

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS, GEOLOGIA Y CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



“CONCRETO AUTOCOMPACTANTE: DISEÑO, BENEFICIOS Y
CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO”

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

Bach. IVÁN HUAMANÍ HUARANCCA

ASESOR:

Mg Sc. Ing. ÁNGEL H. VILCHEZ PEÑA

Ayacucho – Perú

2018

RESUMEN

La presente tesis desarrolla los métodos de elaboración de un diseño de concreto con nuevas tecnologías llamado “Concreto Autocompactable (CAC)” como una alternativa para mejorar las insuficiente trabajabilidad en el momento de su vaciado, en su calidad, tipo de acabados, resistencia, vacíos internos, durabilidad y para su posible aplicación en edificación e incluso en obras civiles en general.

Dentro de la investigación se analiza la variación del comportamiento del concreto autocompactante en función al porcentaje de aditivo superplastificante utilizado, ya que este parámetro influye en su microestructura y por lo tanto su comportamiento resistente. Además contempla el análisis de propiedades del concreto en estado fresco empleando ensayos de escurrimiento y embudo en V; así como la propiedad del concreto en estado endurecido como la resistencia a la compresión.

El diseño de investigación es de tipo experimental y correlacional, muestra; son los ensayos establecidos en concreto, el procesamiento de datos se hizo a través de un diagrama de flujos. Los resultados obtenidos de los ensayos practicados, han puesto de manifiesto que conforme se incrementa las dosis de superplastificante la resistencia a compresión disminuye, siendo el porcentaje óptimo de aditivo 1% en peso del cemento, de tal forma que así se obtuvieron de forma exacta todos los datos que se necesitaron y llegaron a desarrollar los objetivos planteados anteriormente, llegando a verificar así la justificación de esta investigación. Así mismo se realizaron las respectivas conclusiones y recomendaciones de cómo se puede desarrollar la tesis para su mejor aprovechamiento y para evitar posibles errores en un desarrollo posterior del mismo.

Palabras claves: Concreto, Autocompactable, Aditivo, Superplastificante, Segregación y Trabajabilidad.

INTRODUCCION

Actualmente el concreto se ha convertido en el material de construcción más ampliamente utilizado en el ámbito mundial, debido a su extraordinaria versatilidad para moldearse, sus propiedades físicas y mecánicas para ser usado como elemento estructural, y su economía.

El desarrollo de la tesis se basó en encontrar una solución para los problemas de porosidad pronunciada en las estructuras de concreto a nivel de edificaciones, no sólo se registran éstas fallas en nuestro país, también a nivel internacional donde se han desarrollado diferentes técnicas para contrarrestar este flagelo, la calidad del concreto como producto terminado depende en gran medida de los procesos de consolidación que se apliquen a la mezcla en su estado fresco, es por ello que el tema de la compactación se ha vuelto de gran interés para la ingeniería, dada la importancia que tiene este proceso para alcanzar los parámetros establecidos en el diseño de mezcla; además de buscar mejores rendimientos en la mano de obra, reducir el tiempo de colocación, lograr mejores acabados.

La presente investigación fue necesaria para la creación de un diseño de mezcla para un concreto autocompactable, es un concreto diseñado para producir concreto extremadamente fluido, de tal manera que su fluidez hace que sea fácil de vaciar, rellenar sin requerimiento de vibrado para su colocación y compactación, obteniendo las propiedades estructurales igual o mayor a la requerida y una vida útil igual o superior a la de un concreto compactado por vibración. **El objetivo** trazado fue diseñar un concreto autocompactable destacando los beneficios técnicos para mejorar la calidad de las estructuras de concreto en proyectos de edificación, expandir el conocimiento sobre la utilización de nuevas tecnologías con el uso de aditivos superplastificantes y empezar a desarrollar su expansión para obras de edificación que contengan volúmenes de concreto y se encuentren densamente armadas.

La **hipótesis planteada** fue: si mejoramos las características del concreto convencional se tendrá mayor eficiencia de colocación y consolidación del concreto, reduciendo los espacios

vacíos en estructuras densamente armadas o encofrados con poca accesibilidad para un vibrado adecuado.

Lográndose crear un concreto con la capacidad de mejorar la calidad de las estructuras de concreto en edificaciones considerando los controles de calidad establecidos, se llevó a cabo el desarrollo del proyecto para probar que la tesis servirá para dar solución a los problemas antes mencionados. Este trabajo fue desarrollado de una manera clara, ordenada y concisa para que pueda ser entendida por cualquier tipo de persona ya sea ingeniero, metodólogo o alguien en particular. Se determinaron cada una de las proporciones necesarias para el diseño del concreto autocompactable, haciendo alusión específicamente a los materiales utilizados para la mezcla los cuales fueron cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y aditivos (Sika Viscocrete 3330). Se estableció su debida relación de agua cemento de baja proporción según el requerimiento para el diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ que se realizó.

