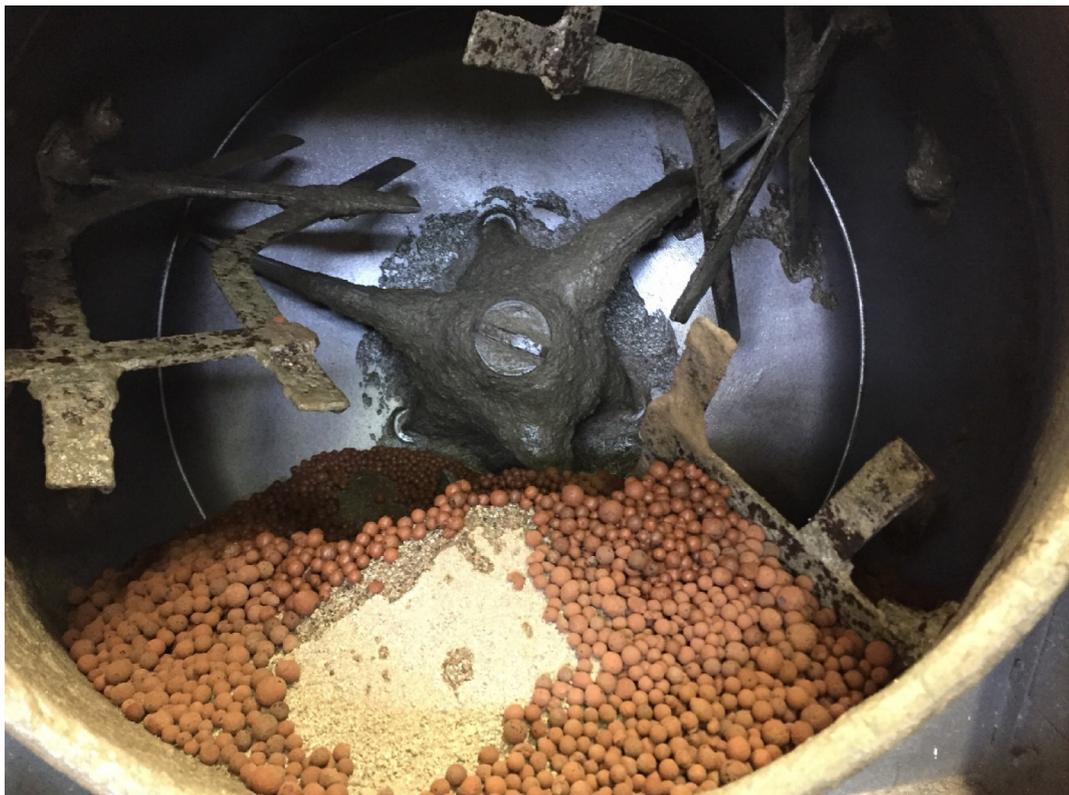
Fotografía 5: Centrifugado de agregado grueso liviano para ensayo de absorción [Fotografías de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Fotografía 6: Preparación de dosificación de muestra [Fotografías de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 7: Proceso de colocación de componentes para la dosificación
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Fotografía 8: Agregado fino y agregado grueso liviano, previo al mezclado
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Fotografía 9: Vaciado de concreto elaborado con arcilla expandida [Fotografías de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 10: Ensayo de pérdida de slump para control de trabajabilidad [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 11: (Izquierda) Colocación de concreto (Derecha) Prueba de cono de Abrams
 Izquierda: [Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).
 Derecha: [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



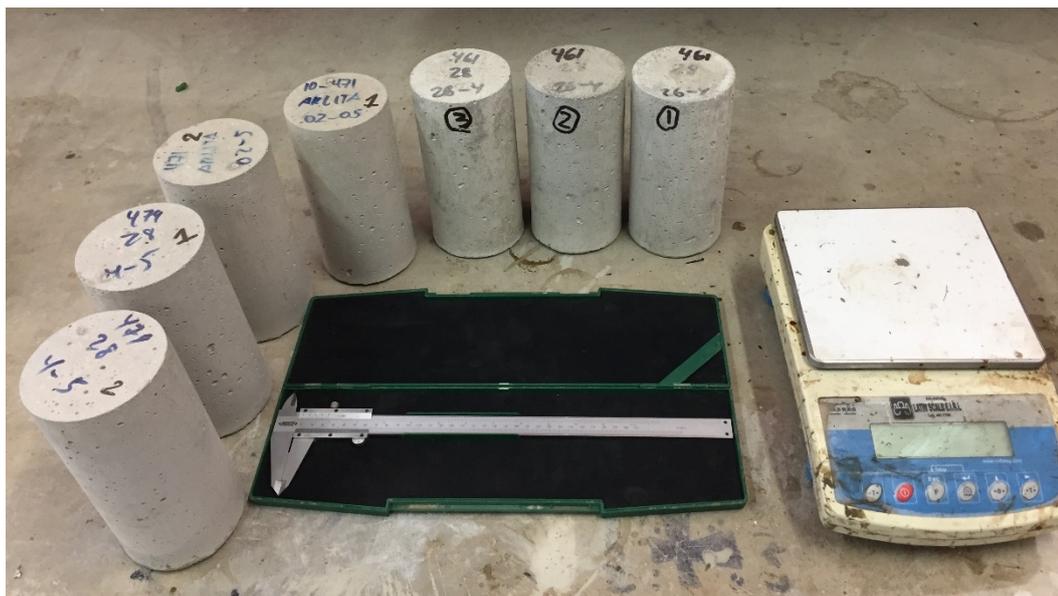
Fotografía 12: Medida de pérdida de slump
 Derecha: [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Fotografía 13: Preparación de molde para viga y colocación de concreto en probetas [Fotografías de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Fotografía 14: Elaboración de probetas y vigas [Fotografía de William Acevedo]. (Lima. 2018).



Fotografía 15: Muestra de probetas para evolución del peso unitario en estado seco [Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Fotografía 16: Medida y peso de las probetas para evolución del peso unitario en estado seco [Fotografías de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



