

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“EVALUACIÓN Y DISEÑO DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES ELABORADOS CON CEMENTO TIPO I, TIPO IP Y TIPO HS CON ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES CONVENCIONALES Y DE ALTO RANGO EN ESTRUCTURAS DENSAS EN ACERO EN LA CIUDAD DE TACNA”

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. DEYSI LIZBETH CHAHUARIS FLORES

Bach. HOVIDIO MELANIO CHAHUA LAYME

Para optar por el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

TACNA-PERÚ

2023

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“EVALUACIÓN Y DISEÑO DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES
ELABORADOS CON CEMENTO TIPO I, TIPO IP Y TIPO HS CON
ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES CONVENCIONALES Y DE ALTO
RANGO EN ESTRUCTURAS DENSAS EN ACERO EN LA CIUDAD DE
TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el día 27 de noviembre del 2023 estando
integrado el Jurado Calificador por:

PRESIDENTE

: 

Dr. Ing. Victor Yapuchura Platero

SECRETARIO

: 

Mtro. Ing. César José Avendaño Jihuallanga

VOCAL

: 

Mtro. Ing. Nahuel Humberto Molero Yañez

ASESOR DE TESIS


: 

MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, **MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa**, en mi condición de asesor acreditado por la Resolución de Facultad N° 129-2022-FIAG/UNJBG de la tesis denominada: **“EVALUACIÓN Y DISEÑO DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES ELABORADOS CON CEMENTO TIPO I, TIPO IP Y TIPO HS CON ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES CONVENCIONALES Y DE ALTO RANGO EN ESTRUCTURAS DENSAS EN ACERO EN LA CIUDAD DE TACNA”**, presentado por los Bachilleres Deysi Lizbeth Chahuaris Flores y Hovidio Melanio Chahua Layme, para optar el título profesional de Ingeniero Civil, habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software Antiplagio **TURNITIN** cuenta con el nivel de similitud cuyo porcentaje es 7%, por lo que **CERTIFICO LA SIMILARIDAD** de la tesis, la cual está de acuerdo al nivel **PERMITIDO**, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional.



Firma de Asesor

DNI N°: 00413327

Nombre y apellidos del asesor: **MSc. Ing. Edgar Chura Arocutipa**

DEDICATORIA

A nuestros padres y familiares que nos brindaron su gran apoyo a lo largo de nuestro camino, por habernos forjado como las personas que somos en la actualidad; este logro se lo debemos a ustedes.

A todos los ingenieros que nos enseñaron y brindaron todos los conocimientos para lograr ser buenos profesionales, y nos ayudaron a seguir desarrollando la tesis.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por la oportunidad que nos da cada día de nuestras vidas.

A nuestros padres, familia, seres amados y amistades, que nos brindan su apoyo.

A nuestros asesores por su apoyo en la presente tesis.

A todo el personal del laboratorio Ingeservicios SAC, que nos ayudaron a realizar todos los ensayos necesarios para culminar la presente investigación. Para todos ellos nuestra profunda gratitud.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xxi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.1.1 Antecedentes internacionales	3
1.1.2 Antecedentes nacionales	5
1.2. Planteamiento del problema	6
1.3. Formulación del problema.....	9
1.3.1 Problema general.....	9
1.3.2 Problema específico	9
1.4. Formulación de la hipótesis.....	9
1.4.1 Hipótesis general.....	9
1.4.2 Hipótesis específica.....	10
1.5. Justificación.....	10
1.6. Objetivos	11
1.6.1 Objetivo general.....	11
1.6.2 Objetivos específicos	12

1.7.	Definición de las variables	12
1.7.1	Variable dependiente:.....	12
1.7.2	Variable Independiente:	13
1.8.	Alcances y limitaciones	13
1.8.1	Alcances	13
1.8.2	Limitaciones	14
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....		16
2.1.	Definición de términos	16
2.1.1.	Aditivo superplastificante	16
2.1.2.	Agregado fino	16
2.1.3.	Agregado grueso	16
2.1.4.	Cemento Portland.....	16
2.1.5.	Curado	16
2.1.6.	Granulometría	17
2.1.7.	Peso unitario del agregado	17
2.1.8.	Segregación.....	17
2.1.9.	Resistencia a compresión	17
2.1.10.	Trabajabilidad.....	17
2.2.	Bases teóricas	17
2.2.1	Conceptos generales.....	17
2.2.2	Diferencias entre el concreto autocompactante (SCC) y el concreto convencional (CC).	20

2.2.3	Componentes.....	22
2.2.4	Diseño de mezcla del concreto.....	31
2.2.5	Características del concreto autocompactante en estado fresco.....	37
2.2.6	Curado del concreto	44
2.2.7	Características mecánicas del concreto autocompactante.....	45
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		47
3.1.	Tipo de la investigación.....	47
3.2.	Nivel de la investigación	47
3.3.	Población y/o muestra de estudio	47
3.3.1	Población.....	47
3.3.2	Muestra.....	48
3.4.	Diseño de la investigación.....	49
3.5.	Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.	50
3.5.1	Técnicas para la recolección de datos.	50
3.5.2	Procedimientos para la recolección de datos	52
3.5.3	Diseño de mezclas.....	61
3.5.4	Características del concreto autocompactante en estado fresco.....	74
3.5.5	Curado del concreto	78
3.5.6	Ensayo de concreto en estado endurecido.....	79
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS		81
4.1.	Resultados de las propiedades físico mecánicas del agregado.....	81
4.1.1.	Análisis Granulométrico (NTP 400.012)	81

4.1.2.	Contenido de humedad (NTP 339.127)	82
4.1.3.	Peso específico y absorción (NTP 400.021 – NTP 400.022).....	83
4.1.4.	Peso unitario (NTP 400.017)	84
4.1.5.	Resultados resumen de las propiedades de los agregados	84
4.2.	Resultados de los ensayos de calidad del agregado.....	85
4.2.1.	Material fino que pasa la malla N°200 (NTP 400.018)	85
4.2.2.	Sales totales.....	86
4.2.3.	Límites de consistencia (NTP 339.129).....	86
4.2.4.	Equivalente de arena	86
4.2.5.	Impurezas orgánicas (NTP 400.024).....	87
4.2.6.	Abrasión los ángeles (NTP 400.019)	87
4.2.7.	Resultados resumen de los ensayos de calidad del agregado.....	87
4.3.	Resultados de los diseños de mezcla.....	88
4.4.	Resultados de concreto fresco	91
4.4.1.	Ensayo Slump Flow	91
4.4.2.	Ensayo Velocidad de flujo	92
4.4.3.	Ensayo de capacidad de flujo y llenado en Caja L.....	93
4.4.4.	Ensayo de capacidad de llenado y segregación en Caja V.....	94
4.5.	Resultados de ensayos en concreto endurecido.....	95
4.5.1	Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto con aditivo convencional (Sikament 290N).....	95

4.5.2	Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto con aditivo de alto rango (FLUIDCON 500H).....	100
4.6.	Comparación de resultados.....	106
4.6.1.	Curva de evolución del concreto - cemento tipo I.....	108
4.6.2.	Curva de evolución del concreto – cemento IP.....	109
4.6.3.	Curva de evolución del concreto – cemento HS.....	111
4.7.	Correlación de la resistencia a la compresión y aditivo.....	112
4.7.1	Cemento Tipo I.....	112
4.7.2	Cemento tipo IP.....	114
4.7.3	Cemento tipo HS.....	116
4.8.	Interpretación de resultados.....	118
4.9.	Discusión de los resultados.....	121
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		122
5.1.	Conclusiones.....	122
5.2.	Recomendaciones.....	125
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		126
ANEXO.....		130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ventajas que ofrece un concreto autocompactante</i>	19
Figura 2. <i>Comparación de concretos</i>	23
Figura 3. <i>Composición esquemática del concreto autocompactante</i>	23
Figura 4. <i>Datos necesarios para el diseño – Información de los materiales</i>	34
Figura 5. <i>Secuencia del diseño de mezcla – ACI 211</i>	35
Figura 6. <i>Dimensiones del cono de Abrams y escurrimiento del SEE</i>	40
Figura 7. <i>Ensayo de Escurrimiento con anillo J</i>	41
Figura 8. <i>H1 y H2 en el ensayo del anillo japonés</i>	41
Figura 9. <i>Ensayo del embudo V</i>	42
Figura 10. <i>Ensayo de la caja L</i>	43
Figura 11. <i>Materiales para la elaboración del concretos autocompactantes</i>	51
Figura 12. <i>Materiales para la elaboración del concretos autocompactantes</i>	51
Figura 13. <i>Ubicación de la cantera Arunta</i>	52
Figura 14. <i>Cantera Arunta – Sub cantera Chagua</i>	53
Figura 15. <i>Cuarteo del agregado grueso y agregado fino</i>	55
Figura 16. <i>Diseño de mezcla del concreto autocompactante (SCC)</i>	63
Figura 17. <i>Ensayo de extensión de flujo – Slump Flow</i>	75
Figura 18. <i>Ensayo de prueba del J-Ring</i>	76
Figura 19. <i>Ensayo del V-funnel</i>	77
Figura 20. <i>Ensayo de la caja L</i>	78

Figura 21. <i>Curado de los especímenes de concreto</i>	79
Figura 22. <i>Compresión de los especímenes de concreto – Tipos de fractura</i>	80
Figura 23. <i>Gráfico de evaluación y aceptación de curvas granulométricas</i>	81
Figura 24. <i>Gráfico de evaluación y aceptación de curvas granulométricas</i>	82
Figura 25. <i>Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 7 días con aditivo Sikament 290N</i>	96
Figura 26. <i>Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 14 días con aditivo Sikament 290N.</i>	97
Figura 27. <i>Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 28 días con aditivo Sikament 290N.</i>	99
Figura 28. <i>Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con aditivo Sikament 290N.</i>	100
Figura 29. <i>Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 7 días con aditivo FLUIDCON 500H.</i>	101
Figura 30. <i>Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 14 días con aditivo FLUIDCON 500H.</i>	103
Figura 31. <i>Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 28 días con aditivo FLUIDCON 500H.</i>	105
Figura 32. <i>Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con aditivo FLUIDCON 500H.</i>	106
Figura 33. <i>Comparación de promedio de resultados de resistencia a la compresión de cemento tipo I con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.</i>	107

Figura 34. <i>Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con Cemento Tipo I.</i>	108
Figura 35. <i>Comparación de promedio de resultados de resistencia a la compresión de cemento tipo IP con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.</i>	109
Figura 36. <i>Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con Cemento Tipo IP.</i>	110
Figura 37. <i>Comparación de promedio de resultados de resistencia a la compresión de cemento tipo Hs con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.</i>	110
Figura 38. <i>Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con Cemento Tipo HS.</i>	111
Figura 39. <i>Relación de resistencia a la compresión de cemento tipo I con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.</i>	113
Figura 40. <i>Relación de resistencia a la compresión de cemento tipo IP con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.</i>	115
Figura 41. <i>Relación de resistencia a la compresión de cemento tipo Hs con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.</i>	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rangos de contenido de cemento portland sugeridos.....	24
Tabla 2. Tipos de Cementos Portland.....	25
Tabla 3. Tipos de Cementos Adicionados	25
Tabla 4. Tipos de Cementos por desempeño o por performance.....	26
Tabla 5. Límites granulométricos del agregado fino.....	28
Tabla 6. Límites granulométricos del agregado grueso	28
Tabla 7. Parámetros del agua del diseño de mezcla.....	29
Tabla 8. Proporciones para mezclas de prueba para concreto autocompactante	32
Tabla 9. Normas y especificaciones para diseño de mezclas.....	32
Tabla 10. Ensayos para determinar las propiedades en estado fresco.....	39
Tabla 11. Asentamiento según las características de un elemento.....	44
Tabla 12. Cálculo de la resistencia a la compresión del concreto	46
Tabla 13. Diseños de mezcla optimo con aditivo convencional.....	48
Tabla 14. Diseños de mezcla optimo con aditivo de alto rango	48
Tabla 15. Especímenes de concreto del diseño de mezcla de concreto	49
Tabla 16. Diseños de mezcla con diferentes dosis – Diseños experimentales	50
Tabla 17. Normativa para los ensayos del agregado en diseños de mezcla.....	54
Tabla 18. Límites permisibles para agua de mezcla y de curado	58
Tabla 19. Efectividad de los diferentes tipos de cementos seleccionados	59
Tabla 20. Datos técnicos de aditivos utilizados en los diseños de mezcla.....	60

Tabla 21. <i>Características y categorías de los aditivos utilizados en la investigación</i>	61
Tabla 22. <i>Propiedades de los agregados para el diseño de mezcla de concreto</i>	64
Tabla 23. <i>Propiedades del cemento y aditivo para el diseño de mezcla de concreto</i>	64
Tabla 24. <i>Resistencia promedio a la compresión requerida</i>	65
Tabla 25. <i>Contenido aproximado de agua y aire de mezcla para diferentes asentamientos</i>	66
Tabla 26. <i>Relación entre a/c y resistencia a la compresión del concreto</i>	67
Tabla 27. <i>Rango de contenido de cemento según la extensibilidad que se requiere</i> .	67
Tabla 28. <i>Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto</i>	68
Tabla 29. <i>Tendencia de relación a/c y el volumen del agregado grueso</i>	72
Tabla 30. <i>Parámetros planteados para diseño de mezcla</i>	72
Tabla 31. <i>Diseño de mezcla de concreto autocompactante que cumple con los requisitos</i>	74
Tabla 32. <i>Contenido de humedad del agregado grueso y el agregado fino</i>	83
Tabla 33. <i>Peso específico (densidad relativa) y absorción de los agregados</i>	83
Tabla 34. <i>Peso unitario suelto PUS y peso unitario compactado PUC</i>	84
Tabla 35. <i>Cuadro resumen de las propiedades del agregado para elaborar el diseño de mezclas del concreto autocompactante</i>	85
Tabla 36. <i>Material Fino que pasa la Malla N°200 (%) - agregado fino</i>	85
Tabla 37. <i>Resultado de sales totales – cloruros – sulfatos</i>	86
Tabla 38. <i>Equivalente de arena</i>	87

Tabla 39. <i>Cuadro resumen de los resultados de los ensayos de calidad del agregado.</i>	88
Tabla 40. <i>Resumen de valores obtenidos de diseños de mezcla con aditivo Sikament 290N para una dosificación de 1 m³.</i>	89
Tabla 41. <i>Resumen de valores obtenidos de diseños de mezcla con aditivo Sikament 290N para una dosificación de 1 pie³.</i>	89
Tabla 42. <i>Resumen de valores obtenidos de diseños de mezcla con aditivo FLUIDCON 500H para una dosificación de 1 m³.</i>	90
Tabla 43. <i>Resumen de valores obtenidos de diseños de mezcla con aditivo FLUIDCON 500H para una dosificación de 1 pie³.</i>	90
Tabla 44. <i>Proporciones de materiales para diseño de mezcla de concreto autocompactante (SCC) para 1 m³.</i>	91
Tabla 45. <i>Proporciones de aditivo, agua final y eficiencia del cemento para los diseños de mezcla de concreto autocompactante (SCC) para 1 m³.</i>	91
Tabla 46. <i>Slump flow o extensibilidad de los distintos diseños de mezcla del concreto autocompactante.</i>	92
Tabla 47. <i>Resultado de ensayo J ring de los distintos diseños de mezcla del concreto autocompactante.</i>	93
Tabla 48. <i>Resultados de la Caja L de los distintos diseños de mezcla del concreto autocompactante.</i>	93
Tabla 49. <i>Resultados de la Caja V de los distintos diseños de mezcla del concreto autocompactante.</i>	94
Tabla 50. <i>Resistencia a la compresión a edad 7 días con aditivo Sikament 290N....</i>	95

Tabla 51. <i>Resistencia a la compresión a edad 14 días con aditivo Sikament 290N</i> ..	97
Tabla 52. <i>Resistencia a la compresión a edad 28 días con aditivo Sikament 290N</i> ..	98
Tabla 53. <i>Resistencia a la compresión a edad 7 días con aditivo FLUIDCON 500H</i>	101
Tabla 54. <i>Resistencia a la compresión a edad 14 días con aditivo FLUIDCON 500H</i>	102
Tabla 55. <i>Resistencia a la compresión a edad 28 días con aditivo FLUIDCON 500H</i>	104
Tabla 56. <i>Promedio de resultados de resistencia a la compresión de concreto autocompactante</i>	107
Tabla 57. <i>Correlación lineal entre resistencia a la compresión con cemento tipo I y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H</i>	112
Tabla 58. <i>Test de correlación de resistencia a la compresión de cemento tipo I y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H</i>	113
Tabla 59. <i>Correlación lineal entre resistencia a la compresión con cemento tipo IP y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H</i>	114
Tabla 60. <i>Test de correlación de resistencia a la compresión de cemento tipo IP y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H</i>	115
Tabla 61. <i>Correlación lineal entre resistencia a la compresión con cemento tipo Hs y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H</i>	116
Tabla 62. <i>Test de correlación de resistencia a la compresión de cemento tipo HS y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H</i>	117

Tabla 63. *Promedio de resistencia a la compresión del concreto a edades 7, 14 y 28*

días 120

RESUMEN

Este estudio se enfoca en el diseño de concretos autocompactantes elaborados con diferentes tipos de cemento (Tipo I, Tipo IP y Tipo HS) y aditivos superplastificantes convencionales (SIKAMENT 290N) y de alto rango (FLUIDCON 500H), para evaluar el comportamiento de los concretos autocompactantes en estructuras densas de acero en la ciudad de Tacna.

El uso de cementos con distintas composiciones químicas influye en las propiedades del concreto final, como la resistencia del concreto. Por otro lado, los aditivos superplastificantes permiten mejorar la trabajabilidad y fluidez del concreto.

Se evaluaron las propiedades de los agregados de la cantera Arunta - Chagua, que demuestran producir concretos con la resistencia requerida de la Norma E060 ; y se realizaron ensayos en concreto fresco como: la extensibilidad se obtuvo resultados entre 665 y 685 milímetros, ensayo de la capacidad de flujo – caja L se obtienen valores entre 0.83 y 0.95 segundos y para la capacidad de llenado se obtuvo valores entre 6.10 y 9 segundos; los resultados cumplen según los requisitos que fueron bajo la normativa del Instituto Americano del concreto (ACI PRC 237-07).

Para la determinación de los diseños de mezcla se utilizó la metodología del Código ACI PRC 211.1, tomando en consideración los requisitos del ACI PRC 237 - 07 para concretos autocompactantes. Lo que permitió plantear los distintos de diseños de mezcla con relación a/c de 0.38.

Para el diseño de concretos autocompactantes elaborados con el aditivo SIKAMENT 290 N se utilizaron dosis de, 3.10 % para cemento Tipo I, 2.80 % para

cemento tipo IP y 2.70 % para cemento tipo HS, del peso del cemento; concretos autocompactantes elaborados con aditivo FLUIDCON 500H se utilizaron dosis de, 1.50 % para cemento Tipo I, 1.40 % para cemento tipo IP y 1.30 % para cemento tipo HS, del peso del cemento.

Los diseños de mezcla del concreto autocompactante elaborados con los aditivos SIKAMENT 290N y FLUIDCON 500H cumplieron con ser mayor a la resistencia de diseño de 280 kg/cm². Los resultados del ensayo de compresión del concreto endurecido, con aditivo SIKAMENT 290 N se obtuvieron resistencias de hasta 458.3 kg/cm², y con el aditivo FLUIDCON 500H se obtuvieron resistencias de hasta 507 kg/cm² a la edad de 28 días respectivamente. Se determino que el aditivo FLUIDCON 500H tiene mayor eficiencia en los ensayos de concreto fresco y concreto endurecido.

Finalmente se realizó análisis estadístico con el software SPSS 26, donde se correlaciono la resistencia a la compresión de los distintos cementos utilizados con aditivo SIKAMENT 290 N y FLUIDCON 500H.

Palabras Clave: Concreto Autocompactante, Aditivos superplastificantes, Propiedades en estado fresco y endurecido.

ABSTRACT

This study focuses on the design of self-compacting concretes made with different types of cement (Type I, Type IP and Type HS) and conventional (FLUIDCON 500H) and high-range (SIKAMENT 290N) superplasticizing additives, to evaluate the behavior of the concrete. self-compacting in dense steel structures in the city of Tacna.

The use of cements with different chemical compositions influences the properties of the final concrete, such as concrete strength. On the other hand, superplasticizing additives improve the workability and fluidity of concrete.

The properties of the aggregates from the Arunta - Chagua quarry were evaluated, which demonstrate that they produce concrete with the required resistance (Standard E060 (3.3.1)); and tests were carried out on fresh concrete such as: extensibility results were obtained between 665 and 685 millimeters, flow capacity test – L box values were obtained between 0.83 and 0.95 seconds and for the filling capacity values between 6.10 and 9 were obtained. seconds; The results comply with the requirements that were under the regulations of the American Concrete Institute (ACI PRC 237 - 07).

To determine the mix designs, the methodology of the ACI PRC Code - 211 was used, taking into consideration the requirements of ACI PRC 237 - 07 for self-compacting concrete. Which allowed us to propose the different mix designs with a w/c ratio of 0.38.

For the design of self-compacting concrete made with the SIKAMENT 290 N additive, doses of 3.10% for Type I cement, 2.80% for IP type cement and 2.70% for HS type cement were used, of the weight of the cement; Self-compacting concretes made with FLUIDCON 500H additive, doses of 1.50% for Type I cement, 1.40% for IP type cement and 1.30% for HS type cement, of the weight of the cement, were used.

The self-compacting concrete mix designs prepared with the additives SIKAMENT 290N and FLUIDCON 500H met the requirement of being greater than the design resistance of 280 kg/cm². The results of the compression test of the hardened concrete, with SIKAMENT 290 N additive, resistances of up to 458.3 kg/cm² were obtained, and with the FLUIDCON 500H additive, resistances of up to 507 kg/cm² were obtained at the age of 28 days respectively. It was determined that the FLUIDCON 500H additive has greater efficiency in the tests of fresh concrete and hardened concrete.

Finally, statistical analysis was carried out with the SPSS 26 software, where the compressive strength of the different cements used with SIKAMENT 290 N and FLUIDCON 500H additive was correlated.

Keywords: Self-Compacting Concrete, Superplasticizing additives, Properties in fresh and hardened state.

INTRODUCCIÓN

En la industria de la construcción, el concreto es uno de los materiales más utilizados debido a su versatilidad, durabilidad y resistencia. En los últimos años, se ha desarrollado un nuevo tipo de concreto conocido como concreto autocompactante, que se caracteriza por su capacidad de fluir y llenar de manera uniforme las formas sin requerir vibración externa.

La presente investigación busca proporcionar una base sólida para la aplicación y el diseño adecuado de concretos autocompactantes en estructuras densas en acero en la ciudad de Tacna, considerando las propiedades específicas de los diferentes tipos de cemento y aditivos superplastificantes. Con estos resultados, se espera mejorar la eficiencia y la calidad de las construcciones en la región, promoviendo así un desarrollo sostenible y seguro en el sector de la construcción.

La presente Tesis denominada “EVALUACIÓN Y DISEÑO DE CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES ELABORADOS CON CEMENTO TIPO I, TIPO IP Y TIPO HS CON ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES CONVENCIONALES Y DE ALTO RANGO EN ESTRUCTURAS DENSAS EN ACERO EN LA CIUDAD DE TACNA”, contiene los cinco capítulos siguientes:

CAPÍTULO I; presenta los aspectos generales de la investigación, desde la formulación del problema, objetivos, alcances y limitaciones, y como último punto la definición de variables. **CAPÍTULO II;** presenta el marco teórico y antecedentes del concreto autocompactante, describiendo sus características y comportamiento, aplicaciones, ventajas y desventajas. Se expone respecto a la importancia, propiedades características que deben cumplir los materiales; y presenta metodología y procedimientos de diseño de mezcla para un concreto autocompactante. **CAPÍTULO**

III; presenta el marco metodológico de la investigación, y trata sobre el diseño investigación, la población, la muestra, técnicas y recolección de datos donde se presenta sobre las propiedades de los agregados, los ensayos en concreto fresco, ensayos en concreto endurecido y la metodología del diseño de mezcla del concreto.

CAPÍTULO IV; se presenta el análisis y discusión de la investigación, donde se muestran los resultados obtenidos de las propiedades de los agregados y se realizan los ensayos del concreto en estado fresco y endurecido a través de tablas y figuras; paralelo a esto se realiza el análisis e interpretación de los resultados de cada ensayo; finalmente se presentan los análisis estadísticos sobre la correlación de concretos elaborados con aditivos superplastificantes convencional y alto rango.

CAPÍTULO V; Presenta las conclusiones y recomendaciones de la presente Tesis de investigación.

CAPÍTULO I

ASPECTOS GENERALES

1.1. Antecedentes

1.1.1 Antecedentes internacionales

Los primeros desarrollos sobre concreto autocompactante con el nombre de "High Performance Concrete" (concreto de altas prestaciones) fueron propuestas y desarrollados en la universidad de Tokio en 1986. Los estudios de este tipo de concreto demostraban ser en su estado fresco, un concreto autocompactable, sin defectos iniciales y de gran comportamiento ante los agentes externos, y es así que es planteado como la solución para aumentar la durabilidad de las estructuras de concreto y para racionalizar los sistemas constructivos, capaz de fluir en el interior del encofrado relleno de forma natural, pasando entre las armaduras densas en acero y consolidándose únicamente bajo la acción de su propio peso sin ninguna compactación interna o externa y sin que se produzca segregación física de sus constituyentes. (Okamura, 1997)

En la publicación de "High performance concrete", un concreto de alto desempeño (CAD), que tenga una muy baja relación $a/c < 0.4$, el concreto tendrá una gran impermeabilidad y una vida útil de hasta 100 años, es decir dos veces más que la vida útil de un concreto convencional (CC). (Aitcin, 1997)

Según Aitcin (2011), en su publicación "Sustainability of concrete (Modern concrete technology)" en el sector construcción, desde

el punto de vista de la rentabilidad, la demanda de concretos económicos y durables es factible considerando la mayor sostenibilidad del concreto de alto desempeño, en el tiempo frente a un concreto convencional, si comparamos el costo de un Concreto de alto desempeño por m³ con un concreto convencional, el costo del CAD es mayor. Cuando se diseñan los elementos de las edificaciones con un CAD para una misma sollicitación de esfuerzo calculado, podemos reducir el área de dichos elementos estructurales, lo que reduce el volumen de mezcla y encofrados sin la merma de la calidad final de la edificación.