El presente trabajo de investigación se dividió en cinco capítulos. **Capítulo I:** Planteamiento del Problema, comprende situación problemática, formulación del problema, delimitaciones de la investigación, justificación e importancia de la investigación, limitaciones de la investigación y objetivos de la investigación. En el **Capítulo II:** Marco Teórico, comprende antecedentes de estudios, base teórica científica y marco conceptual. En el **Capítulo III:** Método de la Investigación, comprende enfoque, alcance, diseño de investigación, población y muestra, hipótesis, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos, técnicas estadísticas para el procesamiento de la información y desarrollo del trabajo de tesis. En el **Capítulo IV:** Análisis e Interpretación de Resultados, comprende contrastación de la hipótesis, análisis e interpretación. En el **Capítulo V:** Conclusiones, comprende conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros, por último la Referencia Bibliográfica y Anexos.

ABSTRACT

This thesis develops the methods of developing a concrete design with new technologies called "Autocompactable Concrete (CAC)" as an alternative to improve the insufficient workability at the time of emptying, in its quality, type of finishes, strength, voids internal, durability and for its possible application in building and even civil works in general.

Within the research, the behavior variation of the self-compacting concrete is analyzed according to the percentage of superplasticizing additive used, since this parameter influences its microstructure and therefore its resistant behavior. It also contemplates the analysis of concrete properties in fresh state using runoff tests and V funnel; as well as the property of the concrete in hardened state as the resistance to compression.

The research design is of an experimental and correlational type, sample; are the tests established in concrete, the data processing was done through a flow diagram.

The results obtained from the tests carried out have shown that as the superplasticizer dose increases, the compressive strength decreases, with the optimum percentage of the additive being 1% by weight of the cement, so that all were obtained in an exact manner. the data that was needed and came to develop the objectives set out above, thus verifying the justification of this research. Likewise, the respective conclusions and recommendations were made on how the thesis can be developed for its better use and to avoid possible errors in its later development.

Keywords: Concrete, Autocompactable, Additive, Superplasticizer, Segregation and Workability.

PRESENTACION

Esta tesis es presentada como parte de los requisitos para optar el título académico de Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, la misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el periodo 2017 – 2018.

Ivan Huamani Huarncca

ivohh04@gmail.com

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga

Ayacucho, 2018

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres Fortunato y Rómula, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y sus consejos para hacer de mí una mejor persona.

A mi Hermano por el apoyo que siempre me brindo día a día en el transcurso de cada año de mi carrera Universitaria.

A esa persona especial con quien compartimos los intereses y metas, a la que me apoya y da fuerza día a día.

Yaneth L. R.

AGRADECIMIENTOS

- ✓ A Dios y a la Virgen María Auxiliadora por su infinito amor y bondad, por prestarme la vida y permitirme llegar hasta esta etapa de mi vida, en el cual logro uno de mis más grandes sueños, el ser profesional.
- ✓ A mi asesor Mg Sc. Ing. ÁNGEL H. VILCHEZ PEÑA, por su incondicional apoyo en todo el proceso y desarrollo de la presente investigación.
- ✓ A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga por mi formación académica.
- ✓ A mis amigos y compañeros, en especial a Epifanio Alfaro Torres y Wili Ortiz Alarcón, por brindarme su amistad, apoyo y paciencia durante la ejecución del presente trabajo de investigación.
- ✓ A la empresa Sika Perú S.A. quienes me apoyaron con todas mis inquietudes y me dotaron del material aditivo superplastificante Sika Viscocrete 3330 para la elaboración del concreto autocompactante.
- ✓ A la Cantera “La Moderna” quien me apoyó con la dotación de todo el material agregado para la elaboración del proyecto de tesis.

INDICE GENERAL

RESUMEN	i
INTRODUCCION	ii
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTOS	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xv
INDICE DE TABLAS	xvii
CAPITULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. ESPACIAL	2
1.2.2. TEMPORAL	5
1.2.3. TEMÁTICA Y UNIDAD DE ANALISIS.....	5
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3.1. PROBLEMA GENERAL	6
1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	6
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	6
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.6. OBJETIVOS.....	8
1.6.1. OBJETIVOS GENERALES.....	8
1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8