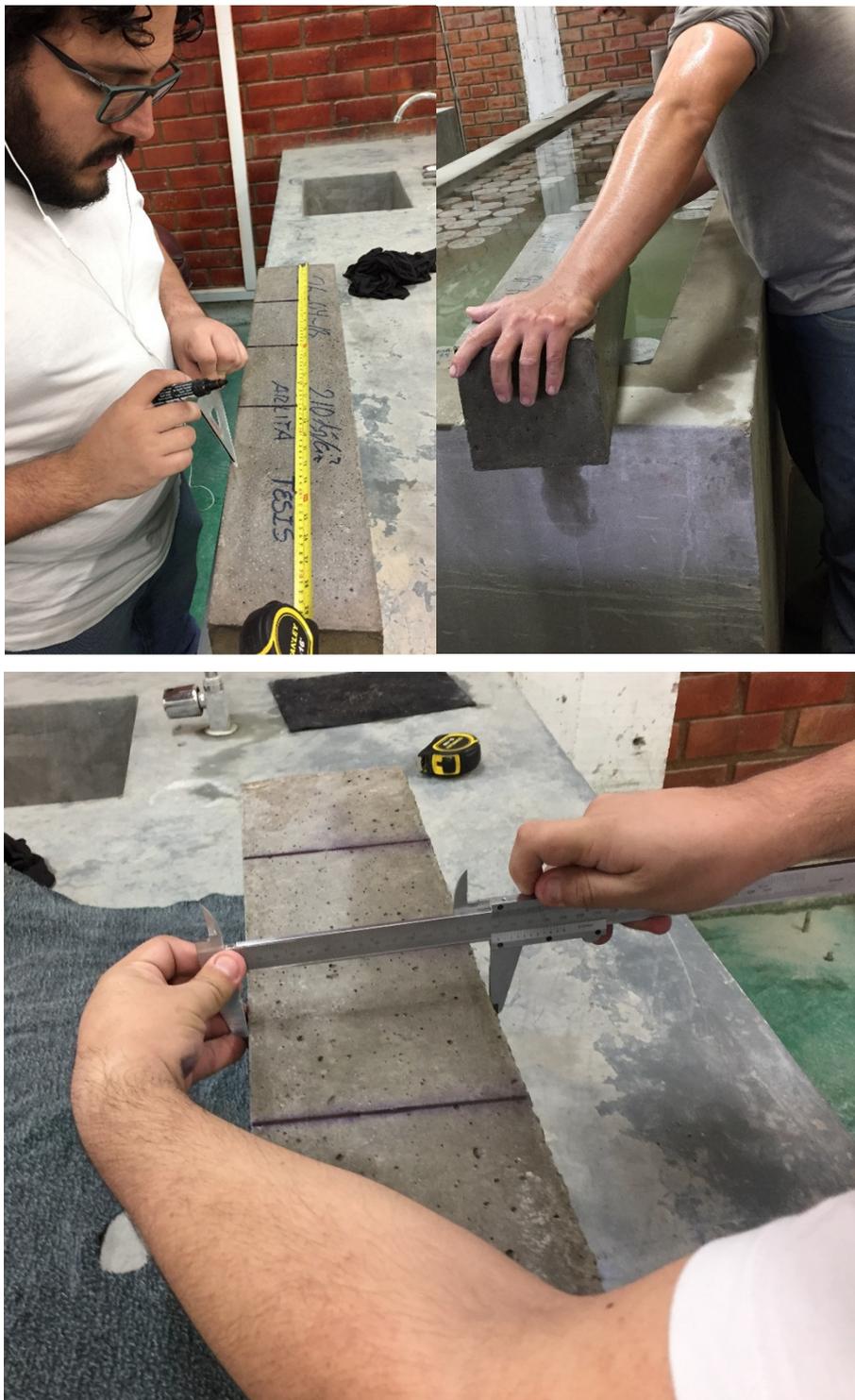
Fotografía 17: Ensayo de la resistencia a la compresión [Fotografías de Gina Quispe]. (Lima, 2018).



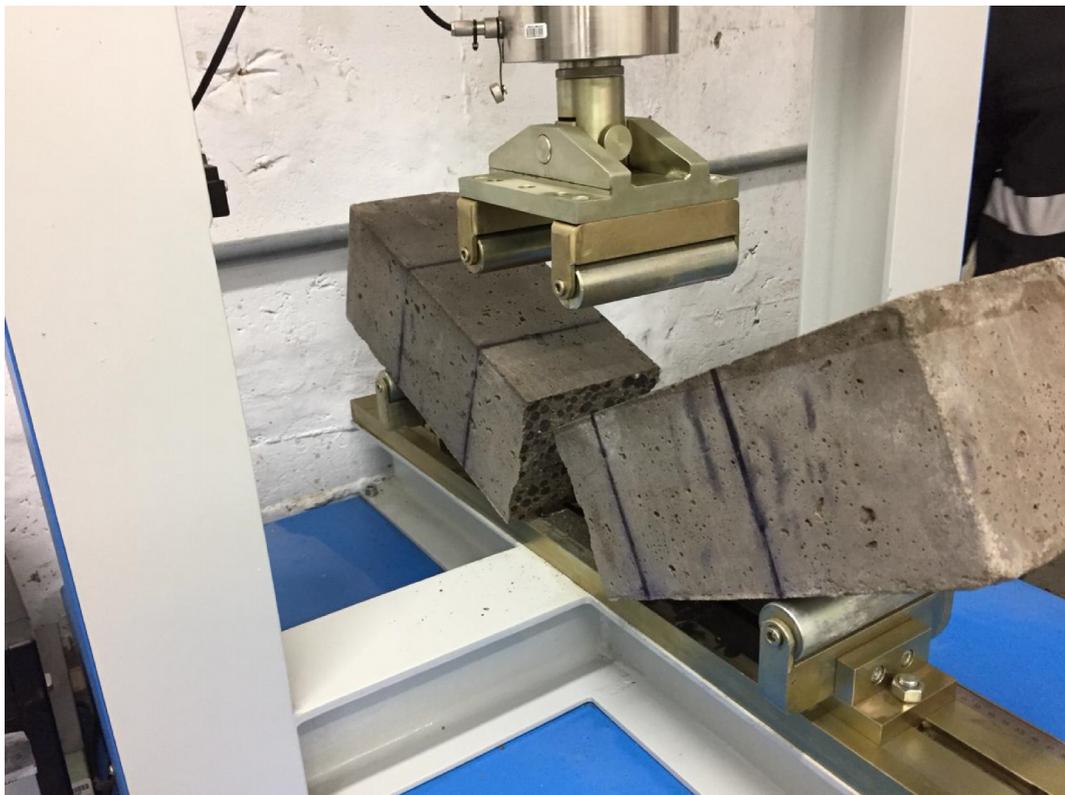
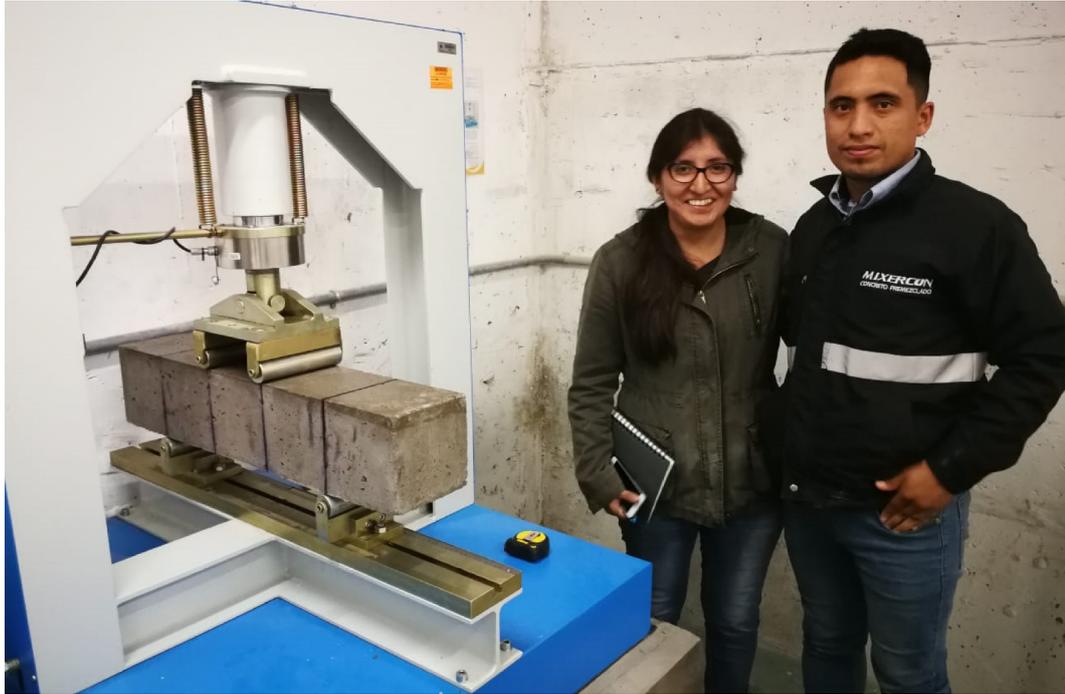
[Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 18: Probetas luego del ensayo de la resistencia a la compresión
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Fotografía 19: Medida para ubicar los tercios de luz de la viga [Fotografías de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



Fotografía 20: Supervisión del Ingeniero William Acevedo Damián para realizar el ensayo de la resistencia a la flexión [Fotografías de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 21: Vigas antes y después del ensayo [Fotografías de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



[Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).



Fotografía 22: Medida de lados en la zona de rotura de la viga ensayada
[Fotografía de Gina Quispe]. (Lima. 2018).



[Fotografía de Iván Fernandez]. (Lima. 2018).



[Fotografía de William Acevedo]. (Lima. 2018).