En la investigación denominada “Estudio de la sensibilidad e influencia de la composición en las propiedades reológicas y mecánicas de los concretos autocompactantes”, analiza los diferentes componentes del concreto autocompactante en las propiedades, criterios y métodos para definir su composición, y concluye que la efectividad de aditivos sobre las distintas pastas de cemento y de filler, el aditivo por parte del cemento es mayor que la del filler. Este resultado es para mezclas filler – cemento en los que el contenido en cemento supera el 50 %. Esta diferencia crece cuando la relación agua/finos es mayor. Por lo cual los concretos autocompactantes fabricados con un alto contenido en finos requieren un tiempo mayor de amasado que los concretos tradicionales, para permitir que finos y aditivos desarrollen su efecto. Realizar análisis en tiempos cortos pueden dar resultados engañosos ocultando tendencias a segregación o excesiva cohesión. (Rigueira Victor, 2007)

1.1.2 Antecedentes nacionales

Según Sotomayor Cruz (2020), en su libro “La ciencia y el arte del concreto”, el concreto autocompactante es un excelente CAD, con baja permeabilidad, mezcla fluida, se consolida por su propio peso, facilidad de desencofrado en menor tiempo. En el caso del CAD, cuando se realiza el ensayo de resistencia a la compresión, es la resistencia a la pasta la que prevalece y origina la ruptura del concreto a través de los agregados y en el caso del concreto convencional (CC) es el agregado que prevalece y origina la ruptura del concreto en el ensayo de la resistencia a la compresión.

Molina Segura & Saldaña Pacheco (2014), en su tesis denominado “Influencia del aditivo Hiperplastificante Plastol 200 ext en las propiedades del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido.”, menciona que la cantidad de porcentaje óptima de aditivo Hiperplastificante Plastol 200 Ext. para mejorar las propiedades en estado fresco y endurecido, que cumpla con los criterios de diseño, es de 1.2 % del peso del cemento, por ser un concreto que no presenta exudación ni segregación y encontrarse dentro de los rangos permitidos de capacidad de fluidez y tiempos.

Perez Villar (2015) en su tesis “Influencia del aditivo Sika ViscoCrete 3330 en la durabilidad del concreto autocompactante elaborado con cemento tipo II y tipo V.”, menciona que utiliza el aditivo Sika ViscoCrete 3330, donde determina que tiene una influencia positiva en el diseño de concretos autocompactantes, en función a la resistencia a

la compresión, siendo la dosis óptima el 1.3% del peso del cemento, para concretos elaborados con cementos Pacasmayo tipo V, incrementa la resistencia del concreto en un 14.6%; y para una dosis de aditivo de 1.4% del peso del cemento, elaborados con cementos Pacasmayo tipo II, incrementa la resistencia del concreto en un 6.51% en función al concepto patrón.

Sánchez Hidalgo (2014), en su investigación “Efecto del aditivo superplastificante Sika Viscocrete en la resistencia mecánica del concreto autocompactante.”, menciona que la resistencia a compresión del concreto autocompactante, incrementa la resistencia del concreto para dosificaciones elaborados con dosis de aditivo entre 1% y 1.5% del peso del cemento; mientras que para concretos autocompactantes elaborados dosis mayores a 2% la resistencia reduce en 10% a la obtenida con el concreto patrón a la edad de 28 días. Aunque la resistencia va decreciendo con el aumento de la dosis, todas siguen cumpliendo con el requisito de superar la resistencia de diseño ($f'c=280\text{kg/cm}^2$).

1.2. Planteamiento del problema

A través de los años las construcciones de edificaciones elaboradas con concreto armado han formado parte del desarrollo de los países. Se conoce que el Perú es uno de los países sudamericanos con construcciones de concreto de baja calidad, la cifra es una de las más elevadas de América Latina con un 72%; superado solo por Bolivia con un 75%. (Federación Interamericana del Cemento [FICEM], 2013)

Se ha observado una problemática recurrente relacionada con los diseños deficientes de concreto, lo cual plantea desafíos significativos en términos de durabilidad, seguridad estructural y eficiencia en proyectos de ingeniería civil. Estos problemas pueden surgir por diversas razones, como la falta de comprensión integral de las propiedades de los materiales, prácticas inadecuadas de dosificación, falta de cumplimiento de normativas y estándares, limitada supervisión y control de calidad durante la construcción, entre otros aspectos.

Los malos diseños de concreto pueden llevar a estructuras vulnerables que no cumplen con las exigencias de resistencia, durabilidad y estabilidad requeridas para garantizar la seguridad de los ocupantes y la inversión a largo plazo. Estos problemas pueden manifestarse en forma de fisuras prematuras, pérdida de resistencia, degradación del material y fallas estructurales, comprometiendo así la integridad de las edificaciones y la confianza en las infraestructuras.

En la ciudad de Tacna, se requiere mejorar la eficiencia y durabilidad de las estructuras de concreto utilizadas en construcciones densas en acero. Actualmente, se utiliza concreto convencional en estas estructuras, lo que puede resultar en problemas de segregación, dificultad en la compactación y menor resistencia a largo plazo.

Basándonos en las consideraciones anteriores, se ideó como alternativa el concreto autocompactante con el propósito de minimizar la labor necesaria durante la colocación del concreto, logrando prescindir de la compactación tradicional mediante vibrado. El concreto autocompactante representa una

opción destacada de concreto de alto rendimiento que se enfoca en asegurar que las propiedades del concreto estén completamente respaldadas únicamente por el diseño de la mezcla y el proceso de mezclado.

Un concreto convencional a diferencia de un concreto de alto desempeño, favorece la velocidad de construcción rebajando los costos de mano de obra y materiales, se tienen la selección de los materiales y las metodologías de diseño de la mezcla. Se trabaja con una relación a/c significativamente baja, por lo que se hace necesario el uso de aditivos reductores de agua de gran poder, donde se puede destacar los de tipo hiperplastificante.

En la ciudad de Tacna, hasta el momento no se ha realizado un análisis exhaustivo de los concretos autocompactantes diseñados con una relación a/c inferior a 0.50 (Aïtcin, 2011). Este tipo de concreto, al tener una baja relación agua-cemento, presenta propiedades de impermeabilidad que lo hacen resistente a los ataques de sales, sulfatos y cloruros presentes en los suelos de cimentación. Es fundamental investigar este enfoque para poder aplicar este tipo de concreto en futuras construcciones, lo que contribuiría al avance en la tecnología del concreto, esta necesidad ha sido el motor impulsor de la presente investigación.

En consecuencia, surge la necesidad de evaluar y diseñar concretos autocompactantes elaborados con diferentes tipos de cemento (Tipo I, Tipo IP y Tipo HS) y aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango para mejorar las propiedades y desempeño del concreto en estas estructuras.

El método a utilizar para el diseño de mezclas de los concretos autocompactantes serán tomando en referencia la metodología del ACI, que nos

ayudará a obtener diseños de mezclas óptimos para la elaboración del concreto y de acuerdo al resultado se harán propuestas de diseños de mezclas.

1.3. Formulación del problema

1.3.1 Problema general

- ¿Cómo podemos desarrollar diseños de mezclas óptimos y que propuestas de dosificación se pueden plantear con aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango, para elaborar concretos autocompactantes con cementos tipo I, tipo IP y tipo HS, en estructuras densas en acero en la ciudad de Tacna?

1.3.2 Problema específico

- ¿Cómo influye en las propiedades del concreto autocompactante, y que comportamiento tendrá la mezcla elaborada con aditivos superplastificantes convencionales y aditivos de alto rango, con adición de diferentes porcentajes de dosis de aditivo?
- ¿Cómo correlacionar eficientemente la resistencia del concreto autocompactante con cementos tipo I, tipo IP y tipo HS; con los aditivos SIKAMENT 290N y FLUIDCON 500H?

1.4. Formulación de la hipótesis

1.4.1 Hipótesis general

- La evaluación de concretos autocompactantes permitirá realizar propuestas de diseños de mezclas óptimos de concretos autocompactantes elaborados con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS

con aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango en estructuras densas en acero en la ciudad de Tacna.

1.4.2 Hipótesis específica

- La determinación del porcentaje adecuado de dosis de aditivo facilitara la obtención de mezclas de concreto optimo.
- La realización de diferentes ensayos en estado fresco del concreto permitirá analizar la fluidez, capacidad de llenado, proporcionando información para su mejora y optimización.
- La evaluación de las propiedades del concreto en estado endurecido a diversas edades, demostrará cómo evolucionan a lo largo del tiempo y cómo los diferentes tipos de cemento y aditivos influyen en esta evolución.
- El análisis estadístico revelara la variabilidad de los resultados, permitiendo identificar patrones y tendencias importantes en la resistencia del concreto.

1.5. Justificación

La situación actual de la construcción en el país y la región de Tacna, demanda la realización de más proyectos de infraestructura con condiciones no convencionales por lo que necesita innovar la tecnología en la industria de la construcción, deja de ser eficaz y útil debido principalmente a su limitada resistencia. El concreto autocompactante tiene aplicaciones en estructuras de alta durabilidad, elementos esbeltos en edificios altos, puentes de grandes luces, etc. (Aitcin, 1997)

Es necesario producir concretos con resistencias a compresión mejoradas y más trabajables, para lo cual debemos de tener en cuenta criterios básicos como la dosificación, composición y elaboración del concreto. Por lo que la presente investigación pretende realizar y evaluar las ventajas propias del concreto autocompactante como eliminación del vibrado para su colocación y compactación, mejorar la fluidez del concreto para la colocación de concreto en elementos con alta densidad de armadura de acero, aumentar la trabajabilidad del concreto mejorando notablemente la productividad, reducción o eliminación del trabajo de compactación que favorece la velocidad de construcción.

La magnitud de los proyectos que se ejecutan en el país, así como la importancia que estos pueden llegar a tener en el desarrollo a nivel económico y social, traen consigo producir materiales de mejores características, con los que se pueda hacer eficiente y sostenible el proceso constructivo.

Con ello se pretende presentar la investigación para contribuir a la mejora de calidad de construcción con concreto en la ciudad, esta investigación será útil para otros investigadores.

1.6. Objetivos

1.6.1 Objetivo general

- Diseñar y evaluar concretos autocompactantes elaborados con cemento Tipo I, Tipo IP y Tipo HS con aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango, en estructuras densas de acero en la ciudad de Tacna.

1.6.2 *Objetivos específicos*

- Diseñar mezclas de concretos autocompactantes que cumplan con los requisitos de fluidez y resistencia, según la dosis adecuada de aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango.
- Determinar las propiedades y características del concreto en estado fresco mediante los diferentes ensayos analizando su fluidez, capacidad de paso, capacidad de llenado y resistencia a la segregación.
- Evaluar las propiedades del concreto en estado endurecido en las edades de 7, 14 y 28 días elaborados con cemento Tipo I, Tipo IP y Tipo HS con aditivos superplastificantes convencionales y de alto rango.
- Realizar el análisis estadístico de las pruebas obtenidas con el software SPSS 26, para analizar la variabilidad de los resultados de resistencia en los ensayos de concreto autocompactante.

1.7. Definición de las variables

1.7.1 *Variable dependiente:*

- Diseño y evaluación de concretos autocompactantes elaborados con cementos Tipo I, Tipo IP y Tipo HS.

1.7.1.1 Indicadores

- Capacidad de relleno
- Capacidad de paso

- Resistencia a la segregación

1.7.2 Variable Independiente:

- Aditivo superplastificante convencional - Sikament 290N
- Aditivo superplastificante de alto rango - Fluidcon 500H

1.7.2.1 Indicadores

- Composición química

1.7.2.2 Escala para la medición de la variable

En porcentaje de:

- Aditivo Sikament 290N (Dosis entre 2% - 5%)
- Aditivo Fluidcon 500H (Dosis entre 0,5% - 1,5%)

Respecto al del peso del cemento

1.7.2.3 Variable Intervinientes

- Cemento Portland Tipo I
- Cemento adicionado Tipo IP
- Cemento por desempeño Tipo HS
- Agregados
- Agua potable
- Aditivos

1.8. Alcances y limitaciones

1.8.1 Alcances

- La presente investigación se realizó en el laboratorio de ensayos de concreto INGESERVICIOS SAC, con agregados de la cantera Arunta (Sub cantera Chagua), ubicada en el distrito de Gregorio

Albarracín en la ciudad de Tacna, con cementos tipo I, tipo IP y tipo HS, y con aditivos superplastificantes SIKAMENT 290N y FLUIDCON 500H.

- Con el desarrollo de la presente tesis se determinará diferentes dosificaciones para concretos autocompactantes de resistencia de 280 kg/cm², realizando variaciones con los cementos (tipo I, tipo IP y tipo HS) y aditivos superplastificantes (Sikament 290N y Fluidcon 500H), para así conocer el comportamiento del concreto en estado fresco y sus resistencias a la compresión, esto variando la dosis (porcentaje de aditivo en función al peso del cemento) de aditivo para la elaboración de los concretos.
- La presente investigación aportara información para obtener diseños óptimos, utilizando la dosificación adecuada con agregados de la cantera Arunta de la ciudad de Tacna, esperando contribuir con los posteriores trabajos de investigación.

1.8.2 Limitaciones

- La dosificación del concreto autocompactante (SCC), descrita en esta tesis se aplica específicamente a los agregados locales, limitándose a las características físico-mecánicas de los agregados provenientes de la cantera Arunta (Sub cantera Chagua), así como las proporciones de cemento, aditivos y agua potable utilizadas en la elaboración de la mezcla.

- La evaluación de este tipo de concreto solo nos limita a evaluar a los materiales, excluyendo la evaluación de la mano de obra, equipos, rendimientos y costos, debido a que no pueden ser controlados con total precisión.

- Para los ensayos en concreto fresco solo se consideraron los siguientes equipos: caja L, anillo j-ring, embudo V y cono de slump. Se debe tener en cuenta que existen otros equipos adicionales que menciona la norma ACI PRC 237 – 07.

- La resistencia a la compresión es la única propiedad que se evaluará en estado endurecido. Los resultados son representativos únicamente para esta investigación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Definición de términos

2.1.1. Aditivo superplastificante: También conocido fluidificante de alta gama es un aditivo que permite reducir el contenido en agua de un determinado concreto, o que, sin modificar el contenido en agua incrementa considerablemente la capacidad de trabajo y fluidez. (ASTM C 494).

2.1.2. Agregado fino: Agregado que se obtiene a partir de fuentes como ríos, canteras o mediante la trituración de materiales, proveniente de la disgregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 3/8 pulg y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037 y NTP 400.011.

2.1.3. Agregado grueso: Agregado grueso es retenido en el tamiz N° 4, proveniente de la disgregación natural o artificial de roca, y que cumple con las especificaciones y los límites establecidos en la NTP 400.037 y NTP 400.011.

2.1.4. Cemento Portland: Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker de Portland compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición durante la molienda. (NTP 400.017)

2.1.5. Curado: Proceso que consiste en controlar las condiciones ambientales (especialmente temperatura y humedad) durante el fraguado y/o

endurecimiento del concreto. (NTP 339.047)

2.1.6. Granulometría: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado. La NTP 400.012 establece el procedimiento para su distribución mediante el tamizado, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida y/o que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados. (NTP 400.011)

2.1.7. Peso unitario del agregado: El peso unitario es un parámetro que se refiere a la masa de un material por unidad de volumen. Se trata de cuánto pesa un material en relación con el espacio que ocupa. (NTP 400.017)

2.1.8. Segregación: Separación de componentes del concreto fresco, resultando en una mezcla sin uniformidad. (NTP 339.047)

2.1.9. Resistencia a compresión: Es la máxima resistencia que puede soportar una muestra de concreto cuando se somete a una carga axial en compresión en una máquina de ensayos a una velocidad determinada. (NTP 339.034)

2.1.10. Trabajabilidad: Es la propiedad del concreto en estado fresco, que determina sus características de trabajo, es decir, la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado. (NTP 339.047)

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Conceptos generales

Según el comité ACI PRC 237-07, el concreto autocompactante (Self Consolidating Concrete – SCC), lo define como un tipo de concreto

de alto desempeño que se coloca fácilmente al interior del encofrado y se compacta por efecto de la gravedad (propio peso) sin aporte de energía alguna de consolidación interna o externa, con una segregación mínima o nula luego de su colocación.

El concreto autocompactante tiene tendencia a cambios en su comportamiento en estado fresco como endurecido, y es mayor que la de los concretos convencionales. (Pineda V., 2003). Este tipo de concreto pertenece a la familia de los concretos de alto desempeño, y tiene la capacidad de fluir sin segregación, autocompactándose por sí solo, asegurando así la continuidad del concreto endurecido. (Chutan, 2004).

Muchos países en la actualidad han incrementado el uso de concretos autocompactantes (SCC), pero el concreto convencional aún sigue siendo utilizado para las viviendas y la mayoría de edificaciones que no necesitan altas resistencias y trabajabilidad para ser construidas.

El concreto autocompactante es un excelente concreto de alto desempeño, que según el comité ACI PRC 237 – 07 ofrece distintas ventajas según indica la Figura 1.

Figura 1

Ventajas que ofrece un concreto autocompactante



Nota. Comité ACI PRC 237 - 07

El concreto de alto desempeño (CAD) se caracteriza, según la definición del comité del ACI, por poseer una particular combinación de homogeneidad y desempeño, características que no se pueden alcanzar con los materiales convencionales y los procesos de mezclado estándar. Es, en esencia, una mezcla de concreto a la cual se pueden incorporar distintos elementos para mejorar tanto su comportamiento en estado fresco como sus propiedades una vez que ha endurecido.

Los materiales deben ser los adecuados para el uso previsto en el hormigón y no pueden contener ingredientes dañinos en tales cantidades que puedan suponer un detrimento de la calidad o durabilidad del hormigón, o que puedan causar la corrosión de la armadura. (EFNARC, 2002).

2.2.2 Diferencias entre el concreto autocompactante (SCC) y el concreto convencional (CC).

La diferencia entre estos dos tipos de concreto se base a dos líneas de investigación: relación a/c y su comportamiento (desempeño). Pero cabe señalar que según las investigaciones de Neville, la relación a/c = 0.4 tiene suficiente agua para hidratar todas las partículas de cemento.

2.2.2.1 Relación a/c (agua/cemento):

- La relación a/c para un concreto convencional está generalmente entre 0.42 y 0.60, lo que genera que la mezcla contenga mayor contenido de agua que el necesario para hidratar las partículas de cemento. En consecuencia, se genera mayor permeabilidad, baja resistencia y problemas de retracción. (Aïtcin, 2011)
- La relación a/c del concreto de alto desempeño es generalmente menor a 0.42, lo que genera el incremento de las propiedades mecánicas debido que dependen más de la distancia de separación entre partículas de cemento que el número de partículas hidratadas en la mezcla de concreto. Cabe señalar que requieren de aditivos químicos o adiciones minerales para colaborar con el proceso y obtener concretos trabajables. (Aïtcin, 2011)

2.2.2.2 Desempeño

El concreto convencional (CC) no tiene ninguna oportunidad de competir con el concreto autocompactante,

ejemplo de esto lo tenemos cuando se requiere construir edificios de gran altura, puentes de grandes luces sin apoyos intermedios, tunelería subterránea o submarina, estructuras con alta densidad de acero, etc.

El concreto convencional (CC) se produce de forma constante e industrial, por lo que los resultados del desempeño de un diseño en diferentes proyectos son similares. Se conoce que las empresas de premezclado han estudiado durante mucho tiempo este tipo de concreto y, continuamente, proponen mejoras a su diseño, rebajando los costos con la disminución de algún componente. Sin embargo, los materiales y procesos constructivos son los usuales en todas las obras; por ello, Khadiranaikar (1999) identificó cuatro principales deficiencias del concreto convencional:

- Excesivo tiempo de construcción (demora en el desencofrado y lenta ganancia de la resistencia a la compresión)
- Baja resistencia inicial (o lenta ganancia de propiedades mecánicas en el tiempo)
- No es durable en ambientes severos (presenta corta vida útil y necesita de mantenimiento)
- No tiene capacidad de absorber energía (exclusivamente para estructuras antisísmicas)

El Concreto autocompactante (SCC), por el contrario, cumple todos los requerimientos que no cumple un concreto

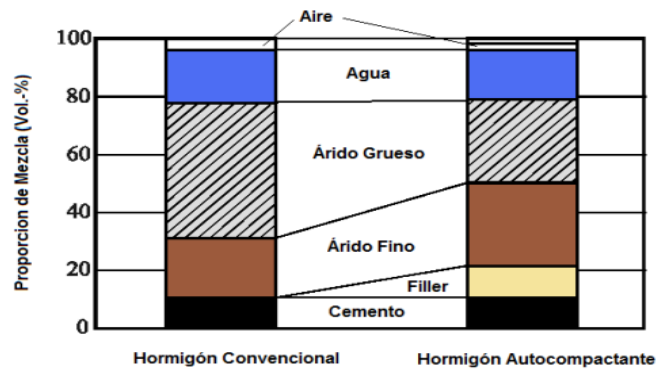
convencional, e incluye más ventajas según el proyecto. Debido a ello, los resultados en cuanto a desempeño son ampliamente superiores. Por lo tanto, los diseños de un concreto autocompactante (SCC), hacen que requieran una rigurosa evaluación técnica y económica; que pueden optimizarse de acuerdo a la experiencia previa de la localidad.

2.2.3 Componentes

Los componentes para crear un concreto autocompactante son esencialmente los mismos que se utilizan en la elaboración del concreto convencional, sin embargo, como observamos en la Figura 2 en la preparación de un concreto SCC se incorporan componentes adicionales, como modificadores de viscosidad y los finos minerales, que resultan necesarios para prevenir la exudación y segregación del concreto durante su elaboración y colocación; asegurando así la cohesión necesaria de la mezcla. En lo que respecta al cemento y a los agregados, no se les exige cumplir con requisitos específicos adicionales a los que se exigen para la elaboración del concreto convencional. Un componente fundamental son los aditivos, tales como los superplastificantes, que son esenciales para su elaboración, existe una amplia variedad de tipos y una gran gama de aditivos en el mercado. La Figura 3 representa gráficamente la proporción de componentes en el concreto autocompactante.

Figura 2

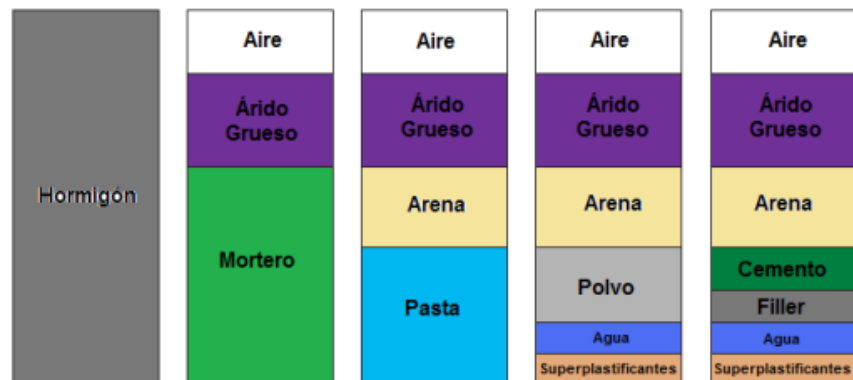
Comparación de concretos



Nota. Holschemacher et al (2002).

Figura 3

Composición esquemática del concreto autocompactante



Nota. Brouwers et al (2005).

2.2.3.1 Cemento

Para la elaboración de un concreto autocompactante (SCC) al igual que un concreto convencional (CC) se puede utilizar cualquier tipo de cemento. Todo dependerá del uso que se le va a dar al concreto, la disponibilidad en el mercado, su finura a emplearse, y la calidad de concreto que se desee (Álvarez, 2014).

Según EFNARC (2002), en un concreto autocompactante se debe de tener en cuenta los siguientes rangos de contenido de cemento:

- El contenido habitual de cemento es de 350-450 kg/m³.
- Más de 500 kg/m³ de cemento pueden resultar peligrosos y aumentar la retracción.
- Menos de 350 kg/m³ sólo resultan adecuados si se incluye otro tipo de fino, como cenizas volantes, puzolanas, etc.

Según ACI PRC 237 - 07 en un concreto autocompactante el rango de polvo de cemento es:

Tabla 1

Rangos de contenido de cemento portland sugeridos

	Flujo de asentamiento (< 550 mm)	Flujo de asentamiento (550 a 650 mm)	Flujo de asentamiento (> 650 mm)
Contenido en polvo (kg/m ³)	De 355 a 385	De 385 a 445	458 +

Nota. ACI PRC 237 - 07

La cantidad de cemento será según sea necesario para la resistencia de compresión diseñado. Cementos a utilizar en la presente investigación serán un tipo de cada rango, para evaluar su comportamiento, se tiene los siguientes cementos.

Tabla 2*Tipos de Cementos Portland*

Cemento Portland	
ASTM C150 - NTP 334.009	
Tipo I y Tipo I A	Uso general (*con aire incorporado)
Tipo II y Tipo IIA	Uso general, especialmente para moderada resistencia a sulfatos (* con aire incorporado)
Tipo II (MH) y Tipo II (MH) A*	Uso general, especialmente para moderado calor de hidratación (*con aire incorporado)
Tipo III y Tipo IIIA	Alta resistencia temprana
Tipo IV	Bajo calor de hidratación
Tipo V	Alta resistencia a sulfatos

Nota. Norma Técnica Peruana NTP 334.009

Tabla 3*Tipos de Cementos Adicionados*

Cementos Adicionados	
ASTM C595 - NTP 334.090	
Tipo IS	Binario con escoria
Tipo IP y P	Binario con puzolana
Tipo IL	Binario con caliza
Tipo IT	Ternario - S/P/L
+ Requerimientos adicionales	
* MS / HS / MH / LH	
* A / R	
* Sujetos a requisitos químicos y % de adición	

Nota. Norma Técnica Peruana NTP 334.090

Tabla 4*Tipos de Cementos por desempeño o por performance*

Cementos por desempeño	
ASTM C1157 - NTP 334.082	
Tipo GU	Uso general
Tipo HE	Alta resistencia temprana
Tipo MS	Moderada resistencia temprana
Tipo HS	Alta resistencia a sulfatos
Tipo MH	Moderado calor de hidratación
Tipo LH	Bajo calor de hidratación
+ Requerimientos adicionales	
A: con aire incorporado	
B: Baja reactividad con agregados ASR	

Nota. Norma Técnica Peruana NTP 334.082

2.2.3.1.1. Cemento Tipo I: Posee propiedades específicas de fraguado, resistencia a la compresión y color, entre otras, las cuales les son conferidas por un proceso regular de fabricación y por las materias primas calcáreas y arcillosas, que aportan los compuestos químicos primordiales para el cemento. Es utilizado en construcciones generales de concreto, tales como: placas, estructuras, muros, pisos, etc.