CAPITULO II.....	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ANTECEDENTES.....	9
2.1.1. INVESTIGACIONES INTERNACIONALES	11
2.1.2. INVESTIGACIONES NACIONALES	14
2.2. BASES TEÓRICAS.....	17
2.2.1. APLICACIONES.....	18
2.2.2. VENTAJAS	19
2.2.3. DESVENTAJAS.....	19
2.2.4. MARCO LEGAL.....	20
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	22
2.3.1. CONCRETO	22
2.3.2. CONCRETO AUTOCOMPACTANTE.....	22
2.3.3. COMPONENTES DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE.....	23
2.3.3.1. CEMENTO.....	23
2.3.3.1.1. PROPIEDADES DEL CEMENTO	23
2.3.3.1.2. CEMENTO PORTLAND.....	24
2.3.3.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO	25
2.3.3.1.4. TIPOS DE CEMENTO	26
2.3.3.1.5. CEMENTO ANDINO PORTLAND TIPO I.....	26
2.3.3.2. AGREGADOS	27

2.3.3.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS	28
(A) AGREGADO FINO	28
(B) AGREGADO GRUESO.....	29
2.3.3.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.....	30
(A) GRANULOMETRIA (ASTM C33 y NTP 400.037)	30
(B) MODULO DE FINEZA (ASTM C136 y NTP 400.012).....	35
(C) PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (ASTM C127, ASTM C128, NTP 400.021 y NTP 400.022)	36
(D) PESO UNITARIO (ASTM C29 y NTP 400.017).....	38
(E) PORCENTAJE DE VACIOS (ASTM C29 y NTP 400.017).....	39
(F) CONTENIDO DE HUMENDAD (ASTM C566 y NTP 339.185)	40
(G) ABRASIÓN LOS ANGELES (ASTM C131, ASTM C535, NTP 400.019 y NTP 400.020)	40
2.3.3.3. AGUA.....	41
2.3.3.3.1. REQUISITOS DE CALIDAD DEL AGUA	41
2.3.3.4. ADITIVO.....	42
2.3.3.4.1. TIPOS DE ADITIVO	42
2.3.3.4.2. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE.....	44
2.3.3.4.3. FUNCIONES DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	44
(A) INCREMENTAR LA TRABAJABILIDAD (FUNCIÓN SUPERPLASTIFICANTE).....	44

(B) INCREMENTAR LA RESISTENCIA (FUNCIÓN REDUCTOR DE AGUA)	45
(C) REDUCIR LA CANTIDAD DE CEMENTO.....	45
2.3.3.4.4. COMPOSICIÓN Y EVOLUCIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	45
2.3.3.4.5. COMPATIBILIDAD CEMENTO – ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	50
2.3.3.4.6. REQUISITOS DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES	52
2.3.3.4.7. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKA VISCOCRETE 3330.....	52
(D) USOS:.....	53
(E) CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS:.....	54
2.3.4. CARÁCTERÍSTICAS DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN ESTADO FRESCO	54
2.3.4.1. ENSAYOS PARA CARACTERIZAR AL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN ESTADO FRESCO	55
2.3.4.1.1. ENSAYO DE ESCURRIMIENTO (UNA NORMA ESPAÑOLA “UNE-EN 12350-8:2011”).....	55
(F) Procedimiento del Ensayo:	56
2.3.4.1.2. ENSAYO DEL EMBUDO EN V (UNA NORMA ESPAÑOLA “UNE-EN 12350-8:2011”).....	58
(G) Procedimiento del Ensayo:	59
2.3.4.1.3. ENSAYO DE LA CAJA EN L (UNA NORMA ESPAÑOLA “UNE-EN 12350-8:2011”)	60

(H) Procedimiento del Ensayo:	60
2.3.4.1.4. ENSAYO CON EL ANILLO JAPONES (UNA NORMA ESPAÑOLA “UNE-EN 12350-8:2011”).....	62
A. Procedimiento del Ensayo:	62
2.3.4.2. RANGO DE ACEPTACIÓN DE LOS RESULTADOS ENSAYADOS AL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE EN ESTADO FRESCO.....	64
2.3.5. CARÁCTERÍSTICAS DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN ESTADO FRESCO	65
2.3.5.1. RESISTENCIA MECÁNICA DE DISEÑO A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO (f_c).....	65
2.3.5.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	67
2.3.6. DISEÑO DE MEZCLA PARA EL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE...68	
2.3.6.1. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI.....	68
2.3.6.2. DISEÑO DE MEZCLA DEL CAC POR REDUCCIÓN DE AGUA.....	78
CAPITULO III.....	80
METODO DE LA INVESTIGACIÓN.....	80
3.1. ENFOQUE	80
3.2. ALCANCE.....	80
3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	80
3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	81
3.4.1. POBLACIÓN.....	81