Fotografía 23: Equipo Mixercon
[Fotografía de Jonatán Vera]. (Lima. 2018).

ANEXO II

CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE PRENSA

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN MT - LF - 091 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

| | | |
|-------------------------|---|---|
| 1. Expediente | 18287 | Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). |
| 2. Solicitante | MIXERCON S.A. | Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente. |
| 3. Dirección | Car. Panamericana Sur km. 17,5 Mza. C Lote 4 Asoc. La Concordia, Villa El Salvador - Lima - LIMA. | METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. |
| 4. Equipo | PRENSA DE CONCRETO | Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. |
| Capacidad | 2000 kN | El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez. |
| Marca | UTEST | |
| Modelo | UTC-6231 | |
| Número de Serie | 17/002380 | |
| Procedencia | TURQUIA | |
| Identificación | 01547 (*) | |
| Indicación | DIGITAL | |
| Marca | UTEST | |
| Modelo | BC100 | |
| Número de Serie | NO INDICA | |
| Resolución | 0,1 kN | |
| Ubicación | LABORATORIO DE CONCRETO | |
| 5. Fecha de Calibración | 2018-02-07 | |

Fecha de Emisión

2018-04-16

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISPE MORALES



Metrología & Técnicas S.A.C.
 Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
 Tel.: (511) 540-0642
 Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282
 RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282
 RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
 ventas@metrologiatecnicas.com
 WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 091 - 2018

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticas. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE CONCRETO

Car. Panamericana Sur km. 17,5 Mza. C Lote 4 Asoc. La Concordia, Villa El Salvador - Lima - LIMA.

8. Condiciones Ambientales

| | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 25,0 °C | 24,7 °C |
| Humedad Relativa | 65 % HR | 64 % HR |

**9. Patrones de referencia**

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Informe/Certificado de calibración |
|--|---|------------------------------------|
| Celdas patrones calibradas en el National Standards Testing Laboratory de Maryland - USA | Celda de carga calibrado a 1500 kN con incertidumbre del orden de 0,6 % | LEDI-PUCP INF-LE N° 006-18A |

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.
- (*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherido en el equipo.

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ

Tel: (511) 540-0642

Cel: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282

RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 091 - 2018

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

| Indicación del Equipo | | Indicación de Fuerza (Ascenso) | | | | F _{promedio} (kgf) |
|-----------------------|----------------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| % | F _i (kgf) | F ₁ (kgf) | F ₂ (kgf) | F ₃ (kgf) | Patrón de Referencia | |
| 10 | 15000 | 14964,2 | 15024,5 | 15009,4 | | 14999,4 |
| 20 | 30000 | 30070,2 | 30100,2 | 30085,2 | | 30085,2 |
| 30 | 45000 | 45124,9 | 45220,1 | 45170,0 | | 45171,6 |
| 40 | 60000 | 60213,7 | 60198,7 | 60203,7 | | 60205,3 |
| 50 | 75000 | 74776,6 | 74821,6 | 74791,6 | | 74796,6 |
| 60 | 90000 | 89619,0 | 89594,1 | 89604,0 | | 89605,7 |
| 70 | 105000 | 104824,7 | 104869,5 | 104849,6 | | 104847,9 |
| 80 | 120000 | 119924,2 | 119949,1 | 119934,2 | | 119935,8 |
| 90 | 135000 | 134888,0 | 134967,6 | 134937,8 | | 134931,1 |
| 100 | 150000 | 150019,7 | 150084,3 | 150074,3 | | 150059,4 |
| Retorno a Cero | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | |

| Indicación del Equipo F (kgf) | Errores Encontrados en el Sistema de Medición | | | | Incertidumbre U (k=2) (%) |
|----------------------------------|---|------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| | Exactitud a (%) | Repetibilidad b (%) | Reversibilidad v (%) | Resol. Relativa σ (%) | |
| 15000 | 0,00 | 0,40 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 30000 | -0,28 | 0,10 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 45000 | -0,38 | 0,21 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 60000 | -0,34 | 0,02 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 75000 | 0,27 | 0,06 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 90000 | 0,44 | 0,03 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 105000 | 0,15 | 0,04 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 120000 | 0,05 | -0,02 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 135000 | 0,05 | 0,06 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 150000 | -0,04 | 0,04 | --- | 0,00 | 0,34 |

| | |
|---|--------|
| MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f ₀) | 0,00 % |
|---|--------|


12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura k=2, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a

largo plazo,
 Metrología & Técnicas S.A.C.
 Av. San Diego de Alcalá Ms F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
 Telf.: (511) 540-0642
 Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282
 RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282
 RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
 ventas@metrologiatecnicas.com
 WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

ANEXO III
CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE PRENSA PARA
FLEXIÓN DE VIGAS

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 090 - 2018

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

| | | |
|-------------------------|--|---|
| 1. Expediente | 18287 | Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). |
| 2. Solicitante | MIXERCON S.A. | |
| 3. Dirección | Car. Panamericana Sur km. 17,5 Mza. C Lote 4 Asoc. La Concordia, Villa El Salvador - Lima - LIMA. | Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual esté en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente. |
| 4. Equipo | PRENSA PARA FLEXION DE VIGAS | |
| Capacidad | 200 kN | |
| Marca | UTEST | |
| Modelo | UTC-5600 | METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. |
| Número de Serie | 17/002742 | |
| Procedencia | TURQUIA | |
| Identificación | 01546 (*) | |
| Indicación | DIGITAL | Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. |
| Marca | UTEST | |
| Modelo | BC100 | |
| Número de Serie | NO INDICA | |
| Resolución | 0,01 kN | |
| Ubicación | LABORATORIO DE CONCRETO | El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez. |
| 5. Fecha de Calibración | 2018-02-07 | |

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

2018-04-18


JUAN C. QUISPE MORALES



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
Tel.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282
RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 090 - 2018***Área de Metrología**Laboratorio de Fuerza*

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticas. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE CONCRETO

Car. Panamericana Sur km. 17,5 Mza. C Lote 4 Asoc. La Concordia, Villa El Salvador - Lima - LIMA.

8. Condiciones Ambientales

| | Inicial | Final |
|------------------|---------|---------|
| Temperatura | 25,5 °C | 25,3 °C |
| Humedad Relativa | 65 % HR | 64 % HR |

9. Patrones de referencia

| Trazabilidad | Patrón utilizado | Informe/Certificado de calibración |
|--|--|------------------------------------|
| Celdas patrones calibradas en el National Standards Testing Laboratory de Maryland - USA | Celda de carga calibrado a 50 KIP con incertidumbre del orden de 0,6 % | LEDI-PUCP INF-LE 006-18B |

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.
- (*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherido en el equipo.



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282
RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 090 - 2018

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

| Indicación del Equipo | | Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia | | | |
|-----------------------|-------------|--|-------------|-------------|----------------------|
| % | F_1 (kgf) | F_2 (kgf) | F_3 (kgf) | F_4 (kgf) | $F_{Promedio}$ (kgf) |
| 10 | 2000 | 2012,1 | 2011,1 | 2011,6 | 2011,6 |
| 20 | 4000 | 4027,8 | 4014,8 | 4021,8 | 4021,4 |
| 30 | 6000 | 6026,2 | 6024,7 | 6026,2 | 6025,7 |
| 40 | 8000 | 8032,8 | 8040,8 | 8036,8 | 8036,8 |
| 50 | 10000 | 10050,6 | 10046,1 | 10048,6 | 10048,5 |
| 60 | 12000 | 12037,1 | 12041,6 | 12039,1 | 12039,3 |
| 70 | 14000 | 14066,3 | 14044,8 | 14055,8 | 14055,6 |
| 80 | 16000 | 16046,7 | 16039,7 | 16043,2 | 16043,2 |
| 90 | 18000 | 18067,8 | 18059,3 | 18063,8 | 18063,6 |
| 100 | 20000 | 20069,6 | 20078,0 | 20073,6 | 20073,7 |
| Retorno a Cero | | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |

| Indicación del Equipo F (kgf) | Errores Encontrados en el Sistema de Medición | | | | Incertidumbre U (k=2) (%) |
|------------------------------------|---|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | Exactitud a (%) | Repetibilidad b (%) | Reversibilidad v (%) | Resol. Relativa α (%) | |
| 2000 | -0,57 | 0,05 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 4000 | -0,53 | 0,32 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 6000 | -0,43 | 0,02 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 8000 | -0,46 | 0,10 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 10000 | -0,48 | 0,04 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 12000 | -0,33 | 0,04 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 14000 | -0,40 | 0,15 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 16000 | -0,27 | 0,04 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 18000 | -0,35 | 0,05 | --- | 0,00 | 0,34 |
| 20000 | -0,37 | 0,04 | --- | 0,00 | 0,34 |