2.2.3.1.2. Cemento Tipo IP: Cemento de última generación elaborado bajo los más altos estándares de la industria cementera, colabora con el medio ambiente, de conformidad con la NTP 334.090 y la Norma ASTM C 595, recomendado para todo tipo

de obra civil.

2.2.3.1.3. Cemento HS: Clasificado como cemento tipo HS según la norma NTP 334.082 y ASTM C 1157, es un cemento de última generación, elaborado bajo los más altos estándares. Es un producto formado en base a Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso.

2.2.3.2 Agregados

Se define como un agregado de materiales granulares resultantes de la descomposición natural o artificial de las rocas. Estos elementos, inertes en su naturaleza, componen la mayor parte del peso total del concreto y, generalmente, tienen mayor resistencia y menor costo en comparación con la pasta de cemento. En función de su tamaño, se clasifican en agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena). Cuando se combinan ambos tipos de materiales, se les llama agregado global.

El agregado grueso está compuesto por el material retenido en el tamiz N°4, mientras que el agregado fino corresponde al material que pasa a través del tamiz 3/8". Es necesario que estos agregados cumplan con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33.

Los ensayos de los agregados que se deben presentarse para el diseño de mezclas, son los siguientes:

- Peso unitario Suelto (PUS) y peso unitario compacto (PUC)
- Peso específico del agregado grueso y absorción
- Gravedad específica del agregado fino
- Contenido de humedad y
- Granulometría

Tabla 5

Límites granulométricos del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 um (No. 30)	25 a 60
300 um (No. 50)	05 a 30
150 um (No. 100)	0 a 10

Nota. Norma Técnica Peruana NTP 334.037

Tabla 6

Límites granulométricos del agregado grueso

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por tamices normalizados													
		100 mm (4")	90 mm (3 1/2")	75 mm (3")	63 mm (2 1/2")	50 mm (2")	37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	4,75 mm (No.4)	2,36 mm (No.8)	1,18 mm (No.16)	300 um (No.50)
1	(3 1/2" a 1 1/2")	100.00	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	(2 1/2" a 1 1/2")			100.00	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	(2" a 1")				100.00	90 a 100	35 a 75	0 a 15		0 a 5					
357	(2" a No.4")				100.00	95 a 100	35 a 70		10 a 30		0 a 5				
4	(1/2" a 3/4")					100.00	90 a 100	20 a 55	0 a 5		0 a 5				
467	(1 1/2" a No.4)					100.00	95 a 100	35 a 75		10 a 30	0 a 5				
5	(1" a 1/2")						100.00	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	(1 a 3/8")						100.00	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	(1" a No.4)						100.00	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	(3/4" a 3/8")							100.00	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	(3/4" a No.4)							100.00	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	(1/2" a No.4)								100.00	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	(3/8" a No.8")									100.00	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	(1/2" a 3/8")									100.00	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	(No.4 a No.16)										100.00	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota. Norma Técnica Peruana NTP 334.037

2.2.3.3 Agua

El componente fundamental en la preparación del concreto, es el agua que permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante, estando relacionado con la trabajabilidad, resistencia y propiedades del concreto endurecido. Por ello es importante que el agua y el cemento sean usados en las proporciones adecuadas para obtener buenos resultados (NTP 339.088).

Tabla 7

Parámetros del agua del diseño de mezcla

Parámetro	ASTM	NTP	Limite (ppm)
Acidez y alcalinidad	D 1067		1000 máx.
Calcio y magnesio	D 511		150
Cloruros	D 512	339.076	500 a 1000 máx.
Partículas y materia disuelta en el agua	D 1888	339.071	5000 máx.
Ph	D 1293	339.073	06 - 08
Sulfatos	D 516	339.074	3000 máx.

Nota. Límites permisibles según ASTM y NTP.

2.2.3.4 Aditivo

El ACI define a los aditivos como aquellos materiales que son empleados como ingredientes del concreto, y son añadidos a la tanda inmediatamente, antes o durante su mezclado.

Estos materiales sirven para modificar o mejorar ciertas propiedades del concreto en su estado fresco o

endurecido, adaptándose a las necesidades específicas de cada proyecto.

Las normas ASTM y las recomendaciones del ACI categorizan los aditivos de acuerdo con sus tipos.

El ACI 212.3R recomienda agrupar a los aditivos de la siguiente manera:

- Acelerantes
- Incorporadores de aire
- Reductores de agua y reguladores de fragua
- Aditivos minerales
- Generadores de gas
- Aditivos para inyecciones
- Productores de expansión
- Ligantes
- Ayudas para bombeo
- Colorantes
- Floculantes
- Funguicidas: insecticidas y germicidas
- Impermeabilizantes
- Reductores de permeabilidad
- Controladores de la reacción álcali-agregado

- Inhibidores de la corrosión
- Superplastificantes

Los aditivos superplastificantes, también conocidos como reductores de agua de alto rango (RAAR), tuvieron su origen en Japón y Alemania durante la década de los años 60, siendo formulados inicialmente con formaldehído naftaleno o formaldehído melamina sulfonato. Desde entonces, han experimentado mejoras significativas.

Según Roncero J., 2000, proporciona una investigación relevante sobre cómo los superplastificantes afectan el comportamiento del concreto. Gran parte de la información acerca de los mecanismos de acción de estos aditivos superplastificantes se ha derivado de su investigación.

En términos generales, los aditivos superplastificantes utilizados en la industria del concreto son principalmente polímeros con elevados pesos moleculares y un extenso número de unidades moleculares que se repiten en una secuencia.

2.2.4 Diseño de mezcla del concreto

2.2.4.1 Método para dosificación del concreto según metodología ACI 211

El proceso de diseño de mezcla del concreto será por el método de diseño de concreto del ACI, tomando en consideración las sugerencias del ACI PRC 237 - 07, sobre sus requisitos de rendimiento y dosificación de SCC.

Tabla 8*Proporciones para mezclas de prueba para concreto autocompactante*

Descripción	Propuestas de volúmenes y fracciones
Volumen absoluto de agregado grueso*	28 a 32 % (TMN >1/2")
Fracción de pasta	34 a 40 % (volumen total de mezcla)
Fracción de Mortero	68 a 72% (Volumen total de mezcla)
Relación a/c Típica	0,32 a 0,45
Contenido de cemento típico	(386 a 475 (Kg/m ³))

* Hasta 50% (TMN = 3/8")

Nota. La tabla contiene un resumen (ACI PRC 237 - 07)**Tabla 9***Normas y especificaciones para diseño de mezclas*

Normas	Descripción
ACI CODE 318	El Comité establece claramente los procedimientos que deben tomarse en cuenta para la selección de los materiales, dosificación de la mezcla de concreto, producción, manejo, instalación y curado.
ACI PRC 211	Para el diseño del concreto, se utilizan las recomendaciones de dosificación dadas por el comité.
ACI PRC 214	En cuanto a análisis estadísticos, se utilizan las recomendaciones del comité
ACI PRC 237	Requisitos y recomendaciones para concretos autocompactantes (SCC)
ASTM	Para la confección de las muestras y las pruebas de laboratorio, se hace referencia a las normas ASTM

Nota. Normas de referencia según ASTM y ACI

Procedimientos para el diseño de mezcla:

Paso 1: Determinar los requisitos de desempeño del flujo de asentamiento, según la tabla 11.

Paso 2: Seleccione el agregado grueso y la proporción (ACI PRC 211)

Paso 3: Estimar el contenido de cemento (tabla 1) requerido y agua

Paso 4: Calcular el volumen de pasta y mortero

Paso 5: Seleccione la mezcla

Paso 6: Mezcla de prueba por lotes

Paso 7: Prueba evaluar la trabajabilidad de SCC (estabilidad, capacidad de llenado y capacidad de paso), la prueba de flujo de asentamiento, así como una prueba para evaluar la estabilidad y capacidad de paso (como segregación de columna, anillo en J, L-box) debe ejecutarse

Paso 8: Ajuste las proporciones de la mezcla en función de la prueba resultados y luego vuelva a hacer el lote con más pruebas hasta que se logran las propiedades requeridas.

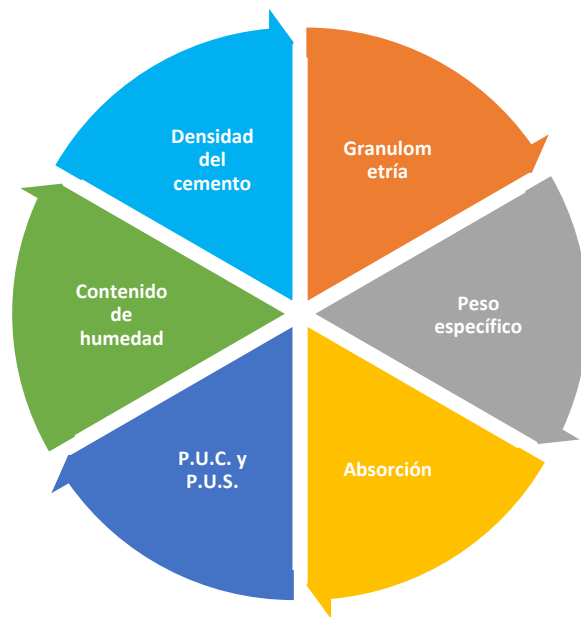
Información necesaria para el diseño de mezclas de concreto:

- Máxima relación agua/ cemento
- Tamaño máximo nominal, asentamiento (Slump)
- Mínimo contenido de cemento

- Dimensión mínima de elementos
- Espaciamiento del acero de refuerzo
- Condiciones de exposición
- Resistencia a la compresión mínima

Figura 4

Datos necesarios para el diseño – Información de los materiales



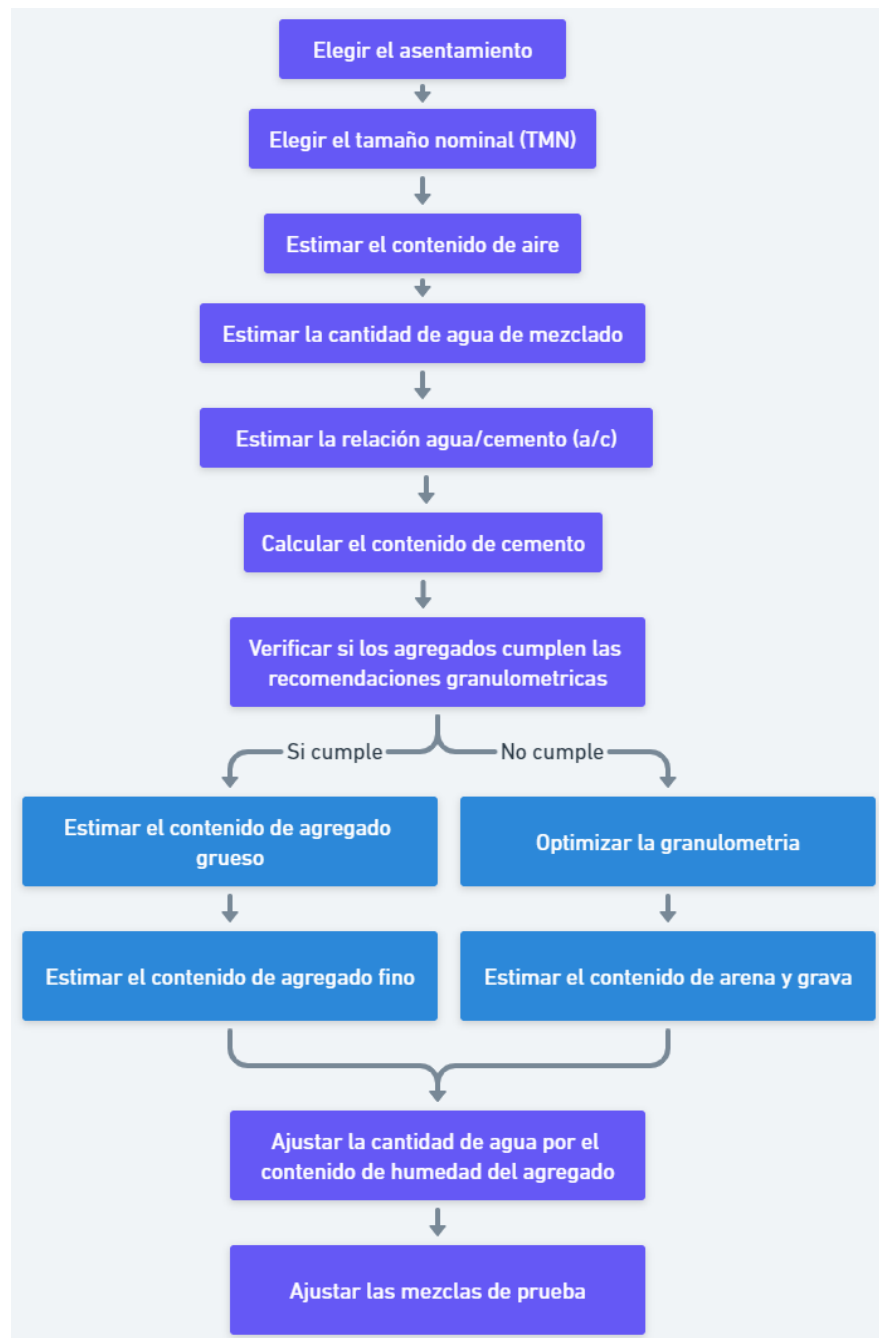
Nota. Elaboración propia

La proporción ideal de los agregados en la mezcla de concreto se determina siguiendo el principio de obtener la máxima densidad. Para lograrlo, se prueban diversas combinaciones de agregado grueso y fino, calculando el Peso Unitario Compactado (PUC) para cada una de ellas. La combinación que presente el máximo PUC es la que tiene menor cantidad de vacíos ya que puede contener una mayor cantidad de material en el mismo volumen donde se ensayan todas las combinaciones. Los vacíos presentes en la mezcla de agregado serán rellenados por pasta de cemento, por

consiguiente, al utilizar la combinación con la menor cantidad de vacíos o el PUC más alto, se obtiene una mezcla de concreto que requiere la mínima cantidad de pasta y, en consecuencia, resulta más económica, dado que el cemento es el material de mayor costo.

Figura 5

Secuencia del diseño de mezcla – ACI 211



Nota. Elaboración propia

2.2.4.2 Método General para la dosificación del Concreto autocompactante

El “Método General” de Okamura y Ouchi (1997) es un enfoque de dosificación que establece las cantidades adecuadas de agregado grueso, agregado fino y pasta en función de la densidad del conjunto del agregado grueso. Para optimizar la composición de la pasta, se realizan pruebas en pastas de cemento.

El proceso se detalla de la siguiente manera: se consideran como agregado grueso todas las partículas retenidas en el tamiz de 5 mm, mientras que el agregado fino abarca la fracción granulométrica entre 0.09 mm y 5 mm. Los finos comprenden todas las partículas con un tamaño inferior a 0.09 mm. La densidad del conjunto del agregado grueso se determina en Kg/m³.

La dosificación de agregado grueso por metro cúbico de concreto equivale al 50% de la masa total obtenida. El volumen sólido del agregado fino debe representar el 40% del volumen del concreto. Las proporciones relativas de agua, cemento, aditivo y otros finos completarán el resto del volumen del concreto. La relación agua/cemento está influenciada principalmente por los requisitos mecánicos y de durabilidad del concreto. Con estas restricciones en mente, se llevan a cabo ensayos para optimizar las dosificaciones de los componentes, evaluando el flujo y la capacidad de llenado a

través de pruebas.

Se propone alcanzar un escurrimiento de 650 mm. Estos criterios se han determinado mediante estudios experimentales sobre la tendencia al bloqueo de los áridos (Okamura, 2000), utilizando los ensayos de la caja L, embudo V, caja L y anillo J ring.

2.2.5 Características del concreto autocompactante en estado fresco

Según el ACI PRC 237-07, es un concreto altamente fluido y no segregable que puede extender en su lugar, rellenar el encofrado y encapsular el refuerzo sin ninguna consolidación mecánica. La reología de SCC es caracterizado por un bajo límite elástico para asegurar una alta deformabilidad y viscosidad plástica moderada para mantener la homogeneidad suspensión de sólidos, lo que reduce la colisión entre partículas, segregación y bloqueo del flujo. Los principales requisitos de SCC implica asegurar altos niveles de deformabilidad mientras manteniendo una mezcla altamente estable.

En su estado fresco, las características del concreto autocompactante varían considerablemente en comparación con el concreto convencional, lo que implica que los métodos de evaluación para definir sus propiedades también son diferentes.

Esas características en estado fresco deben cumplir con tres requisitos fundamentales a la hora de elaborar el concreto autocompactante, las cuales son: capacidad de paso, capacidad de

llenado y resistencia a la segregación. (Vilanova, 2009)

Según Rigueira (2007) nos presenta las definiciones correspondientes de cada una e las características mencionadas anteriormente.

- **Capacidad de paso:** Se define como la habilidad del concreto para moverse a través de espacios estrechos sin que la interacción entre los agregados provoque bloqueos en la mezcla. Para lograr esta propiedad, se aumenta la fluidez de la pasta mediante el uso de superplastificantes, se reduce el volumen de agregado grueso en la mezcla y se ajusta el tamaño máximo de los agregados según los espacios que el concreto debe atravesar. De esta forma, la geometría de la estructura del elemento de concreto armado y la disposición de las armaduras son factores clave a considerar.
- **Capacidad de llenado:** Se refiere a la habilidad del concreto para fluir de manera completa dentro del encofrado, ocupando todas las superficies. Esta propiedad garantiza un acabado de calidad, con una superficie uniforme, color homogéneo y sin defectos. Además, asegura que las armaduras estén completamente cubiertas, evitando la formación de bolsas de aire en su parte inferior.
- **Resistencia a la segregación:** Esta propiedad está relacionada con la estabilidad del concreto. En un concreto autocompactante, la mezcla debe mantenerse uniforme durante y después del proceso de mezclado, evitando la separación de los agregados o la exudación.

Existen varios métodos de ensayo para determinar las propiedades del concreto autocompactante en su estado fresco. A continuación, analizaremos los métodos más utilizados.

Tabla 10

Ensayos para determinar las propiedades en estado fresco

Nombre de la prueba	Categoría	Características	Que mide la prueba
Flujo de asentamiento	Flujo libre	Capacidad de llenado	Distancia de flujo
Índice de estabilidad visual (VSI)	Condición estática	Resistencia a la segregación	Estabilidad visual de la mezcla
T50	Flujo libre	Capacidad de llenado	Velocidad del flujo
Anillo J	Flujo confinado	Capacidad de paso	Velocidad del flujo
Caja en L	Flujo confinado	Capacidad de paso y relleno	Velocidad y distancia de flujo
Prueba de segregación en columna	Flujo confinado	Resistencia a la segregación	Segregación de agregados
Embudo V	Flujo confinado	Capacidad de llenado	Velocidad de flujo

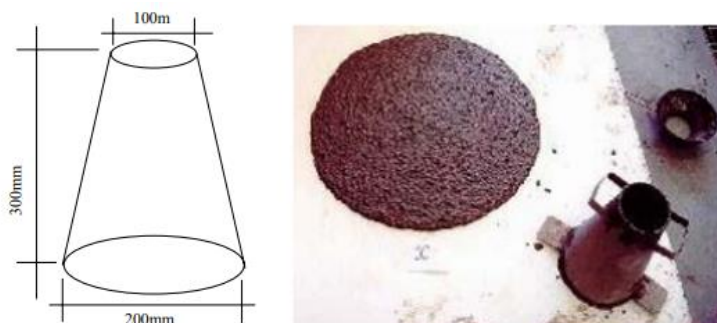
Nota. ACI PRC 237-07

2.2.5.1 Ensayo del escurrimiento

Según el ASTM C1611, este ensayo consiste en verter la mezcla de concreto en una sola capa al interior del cono de abrams, sin compactar el concreto. Posteriormente se enrasa la parte superior de la mezcla y se levanta el cono de Abrams en un tiempo de 2 a 5 segundos. Se registra dos valores del diámetro horizontal de la mezcla para establecer el valor promedio de la extensibilidad.

Figura 6

Dimensiones del cono de Abrams y escurrimiento del SEE



Nota. Wilker (2007).

2.2.5.2 Escurrimiento con el anillo japonés

Este ensayo evalúa la fluidez y la capacidad de paso del hormigón a través de las barras de acero. El aparato consiste en un anillo compuesto de barras de acero. Según (EFNARC, 2002). Este equipo se basa en un anillo de 30 cm de diámetro, en la que se observan 16 barras verticales de armadura de 10cm o 12 cm de altura, con una adecuada división entre sí. Por lo general, es considerado como adecuada una distancia entre barras igual o tres veces el tamaño máximo del árido.

Figura 7

Ensayo de Esguerrimiento con anillo J

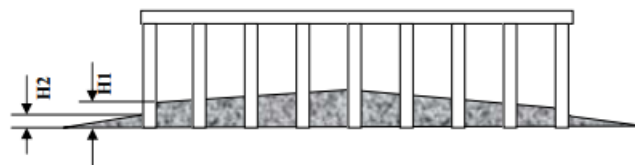


Nota. Wilker (2007).

Una vez realizado el ensayo de flujo, se miden las alturas de concreto justo dentro y fuera del anillo para evaluar el bloqueo de paso. Ocasionalmente, también puede medirse el diámetro final de extensión del ensayo, como la media de dos diámetros perpendiculares a la muestra realizada.

Figura 8

H1 y H2 en el ensayo del anillo japonés



Nota. Wilker (2007).

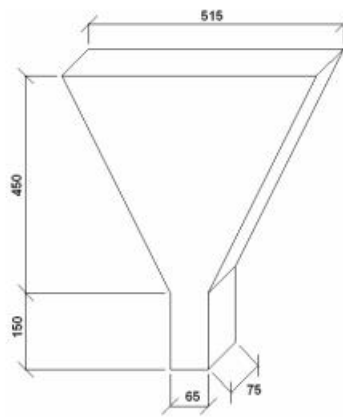
2.2.5.3 Embudo en V

Este ensayo permite evaluar la fluidez, la capacidad del concreto para pasar por sitios estrechos y la resistencia a la segregación de la mezcla.

Este ensayo consiste en verter la mezcla representativa de SCC al interior del embudo en forma continua y sin compactación alguna, dejándose reposar un minuto. Posteriormente se abre la puerta y ahí es cuando se comienza la medición del tiempo con un cronometro, que indica cuanto es que demora el volumen en su totalidad para fluir en el interior de este.

Figura 9

Ensayo del embudo V



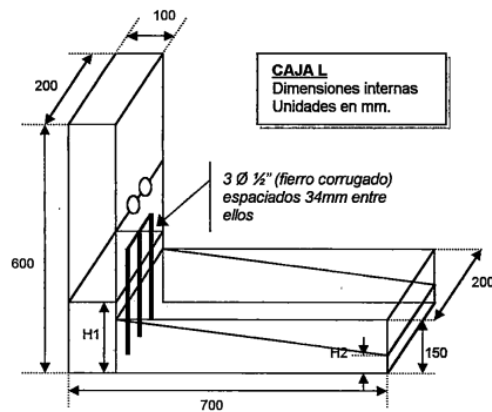
Nota. Wilker (2007).

2.2.5.4 Caja en L

El ensayo de la Caja en L evalúa propiedades del SEE como la habilidad de pasar entre las barras de acero, la capacidad de llenado y la resistencia a la segregación. (UNE 83363:2007)

Figura 10

Ensayo de la caja L



Nota. Pineda (2003).

Establecer el valor objetivo inicial para el flujo de asentamiento es el primer paso en el desarrollo de una mezcla SCC. Se proporciona una tabla 11 de asentamiento para elegir el flujo de asentamiento, según la forma, nivel de refuerzo, espesores, complejidad del elemento, etc.

Según la aplicación, la mezcla diseñador califica las características de un elemento como bajo, medio, o alto. Las áreas oscuras son áreas potencialmente problemáticas y debe evitarse. Por ejemplo, si la aplicación presenta un alto nivel de refuerzo, SCC con un asentamiento No se recomienda un flujo inferior a 22 pulg. (550 mm). Inicial los objetivos deben elegirse de las áreas blancas. En general, el Se debe elegir la consistencia de flujo de asentamiento más baja para reducir el potencial de inestabilidad y optimizar el rendimiento/ relación de costos.

Tabla 11*Asentamiento según las características de un elemento*

		Flujo de asentamiento		
		< 550 mm	550 a 650 mm	> 650 mm
Nivel de refuerzo	Alto			
	Medio	■		
	Bajo	■		
Complejidad de la forma del elemento	Alto			
	Medio	■		
	Bajo	■	■	
Profundidad del elemento	Alto			
	Medio			
	Bajo			
Importancia del acabado	Alto			
	Medio	■		
	Bajo	■	■	
Longitud del elemento	Bueno			
	Medio	■		
	Bajo	■	■	
Espesor	Bueno			
	Medio	■		
	Bajo			
Contenido de árido grueso	Bueno			
	Medio			
	Bajo			

Nota. ACI PRC 237 - 07

2.2.6 Curado del concreto

Según las directrices establecidas por la Norma Técnica Peruana (NTP 339.033), el curado del concreto se refiere al proceso esencial de mantener la humedad y temperatura óptimas en el concreto fresco durante un período de tiempo determinado. Este proceso es fundamental para garantizar el adecuado endurecimiento y desarrollo de las

propiedades del concreto. El curado del concreto implica protegerlo de la pérdida prematura de humedad, lo cual podría afectar negativamente su resistencia y calidad final. Para lograrlo, se emplean diferentes técnicas de curado, como la aplicación de productos químicos protectores en la superficie, el uso de mantas húmedas o sistemas de riego para mantener la humedad, entre otros métodos. La duración del curado depende de varios factores, como la composición del concreto, las condiciones ambientales y la exposición futura del elemento de concreto. En general, se recomienda un período mínimo de curado de 7 días, aunque puede variar según las circunstancias. En resumen, el curado adecuado del concreto desempeña un papel crucial en la obtención de estructuras de concreto duraderas y de alta calidad, minimizando el riesgo de problemas como fisuración prematura, y es esencial seguir las directrices de la NTP 339.033 para lograr resultados óptimos.