3.4.2. MUESTRA	81
3.5. HIPÓTESIS.....	82
3.5.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	82
3.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	82
3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES, DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL.....	83
3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	84
3.8. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	84
3.9. DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS.....	85
CAPITULO IV.....	86
RESULTADOS.....	86
4.1. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	86
4.1.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS	86
4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN.....	90
4.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS.....	90
4.2.1.1. CANTERA “LAS PIEDRAS” – RIO CHACCO.....	90
4.2.1.2. CANTERA “LA MODERNA” – RIO CACHI.....	94
4.2.2. TABLA COMPARATIVA DE CANTERAS	98
4.2.3. DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO DEL “COMITÉ 211 ACI” PARA EL CONCRETO PATRON - “CANTERA LA MODERNA” – RIO CACHI.....	98

4.2.4. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE GENERADA A PARTIR DEL CONCRETO PATRON NORMAL, MEDIANTE REDUCCIÓN DE AGUA Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE	103
4.2.5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	105
4.2.6. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	107
4.2.7. COMPARACIÓN ECONÓMICA DEL CONCRETO PATRON CONVENCIONAL VS EL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE.....	114
CAPITULO V.....	116
CONCLUSIONES	116
5.1. CONCLUSIONES	116
5.2. RECOMENDACIONES	117
5.3. TRABAJOS FUTUROS	118
BIBLIOGRAFÍA	119
ANEXOS	122

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Plano de ubicación de la cantera "La Moderna"	3
Figura 2: Planta de producción de agregados “La Moderna”	3
Figura 3: Plano de ubicación de la cantera “Las Piedras”	4
Figura 4: Planta de producción de agregados “Las Piedras”	5
Figura 5: Límites de granulometría.....	31
Figura 6: Estructura molecular de un aditivo superplastificante lignosulfonato modificado ..	46
Figura 7: Estructura molecular básica de un aditivo superplastificante: (a) derivado de melanina (b) derivado de naftaleno.....	47
Figura 8: Esquema del mecanismo de adsorción de aditivos superplastificantes convencionales en partículas de cemento. Repulsión electrostática.....	48
Figura 9: Estructura química y molecular de un aditivo PCE.	49
Figura 10: Esquema del mecanismo de adsorción y repulsión de aditivos PCE en partículas de cemento. Repulsión electrostática.....	50
Figura 11: Aditivo Sika Viscocrete 3330 (2018).....	53
Figura 12: Representación del equipo para el ensayo de escurrimiento.	56
Figura 13: Embudo tipo V para determinar la fluidez o relleno.	59
Figura 14: Caja tipo L para evaluar la capacidad de paso o bloqueo.	61
Figura 15: Representación del equipo de Anillo Japonés para evaluar la resistencia al bloqueo del CAC.	64
Figura 16: Diagrama del desarrollo del trabajo de tesis	85
Figura 17: Curva granulométrica del agregado fino.	91
Figura 18: Curva granulométrica del agregado grueso.....	92
Figura 19: Curva granulométrica del agregado fino.....	95

Figura 20: Curva granulométrica del agregado grueso.....	96
Figura 21: Segregación en la mezcla de concreto.....	104
Figura 22: Evolución de las densidades del concreto por cada dosificación de aditivo en el tiempo.	108
Figura 23: Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto en función del porcentaje de aditivo.	109
Figura 24: Porcentaje de la resistencia a compresión del concreto en función a los 28 días con respecto a la resistencia de diseño.	110
Figura 25: Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto en función del tiempo. ..	111
Figura 26: Relación de la resistencia a la compresión y su densidad.	112
Figura 27: Línea de tendencia de evolución a la resistencia a compresión de concreto óptimo del CAC.	113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del cemento.....	25
Tabla 2: Tamices Standard ASTM	31
Tabla 3: Análisis granulométrico para agregado fino.....	32
Tabla 4: Límites granulométricos para agregado grueso según las Normas NTP 400.037 y ASTM C33.....	34
Tabla 5: Límites permisibles para el agua de mezclado y curado.	42
Tabla 6: Rango de valores de aceptación para los ensayos del CAC	65
Tabla 7: Resistencia a la compresión promedio según ACI 211	69
Tabla 8: Asentamiento del concreto	70
Tabla 9: Volumen de unitario de agua.....	71
Tabla 10: Contenido de aire atrapado	71
Tabla 11: Relación agua/cemento.....	72
Tabla 12: Peso del agregado grueso por unidad de volumen.....	73
Tabla 13: Matriz Experimental del Diseño de Investigación.....	81
Tabla 14: Operacionalización de variables	83
Tabla 15: Técnicas e instrumentos de la investigación.....	84
Tabla 16: Resultados del análisis granulometría del agregado fino.	90
Tabla 17: Resultados del análisis granulometría del agregado grueso.	92
Tabla 18: Resultado de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados. (Ver Anexos 1 al 5).....	93
Tabla 19: Resultados del análisis granulometría del agregado fino.	94
Tabla 20: Resultados del análisis granulometría del agregado grueso.	95