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)

0,00 %

**12. Incertidumbre**

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a

largo plazo.
Metrología & Técnicas S.A.C.
 Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
 Telf.: (511) 540-0642
 Cel.: (511) 971 439 272 / 942 635 342 / 971 439 282
 RPM: # 971439272 / #942635342 / #971439282
 RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
 WEB: www.metrologiatecnicas.com

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

ANEXO IV

CERTIFICADOS QUÍMICO DEL AGUA



INFORME DE ENSAYO ICP/INF-063/2018

| | |
|-----------------------------|---|
| SOLICITANTE: | MIXERCON S.A. |
| DOMICILIO: | Atención: Ing. José Viacava Carretera Panamericana Sur Km. 17.5 Mza. C lote 4 Asociación La Concordia Villa El Salvador |
| TELÉFONO / FAX: | 616-9719 |
| SERVICIO SOLICITADO: | Análisis químico en 01 (una) muestra acuosa. |
| REFERENCIA: | ICP/PRO-043/2018. |
| PROCEDENCIA: | Purga baja de caldera. |
| MUESTREO: | Realizado por el solicitante. |
| FECHA: | 2018-03-26. |

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Fue recibida 01 (una) muestra de agua para la determinación de los ítems establecidos en la referencia.

| Código solicitante | Fecha | Hora | Código ICP PUCP 2018AQ |
|--------------------------------------|------------|-------|------------------------|
| AGUA DE PRODUCCIÓN ZONA SUR-MIXERCON | 2018-03-12 | 07:00 | 0304 |

2. **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 2018-03-12.
3. **FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS:** 2018-03-16 a 2018-03-26.

4. MÉTODOS DE ENSAYO

- Determinación de pH: Método electrométrico basado en SM 4500 H⁺.
 - Determinación de sólidos totales en suspensión: Método gravimétrico basado en SM 2540 D.
 - Determinación de sólidos totales disueltos: Método gravimétrico basado en SM 2540 C.
 - Determinación de alcalinidad total: Método titrimétrico basado en SM 2320 B.
 - Determinación de cloruro: Método titrimétrico basado en SM 4500 Cl⁻ B.
 - Determinación de sulfato: Método turbidimétrico basado en HACH 8051.
 - Determinación de materia orgánica: Método colorimétrico basado en SM 5220 D.
- SM: Standard Methods for Examination of Water & Wastewater APHA-AWWA-WEF, Ed 22^{na}-2012.

5. RESULTADOS

| ANÁLISIS DE MUESTRAS DE AGUA | | |
|-------------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Código de muestra | Código solicitante | AGUA DE PRODUCCIÓN ZONA SUR-MIXERCON |
| | Código ICP-PUCP 2018AQ | 0304 |
| Parámetros | Unidades | Resultados |
| pH | ----- | 8,009 |
| Sólidos totales en suspensión | mg/L | 2 |
| Sólidos totales disueltos | mg/L | 2259 |
| Alcalinidad total | mg CaCO ₃ / L | 208,4 |
| Cloruro | mg/L | 484 |
| Sulfato | mg/L | 305 |
| Materia orgánica | mg/L | 22 |

Los resultados obtenidos son aplicables únicamente a la(s) muestra(s) ensayada(s).



INFORME DE ENSAYO ICP/INF-063/2018

6. OBSERVACIONES

Los resultados reportados son promedios de dos réplicas, excepto el de pH que es promedio de tres réplicas.

EL PRESENTE INFORME DE ENSAYO CONSTA DE 02 (DOS) PÁGINAS DE TEXTO.

Ing. Ilse Eliana Acosta Sulcahuamán.
Jefe (e) del Laboratorio de Análisis Químico e Instrumental.
Instituto de Corrosión y Protección (ICP PUCP).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Instituto de Corrosión y Protección


Prof. ISABEL DÍAZ TAMAYO
Directora



2 de 2

ANEXO V
CERTIFICADOS QUÍMICO DE LA ARENA

DEPARTAMENTO
DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS



PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS
NTP 339.146

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Solicitante : MIXERCON S.A. | Expediente : 18-070 |
| Proyecto : CONTROL DE CALIDAD | Fecha : 26-Mar-2018 |
| Muestra : AF. CANTERA MIRANDA | |

Equivalente de Arena

75%


MANUEL A. OLCESE FRANZERO
 Ingeniero Civil CIP 12969
 Jefe del Laboratorio

18-070/8/EQA/I de 1

**PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS
ASTM C-142**

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Solicitante : MIXERCON S.A. | Expediente : 18-070 |
| Proyecto : CONTROL DE CALIDAD | |
| Muestra : AF. CANTERA MIRANDA | Fecha : 26-Mar-2018 |

Contenido de Arcilla y Partículas Friables

| | |
|-----------------|--------------|
| Agregado Fino | 1.02% |
| Agregado Grueso | ----- |


MANUEL A. OLCESE FRANZERO
Ingeniero Civil CIP 12969
Jefe del Laboratorio

18-070/8/CAR/1 de 1

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

**PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS
ASTM C-123**

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Solicitante : MIXERCON S.A. | Expediente : 18-070 |
| Proyecto : CONTROL DE CALIDAD | |
| Muestra : AF. CANTERA MIRANDA | Fecha : 26-Mar-2018 |

Contenido de Partículas Ligeras (Carbón o Lignito)

| | |
|-----------------|--------------|
| Agregado Grueso | ---- |
| Agregado Fino | 0.00% |



MANUEL A. OLCESE FRANZERO
Ingeniero Civil CIP 12969
Jefe del Laboratorio

18-070/8/CPL/1 de 1

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

**PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS
ASTM C-117**

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Solicitante : MIXERCON S.A. | Expediente : 18-070 |
| Proyecto : CONTROL DE CALIDAD | Fecha : 26-Mar-2018 |
| Muestra : AF. CANTERA MIRANDA | |

| | |
|--|--------------|
| Contenido de partículas menores que la malla #200 | 3.93% |
|--|--------------|