2.2.7 Características mecánicas del concreto autocompactante

Mientras que las propiedades en estado fresco del concreto autocompactante difieren en gran medida de las del concreto de compactación convencional, su comportamiento en términos de resistencias, durabilidad y demás prestaciones en estado endurecido pueden considerarse similares a las de un hormigón convencional de igual relación agua/cemento y elaborado con los mismos materiales componentes. (EHE, 2008)

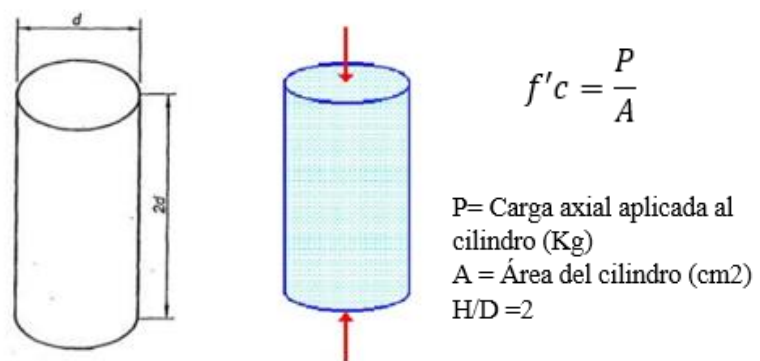
2.2.7.1 Resistencia mecánica a la compresión

La resistencia a la compresión es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión mide el fracturado de probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos a la compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de rotura dividida entre el área de sección resistente y se reporta en unidades de del Sistema internacional (NTP 339.033).

Se calcula la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro.

Tabla 12

Cálculo de la resistencia a la compresión del concreto



Nota: Según norma técnica peruana NTP 339.033

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de la investigación

La presente tesis es del tipo de investigación experimental y cuantitativa.

3.2. Nivel de la investigación

Nivel aplicativo, ya que su objetivo es resolver problemas

3.3. Población y/o muestra de estudio

3.3.1 Población

Para la población del estudio de la presente investigación son los diseños de mezcla de concretos especiales elaborados en el laboratorio de ensayos.

Para los diseños de mezcla se utilizan agregados provenientes de la cantera Arunta ubicada en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia de Tacna, los cuales se evaluarán y verificarán que cumpla con la NTP 400.037 y la ASTM C33. Para la población del estudio de la presente investigación, se utilizan diferentes tipos de cemento y aditivo, encontrados en la provincia de Tacna. Los aditivos convencionales son encontrados con facilidad en las ferreterías de la localidad, de igual maneras los diferentes tipos de cementos presentados en la presente investigación.

3.3.2 Muestra

El tamaño de muestras es de 96 especímenes de concreto, según la dosis de aditivo que se use para lograr un diseño de mezcla de prueba óptimo para obtener un concreto autocompactante.

Tabla 13

Diseños de mezcla optimo con aditivo convencional

Diseño de mezcla	Aditivo Convencional SIKAMENT 290N		
	3.10 % peso de cemento	2.8 % peso de cemento	2.7 % peso de cemento
Tipo I - 100 % Efec.	1	0	0
Tipo HS - 70% Efec.	0	0	1
Tipo IP - 80% Efec.	0	1	0

Nota. Elaboración Propia

Tabla 14

Diseños de mezcla optimo con aditivo de alto rango

Diseño de mezcla	Aditivo de alto rango FLUIDICOM 500H		
	1.5% peso de cemento	1.4% peso de cemento	1.3% peso de cemento
Tipo I - 100 % Efec.	1	0	0
Tipo HS - 70% Efec.	0	0	1
Tipo IP - 80% Efec.	0	1	0

Nota. Elaboración Propia

La muestra está conformada por pruebas de mezcla de distintos porcentajes de aditivo superplastificante. Se elaborará 96 probetas cilíndricas de 10cm (4 pulgadas) de diámetro y 20 cm (8 pulgadas) de altura de concreto, los cuales se ensayan 3 especímenes de concretó a la edad de 7 días y 14 días, y para la edad de 28 días se realizan 10 especímenes de concreto, según indica la tabla 15.

Tabla 15*Especímenes de concreto del diseño de mezcla de concreto*

Tipo de cemento	Edad (días)	SCC con Aditivo de alto rango			SCC con Aditivo convencional		
		1.50%	1.40%	1.30%	3.10%	2.8%	2.70%
		P.C	P.C	P.C	P.C	P.C	P.C
Tipo I - 100% Efec.	7	3	0	0	3	0	0
	14	3	0	0	3	0	0
	28	10	0	0	10	0	0
Tipo HS - 70% Efec	7	0	0	3	0	0	3
	14	0	0	3	0	0	3
	28	0	0	10	0	0	10
Tipo IP - 80% Efec.	7	0	3	0	0	3	0
	14	0	3	0	0	3	0
	28	0	10	0	0	10	0
Total de especímenes				96 probetas de 4" x 8"			

Nota. Elaboración Propia**3.4. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es de laboratorio, reúne características de usar diferentes tipos cementos y dosis de aditivo superplastificante, mediante el uso de un laboratorio de concreto para realizar los diseños óptimos para un concreto autocompactante.

El número total de diseños experimentales realizados en la presente investigación fueron de 12 pruebas, que se realizaron tras los ajustes de contenido de aditivo y de cemento, quedando finalmente 6 diseños de mezclas óptimos.

Tabla 16*Diseños de mezcla con diferentes dosis – Diseños experimentales*

Tipo de aditivo	Dosis	Tipo de cemento para diseño		
		Tipo I 100 %Efec.	Tipo IP 80% Efec.	Tipo HS 70% Efec.
Aditivo de alto rango	1.50% P.C	1	0	0
	1.40% P.C.	1	1	0
	1.30% P.C.	0	1	1
	1.30% P.C.	0	0	1
Aditivo convencional	3.10% P.C	1	0	0
	2.80% P.C	1	1	0
	2.70% P.C	0	1	1
	2.50% P.C	0	0	1

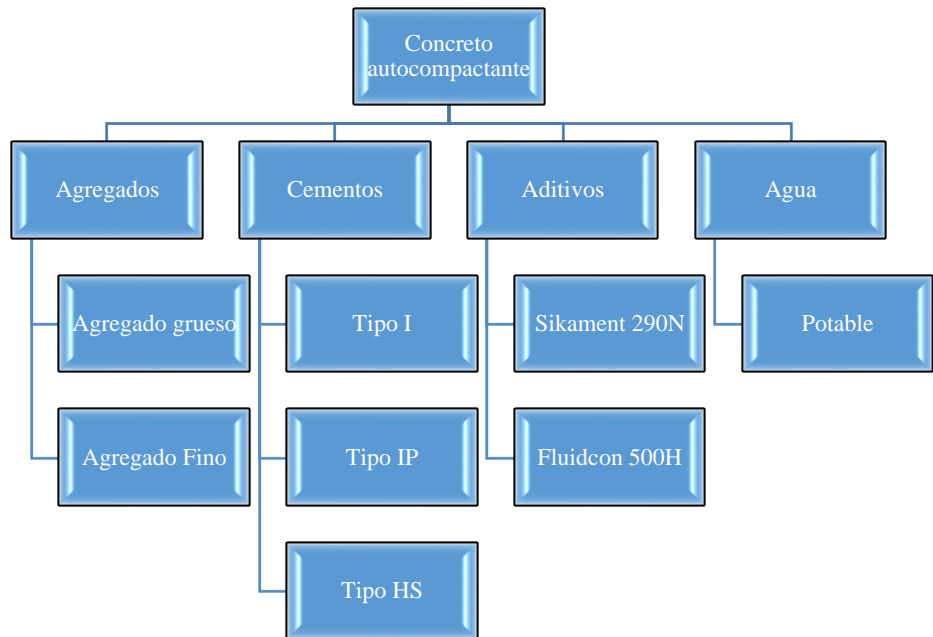
Nota. Elaboración Propia, 2023**3.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos.****3.5.1 Técnicas para la recolección de datos.**

Se realizó la recolección de los materiales para la elaboración del diseño de mezclas óptima, y se procede a realizar la evaluación experimental de las características del concreto autocompactante en el laboratorio de concreto Ingeservicios SAC.

- Agregados: Se utilizan agregados de la cantera Arunta.
- Cemento: Se utilizan diferentes tipos de cementos encontrados en la ferretería de la localidad.
- Aditivos: Se utilizan aditivo convencional se encontró en ferreterías y el aditivo de alto rango fue proporcionado por una empresa de concreto premezclado de la ciudad de Tacna.
- Agua: Se utilizo agua potable de la ciudad.

Figura 11

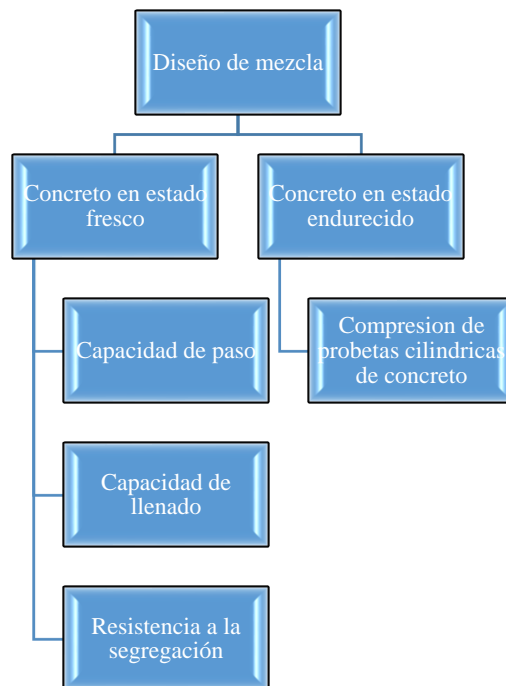
Materiales para la elaboración del concretos autocompactantes



Nota. Elaboración Propia

Figura 12

Materiales para la elaboración del concretos autocompactantes



Nota. Elaboración Propia

3.5.2 Procedimientos para la recolección de datos

El procedimiento de la recolección de datos se hizo de la siguiente forma:

3.5.2.1 Selección de los Agregados

La extracción y muestreo de los agregados grueso y agregado fino, son importantes para la elaboración de los concretos autocompactantes. Las muestras provienen de la cantera Arunta (Cauce de la quebrada del río seco), ubicada en la provincia de Tacna, los cuales deben realizarse ensayos de las propiedades físicas y mecánicas, según la NTP 400.037 y la ASTM C33.

Figura 13

Ubicación de la cantera Arunta



Nota. Imagen de Google Earth (2023).

Figura 14

Cantera Arunta – Sub cantera Chagua



Nota. Imagen obtenida de la cantera del proceso de chancado de agregados.

3.5.2.2 Determinación de la propiedad de los agregados

Se determina las características físicas del agregado mediante ensayos de laboratorio realizados en el Laboratorio de INGESERVICIOS SAC “Laboratorio de suelo, concreto y pavimentos”

Materiales:

- Agregado fino
- Agregado grueso de huso (3/8”) huso 8

Tabla 17

Normativa para los ensayos del agregado en diseños de mezcla.

Ensayo	Normativa
Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino	ASTM C 136, NTP 400,037, NTP 400,012
Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso	ASTM C 136, NTP 400,037, NTP 400,012
Contenido de humedad	ASTM C 566, NTP 339.185
Peso unitario suelto y varillado del agregado fino	ASTM C 29, NTP 400.017
Peso unitario suelto y varillado del agregado grueso	ASTM C 29, NTP 400.017
Peso específico y absorción del agregado fino	ASTM C 127, NTP 400.021
Peso específico y absorción del agregado grueso	ASTM C 128, NTP 400.022
Sales totales, cloruros y sulfatos	NTP 339.152 - NTP 339.178 - NTP 339.076

Nota. Normativa NTP y ASTM

3.5.2.2.1 Cuarteo

Se realiza muestra representativa del material para los ensayos de características de los agregados.

Para el cuarteo manual debemos de extender la muestra limpia y seca sobre una superficie uniforme y dividirlo en cuatro partes, seguidamente eliminar dos cuartos opuestos, se recolecta los dos cuartos restantes, que se combinan y se utilizan como muestra final para los diferentes ensayos de los agregados. (NTP 339.089)

Figura 15

Cuarteo del agregado grueso y agregado fino



Nota: El ensayo se realizó en el laboratorio Ingeservicios SAC.

3.5.2.2.2 *Análisis granulométrico por tamizado*

Este ensayo se utiliza para determinar la distribución por tamaño de partículas, del agregado grueso y agregado fino por tamizado. (NTP 400.037)

La norma técnica NTP 400.012 establece los procedimientos del método de ensayo, requisitos de gradación y la calidad de los agregados.

Equipos y materiales

- Balanza
- Tamices (1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200)
- Horno (Temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Recipientes para la muestra

3.5.2.2.3 *Contenido de humedad*

El propósito de este ensayo es de determinar el porcentaje total de humedad en los agregados. El ensayo se realiza para la corrección de las proporciones en las tandas de los agregados para producir el concreto. Los procedimientos del método de ensayo serán de acuerdo a la NTP 339.185.

Equipos y materiales

- Balanza (Sensibilidad de 0.1 g)
- Horno (Temperatura uniforme de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$)
- Recipientes para la muestra

3.5.2.2.4 *Peso específico de los agregados y absorción*

El peso específico o densidad relativa es la característica que se usa para calcular el volumen ocupado por el agregado en diferentes mezclas de concretos. La densidad relativa aparente se refiere al producto sólido de las partículas, que no incluye el espacio de los poros dentro de la partícula.

El ensayo de la absorción se utiliza para calcular el cambio de masa del agregado debido al agua que absorbe en los poros dentro de las partículas.

El procedimiento para el método de ensayo del agregado grueso es realizado bajo la normativa de la NTP 400.021.

El procedimiento para el método de ensayo del agregado fino es realizado bajo la normativa de la NTP 400.022.

Equipos y materiales

- Balanza
- Recipiente para muestra
- Tanque de agua
- Tamices
- Horno

3.5.2.2.5 *Peso unitario suelto y compactado*

El ensayo de peso unitario es el cálculo de vacíos en el agregado fino y agregado grueso. Los vacíos es el espacio entre partículas.

Los procedimientos del metodo de ensayo serán de acuerdo a la NTP 400.017.

Equipos y materiales

- Balanza
- Barra compactadora
- Recipiente de medida
- Cucharon o pala de mano
- Horno
- Equipo de calibración

3.5.2.3 Selección del agua

Para la elaboración de los diseños de mezcla del concreto autocompactante y para el curado, se utiliza el agua potable de la ciudad de Tacna, que cumple con los requisitos permisibles para el agua, con el que se elaboran los concretos.

Tabla 18*Limites permisibles para agua de mezcla y de curado*

Parámetro	ASTM	NTP	Limite (ppm)
Acidez y alcalinidad	D 1067	-	1000 máx.
Calcio y magnesio	D 511	-	150
Cloruros	D 512	339.076	500 a 1000 máx.
Partículas y materia disuelta en el agua	D 1888	339.071	5000 máx.
PH	D 1293	339.073	06-Ago
Sulfatos	D 516	339.074	3000 máx.

Nota. ASTM C 1602 - NTP 339.088

3.5.2.4 Selección del tipo de cemento

Se conoce tres tipos de cementos según la normativa ASTM y la NTP, los cementos portland con 100 % de pureza o efectividad, los cementos adicionados con un 60 % a 85% de pureza y los cementos por desempeño (performance), por lo se decidió investigar y realizar diseños de mezclas de concreto con cada tipo de cemento. En la siguiente tabla 19 se muestran los cementos seleccionados para realizar los diseños de mezclas óptimos para un concreto autocompactante.

Tabla 19*Efectividad de los diferentes tipos de cementos seleccionados*

Tipos	Normativa	Efectividad del cemento	Cemento seleccionado	Marca
Cemento Portland	ASTM C150 NTP 334.009	100% de cemento portland	Tipo I (100 % de efectividad)	Wari
Cemento adicionado	ASTM C595 NTP 334.090	60% a 85% de cemento portland	Tipo IP (80% de efectividad)	Yura
Cemento por desempeño	ASTM C1157 NTP 334.082	No especifica	Tipo HS (70% de efectividad)	Yura

Nota. Elaboración propia

Cemento Portland tipo I, producido por la pulverización del Clinker, está compuesto principalmente por silicatos de calcio y que contiene generalmente sulfato de calcio y caliza como adición durante la molienda. (NTP 334.009)

Cemento adicionado tipo IP, es un cemento adicionado binario compuesto por cemento portland y puzolana. (NTP 334.090)

Cemento por desempeño tipo HS, no existen restricciones de la composición química del cemento o sus constituyentes. Están basados en sus requerimientos específicos. (NTP 334.082)

Además, se conoce que los cementos adicionados y los cementos por desempeño, al disminuir el contenido de Clinker, disminuye el contenido de silicatos C3S y C2S, que son los responsables de las resistencias iniciales y finales.

3.5.2.5 Selección de los aditivos

Para obtener un concreto autocompactante se proponen 2 tipos de aditivo, el cual se irán realizando ensayos con diferentes dosis de aditivo.

- ✓ **Aditivos de alto rango:** Este aditivo no está disponible en el mercado, pero se realiza el pedido porque es el aditivo correcto para realizar este tipo de concreto autocompactante

- ✓ **Aditivos convencionales:** Se encuentra en ferreterías de la localidad, y para poder realizar un concreto autocompactante se le aumentara mayores dosis para obtener el concreto fluido, a través de pruebas experimentales.

Tabla 20

Datos técnicos de aditivos utilizados en los diseños de mezcla

Aditivo	Descripción	Datos Técnicos	Norma	Dosificación
Sikament-290N	Plastificante	$\rho = 1.20 \pm 0.02$ g/ml	ASTM C 494 Tipo D	0.3 a 0.7%
	Superplastificante	$\rho = 1.20 \pm 0.02$ g/ml	ASTM C 494 Tipo G	0.7 a 1.2%
Fluidcon 500H	Superplastificante de elevada capacidad de plasticidad,	$\rho = 1.20 \pm 0.01$ g/ml Ph= 6.0 – 8.0	ASTM C 949 Tipo A y F	0.5 a 1.5%

Nota. Elaboración propia

Tabla 21*Características y categorías de los aditivos utilizados en la investigación*

Aditivo	Norma	Categoría	Características
Sikament-290N	ASTM C 494 Tipo D	Reductores agua-retardadores fragua	- Alta resistencia inicial - > Adherencia en armaduras - Reducir el 20% de agua - Impermeabilidad y durabilidad
	ASTM C 494 Tipo G	Super Reductores de agua y retardante	- Alta resistencia inicial - > Adherencia en armaduras - Reducir el 20% de agua - Impermeabilidad y durabilidad
Fluidcon 500H	ASTM C 949 Tipo A y F	Reductores de agua y Super Reductores de agua	- Alta durabilidad - Baja permeabilidad - Alta resistencia inicial - Shotcrete, baja relación a/c

Nota. Elaboración propia

3.5.3 Diseño de mezclas

Para el desarrollo del diseño de mezcla de un concreto autocompactante se utilizó la metodología del ACI PRC 211 con la modificación en la selección de la relación de agregado fino/agregado grueso=63/37.

Se realizaron diseños de mezcla patrón para ver el comportamiento de los materiales al momento de mezclar los aditivos y los diferentes tipos de cemento, los ensayos para este primer diseño fueron experimentales, utilizando la metodología de diseño de mezclas del Instituto americanos del concreto (ACI).

3.5.3.1. Consideraciones del diseño de mezcla:

- Requerimos una pasta altamente viscosa también era requerida para evitar el bloqueo del agregado grueso cuando fluyera el concreto en los obstáculos.
- Cuando el concreto fresco está deformado, la pasta con una alta viscosidad también previene el incremento de los esfuerzos internos debido a que la distancia entre las partículas del agregado se acorta. Sin embargo, la alta deformabilidad puede ser solo lograda por el empleo de superplastificantes, guardando siempre una muy baja relación de agua/ finos. Por lo tanto, para poder alcanzar las características propias del concretó autocompactante, tales como la alta fluidez, resistencia a la segregación y capacidad para no bloquearse ante los obstáculos, se deben procurar dosificaciones con un alto volumen de pasta de cemento, entre un 35 y un 40%, con bajo volumen de agregado grueso, con una relación agua/finos también baja y utilizar superplastificantes de última generación.

Requerimientos:

Para la presente investigación se diseñará un concreto autocompactante para elementos estructurales de alta resistencia, que son densas en acero, como el caso de columna y placas que tienen reducido espaciamiento entre varillas de acero. Se realizará una resistencia específica para concretos a los 28 días de 280 kg/cm², con una extensibilidad mayor a 650 mm que es requerido para lograr una trabajabilidad necesaria.

Figura 16

Diseño de mezcla del concreto autocompactante (SCC)



Nota: El ensayo se realizó en el laboratorio Ingeservicios SAC.

3.5.3.2. Resumen de procedimientos para obtener concretos autocompactantes - Secuencia - Método ACI:

Para un diseño con cemento Tipo I y aditivo FLUIDCON 500h

Los diseños óptimos fueron realizados tras pruebas de diseños experimentales de concreto, para calcular la dosis adecuada que no produzca segregación, exudación en el concreto y que produzca un concreto con las propiedades SCC frescas deseadas.

Se tomo de referencia la metodología de diseño de mezclas del ACI PRC 211.1 y se consideró los requisitos para concretos autocompactantes del ACI PRC 237 – 07.

Tabla 22*Propiedades de los agregados para el diseño de mezcla de concreto*

Propiedades Físicas de los agregados	Ag. Fino	Ag. Grueso	Norma
Peso Especifico (g/cc)	2.701	2.696	NTP 400.022
Absorción (%)	1.225	0.448	NTP 400.021
Peso Unitario Suelto (g/cc)	1.619	1.361	NTP 400.017
Peso unitario Compactado (g/cc)	1.767	1.483	
Contenido de Humedad (%)	0.770	0.500	NTP. 339.185
Modulo de fineza	2.380	-	
Tamaño máximo	N°8	3/8"	NTP 400.012
Tamaño máximo nominal	N°4	3/8"	

Nota. Propiedades determinadas en laboratorio Ingeservicios SAC.

Tabla 23*Propiedades del cemento y aditivo para el diseño de mezcla de concreto*

Cemento (NTP 334.009 - NTP 334.090 - NTP 334.082)		Aditivo	
Tipo de cemento:	I	Efectividad (%)	Tipo de aditivo: Fluidicom
P. Espec. (g/cc):	3.13	100.00	500H
Agua (NTP 339.088)		Densidad (g/cc):	1.20
Tipo de agua:		Potable	Dosificación (%): 0.5 a 1.5%
Peso Especifico (g/cc):		1.000	Reduce agua (%): 10.00
Concreto Autocompactante (ACI 237R)			
Característica del miembro:			
Slump Flow:		> 650 mm	Autocompactante

Nota. Propiedades encontradas en la ficha técnica de cada material.

Paso 1: Elegir resistencia promedio (f'_{cr}), a partir de la resistencia a compresión específica (f'_c) y la desviación estándar (s):

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34.S$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33.S - 35$$

- No contamos con registro de ensayos previos, para poder realizar un análisis estadístico y así obtener la desviación estándar. Por lo tanto,

utilizaremos la tabla de la ACI 318S, donde da un factor para concretos con resistencias específicas entre 280 y 310 kg/cm².

Tabla 24

Resistencia promedio a la compresión requerida

Resistencia específica a la compresión f'c (kg/cm²)	Resistencia promedio requerida a la compresión f'cr (kg/cm²)
Menos de 210 kg/cm ²	f'c + 70 kg/cm ²
de 210 a 350 kg/cm ²	f'c + 85 kg/cm ²
Mas de 350 kg/cm ²	f'c + 100 kg/cm ²

Nota. Se utiliza esta tabla 24 cuando no contamos con datos disponibles para establecer una desviación estándar. (ACI 301S – ACI 318-05)

$$f'_{cr} = f'c + 85$$

$$f'_{cr} = 280 + 85 = 365$$

Paso 2: Elegir el TMN del agregado

- El tamaño máximo según el ensayo de análisis granulométrico es de 3/8”

Paso 3: Elegir el asentamiento

- Para este caso no tomaremos en cuenta la tabla del ACI, ya q solo nos da tipos de construcción de asentamientos máximos de 7 pulgadas, y nuestro concreto es autocompactante por lo que la extensibilidad será según la tabla del ACI PRC 237-07. Los requisitos del asentamiento según las características del elemento, según tabla 11 de la presente tesis, con nivel de refuerzo alto y complejidad de la forma del elemento alto, el flujo de asentamiento será > 650 mm.

Paso 4: Elegir el volumen unitario de agua de diseño

- La cantidad de agua la tomaremos de la tabla del ACI PRC 211.1, donde asumiremos al mayor asentamiento de la tabla con respecto al tamaño

máximo nominal del agregado grueso. Por ejemplo, para un asentamiento de 6" a 7" y TMN de 3/8", resulta 243 l/m³.

Tabla 25

Contenido aproximado de agua y aire de mezcla para diferentes asentamientos

Slump	Agua en l/m ³ , para Tamaño máximo de agregado grueso						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Concreto sin aire incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145
5" a 6"	237	222	208	196	181	172	151
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160
mas de 7"	---	---	---	---	---	---	---
Aire atrapado (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3
Concreto con aire incorporado							
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133
5" a 6"	211	199	187	178	166	160	142
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154
mas de 7"	---	---	---	---	---	---	---
Aire requerido (%)							
Exposición F1	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5
Exposición F1 y F2	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5

Nota: La tabla 25 se utiliza como referencia para preparar el concreto autocompactante, ya que la cantidad de agua está sujeta a ajustes. (ACI PRC 211.1, Tabla 5.3.3)

Paso 5: Elegir el contenido de aire atrapado y/o incorporado

- El volumen de aire incorporado según tabla del ACI PRC 211.1, para un TMN de 3/8", la cantidad de aire incorporado sería de 3.00%.

Paso 6: Elegir la relación agua/cemento (a/c)

- La relación agua cemento calculado según tabla ACI PRC 211.1, realizando una interpolación entre 0.48 y 0.43, resulta 0.47 para un f'c 365 kg/cm².