Tabla 21: Resultado de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados. (Ver Anexo 6 al 10.)	96
Tabla 22: Comparación de canteras en las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.	98
Tabla 23: Obtención de la dosificación óptima de agua mediante ensayo de escurrimiento e inspección visual.	103
Tabla 24: Proporción de diseño para el CAC en peso para aditivo al 1.00%.	104
Tabla 25: Proporción de diseño para el CAC en peso para aditivo al 1.25%.	105
Tabla 26: Proporción de diseño para el CAC en peso para aditivo al 1.50%.	105
Tabla 27: Proporción de diseño para el CAC en peso para aditivo al 2.00%.	105
Tabla 28: Resultado del ensayo de escurrimiento del CAC	106
Tabla 29: Resultado del ensayo del embudo en V del CAC.....	106
Tabla 30: Densidad de probetas de concreto a los 7, 14, 21 y 28 días	107
Tabla 31: Resumen comparativo de las densidades promedio de las probetas de concreto a los 7, 14, 21 y 28 días	107
Tabla 32: Resultado de la resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14, 21 y 28 días.	108
Tabla 33: Resumen de la resistencia promedio a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días con diferentes dosificaciones de aditivo.	109
Tabla 34: Análisis de costo del concreto patrón por m ³ (0.0% de aditivo) f'c=210kg/cm ² . 114	
Tabla 35: Análisis de costo del concreto CAC por m ³ (1.0% de aditivo) f'c=210kg/cm ² . ..114	
Tabla 36: Análisis de costo del concreto por m ³ (0.0% de aditivo) f'c=400kg/cm ²	114
Tabla 37: Resumen de costos de concreto por m ³	115

CAPITULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente en la ciudad de Ayacucho aún existe deficiencias de colocación y consolidación del concreto, especialmente en estructuras densamente armadas o encofrados con poca accesibilidad para un vibrado adecuado ya que a causa de estas comienza la aparición de espacios vacíos y es un factor determinante en la resistencia del concreto, estos problemas se generan a raíz de factores como la mala calidad de mano de obra al momento del vibrado y la escasa trabajabilidad de algunas mezclas, donde las soluciones actuales traen como consecuencia aumento en el costo por reparaciones, invirtiendo en tiempo, personal y equipo; por tanto se podrían dar soluciones con técnicas más efectivas y funcionales.

Asimismo; se pretende elaborar el concreto autocompactado, donde no sea necesario la compactación mediante equipos y pueda fluir a través del encofrado compactándose por su propio peso sin segregarse y a la vez sin alterar sus propiedades mecánicas.

Es por ello que la demanda de una solución está orientada al campo de la investigación, para implementar nuevas tecnologías valorando su comportamiento y utilizando los recursos disponibles en nuestro medio.

Al realizar esta investigación, se pretende aumentar la capacidad de acomodo del concreto, siendo una alternativa de solución el Concreto Autocompactado “CAC”, para ello se realizará un diseño de mezcla con aditivo superplastificante utilizando diferentes

dosificaciones y así evaluar la capacidad de fluidez del concreto fresco y la resistencia a la compresión en estado endurecido sin alterar las propiedades físicas y mecánicas del concreto.

1.2. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. ESPACIAL

Para el trabajo de investigación se utilizó agregados de la Cantera “La Moderna” (Fluencia del Río Cachi). En cuanto a los ensayos fueron realizados en el laboratorio V.G. GEOTECNIA & INGENIERIA S.A.C. ubicada en la ciudad de Ayacucho.

Ubicación de la Cantera : Cantera “La Moderna”

Localidad : Pucapampa Santa Rosa

Distrito : Ayacucho

Provincia : Huamanga

Departamento : Ayacucho

Comprendido entre las coordenadas de Ubicación geográfica son:

Latitud : 13°04'27.22"S

Longitud : 74°16'25.98"O

Altitud : 2423msnm

Figura 1: Plano de ubicación de la cantera "La Moderna"



Figura 2: Planta de producción de agregados "La Moderna"



Ubicación de la Cantera : Cantera “Las Piedras”

Localidad : Cchacco

Distrito : Quinua

Provincia : Huamanga

Departamento : Ayacucho

Comprendido entre las coordenadas de Ubicación geográfica son:

Latitud : 13°05'3.05"S

Longitud : 74°13'41.64"O

Altitud : 2457msnm

Figura 3: Plano de ubicación de la cantera “Las Piedras”