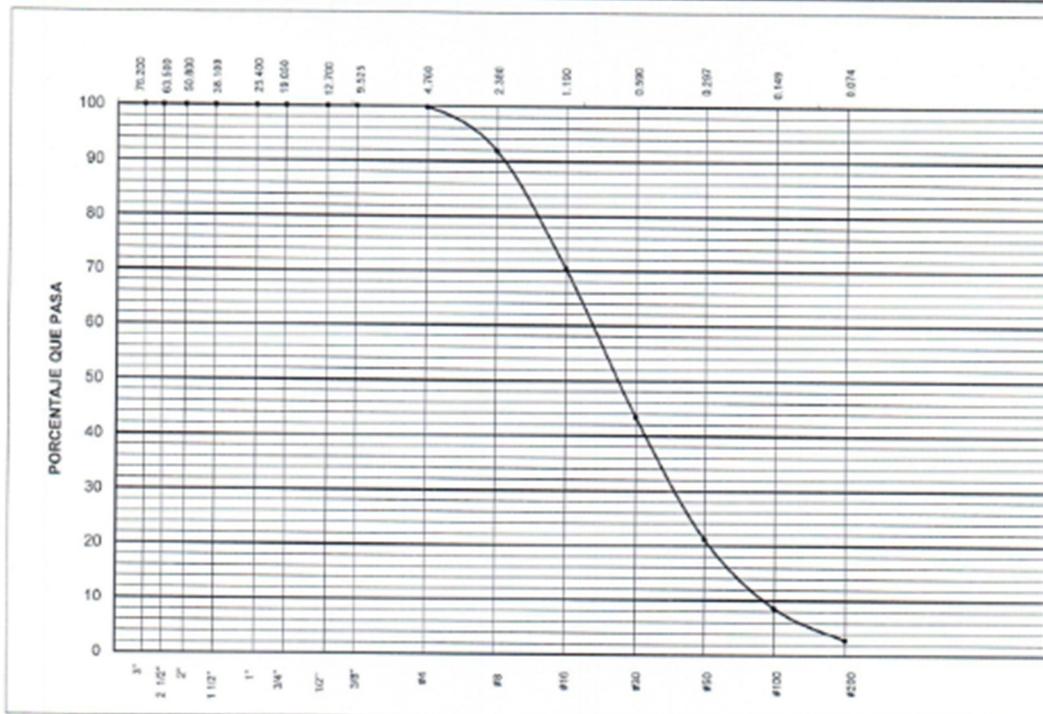
MANUEL A. OLCESE FRANZERO
Ingeniero Civil C.I.D. 12969
Jefe del Laboratorio

18-070/8/PM2/1 de 1

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS
ASTM C-136

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| Solicitante : MIXERCON S.A. | Expediente : 18-070 |
| Proyecto : CONTROL DE CALIDAD | |
| Muestra : AF. CANTERA MIRANDA | Fecha : 26-Mar-2018 |



| Huso ASTM N° (para agregados gruesos) : ----- | Peso Especifico de la Masa (Bulk) : 2.59 g/cm³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|---------------------|---------------------|---------------------|----|-----|----|-----|--------|-----|----|----|----|-----|-----|----|--------|-----|-----|----|----|-----|-----|----|------|-----|------|---|------|-----|------|---|------|-----|-------|-------|--|
| Tamaño Máximo : 9.53 mm | Peso Bulk Superficialmente Seco : 2.62 g/cm³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tamaño Máximo Nominal : ----- | Peso Especifico Aparente : 2.65 g/cm³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Módulo de Fineza : 2.65 | Humedad de Absorción : 0.86 % | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso Unitario Compactado : 1.76 g/cm³ | Humedad Natural : ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso Unitario Suelto : 1.50 g/cm³ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamiz ASTM</th> <th>Porcentaje que pasa</th> <th>Tamiz ASTM</th> <th>Porcentaje que pasa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>3"</td><td>100</td><td>#4</td><td>100</td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td>100</td><td>#8</td><td>92</td></tr> <tr><td>2"</td><td>100</td><td>#16</td><td>70</td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>100</td><td>#30</td><td>43</td></tr> <tr><td>1"</td><td>100</td><td>#50</td><td>21</td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>100</td><td>#100</td><td>9</td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>100</td><td>#200</td><td>3</td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>100</td><td>-----</td><td>-----</td></tr> </tbody> </table> | Tamiz ASTM | Porcentaje que pasa | Tamiz ASTM | Porcentaje que pasa | 3" | 100 | #4 | 100 | 2 1/2" | 100 | #8 | 92 | 2" | 100 | #16 | 70 | 1 1/2" | 100 | #30 | 43 | 1" | 100 | #50 | 21 | 3/4" | 100 | #100 | 9 | 1/2" | 100 | #200 | 3 | 3/8" | 100 | ----- | ----- |  <p>MANUEL A. OLCESE FRANZERO Ingeniero Civil CIP 42969 Jefe del Laboratorio</p> |
| Tamiz ASTM | Porcentaje que pasa | Tamiz ASTM | Porcentaje que pasa | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3" | 100 | #4 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 1/2" | 100 | #8 | 92 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2" | 100 | #16 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 1/2" | 100 | #30 | 43 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1" | 100 | #50 | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3/4" | 100 | #100 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1/2" | 100 | #200 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3/8" | 100 | ----- | ----- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

18-070/8/AG/1 de 1

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

INFORME DE ENSAYO ICP/INF-059/2018

| | |
|-----------------------------|---|
| SOLICITANTE: | MIXERCON S.A. |
| DOMICILIO: | Atención: Ing. José Viacava Carretera Panamericana Sur Km. 17.5 Mza. C lote 4 Asociación La Concordia Villa El Salvador |
| TELÉFONO / FAX: | 616-9719 |
| SERVICIO SOLICITADO: | Análisis químico en 01 (una) muestra sólida. |
| REFERENCIA: | ICP/PRO-043/2018. |
| MUESTREO: | Realizado por el solicitante. |
| FECHA: | 2018-03-26. |

1. DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Fue recibida 01 (una) muestra de agregado para la determinación de los ítems establecidos en la referencia.

| Código solicitante | Código ICP PUCP 2018AQ |
|---------------------|---------------------------|
| AF. CANTERA MIRANDA | 0301 |

2. **FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:** 2018-03-12.
3. **FECHA DE EJECUCIÓN DE ENSAYOS:** 2018-03-16 a 2018-03-26.
4. **MÉTODOS DE ENSAYO**
- Determinación de cloruro soluble: Método titrimétrico basado en ASTM D1411-09.
 - Determinación de sulfato soluble: Método turbidimétrico basado en HACH 8051.
 - Determinación de sales solubles totales: Método gravimétrico basado en SM 2540 C.

SM: Standard Methods for Examination of Water & Wastewater APHA-AWWA-WEF, Ed 22th-2012.

5. RESULTADOS

| ANÁLISIS DE MUESTRA DE AGREGADO | | |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------|
| Código de muestra | Código solicitante | AF. CANTERA MIRANDA |
| | Código ICP-PUCP 2018AQ | 0301 |
| Parámetros | Unidades | Resultados |
| Cloruro soluble | mg/Kg | 324 |
| Sulfato soluble | mg/Kg | 158 |
| Sales solubles totales | mg/Kg | 1140 |

Los resultados obtenidos son aplicables únicamente a la(s) muestra(s) ensavada(s).

6. OBSERVACIONES

Los resultados reportados son promedios de dos réplicas.

EL PRESENTE INFORME DE ENSAYO CONSTA DE 01 (UNA) PÁGINA DE TEXTO.

Ing. Ilse Eliana Acosta Sulcahuamán,
Jefe (e) del Laboratorio de Análisis Químico e Instrumental,
Instituto de Corrosión y Protección (ICP PUCP).

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Instituto de Corrosión y Protección

Isabel Díaz Tamayo
Prof. ISABEL DÍAZ TAMO
Directora 1 de 1

**PROPIEDADES FÍSICAS DE AGREGADOS
ASTM C-40**

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Solicitante : MIXERCON S.A. | Expediente : 18-070 |
| Proyecto : CONTROL DE CALIDAD | |
| Muestra : AF. CANTERA MIRANDA | Fecha : 26-Mar-2018 |

| | |
|---|-------------|
| Impurezas Orgánicas por Colorimetría | Nº 1 |
|---|-------------|



MANUEL A. OLCESE TRANZERO
Ingeniero Civil CIP 12969
Jefe del Laboratorio

18-070/8/IOC/1 de 1

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

ANEXO VI

CERTIFICADOS DE CALIDAD DE ADITIVOS

CERTIFICADO DE CALIDAD

BUILDING TRUST



El presente documento presenta el Estado Permisible de las especificaciones técnicas de nuestro producto **Plastiment TM 30 x 1 L**

1. ESTADO PERMISIBLE Y RESULTADOS DEL LOTE ANALIZADO:

NÚMERO DE LOTE: 073539 Fabric: 05/03/18 O/P: OP073539

| Ensayo | Rango de Aceptación | Resultados |
|-----------------------------|-------------------------|------------|
| Aspecto | Min: 0.00 - Máx: 0.00 | Correcto |
| Densidad (Kg/L) | Min: 1.15 - Máx: 1.19 | 1.16 |
| pH al 10% (agua destilada) | Min: 4.50 - Máx: 6.50 | 6.47 |
| Sólidos por Desecación (%) | Min: 31.00 - Máx: 35.00 | 34.13 |
| Análisis Cualitativo por IR | Min: 0.00 - Máx: 0.00 | Correcto |
| Fecha de vencimiento | 1 año | 04-2019 |

2. REFERENCIA:

NICC : 8520000 Edición : 3

Este documento es elaborado electrónicamente, por lo tanto tiene validez sin firma.