Tabla 26*Relación entre a/c y resistencia a la compresión del concreto*

Resistencia a la compresión f'cr (28 día) Kg/cm2	a/c de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-

Nota: La tabla se utiliza como referencia para preparar el concreto autocompactante, ya que la cantidad de agua está sujeta a ajustes. (ACI PRC 211.1, Tabla 5.3.4)

Paso 7: Determinar el factor cemento

- Para una relación a/c 0.47 ya determinada; y agua en 243 kg/m³, resulta la cantidad en kg de cemento. Calculando un aproximado de 12.3 bolsas de cemento.

$$\frac{a}{c} = 0.47 \gg \frac{243}{c} = 0.47 \gg \text{cemento} = 522.58 \text{ kg}$$

Tabla 27

Rango de contenido de cemento según la extensibilidad que se requiere.

	Flujo de asentamiento (< 550 mm)	Flujo de asentamiento (550 a 650 mm)	Flujo de asentamiento (> 650 mm)
Contenido en polvo (kg/m ³)	De 355 a 385	De 385 a 445	458 +

Nota: La tabla 27 se utiliza para estimar la cantidad de cemento, ya que la cantidad de cemento está sujeta a ajustes. (ACI PRC 207-07, Tabla 4.1)

Paso 8: Determinar el contenido de agregado grueso

- Para determinar el agregado grueso necesitamos el Peso unitario compacto P.U.C, el tamaño máximo y el módulo de fineza. Para determinar el volumen referencial será utilizando la tabla del ACI PRC-211.1.

$$\text{Tamaño máximo} = 3/8''$$

$$\gggg \quad \text{Volumen A. G} = 0.50$$

$$\text{Modulo de fineza} = 2.38$$

$$\text{Peso Especifico (agregado grueso)} = 2.659 \frac{g}{cc} \times 1000 = 2659 \text{ kg/m}^3$$

$$P. U. C \text{ (agregado grueso)} = 1.483 \frac{g}{cc} \times 1000 = 1483 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso A. G (seco)} = 1483 \frac{kg}{m^3} \times 0.50 = 741.5 \text{ kg}$$

$$\text{Volumen absoluto A. G. (seco)} = 741.5 \text{ kg} \div 2659 \frac{kg}{m^3} = 0.278 \text{ m}^3$$

Tabla 28

Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

TMN del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diferentes M.F.			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.80	0.78	0.76

Nota: La tabla 28 se utiliza para estimar el contenido de agregado grueso, ya que la cantidad de agregado está sujeta a ajustes. (ACI PRC-211.1, Tabla 5.3.6)

- Paso 9:** Determinar la suma de volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso.

Cemento	: 522.58 kg	3125 kg/m ³	: 0.167 m ³
Agregado grueso	: 741.5 kg	2696 kg/m ³	: 0.275 m ³
Agua	: 243 l/m ³	1000 l/m ³	: 0.243 m ³
Aire	: 3.00 %		: 0.03 m ³
Total			: 0.715 m³

- Determinamos el volumen en metro cubico de los diferentes materiales con los datos anteriormente calculados. El volumen debe ser de 1 m³.

Paso 10: Determinar el volumen absoluto de agregado fino

- La suma de todos los volúmenes anteriormente calculado, menos la unidad nos dará el volumen de material del agregado fino.

$$Volumen\ absoluto\ A.F.\ (seco) = 1 - 0.715 = 0.285\ m^3$$

Paso 11: Determinar el peso seco del agregado fino

- El peso del agregado fino será obtenido al multiplicar el volumen del material por el peso específico del agregado fino.

$$Peso\ A.F.\ (seco) = 0.281\ m^3 \times 2701\ \frac{kg}{m^3} = 769.07\ kg$$

Paso 12: determinar los valores de diseño del cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso

- Se coloca en peso todos los materiales del concreto

Cemento	: 522.58 kg	3125 kg/m ³	: 0.167 m ³
Agregado grueso	: 741.5 kg	2659 kg/m ³	: 0.278 m ³
Agregado Fino	: 769.07 kg	2701 kg/m ³	: 0.285 m ³
Agua	: 243 l/m ³	1000 l/m ³	: 0.243 m ³

Paso 13: Corregir los valores por humedad del agregado

- Corregir los valores de según el contenido de humedad y absorción del agregado fino y del agregado grueso.

	Ag. Fino	Ag. Grueso
Cont. Humedad % :	0.770	0.500
Absorción % :	1.225	0.448

- Aporte de mezcla del agua corregida

Corrección pesos húmedos de agregados → Peso seco x cont. Humedad

Corrección de humedad Superficial → Cont. Humedad – Absorción

Aporte de humedad del agregado → Peso seco x humedad superficial

	Corrección por humedad (m3)	Corrección humedad sup. (m3)	Correc. Aporte de humed. (m3)
Agregado Fino :	775.00	-0.455	-3.50
Agregado Grueso :	745.21	0.052	0.39

El agregado no aporta ya que resulta: $-3.50 \text{ l/m}^3 - 0.39 \text{ l/m}^3 = -3.11 \text{ l/m}^3$

Agua de mezcla corregida = $243 \text{ l/m}^3 - 3.11 \text{ l/m}^3 = \mathbf{246.11 \text{ l/m}^3}$

Paso 14: Corregir los valores por humedad del agregado

Cemento	: 522.58 kg	12.3 bls
Agregado grueso	: 745.21 kg	49.00 %
Agregado Fino	: 775.00 kg	51.00 %
Agua	: 246.11 l/m ³	246.11 lt

Paso 15: Definir la cantidad de utilización de aditivos y la cantidad de agua corregida. Dosificación del aditivo superplastificante FLUIDCON 500H. Dosis de 0.50 % a 1.50% y reduce el 10% de agua.

Agua corregida	: 10.00 %		: 221.46 lt
Superplastificante	: 1.50%	1.2 g/cc	100 % efecto. : 6.53 ml

Paso 16: Realizar mezcla de prueba.

- Se determina que la prueba inicial según los datos de referencia del diseño de mezcla del concreto de la metodología ACI PRC-211.1 no cumple con los atributos de trabajabilidad del SCC (capacidad de llenado y capacidad de paso) según los ensayos en estado fresco del concreto autocompactantes, como ensayos de flujo de asentamiento, caja L, caja V y anillo J-ring.
- La mezcla muestra segregación de materiales.

Paso 17: Ajustar las proporciones

- Ajustar las proporciones de la mezcla en función a los resultados de las pruebas y volver a realizarlos hasta conseguir las propiedades requeridas.
- Para realizar el ajuste debemos tener en consideración 2 puntos importantes la relación a/c y el volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.
 - o Vemos necesario aumentar la cantidad de cemento para mejorar el comportamiento y mejorar la distribución granulométrica de las partículas, asegurando así una mayor cohesividad.
 - o Vemos necesario disminuir el volumen absoluto del agregado grueso, por mejorar la fluidez, se reduce la posibilidad de segregación y garantiza una distribución uniforme de los agregados.

Tabla 29*Tendencia de relación a/c y el volumen del agregado grueso*

Relación	Descripción
a/c	> a/c serán menos (-) cantidad de cemento < a/c serán más (+) cantidad de cemento
Vol. Agregado grueso	< Volumen de agregado grueso, aumenta el volumen del agregado fino

Nota: La tabla se utiliza ayudarnos a ajustar los datos de cantidad de cemento y de agregados para determinar el diseño de mezcla.

Se propone finalmente partiendo de los datos iniciales de la metodología ACI PRC 211.1 los siguientes parámetros del diseño de mezcla

Tabla 30*Parámetros planteados para diseño de mezcla*

PARAMETROS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA			
F'c (kg/cm ²):	280	Vol. Agregado grueso:	0.40
Agua	232	Relación Agua/Cemento (A/C):	0.380
Aire	2.00		

Nota: La tabla se utiliza para ajustar los datos de diseño de un concreto autocompactante, y cumpla con los requisitos requeridos ACI PRC 237-07

- Determinar la nueva, realizando nuevamente los procedimientos anteriores para obtener la suma de volúmenes absolutos de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso con los nuevos parámetros propuestos.

Cemento Tipo I	: 0.195 m ³	3125 kg/m ³	: 610.53 kg
Agregado grueso	: 0.204 m ³	2659 kg/m ³	: 551.26 kg
Agregado Fino	: 0.343 m ³	2701 kg/m ³	: 927.39 kg
Agua	: 0.232 m ³	1000 l/m ³	: 232.00 lt
Aire	: 0.020 m ³		

- Corregir los valores por humedad del agregado

- Corregir los valores de según el contenido de humedad y absorción del agregado fino y del agregado grueso.

	Ag. Fino	Ag. Grueso
Cont. Humedad % :	0.770	0.500
Absorción % :	1.225	0.448

- Aporte de mezcla del agua corregida

Corrección pesos húmedos de agregados → Peso seco x cont. Humedad

Corrección de humedad Superficial → Cont. Humedad – Absorción

Aporte de humedad del agregado → Peso seco x humedad superficial

	Corrección por humedad (m3)	Corrección humedad sup. (m3)	Correc. Aporte de humed. (m3)
Agregado Fino :	934.53	-0.005	-4.25
Agregado Grueso :	554.02	0.001	0.29

El agregado no aporta ya que resulta: $-4.25 \text{ l/m}^3 + 0.29 \text{ l/m}^3 = -3.96 \text{ l/m}^3$

Agua de mezcla corregida = $232 \text{ l/m}^3 - 3.96 \text{ l/m}^3 = \mathbf{235.96 \text{ l/m}^3}$

- Corregir los valores por humedad del agregado

Cemento Tipo I :	610.53 kg	14.37 bls
Agregado grueso :	554.02 kg	37.00 %
Agregado Fino :	934.53 kg	63.00 %
Agua :	235.96 l/m ³	235.96 lt

- Definir la cantidad de utilización de aditivos y la cantidad de agua corregida. Dosificación del aditivo superplastificante FLUIDCON 500H. Dosis de 1.50% y reduce el 10% de agua.

Agua corregida	:	10.00 %			:	212.37 lt
Superplastificante	:	1.50%	1.2 g/cc	100 % efecto.	:	7.63 ml

“Se debe tener en consideración que estos resultados son comprobados experimentalmente en laboratorio, pues se debe controlar la trabajabilidad, segregación y fluidez del concreto para determinar el diseño óptimo del concreto autocompactante.”

Tabla 31

Diseño de mezcla de concreto autocompactante que cumple con los requisitos

Materiales	1 m ³	
	Peso (kg)	Dosificación
Agregado Grueso	554.02	37.00%
Agregado Fino	934.53	63.00%
Cemento Tipo I	610.53	14.37 Bls
Agua	235.96	235.96 Lts
Agua (Corregida)	212.37	212.37 Lts
Superplastificante y plastificante	9.16	7.63 Lts

Nota: La tabla 31 muestra el diseño de mezcla según los ajustes del ACI PRC 237-07

La dosificación presentada en la presente investigación se encuentra bajo los estándares mencionados anteriormente de la ACI PRC 237-07 y de la metodología de diseño de mezclas de la ACI PRC 211.1

3.5.4 Características del concreto autocompactante en estado fresco

3.5.4.1. Slump Flow (Ensayo de extensión de flujo)

Es la prueba más utilizada y da una buena evaluación puede dar algún indicio de resistencia a la segregación. Se puede argumentar que el flujo completamente libre, sin restricciones por ningún límite, pero la prueba se puede

utilizar de manera rentable para evaluar la consistencia del suministro de concreto premezclado a un sitio desde la carga

Procedimiento: Levante el cono verticalmente y permita que el concreto fluya libremente y registre el tiempo que tarda el concreto en alcanzar los 500 mm. círculo extendido.
(T50)

Se mide: El promedio de los dos diámetros medidos es el flujo de asentamiento en mm.

Figura 17

Ensayo de extensión de flujo – Slump Flow



Nota: El ensayo se realizo en el laboratorio Ingeservicios.

2.2.1.1.Prueba del Anillo J: La prueba del anillo J se utiliza para caracterizar la capacidad de paso de SCC (ASTM C1621). Anillo de acero abierto de sección rectangular. anillo con un diámetro de 300 mm.

Procedimiento: Para realizar el ensayo. el cono de asentamiento se coloca en el centro del anillo en J y se llena

con concreto. El cono se levanta y se permite que el concreto se esparza horizontalmente a través de las barras.

Se Mide: El diámetro del concreto en dos direcciones perpendiculares. Promedio (en mm). La diferencia de altura entre el concreto dentro de las barras y el que está fuera de las barras, y no debe ser mayor a 10 mm.

Figura 18

Ensayo de prueba del J-Ring



Nota: El ensayo se realizó en el laboratorio Ingeservicios.

3.5.4.2. Embudo V

El ensayo de embudo en V se utiliza para determinar la capacidad de llenado (fluidez) del concreto.

Procedimiento: Se comienza con llenar de concreto en el embudo V y abra la trampilla para tomar el tiempo que requiere para que fluya concreto. Después se puede repetir el ensayo, rellenando de concreto y dejando reposar durante 5 minutos el concreto en el embudo; tomar el tiempo que requiere para que fluya concreto.

Se mide: Los tiempos en que fluye el concreto que se encuentra en el embudo V.

Interpretación: Si el concreto muestra segregación entonces el tiempo de flujo aumentará significativamente. El tiempo de alto flujo también se puede asociar con baja deformabilidad debido a una alta viscosidad de la pasta, y con alta fricción entre partículas; los tiempos de flujo más cortos indican una mayor fluidez. Para SCC se considera apropiado un tiempo de flujo de 10 segundos.

Figura 19

Ensayo del V-funnel



Nota: El ensayo se realizó en el laboratorio Ingeservicios.

3.5.4.3. L-box

Procedimiento: Primero rellene la sección vertical de la caja L con concreto. Dejar reposar durante 1 minuto y levantar la puerta corredera y dejara que el concreto fluya.

Se mide: Los tiempos que tarda el concreto en llegar a las distancias de 200 y 400 mm.

- Cuando el hormigón deja de fluir, se miden las alturas “H1” y “H2”.
- Calcule $H2/H1$, la relación de bloqueo.
- Toda la prueba debe realizarse en 5 minutos.

Interpretación: Si el concreto fluye tan libremente el $H2/H1 = 1$, por lo tanto cuanto más cerca este valor de prueba, es a la unidad, mejor es el flujo del concreto, la EFNARC sugirió un valor mínimo aceptable de 0.8. Los tiempos T20 y T40 pueden dar alguna indicación de la facilidad de flujo, pero no se han acordado valores adecuados en general.

Figura 20

Ensayo de la caja L



Nota: El ensayo se realizó en el laboratorio Ingeservicios.

3.5.5 Curado del concreto

Para el curado de los especímenes de concreto se realizó en las instalaciones del laboratorio INGESERVICIOS SAC. Este curado tuvo una duración de 7, 14 y 28 días, con un total de 16 especímenes por diseño de mezcla de concreto autocompactante.

Materiales

- Agua potable para el curado

Equipo

- Poza de curado (laboratorio)

Metodología

- Para el curado de los especímenes de concreto se normativa NTP

339.116

Figura 21

Curado de los especímenes de concreto



Nota: El ensayo se realizó en el laboratorio Ingeservicios SAC.

3.5.6 Ensayo de concreto en estado endurecido

La prueba que se realizó para el estado endurecido fue la de resistencia a la compresión (NTP 339.034). Se realizó con frecuencia de 7, 14 y 28 días.

La razón de que se realicen pruebas pasados los 14 días se debe a que al usar materiales cementicios adicionados el desarrollo de la resistencia es más lento. Para esto se fabricaron probetas de dimensiones 10x20 cm

y fueron curadas de forma tradicional dejándolas sumergidas en una poza de agua.

Se calcula la resistencia a la compresión del espécimen, dividiendo la carga máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro. Se obtuvieron 96 especímenes de concreto para los diferentes diseños de mezcla de concreto autocompactantes propuestas en la presente tesis.

P= Carga axial aplicada al cilindro (Kg)

A = Área del cilindro (cm²)

$$f'c = \frac{P}{A}$$

Figura 22

Compresión de los especímenes de concreto – Tipos de fractura



Nota: El ensayo se realizó en el laboratorio Ingeservicios SAC.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de las propiedades físico mecánicas del agregado

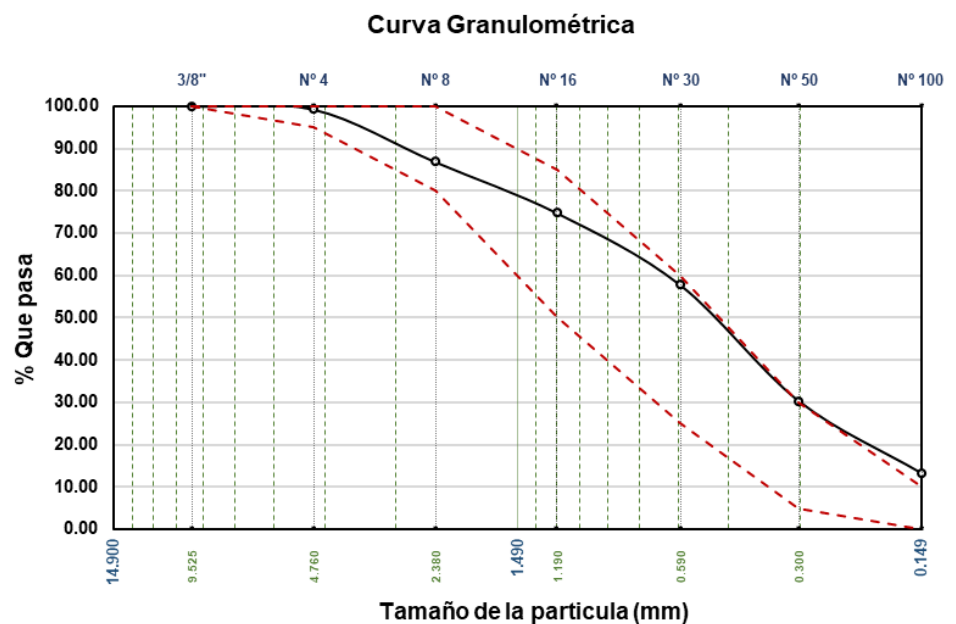
Para la obtención de concretos de alta calidad se conocen las características de los agregados de la cantera Arunta. Para la verificación de las propiedades del agregado, será evaluado según los parámetros de la norma NTP.

4.1.1. Análisis Granulométrico (NTP 400.012)

En el ensayo análisis granulométrico por tamizado del agregado fino se determina un módulo de fineza de 2.38. Según la figura 23, se muestran los resultados de la curva granulométrica, donde se observa que en los tamices N°50 y N°100 no cumplen con los requisitos indicados, pero son utilizados porque se demuestra que producen concretos con la resistencia requerida.

Figura 23

Curva de evaluación y aceptación del agregado fino

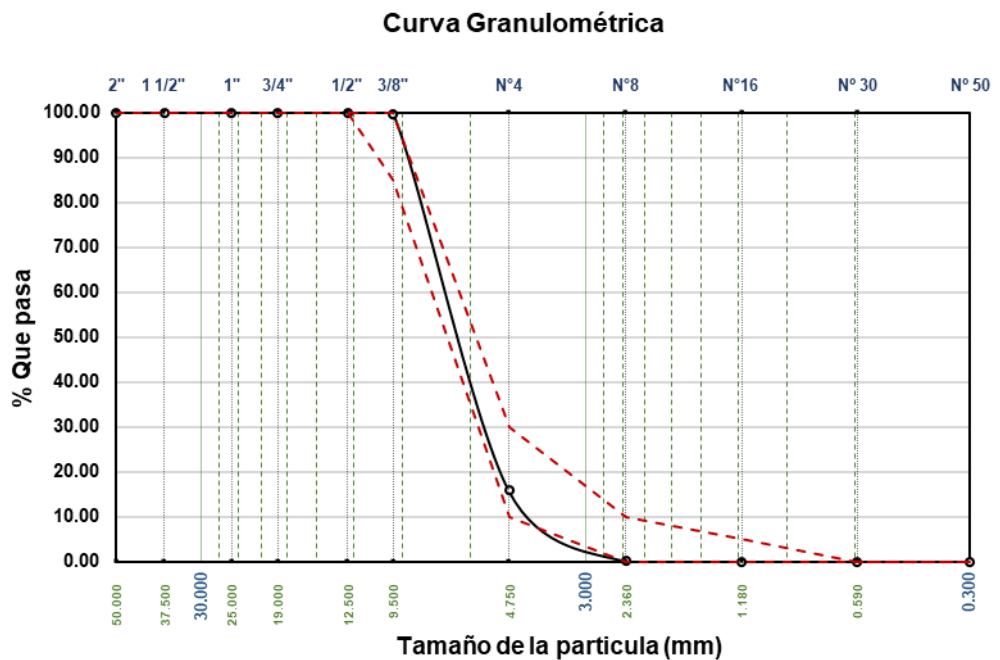


Nota. Grafico del certificado de ensayo de análisis granulométrico.

En el ensayo análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso se determina un el tamaño máximo del agregado de gradación 8 (3/8”). Según la figura 24, se muestran los resultados de la curva granulométrica, donde se observa que en los tamices N°16, N°30 y N°50 no cumplen con los requisitos indicados del límite superior y límite inferior aceptable, pero son utilizados porque se demuestra que producen concretos con la resistencia requerida.

Figura 24

Curva de evaluación y aceptación del agregado grueso



Nota. Gráfico del certificado de ensayo de análisis granulométrico.

4.1.2. Contenido de humedad (NTP 339.127)

En el ensayo de contenido de humedad para agregado grueso, para un promedio de 3 muestras es 0.500 %, y para el agregado fino de un promedio de 3 muestras es de 0.770 %, datos que nos ayudaran para el diseño de mezclas del concreto autocompactante.

Tabla 32*Contenido de humedad del agregado grueso y el agregado fino*

Características	Ag. Fino	Ag. Grueso
Contenido de Humedad (%)		
CH-1	0.748	0.506
CH-2	0.797	0.491
CH-3	0.764	0.509
Contenido de Humedad (Prom) (%)	0.770	0.500

Nota. Elaboración Propia, 2023**4.1.3. Peso específico y absorción (NTP 400.021 – NTP 400.022)**

Se determina la masa del agregado por unidad de volumen (peso específico), del agregado grueso de un promedio de 3 muestras es 2.696 g/cc y una absorción de 0.883 %; y peso específico del agregado fino de un promedio de 3 muestras es 2.701 g/cc y una absorción de 1.214 %.

Tabla 33*Peso específico (densidad relativa) y absorción de los agregados*

Características	Ag. Fino	Ag. Grueso
Peso específico (g/cc)		
PE-01	2.74	2.68
PE-02	2.70	2.703
PE-03	2.67	2.704
Peso específico (Prom) (g/cc)	2.701	2.696
Absorción (%)		
AB-1	1.19	0.825
AB-2	1.25	0.814
AB-3	1.21	1.010
Absorción (Prom) (%)	1.214	0.883

Nota. Elaboración propia

4.1.4. *Peso unitario (NTP 400.017)*

El peso unitario es importante porque nos permitió calcular la cantidad de materiales necesarias para la mezcla. El peso unitario suelto del agregado grueso sin compactar es de 1.361 g/cc y del agregado fino es de 1.619 g/cc; para el peso unitario compactado se determinó 1.483 g/cc para el agregado grueso y 1.767 g/cc para el agregado fino.

Tabla 34

Peso unitario suelto PUS y peso unitario compactado PUC

Características	Ag. Fino	Ag. Grueso
Peso Unitario Suelto (g/cc)		
PUS-1	1.615	1.359
PUS-2	1.617	1.361
PUS-3	1.623	1.363
Peso Unitario Suelto (Prom) (g/cc)	1.619	1.361
Peso Unitario Compacto (g/cc)		
PUC-1	1.764	1.485
PUC-2	1.767	1.482
PUC-3	1.769	1.482
Peso Unitario Compac. (Prom) (g/cc)	1.767	1.483

Nota. Elaboración propia

4.1.5. *Resultados resumen de las propiedades de los agregados*

A continuación, se muestra la tabla 35 resumen de los resultados de los agregados de la cantera Arunta – Sub cantera Chagua I:

Tabla 35

Cuadro resumen de las propiedades del agregado para elaborar el diseño de mezclas del concreto autocompactante.

Propiedades Físicas de los agregados	Agrego Fino	Agregado Grueso
Tamaño máximo	N°8	3/8"
Tamaño máximo nominal	N°4	3/8"
Módulo de fineza	2.38	--
Contenido de Humedad (%)	0.77	0.5
Peso Específico (g/cc)	2.701	2.696
Absorción (%)	1.225	0.448
Peso Unitario Suelto (g/cc)	1.619	1.361
Peso unitario Compactado (g/cc)	1.767	1.483

Nota. Elaboración propia

4.2. Resultados de los ensayos de calidad del agregado

4.2.1. Material fino que pasa la malla N°200 (NTP 400.018)

En el ensayo de pasante de la malla N°200 para el agregado fino de un promedio de 3 muestras es de 6.965 %, datos que nos ayudaran para el diseño de mezclas del concreto autocompactante.

Tabla 36

Material Fino que pasa la Malla N°200 (%) - agregado fino

Características	Ag. Fino
Pasante malla N°200 (%)	
AB-1	6.93
AB-2	6.99
AB-3	6.97
Pasante malla N°200 (Prom) (%)	6.965

Nota. Elaboración Propia, 2023

Según la NTP 400.037, especifica que los porcentajes de material más fino que la malla N°200 pueden aumentarse a 5.0% y 7.0 % respectivamente.

4.2.2. *Sales totales*

Los resultados para el agregado grueso son de 0.000 %, pero los resultados para el agregado fino es 0.079 % en sales, 0.040 % cloruros y 0.032 % sulfatos.

Tabla 37

Resultado de sales totales – cloruros – sulfatos

Características	Ag. Fino	Ag. Grueso
Sales totales (ppm)	786.667	0
Cloruros (ppm)	401.2	0
Sulfatos (ppm)	322.533	0
Sales totales (%)	0.079	0
Cloruros (%)	0.04	0
Sulfatos (%)	0.032	0

Nota. Elaboración Propia, 2023

4.2.3. *Límites de consistencia (NTP 339.129)*

El agregado fino de la cantera Arunta no presenta límite líquido y límite plástico.

4.2.4. *Equivalente de arena*

Un mayor valor de equivalente de arena indica una mayor proporción de partículas limpias y una menor cantidad de partículas indeseables. El resultado fue de 80 %, promedio de 3 muestras de agregado fino.