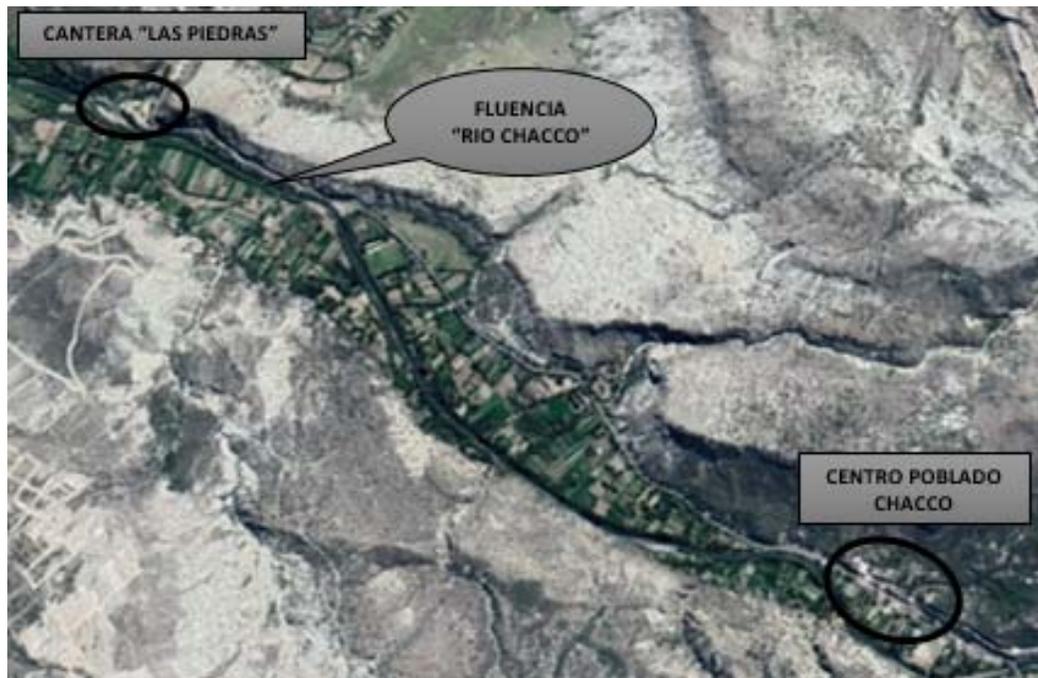


Figura 4: Planta de producción de agregados “Las Piedras”



1.2.2. TEMPORAL

Esta investigación se desarrolló en un periodo de un año y cuatro meses, comprendido desde el mes de Julio del 2017 hasta Noviembre del 2018.

1.2.3. TEMÁTICA Y UNIDAD DE ANALISIS

La realización de esta Investigación propone plasmar ensayos donde el Concreto Autocompactante sea una alternativa de uso para la disminución de vacíos en los concretos.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.3.1. PROBLEMA GENERAL

¿De qué forma el empleo del CAC disminuirá los espacios vacíos en el concreto fresco sin la necesidad de vibración al concreto?

1.3.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿De qué forma influye el aditivo superplastificante en la trabajabilidad del concreto?
- ¿Con una proporción óptima de CAC se podrá obtener una mezcla de concreto, con características autocompactables?
- ¿Con la determinación de las propiedades físicas, mecánicas de la mezcla CAC - óptimo, se mejorará la resistencia mecánica a la compresión?
- ¿Con el CAC - óptimo, disminuye el costo de preparación de una mezcla de concreto?

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

En los últimos años la tecnología del concreto ha evolucionado en gran medida debido a la aparición de nuevos aditivos que brindan al mercado soluciones a distintos requerimientos y que ofrecen innovadoras alternativas para mejorar procesos constructivos. La característica de la mezcla de concreto autocompactante (CAC) es su capacidad para llenar completamente y sin segregación la forma del encofrado y lograr consolidarse sin la necesidad de aplicar energía de vibración. En esta investigación se analiza previamente los diferentes procedimientos de diseño de mezclas y los equipos existentes para evaluar mezclas de concreto autocompactante.

El CAC se presta como una solución a problemas de colocación de concreto, por su capacidad de acomodo sin segregación. Esta tecnología puede mejorar ampliamente los

sistemas de construcción basados en concreto convencional que requieren necesariamente compactación por vibrado.

En la presente investigación se propone una metodología secuencial de diseño que comprende desde la combinación óptima de los agregados, la cantidad de agua necesaria y obtención de la dosis óptima de aditivo para saturar la pasta de concreto, el control de las mezclas de concreto con ensayos que miden las diferentes propiedades básicas del CAC.