Atentamente,

Gari Medina Salvatierra

Jefe de Laboratorio

Lurín, 07 de Marzo 2018

Formato CC-F 13

Autorizado por: GMS

Fecha: 27-05-13

Edición: 2

LA INFORMACIÓN Y EN PARTICULAR LAS RECOMENDACIONES DE ESTA INSTRUCCIÓN DE USO ESTÁN BASADAS EN LOS ACTUALES CONOCIMIENTOS, EXPERIENCIA, Y EN PRUEBAS QUE CONSIDERAMOS SEGURAS SOBRE LOS PRODUCTOS APROPIADAMENTE ALMACENADOS, MANIPULADOS Y UTILIZADOS EN LAS CONDICIONES NORMALES DESCRITAS. EN LA PRÁCTICA, Y NO PUDIENDO CONTROLAR LAS CONDICIONES DE APLICACIÓN (TEMPERATURA, ESTADO DE LOS SUSTRATOS, ETC.), NO NOS RESPONSABILIZAMOS POR NINGÚN DAÑO, PERJUICIO O PÉRDIDA OCASIONADAS POR EL USO INADECUADO DEL PRODUCTO. ACONSEJAMOS AL USUARIO QUE PREVIAMENTE DETERMINE SI EL MISMO ES APROPIADO PARA EL USO PARTICULAR PROPUESTO. TODOS LOS PEDIDOS ESTÁN SUJETOS A NUESTROS TÉRMINOS CORRIENTES DE VENTA Y ENTREGA. LOS USUARIOS SIEMPRE DEBEN REMITIRSE A LA ÚLTIMA EDICIÓN DE LAS HOJAS TÉCNICAS DE LOS PRODUCTOS; CUYAS COPIAS SE ENTREGARÁN A SOLICITUD DEL INTERESADO O A LAS QUE PUEDEN ACCEDER EN INTERNET A TRAVÉS DE NUESTRA PÁGINA WEB WWW.SIKA.COM.PE

SIKA PERU S.A.

Centro Industrial "Las Praderas de Lurín" S/N Mz B Lotes 5 y 6 / Lurín / Lima - Perú

Telf: +51 1 618 6060 · Fax: +51 1 618 6070 · www.sika.com.pe

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

CERTIFICADO DE CALIDAD**BUILDING TRUST**

El presente documento presenta el Estado Permisible de las especificaciones técnicas de nuestro producto Sikament TM-100 x 1 L

1. ESTADO PERMISIBLE Y RESULTADOS DEL LOTE ANALIZADO:

NÚMERO DE LOTE: 073584 **Fabric:** 06/03/18 **O/P:**

| Ensayo | Rango de Aceptación | Resultados |
|-----------------------------|-------------------------|------------|
| Aspecto | Mín: 0.00 - Máx: 0.00 | Correcto |
| Densidad (Kg/L) | Mín: 1.20 - Máx: 1.22 | 1.22 |
| pH al 10% (agua destilada) | Mín: 7.50 - Máx: 10.50 | 7.65 |
| Sólidos por Desecación (%) | Mín: 38.00 - Máx: 42.00 | 42.00 |
| Análisis Cualitativo por IR | Mín: 0.00 - Máx: 0.00 | Correcto |
| Fecha de vencimiento | 1 año | 04-2019 |

2. REFERENCIA:

NICC : 1024000 Edición : 2

Este documento es elaborado electrónicamente, por lo tanto tiene validez sin firma.

Atentamente,

Gari Medina Salvatierra

Jefe de Laboratorio

Lurin, 07 de Marzo 2018

Formato CC-F 13
 Autorizado por: GMS
 Fecha: 27-05-13
 Edición: 2

LA INFORMACIÓN Y EN PARTICULAR LAS RECOMENDACIONES DE ESTA INSTRUCCIÓN DE USO ESTÁN BASADAS EN LOS ACTUALES CONOCIMIENTOS, EXPERIENCIA, Y EN PRUEBAS QUE CONSIDERAMOS SEGURAS SOBRE LOS PRODUCTOS APROPIADAMENTE ALMACENADOS, MANIPULADOS Y UTILIZADOS EN LAS CONDICIONES NORMALES DESCRITAS. EN LA PRÁCTICA, Y NO PUDIENDO CONTROLAR LAS CONDICIONES DE APLICACIÓN (TEMPERATURA, ESTADO DE LOS SUSTRATOS, ETC.), NO NOS RESPONSABILIZAMOS POR NINGÚN DAÑO, PERJUICIO O PÉRDIDA OCASIONADAS POR EL USO INADECUADO DEL PRODUCTO. ACONSEJAMOS AL USUARIO QUE PREVIAMENTE DETERMINE SI EL MISMO ES APROPIADO PARA EL USO PARTICULAR PROPUESTO. TODOS LOS PEDIDOS ESTÁN SUJETOS A NUESTROS TÉRMINOS CORRIENTES DE VENTA Y ENTREGA. LOS USUARIOS SIEMPRE DEBEN REMITIRSE A LA ÚLTIMA EDICIÓN DE LAS HOJAS TÉCNICAS DE LOS PRODUCTOS; CUYAS COPIAS SE ENTREGARÁN A SOLICITUD DEL INTERESADO O A LAS QUE PUEDEN ACCEDER EN INTERNET A TRAVÉS DE NUESTRA PÁGINA WEB WWW.SIKA.COM.PE

SIKA PERU S.A.

Centro Industrial "Las Praderas de Lurin" S/N Mz B Lotes 5 y 6 / Lurin / Lima - Perú
 Telf: +51 1 618 6060 · Fax: +51 1 618 6070 · www.sika.com.pe

Fuente: Otorgado por MIXERCON S.A.

ANEXO VII

VALORES PARA GRÁFICAS DE DISPERSIÓN

| Valores para gráfica de dispersión de ID - 461 Promedio simple | | | | | | | | |
|--|-----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ensayo | Resis MPa | Promedio | $\bar{X} + 1S$ | $\bar{X} - 1S$ | $\bar{X} + 2S$ | $\bar{X} - 2S$ | $\bar{X} + 3S$ | $\bar{X} - 3S$ |
| 1 | 28.16 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 2 | 28.74 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 3 | 26.28 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 4 | 28.09 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 5 | 28.06 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 6 | 25.90 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 7 | 27.05 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 8 | 29.45 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 9 | 28.77 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 10 | 27.83 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 11 | 30.54 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 12 | 30.31 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 13 | 27.16 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 14 | 30.48 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 15 | 31.66 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 16 | 29.78 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 17 | 28.13 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 18 | 31.05 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 19 | 27.94 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 20 | 27.06 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 21 | 28.32 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 22 | 28.76 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 23 | 27.19 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 24 | 28.27 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 25 | 29.66 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 26 | 28.81 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 27 | 26.33 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 28 | 27.21 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 29 | 29.43 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 30 | 26.55 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 31 | 30.24 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 32 | 33.70 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 33 | 32.69 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 34 | 27.59 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 35 | 27.32 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 36 | 28.86 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 37 | 29.37 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |
| 38 | 31.58 | 28.80 | 30.60 | 26.99 | 32.41 | 25.19 | 34.22 | 23.38 |