Tabla 38*Equivalente de arena*

Características	Ag. Fino
Equivalente de Arena (%)	
AB-1	80
AB-2	81
AB-3	80
Equivalente de Arena (Prom) (%)	80

Nota. Elaboración Propia, 2023

4.2.5. Impurezas orgánicas (NTP 400.024)

El agregado fino no contiene componentes orgánicos, el ensayo resulto a un color similar a la placa orgánica N° 01.

4.2.6. Abrasión los ángeles (NTP 400.019)

La abrasión de los agregados se realizó con la gradación D, donde resulto que el agregado grueso tiene un desgaste de 18.42 %. Resultados de diseño de mezcla de concreto autocompactante. Según la NTP 400.037, especifica que el desgaste no debe ser mayor a 50 %.

4.2.7. Resultados resumen de los ensayos de calidad del agregado

A continuación, se muestra una tabla 39 resumen de los resultados de los agregados de la cantera Arunta – Sub cantera Chagua I:

Tabla 39

Cuadro resumen de los resultados de los ensayos de calidad del agregado.

Ensayos de Calidad del agregado	Agregado Fino	Agregado Grueso
Sales Totales (%)	0.079	0
Cloruros (%)	0.04	0
Sulfatos (%)	0.032	0
Equivalente de arena (%)	80	--
Pasante Malla N°200	6.965	--
Impurezas Orgánicas (N° Placa)	1	--
Abrasión los ángeles - Desgaste (%)	--	18.421
Limite Liquido (%)	N.P	--
Limite Plástico (%)	N.P	--

Nota. Elaboración Propia, 2023

4.3. Resultados de los diseños de mezcla

Con la experiencia obtenida de las mezclas patrones realizadas en laboratorio, se obtiene diseños de mezcla óptimo para dosis adecuada de aditivo SIKAMENT 290N con los cementos Tio I, Tipo IP y Tipo HS, con relación agua/cemento 0.38, con arena/ piedra de 37/63 y tamaño máximo de 3/8” del agregado grueso.

Para diseños de mezcla con aditivo convencional, se utilizo dosis de aditivo superior a los mencionados en la ficha técnica para poder obtener concretos mas fluidos, se debe recordar que los diseños son realizados tras los ajustes del primer diseño de mezcla patrón, así como se indica en el anexo 04. La dosificación mostrada en la tabla 40 es un concreto que cumple con las propiedades SCC frescas deseadas.

Tabla 40

Resumen de valores obtenidos de diseños de mezcla con aditivo Sikament 290N para una dosificación de 1 m³.

Mezcla	Dosificación 1m ³		
	TI-SN	TIP-SN	THS-SN
Agregado Grueso	37.00%	37.00%	37.00%
Agregado Fino	63.00%	63.00%	63.00%
Cemento	14.37 Bls	14.37 Bls	14.37 Bls
Agua	235.9 Lts	235.77 Lts	235.75 Lts
Agua (Corregida)	212.31 Lts	212.19 Lts	212.18 Lts
Superplastificante	15.77 Lts	11.4 Lts	9.62 Lts

Nota. Elaboración Propia

Tabla 41

Resumen de valores obtenidos de diseños de mezcla con aditivo Sikament 290N para una dosificación de 1 pie³.

Mezcla	Dosificación 1pie ³		
	TI-SN	TIP-SN	THS-SN
Agregado Grueso	0.907	0.870	0.864
Agregado Fino	1.508	1.456	1.450
Cemento	1 Bls	1 Bls	1 Bls
Agua	16.42 Lts	16.41 Lts	16.41 Lts
Agua (Corregida)	14.78 Lts	14.77 Lts	14.77 Lts
Superplastificante	1.1 Lts	0.79 Lts	0.67 Lts

Nota. Elaboración Propia

Con la experiencia obtenida de las mezclas patrones realizadas en laboratorio, se obtiene diseños de mezcla óptimo para dosis adecuada de aditivo FLUIDCON 500H con los cementos Tio I, Tipo IP y Tipo HS, con relación agua/cemento 0.38, con arena/ piedra de 37/63 y tamaño máximo de 3/8" del agregado grueso.

Para diseños de mezcla con aditivo de alto rango, se desarrollaron los ajustes del primer diseño de mezcla patrón, así como se indica en el anexo 04. La

dosificación mostrada en la tabla 42 es un concreto que cumple con las propiedades SCC frescas deseadas.

Tabla 42

Resumen de valores obtenidos de diseños de mezcla con aditivo FLUIDCON 500H para una dosificación de 1 m³.

Mezcla	Dosificación 1m ³		
	TI-FH	TIP-FH	THS-FH
Agregado Grueso	37.00%	37.00%	37.00%
Agregado Fino	63.00%	63.00%	63.00%
Cemento	14.37 Bls	14.37 Bls	14.37 Bls
Agua	235.96 Lts	235.79 Lts	235.81 Lts
Agua (Corregida)	212.37 Lts	212.21 Lts	212.23 Lts
Superplastificante	7.63 Lts	4.63 Lts	5.7 Lts

Nota. Elaboración Propia

Tabla 43

Resumen de valores obtenidos de diseños de mezcla con aditivo FLUIDCON 500H para una dosificación de 1 pie³.

Mezcla	Dosificación 1pie ³		
	TI-FH	TIP-FH	THS-FH
Agregado Grueso	0.907	0.864	0.870
Agregado Fino	1.531	1.464	1.472
Cemento	1 Bls	1 Bls	1 Bls
Agua	16.43 Lts	16.41 Lts	16.42 Lts
Agua (Corregida)	14.78 Lts	14.77 Lts	14.77 Lts
Superplastificante	0.53 Lts	0.32 Lts	0.4 Lts

Nota. Elaboración Propia

En resumen, los diseños de mezcla de concreto autocompactante (SCC) con cementos tipo I, tipo IP y tipo HS con aditivo convencional SIKAMENT 290N y aditivo de alto rango FLUIDCON 500H , son proporciones que cumplen los requisitos exigidos por la ACI PRC 237 – 07 como se muestran en la tabla 44.

Tabla 44

Proporciones de materiales para diseño de mezcla de concreto autocompactante (SCC) para 1 m³

Materiales	Aditivo Sikament 290N			Aditivo Fluidicom 500H		
	Tipo de cemento			Tipo de cemento		
	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Agregado Grueso (%)	37	37	37	37	37	37
Agregado fino (%)	63	63	63	63	63	63
Cemento (Bls)	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37	14.37
Agua (Litros)	235.90	235.77	235.75	235.96	235.77	235.75

Nota. Elaboración Propia

Se determino la dosis de aditivo superplastificante convencional SIKAMENT 290N y de alto rango FLUIDCON 500H para la elaboración del concreto autocompactante con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS los cuales las proporciones se muestran en la siguiente tabla 45.

Tabla 45

Proporciones de aditivo, agua final y eficiencia del cemento para los diseños de mezcla de concreto autocompactante (SCC) para 1 m³

Materiales	Aditivo Sikament 290N			Aditivo Fluidicom 500H		
	Tipo de cemento			Tipo de cemento		
	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Efic. cemento (%)	100	80	70	100	80	70
Agua Final (Litros)	212.31	212.19	212.18	212.37	212.19	212.18
Aditivo (%)	3.10	2.80	2.70	1.50	1.40	1.30

Nota. Elaboración Propia

4.4. Resultados de concreto fresco

4.4.1. Ensayo Slump Flow

Se determina la extensibilidad del concreto autocompactante, con un flujo de T50 en cada uno de los diseños de concreto que se muestran en la tabla 46. Se observo que la trabajabilidad y el comportamiento fueron uniformes. La menor extensibilidad que se obtuvo fue de 665 mm y el mayor fue de 685 mm.

- Según el ACI 237R, para los diseños de mezcla con contenido de cemento mayores de 458 kg/m³ el flujo de asentamiento debe ser mayor a 650 mm, por lo tanto, cumple con las especificaciones de la norma.
- Según EFNARC, los límites permisibles para la extensibilidad del concreto autocompactante está entre 650 mm y 800 mm, por lo tanto cumple con las especificaciones de la norma.

Tabla 46

Slump flow o extensibilidad de los distintos diseños de mezcla del concreto autocompactante.

Diseño de Mezcla	Extensibilidad (mm)	T50 (seg)	Segregación	ACI 237R (mm)	Verificación
TI-SN	665	3.7	N.P.	> 650	Cumple
TIP-SN	678	3	N.P.		Cumple
THS-SN	680	2.8	N.P.		Cumple
TI-FH	670	3.8	N.P.		Cumple
TIP-FH	675	2.1	N.P.		Cumple
THS-FH	685	2.4	N.P.		Cumple

Nota. Elaboración Propia

4.4.2. Ensayo Velocidad de flujo

Se determina la extensibilidad del concreto autocompactante colocando en el medio el anillo J. Se observó que la trabajabilidad y el comportamiento fueron uniformes. La diferencia entre la extensibilidad libre (Slump Flow) y la extensibilidad con el J ring está entre 5 mm y 11 mm. Siendo la menor extensibilidad de 650 mm. Para este ensayo se tiene la dificultad de que el concreto debe pasar unas barras de acero para llegar a acomodarse. El resultado del ensayo es que cumple con los valores mínimos y máximos establecidos por la ACI 237R y el EFNARC.

Tabla 47

Resultado de ensayo J ring de los distintos diseños de mezcla del concreto autocompactante.

Diseño de Mezcla	Extensibilidad J-ring (mm)	T50 (seg)	Diferencia Ext / J-ring	ACI 237R (mm)	Verificación
TI-SN	660	3.9	5	> 650	Cumple
TIP-SN	668	3.2	10		Cumple
THS-SN	672	3	8		Cumple
TI-FH	665	3.1	5		Cumple
TIP-FH	669	2.9	6		Cumple
THS-FH	674	3.1	11		Cumple

Nota. Elaboración Propia

4.4.3. *Ensayo de capacidad de flujo y llenado en Caja L*

Los resultados obtenidos del ensayo de la caja L, cumplen según la ACI 237 R y el EFNARC, ya que recomienda valores de caja L iguales o mayores a 0.80, ya que el menor valor obtenido es de 0.83 de uno de los diseños de mezcla.

Tabla 48

Resultados de la Caja L de los distintos diseños de mezcla del concreto autocompactante.

Código	h1 (mm)	h2 (mm)	h2/h1	ACI 237R (s)	Verificación
TI-SN	75	68	0.91	0.8 - 1.0	Cumple
TIP-SN	74	63	0.85		Cumple
THS-SN	71	63	0.89		Cumple
TI-FH	74	70	0.95		Cumple
TIP-FH	76	67	0.88		Cumple
THS-FH	78	65	0.83		Cumple

Nota. Elaboración Propia

4.4.4. Ensayo de capacidad de llenado y segregación en Caja V

Los resultados obtenidos del ensayo de la caja V, cumplen según la ACI PRC 237-07 y el EFNARC, ya que recomienda valores de embudo V entre 6 y 12 segundos, ya que el menor valor obtenido es de 6.10 segundos del diseño de mezcla THS-FH y el mayor valor es 9 segundos del diseño de mezcla TI-FH .

Tabla 49

Resultados de la Caja V de los distintos diseños de mezcla del concreto autocompactante.

Diseño de Mezcla	Tv (s)	Tv5 (s)	Segregación	ACI 237R (s)	Verificación
TI-SN	7.40	8.90	N.P.	> 10	Cumple
TIP-SN	6.70	8.30	N.P.		Cumple
THS-SN	7.10	8.60	N.P.		Cumple
TI-FH	6.30	9.00	N.P.		Cumple
TIP-FH	6.90	8.50	N.P.		Cumple
THS-FH	6.10	8.60	N.P.		Cumple

Nota. Elaboración Propia

4.5. Resultados de ensayos en concreto endurecido

Para los resultados del concreto endurecido se consideró de la siguiente forma:

4.5.1 Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto con aditivo convencional (Sikament 290N)

4.5.1.1 Resistencia a la compresión a los 7 días

En la tabla 50 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días de concreto elaborado con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS incluyendo aditivo Sikament 290N.

Tabla 50

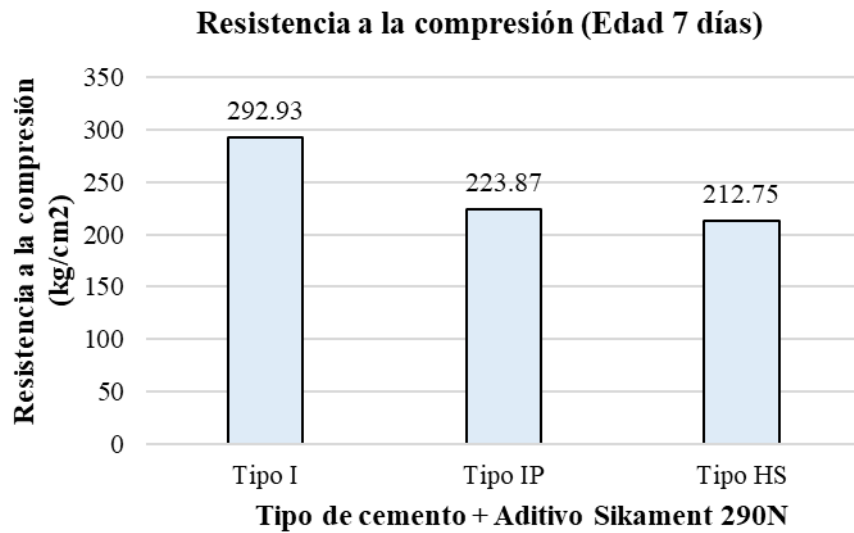
Resistencia a la compresión a edad 7 días con aditivo Sikament 290N

Características	Tipo de cemento		
	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Especimen N°1	293.51	217.87	210.80
Especimen N°2	289.44	226.22	212.69
Especimen N°3	295.85	227.51	214.75
Media	292.93	223.87	212.75
Desviación estandar	3.24	5.23	1.98
Varianza	10.50	27.39	3.90

Nota: En la tabla 50 se muestra los valores descriptivos de los resultados de resistencia a la compresión de 3 especímenes a 7 días.

Figura 25

Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 7 días con aditivo Sikament 290N



Nota: En la figura 25 se muestra el promedio de resistencia a la compresión a 7 días, siendo la resistencia más alta del cemento tipo I 292.93 kg/cm², cemento tipo IP 223.87 kg/cm² y cemento HS 212.75 kg/cm², esto es debido a la características y comportamiento del tipo de cemento utilizado.

4.5.1.2 Resistencia a la compresión a los 14 días

En la tabla 51 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días de concreto elaborado con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS incluyendo aditivo Sikament 290N.

Tabla 51

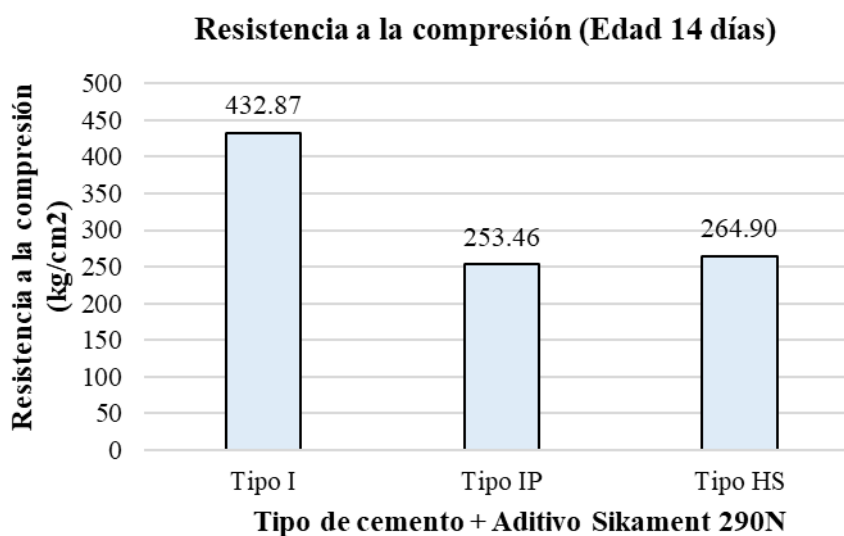
Resistencia a la compresión a edad 14 días con aditivo Sikament 290N

Características	Tipo de cemento		
	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Especimen N°1	448.84	264.64	247.15
Especimen N°2	434.18	267.32	258.33
Especimen N°3	415.59	262.75	254.90
Media	432.87	264.90	253.46
Desviación estandar	16.66	2.30	5.73
Varianza	277.68	5.27	32.80

Nota: En la tabla 51 se muestra los valores descriptivos de los resultados de resistencia a la compresión de 3 especímenes a 14 días.

Figura 26

Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 14 días con aditivo Sikament 290N.



Nota: En la figura 26 se muestra el promedio de resistencia a la compresión a 14 días, siendo la resistencia más alta del cemento tipo I 432.87 kg/cm2, cemento tipo IP 253.46 kg/cm2 y cemento Hs 264.90 kg/cm2, esto es debido a la características y comportamiento del tipo de cemento utilizado.

4.5.1.3 Resistencia a la compresión a los 28 días

Tabla 52

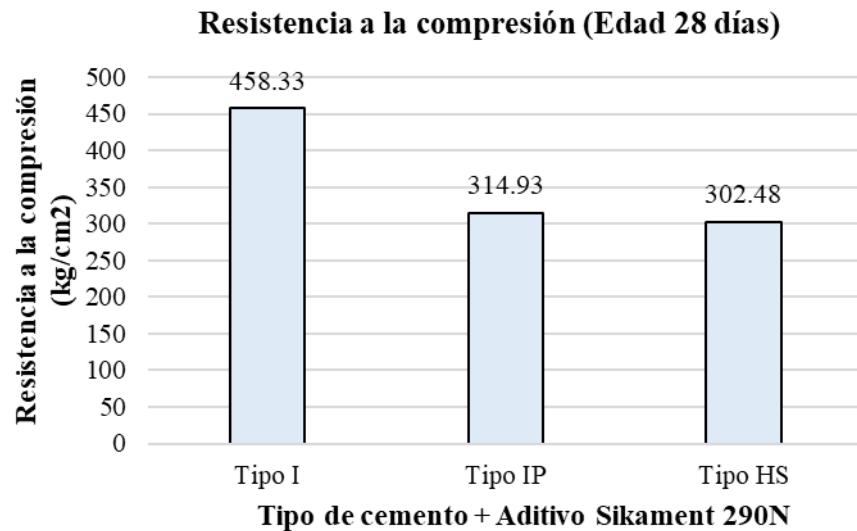
Resistencia a la compresión a edad 28 días con aditivo Sikament 290N

Características	Tipo de cemento		
	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Especimen N°1	483.43	315.95	314.70
Especimen N°2	475.69	306.53	301.21
Especimen N°3	437.24	315.60	285.81
Especimen N°4	456.96	311.54	314.94
Especimen N°5	471.30	316.92	307.04
Especimen N°6	447.88	327.29	293.86
Especimen N°7	467.51	320.37	304.17
Especimen N°8	453.29	314.07	301.50
Especimen N°9	447.85	309.01	291.66
Especimen N°10	442.12	312.04	309.97
Media	458.33	314.93	302.48
Desviación estandar	15.41	5.90	9.75
Varianza	237.49	34.87	95.14

Nota: En la tabla 52 se muestra los valores descriptivos de los resultados de resistencia a la compresión de 10 especímenes a 28 días.

Figura 27

Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 28 días con aditivo Sikament 290N.



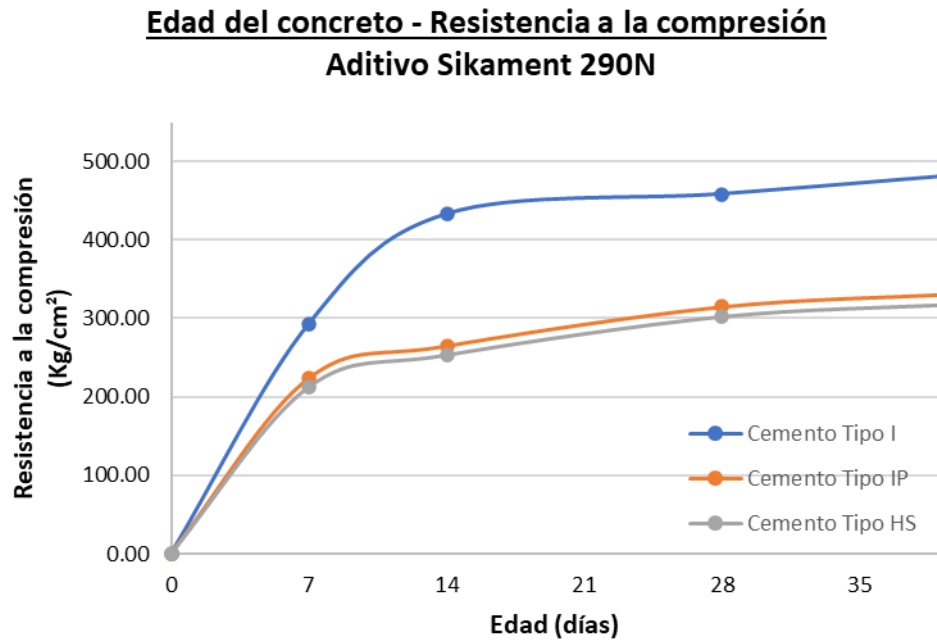
Nota: En la figura 27 se muestra el promedio de resistencia a la compresión a 28 días, siendo la resistencia más alta del cemento tipo I 458.33 kg/cm², cemento tipo IP 314.93 kg/cm² y cemento Hs 302.48 kg/cm², esto es debido a la características y comportamiento del tipo de cemento utilizado.

4.5.1.4 Curva de evolución del concreto

En la figura 28 se muestra la resistencia a la compresión en un gráfico que detalla de la evolución del concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, elaborado con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS incluyendo aditivo Sikament 290N.

Figura 28

Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con aditivo Sikament 290N.



Nota: Elaboración propia

4.5.2 Resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto con aditivo de alto rango (FLUIDCON 500H)

4.5.2.1 Resistencia a la compresión a los 7 días

En la tabla 53 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión a los 7 días de concreto elaborado con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS incluyendo aditivo FLUIDCON 500H.

Tabla 53

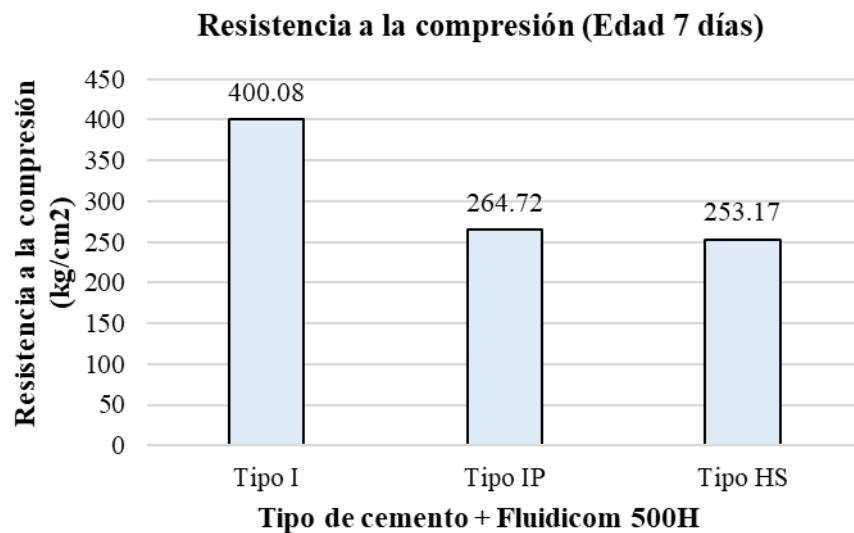
Resistencia a la compresión a edad 7 días con aditivo FLUIDCON 500H

Características	Tipo de cemento		
	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Especimen N°1	396.86	265.30	249.60
Especimen N°2	408.65	255.65	256.30
Especimen N°3	394.72	273.20	253.60
Media	400.08	264.72	253.17
Desviación estandar	7.50	8.79	3.37
Varianza	56.27	77.26	11.36

Nota: En la tabla 53 se muestra los valores descriptivos de los resultados de resistencia a la compresión de 3 especímenes a 7 días con cemento tipo I, cemento tipo IP y cemento tipo Hs con aditivo Fluicom 500H.

Figura 29

Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 7 días con aditivo FLUIDCON 500H.



Nota: En la figura 29 se muestra el promedio de resistencia a la compresión a 7 días, siendo la resistencia más alta del cemento tipo I 458.33 kg/cm², cemento tipo IP 314.93 kg/cm² y cemento Hs 302.48

kg/cm², esto es debido a la características y comportamiento del tipo de cemento utilizado.

4.5.2.2 Resistencia a la compresión a los 14 días

En la tabla 54 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión a los 14 días de concreto elaborado con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS incluyendo aditivo FLUIDCON 500H.

Tabla 54

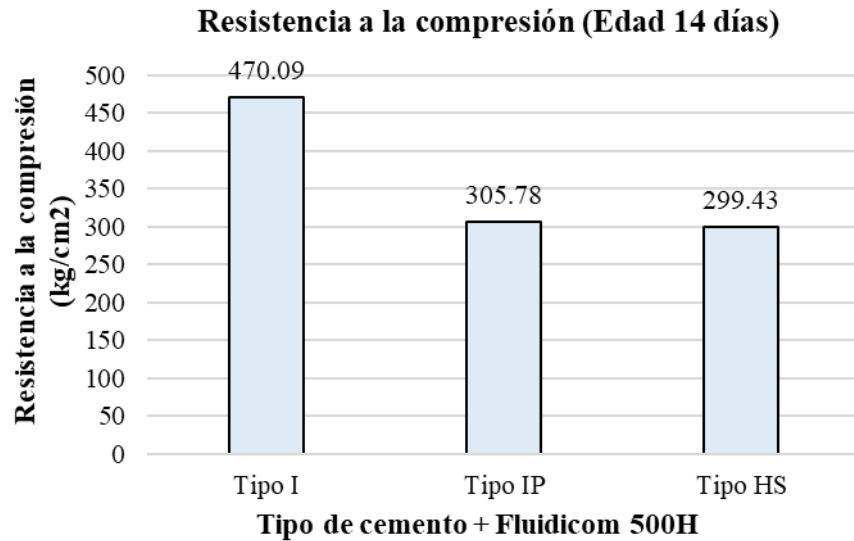
Resistencia a la compresión a edad 14 días con aditivo FLUIDCON 500H

Características	Tipo de cemento		
	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Especimen N°1	472.92	305.63	302.50
Especimen N°2	438.55	311.50	300.20
Especimen N°3	498.80	300.20	295.60
Media	470.09	305.78	299.43
Desviación estandar	30.22	5.65	3.51
Varianza	913.52	31.94	12.34

Nota: En la tabla 54 se muestra los valores descriptivos de los resultados de resistencia a la compresión de 3 especímenes a 14 días con cemento tipo I, cemento tipo IP y cemento tipo Hs con aditivo Fluicom 500H.