De tal forma, surge la necesidad de su estudio en nuestra Región, para sustentar con aplicaciones experimentales en el entorno nacional, la factibilidad de su implementación; es decir, no es solo importante la demanda y excelente funcionalidad que este CAC tenga en otros países, sino también la observación de las prestaciones técnicas que tenga utilizando por lo menos un banco de material de nuestro país, lo que demanda inicialmente la propuesta de un diseño de mezcla que permita comprobar sus beneficios técnicos.

Además, ayudaría a definir los aspectos positivos de su implementación, estudiar las ventajas comparativas que el CAC pueda generar en nuestro entorno, con las habituales condiciones y técnicas constructivas en el ámbito nacional, así como las ventajas reales que su empleo conlleva, para las empresas que lo pudieran utilizar.

Los resultados obtenidos permiten plantear un criterio efectivo de evaluación y control de los requisitos de auto consolidación de las mezclas.

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

- En la ciudad de Ayacucho se tiene un desconocimiento técnico para el buen uso de aditivos y en especial el uso del superplastificante para la elaboración del CAC, es por ello que no se cuentan con los equipos necesarios para poder realizar todos los ensayos

que correspondan para un buen estudio del CAC. Sin embargo esto no resta la importancia a la investigación, ya que es posible satisfacer los requerimientos básicos.

- El aditivo usado para la presente investigación es un superplastificante denominada Sika Viscocrete – 3330, perteneciente a la empresa Sika Perú, éste; en la ciudad de Ayacucho no cuenta con una cede para su distribución, es por ello que este material solo se puede conseguir a través de un pedido directamente con la Empresa desde la ciudad de Lima.
- La información que se tiene sobre CAC es escasa y la mayoría de ellas es de carácter empírico, es por tal motivo que es un tema en desarrollo y extenso, dando lugar a futuras investigaciones.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVOS GENERALES

Disminuir los espacios vacíos en el concreto fresco sin la necesidad de vibración al elaborar el diseño óptimo del CAC para su uso en la Ciudad de Ayacucho.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la influencia del uso del aditivo superplastificante en la trabajabilidad del CAC óptimo.
- Diseñar mezcla de prueba y determinar las proporciones óptimas para obtener una mezcla de concreto, con características autocompactables, haciendo uso del aditivo superplastificante.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del CAC óptimo, a través de ensayos de laboratorio, así mejorar la resistencia mecánica a la compresión en estado endurecido.
- Determinar la factibilidad técnica económica del CAC para su implementación en nuestra región.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

Con los avances mundiales en las investigaciones sobre materiales de construcción, a finales de la década de los ochenta, en la Universidad de Tokyo (Japón), se desarrolló un tipo de concreto, llamado Concreto Autocompactable (CAC) por el profesor Okamura. Existen muchas definiciones sobre el material, pero la más difundida expresa que se trata de un concreto de muy alta fluidez que puede ser colocado por su propio peso y es capaz de llenar los encofrados sin vibración, logrando buena consolidación sin que se produzca exudación ni segregación. (OKAMURA, H., & OUCHI, M, 2003)

La necesidad de la creación de un concreto que no dependiera de la habilidad de la mano de obra en la vibración para asegurar la calidad de las estructuras de concreto armado y por tanto, su durabilidad a largo plazo, tuvo auge a en la década 1980 debido a que una marcada disminución de trabajadores experimentados de la industria de la construcción redujo de manera similar la calidad de las obras construidas. El primer prototipo del CAC fue completado en 1988 usando materiales que ya estaban disponibles en el mercado. (OKAMURA, 1997)

El interés del CAC, crece de tal manera que en la reunión anual del Instituto del Concreto en Japón para el año de 1992, se abordó el tema del CAC, motivando la asistencia de más de treinta representantes del sector empresarial y universitario, entre otros. De continuar así se perfila que a muy corto plazo, el empleo de esta nueva tecnología llegue a convertirse en el futuro, en un concreto estándar más que en un concreto especial. (EFNARC, 2002)

Actualmente en el país el concreto es el material más utilizado en la mayoría de obras de infraestructura liviana y pesada, por lo que los estudios orientados a la optimización de los procesos constructivos, siempre han sido de gran interés, para el gremio de la construcción.

Las primeras investigaciones buscaban concretos que no dependieran de la habilidad de la mano de obra en la vibración para asegurar la calidad de las estructuras de concreto armado y por lo tanto, su durabilidad a largo plazo. En contraste con la tecnología actual, que requiere de operaciones entrenados que realicen la adecuada labor de vibración, para lograr una distribución homogénea del concreto.