Elaboración: los autores

| Valores para gráfica de dispersión de ID - 461 Promedio de 3 ensayos | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ensayo | Resis MPa | Prom de 3 | $\bar{X} + 1S$ | $\bar{X} - 1S$ | $\bar{X} + 2S$ | $\bar{X} - 2S$ | $\bar{X} + 3S$ | $\bar{X} - 3S$ |
| 1 | 28.16 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 2 | 28.74 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 3 | 26.28 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 4 | 28.09 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 5 | 28.06 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 6 | 25.90 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 7 | 27.05 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 8 | 29.45 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 9 | 28.77 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 10 | 27.83 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 11 | 30.54 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 12 | 30.31 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 13 | 27.16 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 14 | 30.48 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 15 | 31.66 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 16 | 29.78 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 17 | 28.13 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 18 | 31.05 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 19 | 27.94 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 20 | 27.06 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 21 | 28.32 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 22 | 28.76 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 23 | 27.19 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 24 | 28.27 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 25 | 29.66 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 26 | 28.81 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 27 | 26.33 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 28 | 27.21 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 29 | 29.43 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 30 | 26.55 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 31 | 30.24 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 32 | 33.70 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 33 | 32.69 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 34 | 27.59 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 35 | 27.32 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 36 | 28.86 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 37 | 29.37 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |
| 38 | 31.58 | 28.75 | 30.55 | 26.94 | 32.36 | 25.14 | 34.17 | 23.33 |

Elaboración: los autores

| Valores para gráfica de dispersión de ID - 479 Promedio simple | | | | | | | | |
|--|-----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ensayo | Resis MPa | Promedio | $\bar{X} + 1S$ | $\bar{X} - 1S$ | $\bar{X} + 2S$ | $\bar{X} - 2S$ | $\bar{X} + 3S$ | $\bar{X} - 3S$ |
| 1 | 22.13 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 2 | 20.85 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 3 | 21.33 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 4 | 21.78 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 5 | 22.48 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 6 | 21.92 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 7 | 21.55 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 8 | 20.37 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 9 | 20.53 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 10 | 20.11 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 11 | 21.23 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 12 | 21.24 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 13 | 21.66 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 14 | 22.22 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 15 | 20.95 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 16 | 20.43 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 17 | 20.00 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 18 | 20.59 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 19 | 20.51 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 20 | 21.38 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 21 | 21.56 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 22 | 20.55 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 23 | 20.24 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 24 | 20.57 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 25 | 20.71 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 26 | 20.39 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 27 | 21.56 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 28 | 20.79 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 29 | 22.47 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 30 | 20.56 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 31 | 20.44 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 32 | 20.67 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 33 | 21.52 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |
| 34 | 21.59 | 21.08 | 21.78 | 20.39 | 22.47 | 19.69 | 23.17 | 19.00 |

Elaboración: los autores

| Valores para gráfica de dispersión de ID - 479 Promedio de 3 ensayos | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ensayo | Resis MPa | Prom de 3 | $\bar{X} + 1S$ | $\bar{X} - 1S$ | $\bar{X} + 2S$ | $\bar{X} - 2S$ | $\bar{X} + 3S$ | $\bar{X} - 3S$ |
| 1 | 22.13 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 2 | 20.85 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 3 | 21.33 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 4 | 21.78 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 5 | 22.48 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 6 | 21.92 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 7 | 21.55 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 8 | 20.37 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 9 | 20.53 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 10 | 20.11 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 11 | 21.23 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 12 | 21.24 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 13 | 21.66 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 14 | 22.22 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 15 | 20.95 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 16 | 20.43 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 17 | 20.00 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 18 | 20.59 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 19 | 20.51 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 20 | 21.38 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 21 | 21.56 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 22 | 20.55 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 23 | 20.24 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 24 | 20.57 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 25 | 20.71 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 26 | 20.39 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 27 | 21.56 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 28 | 20.79 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 29 | 22.47 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 30 | 20.56 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 31 | 20.44 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 32 | 20.67 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 33 | 21.52 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |
| 34 | 21.59 | 21.07 | 21.77 | 20.38 | 22.46 | 19.68 | 23.16 | 18.99 |

Elaboración: los autores

ANEXO VIII

DISEÑOS DE LAS DOSIFICACIONES

| DISEÑO: CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | | FECHA : 09/04/2018 | |
|---|-------------|------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|---------------|------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | CODIGO : ID-422 | |
| MATERIALES | PROCEDENCIA | P.E SSS kg/m3 | HUM. % | ABS. % | %H-%A | PESO SSS kg/m3 | VOL. m³ | PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD | TANDA PRUEBA | 0.05 m3 |
| | | | | | | | | | DOSIFICACION | UNIDAD |
| CEMENTO | TIPO I | 3040 | | | | 350.00 | 0.1151 | 350.00 | 17.50 | kg |
| AGUA | POTABLE | 1000 | | | | 220.00 | 0.2200 | 265.41 | 13.27 | L |
| ARENA | MIRANDA | 2700 | 0.28 | 1.04 | -0.76 | 892.77 | 0.3307 | 885.98 | 44.30 | kg |
| ARLITA | ARLITA | 450 | 0.00 | 25.96 | -25.96 | 148.79 | 0.3307 | 110.17 | 5.51 | kg |
| TM30 | SIKA | 1160 | | | | 1.40 | 0.0012 | 1.40 | 70.00 | gr |
| TM100 | SIKA | 1190 | | | | 2.80 | 0.0024 | 2.80 | 140.00 | gr |
| AIRE | | | | | | 0.00% | 0.0000 | 0.00% | | |
| TOTAL | | | | | | 1615.76 | 1.0000 | 1616 | 80.79 | kg |

Elaboración: los autores

| DISEÑO: CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | | FECHA : 10/04/2018 | |
|---|-------------|------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|---------------|------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | CODIGO : ID-426 | |
| MATERIALES | PROCEDENCIA | P.E SSS kg/m3 | HUM. % | ABS. % | %H-%A | PESO SSS kg/m3 | VOL. m³ | PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD | TANDA PRUEBA | 0.05 m3 |
| | | | | | | | | | DOSIFICACION | UNIDAD |
| CEMENTO | TIPO I | 3040 | | | | 350.00 | 0.1151 | 350.00 | 17.50 | kg |
| AGUA | POTABLE | 1000 | | | | 130.00 | 0.1300 | 177.15 | 8.86 | L |
| ARENA | MIRANDA | 2700 | 0.40 | 1.04 | -0.64 | 948.40 | 0.3513 | 942.33 | 47.12 | kg |
| ARLITA | ARLITA | 450 | 0.00 | 25.96 | -25.96 | 158.07 | 0.3513 | 117.03 | 5.85 | kg |
| TM30 | SIKA | 1160 | | | | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | gr |
| TM100 | SIKA | 1190 | | | | 2.80 | 0.0024 | 2.80 | 140.00 | gr |
| AIRE | | | | | | 5.00% | 0.0500 | 5.00% | | |
| TOTAL | | | | | | 1589.31 | 1.0000 | 1589 | 79.47 | kg |

Elaboración: los autores

| DISEÑO: CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | | FECHA : 10/04/2018 | |
|---|-------------|------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|---------------|------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | CODIGO : ID-427 | |
| MATERIALES | PROCEDENCIA | P.E SSS kg/m3 | HUM. % | ABS. % | %H-%A | PESO SSS kg/m3 | VOL. m³ | PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD | TANDA PRUEBA | 0.05 m3 |
| | | | | | | | | | DOSIFICACION | UNIDAD |
| CEMENTO | TIPO I | 3040 | | | | 300.00 | 0.0987 | 300.00 | 15.00 | kg |
| AGUA | POTABLE | 1000 | | | | 130.00 | 0.1300 | 181.86 | 9.09 | L |
| ARENA | MIRANDA | 2700 | 0.40 | 1.04 | -0.64 | 873.95 | 0.3237 | 868.35 | 43.42 | kg |
| ARLITA | ARLITA | 450 | 0.00 | 25.96 | -25.96 | 178.03 | 0.3956 | 131.81 | 6.59 | kg |
| TM30 | SIKA | 1160 | | | | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | gr |
| TM100 | SIKA | 1190 | | | | 2.40 | 0.0020 | 2.40 | 120.00 | gr |
| AIRE | | | | | | 5.00% | 0.0500 | 5.00% | | |
| TOTAL | | | | | | 1484.42 | 1.0000 | 1484 | 74.22 | kg |