Figura 30

Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 14 días con aditivo FLUIDCON 500H.



Nota: En la figura 30 se muestra el promedio de resistencia a la compresión a 14 días, siendo la resistencia más alta del cemento tipo I 470.09 kg/cm², cemento tipo IP 305.78 kg/cm² y cemento Hs 299.43 kg/cm², esto es debido a la características y comportamiento del tipo de cemento utilizado.

4.5.2.3 Resistencia a la compresión a los 28 días

En la tabla 55 se muestran los resultados de la resistencia a la compresión a los 28 días de concreto elaborado con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS incluyendo aditivo FLUIDCON 500H.

Tabla 55

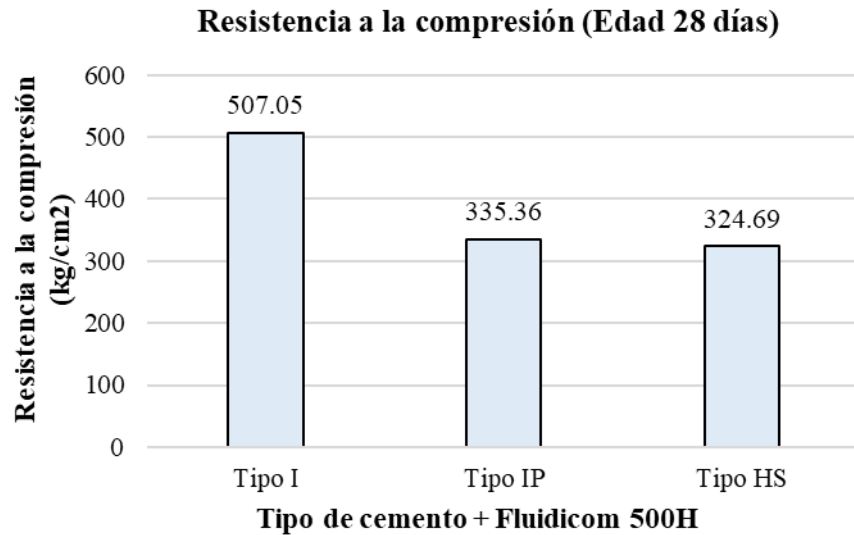
Resistencia a la compresión a edad 28 días con aditivo FLUIDCON 500H

Características	Tipo de cemento		
	Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Especimen N°1	501.26	332.96	317.50
Especimen N°2	513.20	335.69	331.51
Especimen N°3	506.57	339.50	329.47
Especimen N°4	516.00	332.98	322.13
Especimen N°5	508.93	335.13	321.44
Especimen N°6	500.37	338.64	329.21
Especimen N°7	503.79	331.25	317.58
Especimen N°8	505.35	334.10	331.37
Especimen N°9	510.91	335.67	322.13
Especimen N°10	504.11	337.73	324.58
Media	507.05	335.36	324.69
Desviación estandar	5.13	2.66	5.38
Varianza	26.32	7.07	28.94

Nota: En la tabla 55 se muestra los valores descriptivos de los resultados de resistencia a la compresión de 10 especímenes a 28 días con cemento tipo I, cemento tipo IP y cemento tipo Hs con aditivo Flucicom 500H.

Figura 31

Promedio de resultados de resistencia a la compresión a edad 28 días con aditivo FLUIDCON 500H.



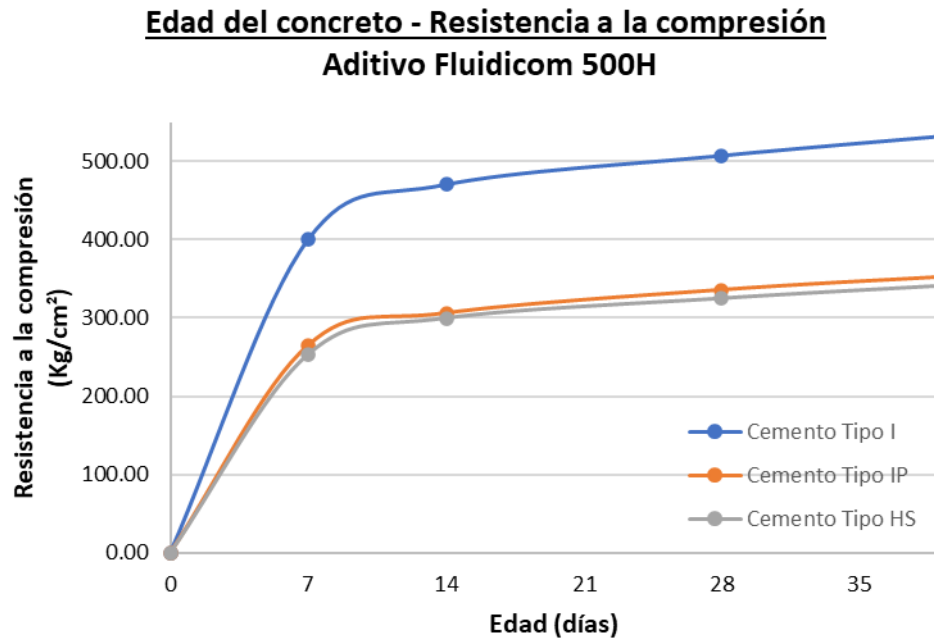
Nota: En la figura 31 se muestra el promedio de resistencia a la compresión a 14 días, siendo la resistencia más alta del cemento tipo I 507.05 kg/cm², cemento tipo IP 335.36 kg/cm² y cemento Hs 324.69 kg/cm², esto es debido a la características y comportamiento del tipo de cemento utilizado.

4.5.2.4 Curva de evolución del concreto

En la figura 32 se muestra la resistencia a la compresión en un gráfico que detalla de la evolución del concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, elaborado con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS incluyendo aditivo FLUIDCON 500H.

Figura 32

Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con aditivo FLUIDCON 500H.



Nota: Elaboración propia,

4.6. Comparación de resultados

En la tabla 56 se muestra la comparación de resultados de la resistencia a la compresión del concreto autocompactante con cemento Tipo I, cemento tipo IP y cemento tipo Hs con aditivos Sikament 290N (Aditivo convencional) y FLUIDCON 500H (Aditivo del Alto rango).

Tabla 56

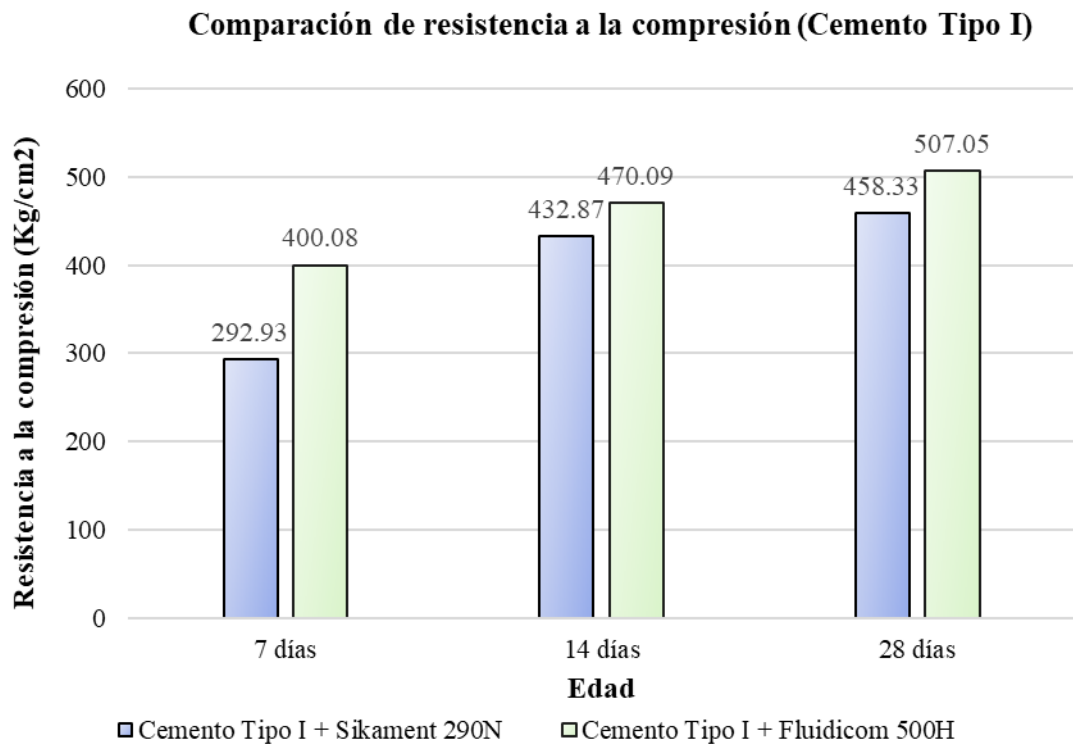
Promedio de resultados de resistencia a la compresión de concreto autocompactante

Tipo de Aditivo	Edad	F'c por tipo de cemento (kg/cm ²)		
		Tipo I	Tipo IP	Tipo HS
Sikament 290N	7 días	292.93	223.87	212.75
	14 días	432.87	264.90	253.46
	28 días	458.33	314.93	302.48
Fluidicom 500H	7 días	400.08	264.72	253.17
	14 días	470.09	305.78	299.43
	28 días	507.05	335.36	324.69

Nota: En la tabla 56 muestra el promedio de resistencia a la compresión a edades de 7, 14 y 28 días del cemento tipo I, cemento tipo IP y cemento tipo Hs con aditivo sikament 290N y FLUIDCON 500H.

Figura 33

Comparación de promedio de resultados de resistencia a la compresión de cemento tipo I con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.



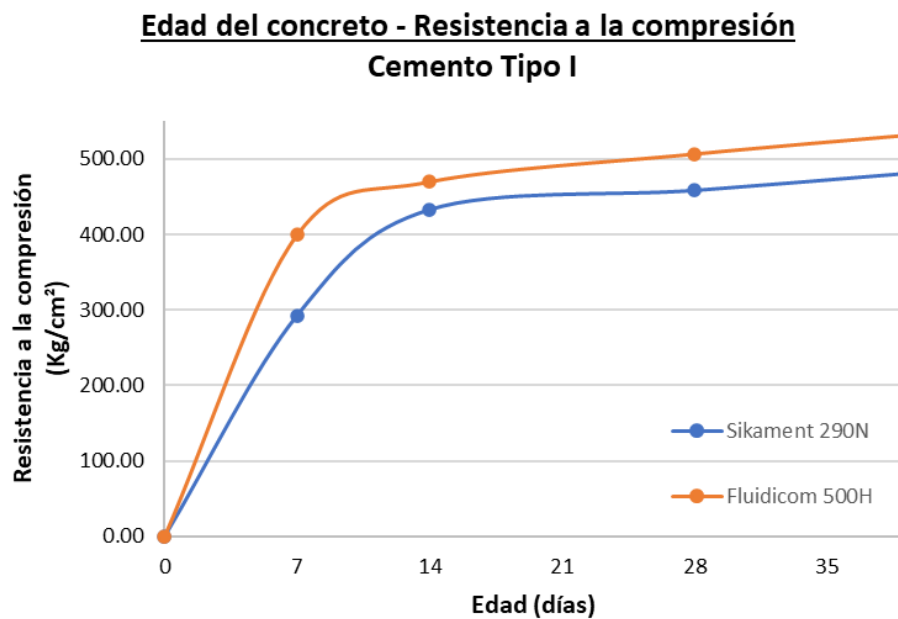
Nota: En la figura 33 se muestra las variaciones entre el concreto autocompactante elaborado con cemento tipo I con aditivo sikament 290N y cemento tipo I con aditivo FLUIDCON 500H a las edades 7, 14 y 28 días siendo los resultados más altos con la aplicación del aditivo FLUIDCON 500H.

4.6.1. Curva de evolución del concreto - cemento tipo I

En la figura 34 se muestra la resistencia a la compresión en un gráfico que detalla de la evolución del concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, elaborado con cemento tipo I con los aditivos Sikament 2090N y FLUIDCON 500H

Figura 34

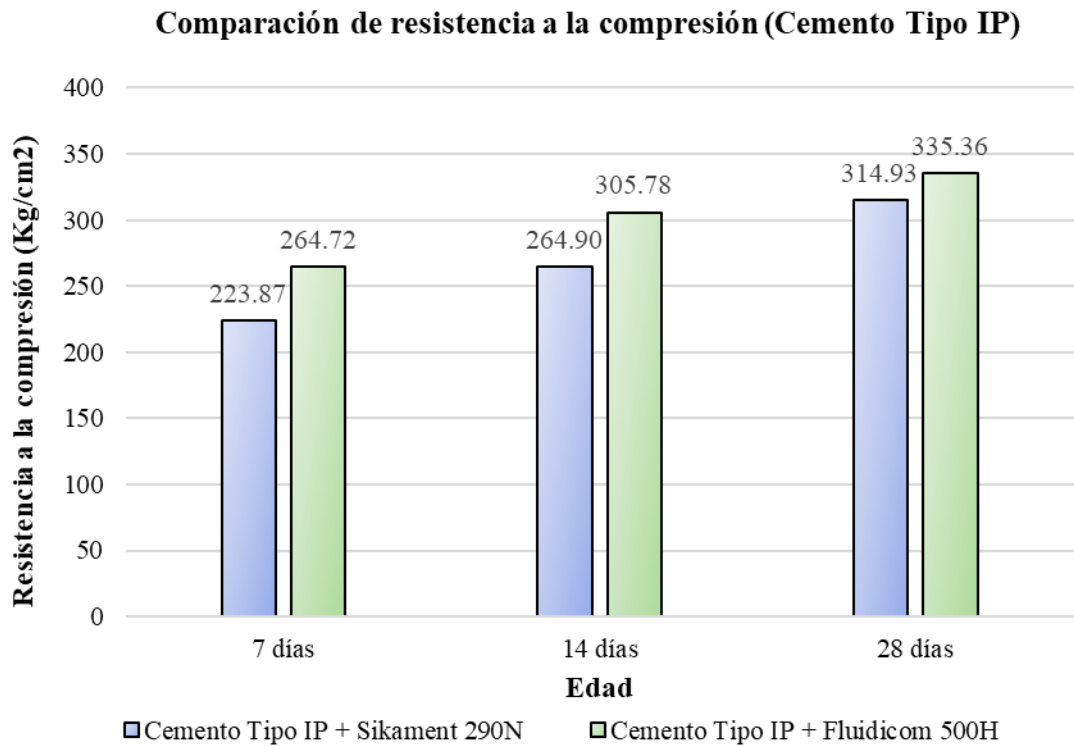
Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con Cemento Tipo I.



Nota: Elaboración propia

Figura 35

Comparación de promedio de resultados de resistencia a la compresión de cemento tipo IP con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.



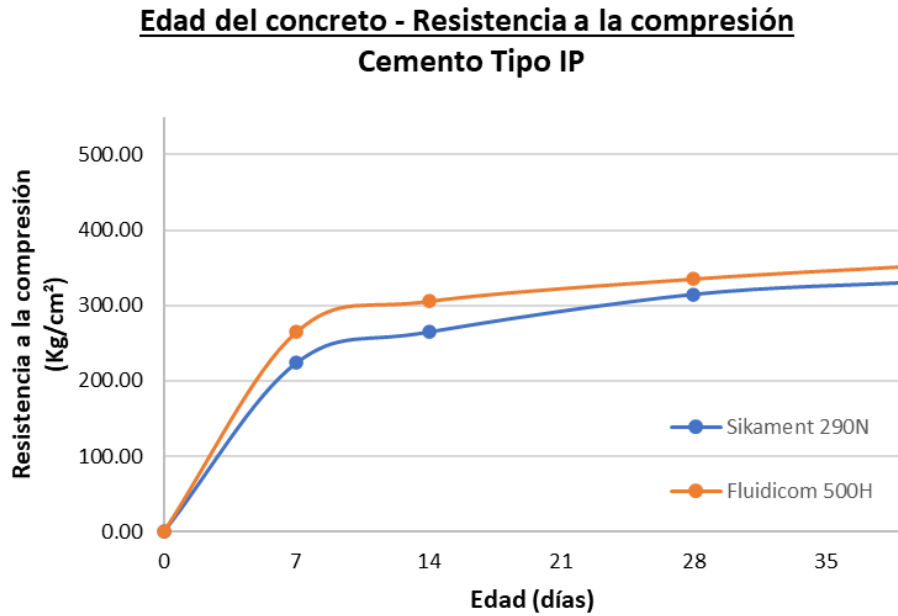
Nota: En la figura 35 se muestra las variaciones entre el concreto autocompactante elaborado con cemento tipo IP con aditivo sikament 290N y cemento tipo IP con aditivo FLUIDCON 500H a las edades 7, 14 y 28 días siendo los resultados más altos con la aplicación del aditivo FLUIDCON 500H.

4.6.2. Curva de evolución del concreto – cemento IP

En la figura 36 se muestra la resistencia a la compresión en un gráfico que detalla de la evolución del concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, elaborado con cemento tipo IP con los aditivos Sikament 2090N y FLUIDCON 500H

Figura 36

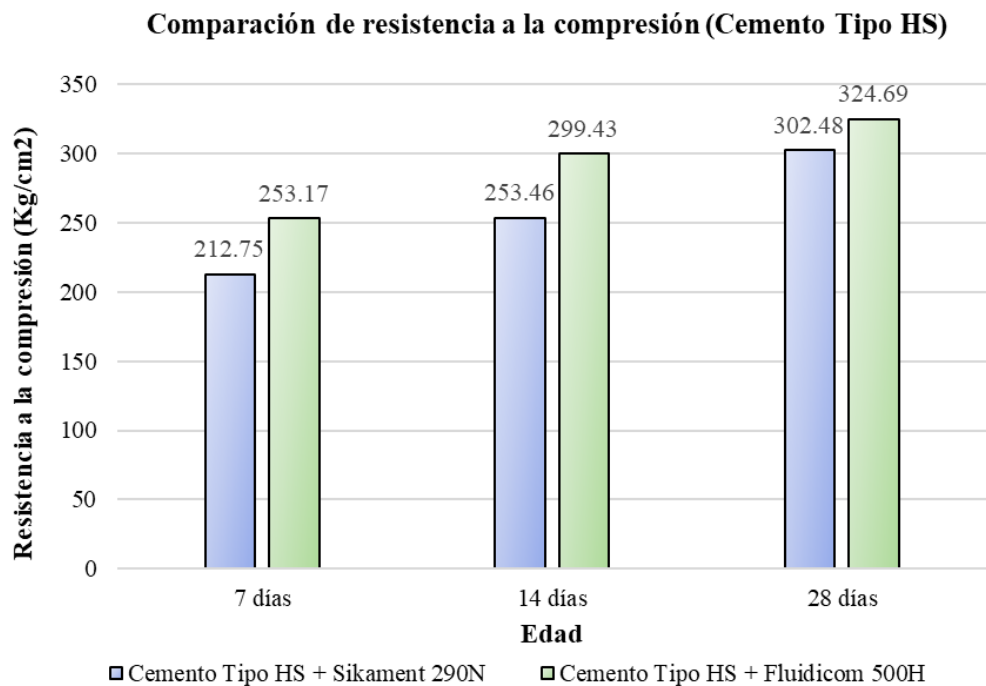
Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con Cemento Tipo IP.



Nota: Elaboración propia

Figura 37

Comparación de promedio de resultados de resistencia a la compresión de cemento tipo Hs con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.



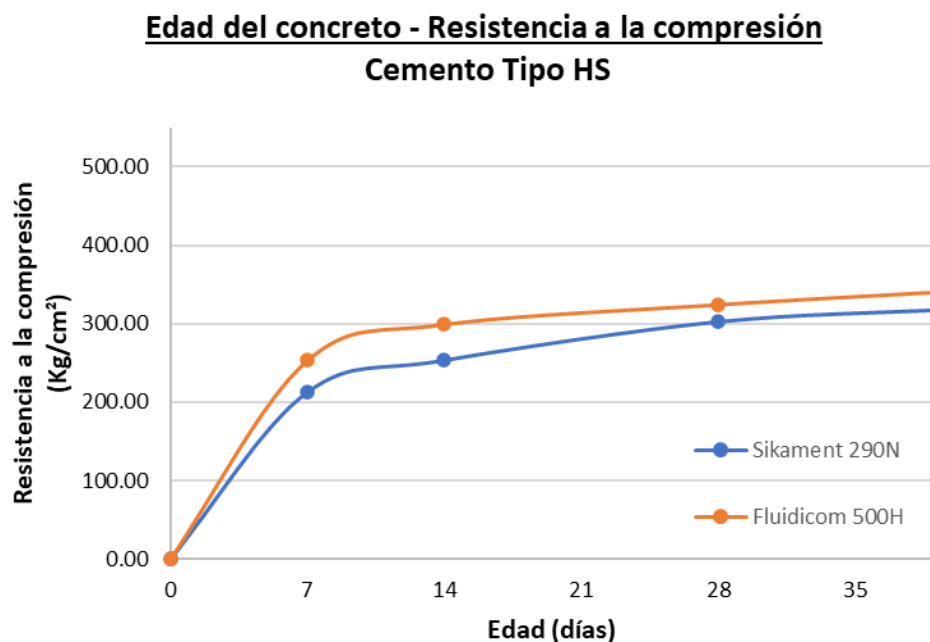
Nota: En la figura 37 se muestra las variaciones entre el concreto autocompactante elaborado con cemento tipo Hs con aditivo sikament 290N y cemento tipo Hs con aditivo FLUIDCON 500H a las edades 7, 14 y 28 días siendo los resultados más altos con la aplicación del aditivo FLUIDCON 500H.

4.6.3. Curva de evolución del concreto – cemento HS

En la figura 38 se muestra la resistencia a la compresión en un gráfico que detalla de la evolución del concreto a la edad de 7, 14 y 28 días, elaborado con cemento tipo HS con los aditivos Sikament 2090N y FLUIDCON 500H

Figura 38

Curva de evolución del concreto de resultados de resistencia a la compresión con Cemento Tipo HS.



Nota: Elaboración propia

4.7. Correlación de la resistencia a la compresión y aditivo

4.7.1 Cemento Tipo I

Para evaluar el diseño del concreto autocompactante con cemento tipo I y la eficiencia del aditivo sikament 290N o FLUIDCON 500H.

Nivel de significación de 0.05

En la tabla 57 se muestra la correlación que existe entre la variable resistencia a la compresión y la variable porcentaje de aditivo, siendo el coeficiente de Pearson (R) de 0.913 existiendo correlación muy significativa entre las variables de resistencia a la compresión y porcentaje de aditivo. El coeficiente R^2 o coeficiente de determinación indica que el porcentaje de aditivo FLUIDCON 500H es de 83.30% y es eficiente para elaborar concreto autocompactante sobre el aditivo sikament 290N que es 16.7% y es debido al tipo de aditivo y su comportamiento determinando que el de alto rango es mas eficiente.

Tabla 57

Correlación lineal entre resistencia a la compresión con cemento tipo I y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H

Coeficiente de correlación Pearson (R)	0.913	
Coeficiente de determinación (R^2)	0.833	83.30%
Coeficiente de no determinación ($1-R^2$)	0.167	16.70%

Nota: En la tabla 57 se muestran los valores estadísticos aplicados en correlación de las variables para cemento tipo I.

En la tabla 57 muestra que el valor p (0.00) es menor al nivel de significancia 0.05, concluyendo que el uso del aditivo FLUIDCON 500H es más eficiente teniendo influencia en los resultados de la

resistencia a la compresión para el concreto autocompactante elaborado con cemento tipo I.

Tabla 58

Test de correlación de resistencia a la compresión de cemento tipo I y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H

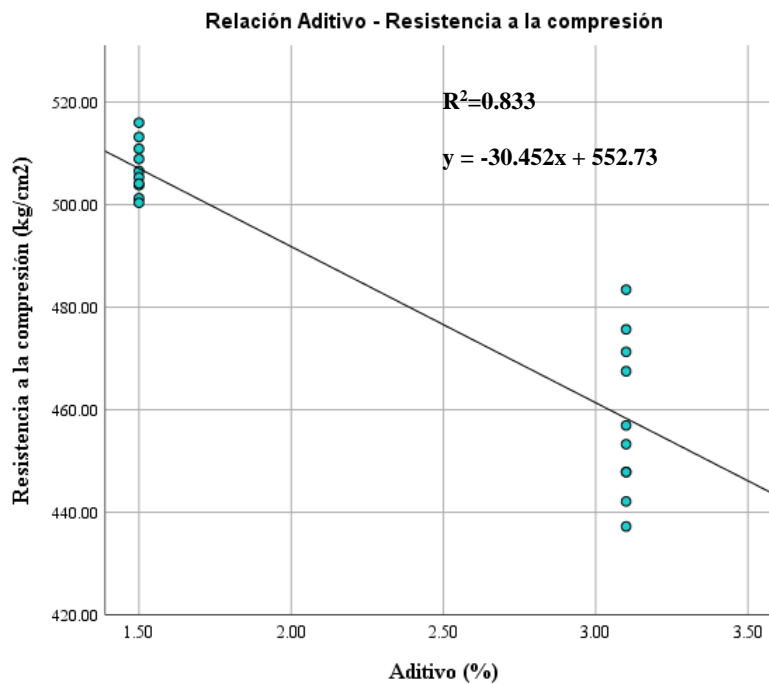
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	11,869.166	1	11,869.166	89.970	0.000 ^b
Residuo	2,374.634	18	131.924		
Total	14,243.800	19			

- a. Variable dependiente: Resistencia a la compresión (kg/cm²)
- b. Predictores: (Constante), Aditivo (%)

Nota: En la tabla 58 se muestran los valores de correlación.

Figura 39

Relación de resistencia a la compresión de cemento tipo I con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.



Nota: En la figura 39 se muestra la relación del porcentaje de aditivo y resistencia a la compresión del cemento tipo I, siendo la ecuación $y = -30.452x + 552.73$.

4.7.2 *Cemento tipo IP*

Para evaluar el diseño del concreto autocompactante con cemento tipo IP y la eficiencia del aditivo sikament 290N o FLUIDCON 500H.

Nivel de significación de 0.05

En la tabla 59 se muestra la correlación que existe entre la variable resistencia a la compresión y la variable porcentaje de aditivo, siendo el coeficiente de Pearson (R) de 0.920 existiendo correlación muy significativa entre las variables de resistencia a la compresión y porcentaje de aditivo. El coeficiente R^2 o coeficiente de determinación indica que el porcentaje de aditivo FLUIDCON 500H es de 84.70% y es eficiente para elaborar concreto autocompactante sobre el aditivo sikament 290N que es 15.30% y es debido al tipo de aditivo y su comportamiento determinando que el de alto rango es más eficiente.

Tabla 59

Correlación lineal entre resistencia a la compresión con cemento tipo IP y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H

Coeficiente de correlación Pearson (R)	0.920	
Coeficiente de determinación (R^2)	0.847	84.70%
Coeficiente de no determinación ($1-R^2$)	0.153	15.30%

Nota: En la tabla 59 se muestran los valores estadísticos aplicados en correlación de las variables para cemento tipo I.

En la tabla 59 muestra que el valor p (0.00) es menor al nivel de significancia 0.05, concluyendo que el uso del aditivo FLUIDCON 500H es más eficiente teniendo influencia en los resultados de la

resistencia a la compresión para el concreto autocompactante elaborado con cemento tipo IP.

Tabla 60

Test de correlación de resistencia a la compresión de cemento tipo IP y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2,087.537	1	2,087.537	99.491	0.000 ^b
Residuo	377.679	18	20.982		
Total	2,465.216	19			

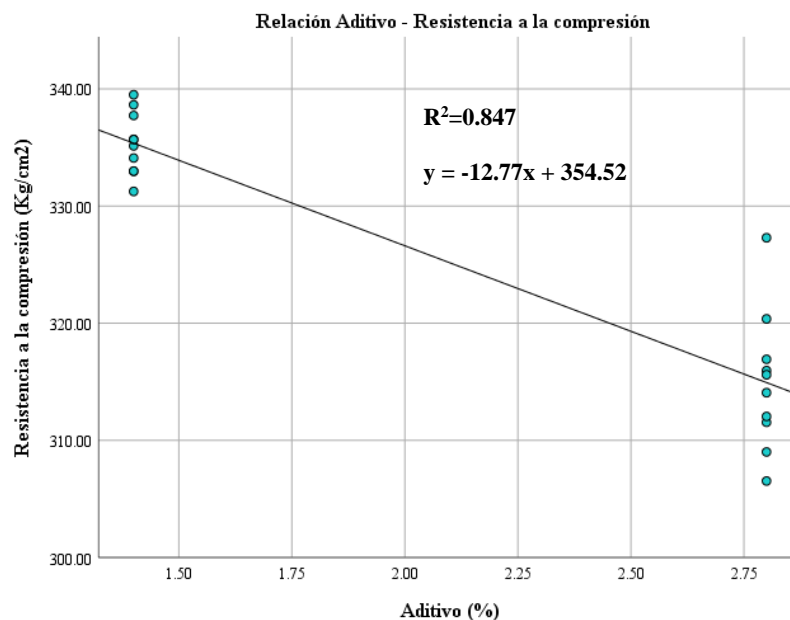
a. Variable dependiente: Resistencia a la compresión (kg/cm²)

b. Predictores: (Constante), Aditivo (%)

Nota: En la tabla 60 se muestran los valores de correlación.

Figura 40

Relación de resistencia a la compresión de cemento tipo IP con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.



Nota: En la figura 40 se muestra la relación del porcentaje de aditivo y resistencia a la compresión del cemento tipo IP, siendo la ecuación $y = -12.77x + 354.52$

4.7.3 *Cemento tipo HS*

Para evaluar el diseño del concreto autocompactante con cemento tipo IP y la eficiencia del aditivo sikament 290N o FLUIDCON 500H.

Nivel de significación de 0.05

En la tabla 61 se muestra la correlación que existe entre la variable resistencia a la compresión y la variable porcentaje de aditivo, siendo el coeficiente de Pearson (R) de 0.833 existiendo correlación muy significativa entre las variables de resistencia a la compresión y porcentaje de aditivo. El coeficiente R^2 o coeficiente de determinación indica que el porcentaje de aditivo FLUIDCON 500H es de 68.80% y es eficiente para elaborar concreto autocompactante sobre el aditivo sikament 290N que es 31.20% y es debido al tipo de aditivo y su comportamiento determinando que el de alto rango es más eficiente.

Tabla 61

Correlación lineal entre resistencia a la compresión con cemento tipo Hs y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H

Coeficiente de correlación Pearson (R)	0.833	
Coeficiente de determinación (R^2)	0.688	68.80%
Coeficiente de no determinación ($1-R^2$)	0.312	31.20%

Nota: En la tabla 61 se muestran los valores estadísticos aplicados en correlación de las variables para cemento tipo HS.

En la tabla 61 muestra que el valor p (0.00) es menor al nivel de significancia 0.05, concluyendo que el uso del aditivo FLUIDCON 500H es más eficiente teniendo influencia en los resultados de la resistencia a la compresión para el concreto autocompactante elaborado con cemento tipo Hs.

Tabla 62

Test de correlación de resistencia a la compresión de cemento tipo HS y aditivos sikament 290N y FLUIDCON 500H

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	2,465.532	1	2,465.532	39.748	0.000 ^b
Residuo	1,116.512	18	62.028		
Total	3,582.044	19			

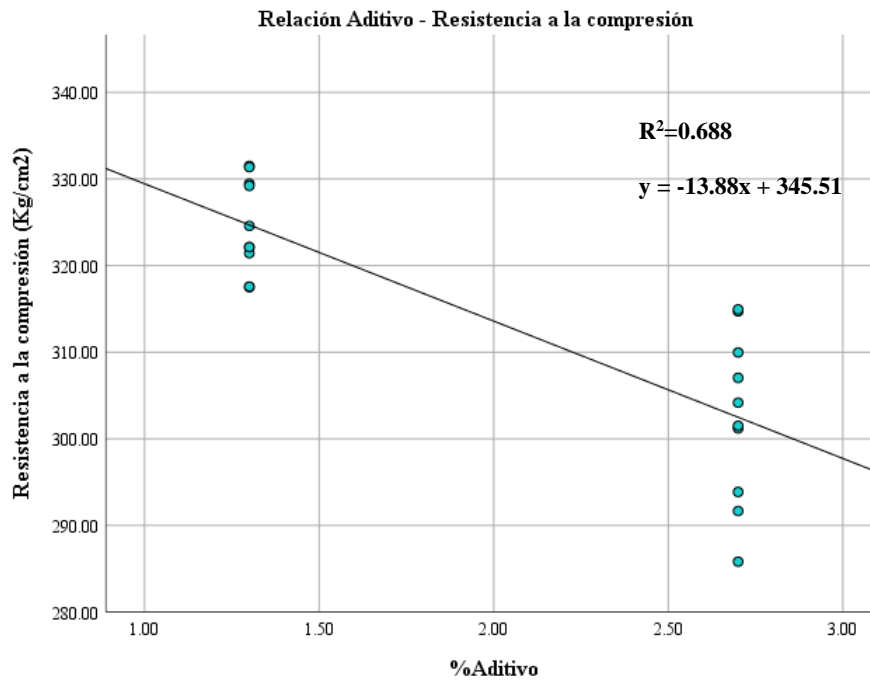
a. Variable dependiente: Resistencia a la compresión (kg/cm²)

b. Predictores: (Constante), Aditivo (%)

Nota: En la tabla 62 se muestran los valores de correlación.

Figura 41

Relación de resistencia a la compresión de cemento tipo Hs con Aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H.



Nota: En la figura 41 se muestra la relación del porcentaje de aditivo y resistencia a la compresión del cemento tipo Hs, siendo la ecuación $y = -13.88x + 345.51$

4.8. Interpretación de resultados

De los resultados obtenidos para la evaluación de los diseños de concretos autocompactantes con aditivos y superplastificantes convencionales y de alto rango con cementos Tipo I, Tipo I y Tipo HS para estructuras densas en acero, se expone lo siguiente:

En el ensayo de slump Flow la extensibilidad del concreto autocompactante elaborado con aditivo Sikament 290N en los cementos tipo I, Tipo Ip y Tipo HS son de 665 mm en 3.7 seg, 678 mm en 3.0 seg y 680 mm en 2.8 seg, no produciéndose segregación ni mostrando halo de mortero o pila de agregados en la extensión del flujo de asentamiento siendo la mezcla estable y cumpliendo con lo requerido en el ACI PRC 237 – 07 (Concreto Autocompactable) de extensibilidad > 650 mm con un T50 ni corto ni largo siendo un SCC con viscosidad media, asimismo cumpliendo con la EFNARC (Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable – HAC) siendo la extensibilidad mínima de 650 mm y con un T50 superior a 2.0 seg que es el tiempo mínimo, además la extensibilidad del concreto autocompactante del elaborado con aditivo FLUIDCON 500H en cementos Tipo I, tipo IP y tipo HS son de 670 mm en 3.8 seg, 675 mm en 2.1 seg y 685 mm en 2.4 seg, no evidenciando segregación en el flujo de asentamiento siendo la mezcla altamente estable con viscosidad media, cumpliendo con lo requerido en el ACI PRC 237 – 07 (Concreto Autocompactable) y la EFNARC (Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable – HAC) siendo la extensibilidad > 650 mm y con un T50 superior a 2.0 seg.

De acuerdo al ensayo de velocidad de pase del flujo con el J-ring con el concreto elaborado con aditivo convencional Sikament 290N y con aditivo FLUIDCON 500H tienen un flujo resultante superior a 650 mm con un T50 entre 2.9 y 3.9 seg siendo una mezcla con viscosidad media y dando capacidad de paso del SCC a través del refuerzo de acero, teniendo mejor capacidad de pase el cemento tipo I con aditivo sikament 290N y cemento tipo HS con aditivo FLUIDCON 500H, siendo las influencias de estas variables la extensibilidad y el T50 para cumplir con lo requerido con la ACI PRC 237 – 07 (Concreto Autocompactable) y la EFNAR (Especificaciones y directrices para el Hormigón autocompactable – HAC).

El ensayo de capacidad de pase y llenado de la mezcla de concreto SCC en caja L con aditivo Sikament 290N y FLUIDCON 500H, es superior a 0.8 (Relación de la altura de la sección horizontal: h_2 con respecto a la sección vertical: h_1) (h_2/h_1), teniendo una fluidez media la mezcla de concreto con aditivo Sikament 290N con los cementos tipo IP ($h_2/h_1 = 0.85$) y cemento tipo HS ($h_2/h_1 = 0.89$), asimismo la mezcla de concreto elaborada con aditivo FLUIDCON 500H con cementos tipo IP ($h_2/h_1 = 0.88$) y tipo HS ($h_2/h_1 = 0.83$) tienen una fluidez media, con respecto a los diseños elaborados con cemento tipo I con aditivo sikament 290 y FLUIDCON 500H su relación h_2/h_1 son de 0.91 y 0.95 cercanos a 1.0 siendo una mezcla que fluye libremente (Mezcla con fluidez alta) cumpliendo con las interpretaciones de la ACI PRC 237 – 07 y l EFNARC.

De acuerdo al ensayo con la Caja V o (V funnel test) la capacidad de llenado y resistencia a la segregación de la mezcla de concreto SCC elaborada con

aditivo Sikament 290N y aditivo FLUIDCON 500H, se presencia que es una mezcla estable y no presenta segregación, siendo su tiempo de flujo (T5Min) de 8.5 a 9.0 seg el cual es menor a 10 seg mostrando resistencia a la segregación, en el tiempo de llenado los valores se encuentra de 6.10 a 7.40 seg cumpliendo con los criterios de la ACI PRC 237 – 07 y la EFNARC.

En los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días muestran que el concreto autocompactante (SCC) con aditivo FLUIDCON 500H tiene mejor comportamiento que el concreto autocompactante (SCC) con aditivo convencional Sikament 290N en cuanto al promedio de resistencia ($f'c$) como se muestra en la siguiente tabla 63.

Tabla 63

Promedio de resistencia a la compresión del concreto a edades 7, 14 y 28 días

Tipo de cemento	Aditivo	Resistencia a la compresión ($F'c_{Prom}$) (Kg/cm ²)		
		7 días	14 días	28 días
Tipo I	Sikament 290N	292.93	432.87	458.33
	Fluidicom 500H	400.08	470.09	507.05
Tipo IP	Sikament 290N	223.87	253.46	314.93
	Fluidicom 500H	264.72	305.78	335.36
Tipo HS	Sikament 290N	212.75	264.90	302.48
	Fluidicom 500H	253.17	299.43	324.69

Nota. Elaboración Propia

Se determina que el SCC con aditivo FLUIDCON 500H tiene comportamiento creciente en la resistencia a la compresión del concreto en los cementos Tipo I, tipo Ip y tipo HS.

4.9. Discusión de los resultados

De los resultados obtenidos del análisis estadístico del concreto autocompactante (SCC) elaborado con aditivo convencional Sikament 290N y aditivo de alto rango FLUIDCON 500H, se determina que:

- El SCC elaborado con cemento tipo I y aditivo FLUIDCON 500H es de 507.05 kg/cm² a los 28 días es superior al SCC al elaborado con aditivo Sikament 290N que es 458.33 kg/cm², mostrando que el aditivo FLUIDCON 500H posee influencia en la resistencia del concreto, capacidad de llenado, capacidad de pase, resistencia a la segregación y viscosidad.
- El SCC elaborado con cemento tipo IP y aditivo FLUIDCON 500H es de 335.36 kg/cm² a los 28 días es superior al SCC al elaborado con aditivo Sikament 290N que es 314.93 kg/cm², mostrando que el aditivo FLUIDCON 500H posee influencia en la resistencia del concreto, capacidad de llenado, capacidad de pase, resistencia a la segregación y viscosidad.
- El SCC elaborado con cemento tipo HS y aditivo FLUIDCON 500H es de 324.69 kg/cm² a los 28 días es superior al SCC al elaborado con aditivo Sikament 290N que es 302.48 kg/cm², mostrando que el aditivo FLUIDCON 500H posee influencia en la resistencia del concreto, capacidad de llenado, capacidad de pase, resistencia a la segregación y viscosidad.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- El concreto autocompactante (SCC) elaborado con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS con aditivo superplastificante de alto rango FLUIDCON 500H, posee influencia significativa sobre la resistencia a la compresión aumentando su resistencia del concreto, aumentando la resistencia a la segregación otorgando viscosidad y fluidez media y capacidad de llenado y pase con mezcla que fluye libremente, en extensibilidad no muestra halo de mortero o pila de agregados en la extensión del flujo de asentamiento siendo la mezcla estable, aplicando aditivo Superplastificante FLUIDCON 500H. Así mismo el concreto autocompactante (SCC) elaborado en los diferentes tipos de cemento con aditivo convencional SIKAMENT 290N, muestra influencia menor a la aplicación del concreto autocompactante (SCC) elaborado con aditivo FLUIDCON 500H, siendo ambas aplicables para estructuras densas en acero y a su vez con mejor eficiencia el aditivo FLUIDCON 500H y luego el SIKAMENT 290N.

Para el diseño de mezcla se determinaron las proporciones de materiales óptimas para el diseño de mezcla de los concretos autocompactantes con proporciones que cumplen los requisitos exigidos por la ACI PRC 237 – 07.

- o Para aditivos FLUIDCON 500H, con un cemento tipo I se determinó para 1 m³ una dosis de 1.5% del peso del cemento, para un cemento tipo IP se determinó para 1 m³ una dosis de 1.4% del peso del cemento

- y para un cemento tipo HS se determinó para 1 m³ una dosis de 1.3% del peso del cemento.
- Para aditivos SIKAMENT 290N, con un cemento tipo I se determinó para 1 m³ una dosis de 3.1% del peso del cemento, para un cemento tipo IP se determinó para 1 m³ una dosis de 2.8% del peso del cemento y para un cemento tipo HS se determinó para 1 m³ una dosis de 2.7% del peso del cemento.
- Se determinó que existe influencia de los aditivos SIKAMENT 290N y FLUIDCON 500H sobre las propiedades y características del concreto en estado fresco, obteniendo fluidez y viscosidad, capacidad de llenado y resistencia a la segregación adecuada que cumplen lo exigido por la ACI PRC 237-07 y la EFNARC, asimismo el aditivo FLUIDCON 500H tiene mejor comportamiento y eficiencia en las propiedades y características del concreto en estado fresco que el aditivo SIKAMENT 290N.
- De acuerdo a las propiedades del concreto en estado endurecido en las edades de 7, 14 y 28 días elaborados con cemento tipo I, tipo IP y tipo HS, se determinó que el aditivo FLUIDCON 500H presenta influencia sobre la resistencia del concreto por encima de la influencia del concreto autocompactante (SCC) elaborado con aditivo SIKAMENT 290N, aportando el aumento de la resistencia del concreto. Las distintas dosificaciones de concreto autocompactante hace que se obtenga una alta dispersión de los datos de las propiedades del concreto en estado endurecido:
- En el caso de concretos elaborados con aditivo SIKAMENT 290N las resistencias iniciales a edades tempranas son relativamente bajas. La interacción cemento y aditivo convencional SIKAMENT 290N tiene

un efecto retardante en las resistencias iniciales. Se observan similares resistencias a compresión en los concretos elaborados con cementos tipo IP de 314.9 kg/ cm² y HS de 302.5 kg/ cm² a la edad de 28 días, sin embargo, hay una gran diferencia en los concretos autocompactantes elaborados con cemento tipo I, que sobrepasan la resistencia de evolución al 100% en la edad de 28 días con 458.3 kg/ cm².

- En el caso de concretos elaborados con aditivo FLUIDCON 500H, las resistencias iniciales a edades tempranas superan la evolución de f'_c , según la curva de evolución. Las resistencias a compresión en los concretos elaborados con cementos tipo IP es de 335.4 kg/ cm² y HS es de 324.7 kg/ cm² a la edad de 28 días, sin embargo, hay una gran diferencia en los concretos autocompactantes elaborados con cemento tipo I, que sobrepasan la resistencia de evolución al 100% en la edad de 28 días con 507 kg/ cm².
- Se realizó el análisis estadístico determinando que el aditivo FLUIDCON 500H tiene influencia y eficiencia en los ensayos de concreto fresco y concreto endurecido por encima del concreto autocompactante (SCC) elaborado con aditivo SIKAMENT 290N. Se determinó la correlación que existe entre la variable resistencia a la compresión y la variable porcentaje de aditivo, existiendo correlación muy significativa entre las variables. Para el cemento tipo I se obtiene la ecuación de relación $y = -30.452x + 552.73$, para el cemento tipo IP se obtiene la ecuación de relación $y = -12.77x + 354.52$ y, para el cemento tipo Hs se obtiene la ecuación de relación $y = -13.88x + 345.51$.

5.2. Recomendaciones

- Se recomienda que el diseño, manejo y elaboración de concreto por alto desempeño sean realizados bajos los códigos ACI y normas ASTM y tener conocimientos de las variaciones sobre sus actualizaciones sobre estos, con la finalidad de realizar investigaciones que comparen códigos actuales y pasados basados en concreto autocompactante (SCC) a nivel nacional e internacional. Al momento de diseñar concreto por desempeño como el concreto autocompactante (SCC), realizar un análisis sobre la calidad y el comportamiento de los materiales a utilizar.
- Realizar más ensayos en estado fresco, como la caja U, la prueba de segregación en columna para conocer mejor el comportamiento del concreto autocompactante.
- Realizar investigaciones con otros tipos de cementos y otros tipos de aditivos existentes en la localidad de Tacna para poder analizar las propiedades y características de este nuevo diseño en estado endurecido y así conocer la evolución del concreto.
- Realizar correlación aditivo y cemento, con otros tipos de aditivos superplastificantes y otros tipos de cemento. Se recomienda a nivel local esta investigación ayude a la implementación de concreto autocompactante y sea aplicado en estructuras donde exista mayor densidad de acero como placas de gran altura, cúpulas de tanque de agua potable, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto Castillo, F. (1995). *Tecnología del concreto*, Perú: Universidad Mayor de San Marcos.
- Aïtcin, P. y Neville, A. (1997), *Concreto de alto desempeño*. London, England: Concrete international.
- Aïtcin, P.C (2011) *Sustainability of concrete (Modern concrete technology)*, (Sostenibilidad del concreto), 301p
- Álvarez González, JL. (2014), *Hormigón Autocompactante con Nano Adiciones y Fibras*. (Tesis de fin de Master).Universidad Politécnica de Madrid, España: Madrid
- Aïtcin, P.C (1998) “High-Performance Concrete”(Concreto de alto desempeño). Primera publicación por E & FN Spon e impresión de Routledge 11 New Fetter Lane, London, 629p
- American Concrete Institute. Committee 237. *Self-Consolidating Concrete, ACI 237R-07*. ACI Manual of Concrete Practice 2007 ACI. Detroit (USA),2007.
- American Concrete Institute. Committee 318. *Building code for structural concrete, ACI 318-05*. ACI Manual of Concrete Practice 2005. ACI. Detroit (USA), 2005.
- American Society For Testing And Materials (ASTM). *Standard test method for slump flow of self-consolidating concrete*. C 1611.
- Brouwers, HJH y Radix, HJ (2005). Hormigón autocompactante: estudio teórico y experimental. *Investigación sobre cemento y hormigón* , 35 (11), 2116-2136.
- Chután Muñoz, R. (2004). *Concreto Autocompactado experimentación en Guatemala*. (Tesis de grado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 6p.
- EFNARC (The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems). 2002. Especificaciones y Directrices para el Hormigón Autocompactante – HAC (en línea). Consultado 25 julio. 2017. Disponible en <https://www.efnarc.org>

- EHE (2008). Instrucción de Hormigón Estructural. Serie Normativa, Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica. 4º Edición 2010. Madrid.
- Federación Interamericana Del Cemento (FICEM). Informe Estadístico. Bogotá: FICEM, 2013.
- Figueredo, J. V., & Padilla, E. P. (2017). *Obtención De Una Mezcla De Concreto Con Residuos Plásticos De Equipos Electrónicos Para La Fabricación De Elementos No Estructurales*.
- Jonhson Wilker Rigueira Victor. , 2007, “*Estudio de la Sensibilidad e Influencia de la Composición en las Propiedades Reologicas y Mecánicas de los Hormigones Autocompactante*”. Tesis Doctoral (Universidad Politécnica de Valencia).
- Holschemacher, K., & Klug, Y. (2002). *A database for the evaluation of hardened properties of SCC*. Lacer, 7, 124-134.
- Molina Segura, C.; Saldaña Pacheco, S.O. (2014). *Influencia del aditivo Hiperplastificante Plastol 200 ext en las propiedades del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido*. Tesis. Ing. Civil. TRUJILLO. UPAO.
- NTP 339.034:2008 HORMIGÓN (CONCRETO), Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3a. ed. R. 001-2008/INDECOPI-CRT (2008-01-25).
- NTP 339.036:1999 HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para muestreo de mezclas de concreto fresco. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
- NTP 339.077:2003 HORMIGÓN (CONCRETO). Métodos de ensayo normalizado para la exudación del hormigón (concreto). 2a. ed. R. 20-2003-CRT-INDECOPI (2003-02-22).
- NTP 339.185:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).

- NTP 400.011:1976 AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos R. 758-76 (1976).
- NTP 400.012:2001 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2a. ed. R. 71-2001-INDECOPI-CRT (2001-07-17).
- NTP 400.017:1999 AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. 2a. ed. R. 21-99-INDECOPI-CRT (1999-04-29).
- NTP 400.019:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los Angeles. 2a. ed. R. 7-2002-INDECOPI-CRT (2002-02-09).
- NTP 400.021:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- NTP 400.022:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino. 2a. ed. R. 48-2002-INDECOPI-CRT (2002-05-30).
- Okamura, H. (1997). "Self Compacting High-Performance Concrete". Concrete International, pp. 50-54
- Okamura, H., Ozawa, K. and Ouchi, M. (2000). "Self-Compacting Concrete". Structural concrete, 1, pp. 3-17.
- Pérez Villar C.G. (2015), *Influencia del aditivo Sika ViscoCrete 3330 en la durabilidad del concreto autocompactante elaborado con cemento tipo ii y tipo V*. Tesis. Ing Civil. Cajamarca. UNC.
- Pineda Vallejo, H. (2003). *Diseño de mezcla de concreto Autocompactante*. Tesis. Ing. Civil. LIMA. UNI.
- Rigueira Victor, J. (2007), *Estudio de la sensibilidad e influencia de la Composición en las propiedades reológicas y Mecánicas de los hormigones autocompactantes*. (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica de Valencia.

- Sánchez Hidalgo L.Y.Y . (2014). *Efecto del aditivo superplastificante Sika Viscocrete en la resistencia mecánica del concreto autocompactante*. Tesis. Ing Civil. Cajamarca. UNC.
- Sotomayor Cruz C. 2020. “*La ciencia y el arte del concreto – El material de constricción del siglo XXI*”, Primera edición, Lima, septiembre 2020.
- Vilanova Fernández, A. (2009), *Influencia de la dosificación y empleo de diferentes tipos de cemento y adiciones en las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante*. (Tesis Doctoral).Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Zapata y Arango (2013), *Influencia de la Fibra de Vidrio en las Propiedades Mecánicas de Mezclas de Concreto*, realizado en la Universidad EAFIT, Colombia. Ing Civil. Cajamarca. UNC.

ANEXO

ANEXO 1-PLANO DE UBICACIÓN DE LA CANTERA ARUNTA

ANEXO 2-TABLAS DE DISEÑO DE MEZCLA

ANEXO 3-CERTIFICADO DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

ANEXO 4-DISEÑOS DE MEZCLA CÁLCULADOS

ANEXO 5- CERTIFICADOS DE DISEÑOS DE MEZCLA DEL CONCRETO

ANEXO 6-CURVA DE EVOLUCIÓN DEL CONCRETO

ANEXO 7- CERTIFICADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA

COMPRESIÓN

ANEXO 8-PANEL FOTOGRÁFICO

ANEXO 9-FICHAS TÉCNICA

ANEXO 10-NORMAS