Elaboración: los autores

| DISEÑO: CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | | FECHA : 19/04/2018 | |
|---|-------------|------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|------------|------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | CODIGO : ID-442 | |
| MATERIALES | PROCEDENCIA | P.E SSS kg/m3 | HUM. % | ABS. % | %H-%A | PESO SSS kg/m3 | VOL. m³ | PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD | TANDA PRUEBA | 0.09 m3 |
| | | | | | | | | | DOSIFICACION | UNIDAD |
| CEMENTO | TIPO I | 3040 | | | | 280.00 | 0.0921 | 280.00 | 25.20 | kg |
| AGUA | POTABLE | 1000 | | | | 130.00 | 0.1300 | 178.11 | 16.03 | L |
| ARENA | MIRANDA | 2700 | 0.88 | 1.04 | -0.16 | 882.11 | 0.3267 | 880.69 | 79.26 | kg |
| ARLITA | ARLITA | 450 | 0.00 | 25.96 | -25.96 | 179.69 | 0.3993 | 133.04 | 11.97 | kg |
| TM30 | SIKA | 1160 | | | | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | gr |
| TM100 | SIKA | 1190 | | | | 2.24 | 0.0019 | 2.24 | 201.60 | gr |
| AIRE | | | | | | 5.00% | 0.0500 | 5.00% | | |
| TOTAL | | | | | | 1474.08 | 1.0000 | 1474 | 132.67 | kg |

Elaboración: los autores

| DISEÑO: CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | | FECHA : 26/04/2018 | |
|---|-------------|------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|------------|------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | CODIGO : ID-461 | |
| MATERIALES | PROCEDENCIA | P.E SSS kg/m3 | HUM. % | ABS. % | %H-%A | PESO SSS kg/m3 | VOL. m³ | PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD | TANDA PRUEBA | 0.12 m3 |
| | | | | | | | | | DOSIFICACION | UNIDAD |
| CEMENTO | TIPO I | 3040 | | | | 280.00 | 0.0921 | 280.00 | 33.60 | kg |
| AGUA | POTABLE | 1000 | | | | 130.00 | 0.1300 | 181.01 | 21.72 | L |
| ARENA | MIRANDA | 2700 | 0.54 | 1.04 | -0.50 | 880.35 | 0.3261 | 875.94 | 105.11 | kg |
| ARLITA | ARLITA | 450 | 0.00 | 25.96 | -25.96 | 179.33 | 0.3985 | 132.78 | 15.93 | kg |
| TM30 | SIKA | 1160 | | | | 1.68 | 0.0014 | 1.68 | 201.60 | gr |
| TM100 | SIKA | 1190 | | | | 2.24 | 0.0019 | 2.24 | 268.80 | gr |
| AIRE | | | | | | 5.00% | 0.0500 | 5.00% | | |
| TOTAL | | | | | | 1473.65 | 1.0000 | 1474 | 176.84 | kg |

Elaboración: los autores

| DISEÑO: CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | | FECHA : 02/05/2018 | |
|---|-------------|------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|------------|------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | CODIGO : ID-471 | |
| MATERIALES | PROCEDENCIA | P.E SSS kg/m3 | HUM. % | ABS. % | %H-%A | PESO SSS kg/m3 | VOL. m³ | PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD | TANDA PRUEBA | 0.05 m3 |
| | | | | | | | | | DOSIFICACION | UNIDAD |
| CEMENTO | TIPO I | 3040 | | | | 280.00 | 0.0921 | 280.00 | 14.00 | kg |
| AGUA | POTABLE | 1000 | | | | 130.00 | 0.1300 | 243.44 | 12.17 | L |
| ARENA | MIRANDA | 2700 | 1.64 | 1.04 | 0.60 | 684.71 | 0.2536 | 688.82 | 34.44 | kg |
| ARLITA | ARLITA | 961 | 0.00 | 25.96 | -25.96 | 452.60 | 0.4710 | 335.10 | 16.76 | kg |
| TM30 | SIKA | 1160 | | | | 1.68 | 0.0014 | 1.68 | 84.00 | gr |
| TM100 | SIKA | 1190 | | | | 2.24 | 0.0019 | 2.24 | 112.00 | gr |
| AIRE | | | | | | 5.00% | 0.0500 | 5.00% | | |
| TOTAL | | | | | | 1551.28 | 1.0000 | 1551 | 77.57 | kg |

Elaboración: los autores

| DISEÑO: CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | | FECHA : 04/05/2018 | |
|---|-------------|------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|------------|------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | CODIGO : ID-479 | |
| MATERIALES | PROCEDENCIA | P.E SSS kg/m3 | HUM. % | ABS. % | %H-%A | PESO SSS kg/m3 | VOL. m³ | PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD | TANDA PRUEBA | 0.08 m3 |
| | | | | | | | | | DOSIFICACION | UNIDAD |
| CEMENTO | TIPO I | 3040 | | | | 280.00 | 0.0921 | 280.00 | 22.40 | kg |
| AGUA | POTABLE | 1000 | | | | 115.00 | 0.1150 | 229.19 | 18.33 | L |
| ARENA | MIRANDA | 2700 | 1.91 | 1.04 | 0.87 | 700.67 | 0.2595 | 706.76 | 56.54 | kg |
| ARLITA | ARLITA | 961 | 0.00 | 25.96 | -25.96 | 463.14 | 0.4819 | 342.91 | 27.43 | kg |
| TM30 | SIKA | 1160 | | | | 1.68 | 0.0014 | 1.68 | 134.40 | gr |
| TM100 | SIKA | 1190 | | | | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | gr |
| AIRE | | | | | | 5.00% | 0.0500 | 5.00% | | |
| TOTAL | | | | | | 1560.54 | 1.0000 | 1561 | 124.85 | kg |

Elaboración: los autores

| DISEÑO: CONCRETO CON ARCILLA EXPANDIDA | | | | | | | | | FECHA : 07/05/2018 | |
|---|-------------|------------------|-----------|-----------|--------|-------------------|------------|------------------------------------|--------------------|-----------|
| | | | | | | | | | CODIGO : ID-482 | |
| MATERIALES | PROCEDENCIA | P.E SSS kg/m3 | HUM. % | ABS. % | %H-%A | PESO SSS kg/m3 | VOL. m³ | PESOS CORREGIDOS POR HUMEDAD | TANDA PRUEBA | 0.08 m3 |
| | | | | | | | | | DOSIFICACION | UNIDAD |
| CEMENTO | TIPO I | 3040 | | | | 280.00 | 0.0921 | 280.00 | 22.40 | kg |
| AGUA | POTABLE | 1000 | | | | 115.00 | 0.1150 | 232.29 | 18.58 | L |
| ARENA | MIRANDA | 2700 | 1.50 | 1.04 | 0.46 | 702.04 | 0.2600 | 705.26 | 56.42 | kg |
| ARLITA | ARLITA | 961 | 0.00 | 25.96 | -25.96 | 464.05 | 0.4829 | 343.58 | 27.49 | kg |
| TM30 | SIKA | 1160 | | | | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | gr |
| TM100 | SIKA | 1190 | | | | 0.00 | 0.0000 | 0.00 | 0.00 | gr |
| AIRE | | | | | | 5.00% | 0.0500 | 5.00% | | |
| TOTAL | | | | | | 1561.13 | 1.0000 | 1561 | 124.89 | kg |

Elaboración: los autores