Si bien no se puede hablar en la actualidad de una utilización sistemática de estos concretos, si existen referencias de aplicaciones pioneras de las mismas, posea especial relevancia la aplicación en los bloques de anclaje del puente colgante Akashi, Kaikyō; de 2km de luz, con un volumen de 250,000 m³ de CAC en cada bloque; El túnel de Yokohama, una zona densamente armada, el volumen de CAC fue de 40 m³ (1); el Restaurante giratorio en Lucerna, Suiza; fue una construcción en el primer nivel de un edificio existente, cimentado sobre pilotes; las habitaciones modulares para hoteles (Estados Unidos); sistema constructivo complejo, donde el vibrado producía un concreto pobremente compactado y con grandes vacíos. (SIKA, s.f.)

Al finalizar el trabajo se concluye que, para alcanzar las condiciones óptimas del CAC se redujo la cantidad de agua en un 27% dando una relación de a/c de 0.41, confirmando los

resultados que se obtuvieron en otros trabajos de investigación. Además se confirmó que se tienen que tener un control adecuado en el empleo del aditivo en conjunto con los materiales que forman el concreto, ya que este puede presentar segregación en la pasta, por tanto se sugiere controlar el proceso y curar la muestra después de las 24 horas de acuerdo a la norma ASTM C 192. Así se pudo afirmar que los materiales producidos en las Canteras “Chacco y Cachi” son aptos para elaborar este tipo de Concreto Autocompactante desde el punto de vista de la calidad, cumpliendo a su vez con las exigencias de las Normativas del Estado.

2.1.1. INVESTIGACIONES INTERNACIONALES

Suecia, inicialmente el CAC se desarrolló en estructuras sofisticadas, implementados actualmente en la construcción de viviendas. También se ha utilizado en puentes, recubrimientos de túneles y en reparaciones.

Francia, realizó en 1995, sus primeros experimentos de CAC en laboratorios del sector público. Posteriormente en 1997-1998 propietarios, contratistas, fabricantes de aditivos y concreto prefabricado comenzaron a mostrar interés en el nuevo tipo de concreto. Desde entonces se ha utilizado en un gran número de obras.

España, el CAC ha sido utilizado en el puente de barrio de las fuentes en Zaragoza, los muros de la cuarta plaza del Ayuntamiento de Mollet del Valles (Barcelona) y diversos túneles del tramo del AVE en Monblanc, entre otras.

México, la aplicación del CAC ha sido utilizada principalmente en la construcción de viviendas monolíticas, con ayuda de las empresas productoras de concreto.

Chile, ha utilizado hasta la fecha el CAC en elementos prefabricados, muros, fundaciones, lozas, vigas y columnas; en viviendas, edificios, túneles, puentes, entre otros.

Países como, Argentina, Colombia, Canadá y entre otros, han iniciado gradualmente la implementación del CAC en sus obras, después de un periodo de Investigación, que continua hasta la fecha.

(CHUTÁN, 2004). Guatemala; en la tesis “Concreto autocompactado experimentación en Guatemala”. El presente trabajo de graduación consta de una investigación bibliográfica en la cual se presenta la historia del concreto autocompactado hasta la descripción de los ensayos que se le practica en estado fresco, ya que para este concreto no se puede usar el asentamiento del cono.

Las normas que se respetan para el concreto autocompactado son las que se aplican al concreto de alta resistencia, ya que a esta familia pertenece.

En la parte práctica, se caracterizaron los agregados a usar, luego se presentan tres diseños de mezclas hechos con materiales de distinta procedencia de Guatemala, a los cuales se les practicó ensayos en estado plástico, además, de pruebas a compresión a distintas edades, con lo que se comprueba su resistencia.

El concreto autocompactado es el más adecuado para aplicar en estructuras intrincadas y muy reforzadas, debido a su elevada fluidez y consolidación, además de no perder la resistencia requerida.

(VILANOVA, 2009). España; en la tesis “Influencia de la dosificación y empleo de diferentes tipos de cemento y adiciones en las propiedades mecánicas del hormigón Autocompactante”. El presente trabajo de investigación tiene como finalidad estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas del hormigón Autocompactante, tanto

de manera general como en función de los tipos de cemento y de las adiciones utilizadas en sus dosificaciones. Por otro lado, estudiar también la aplicabilidad en el hormigón Autocompactante de los actuales modelos de cálculo con las que se miden esas propiedades mecánicas en el hormigón convencional.

Las propiedades mecánicas estudiadas en el hormigón Autocompactante en el presente trabajo fueron la resistencia a compresión, el módulo de deformación, la resistencia a tracción y la resistencia a flexotracción. Los tipos de cemento escogidos para llevar a cabo el estudio fueron los cementos tipo I, II y III, de manera general y los tipos I y II de manera específica, mientras que las adiciones minerales consideradas fueron, el humo de sílice, las cenizas volantes, el filler calizo y las escorias de alto horno.

(CREMADES, 2011). España; con su tesis “Estudio de la robustez en el hormigón autocompactante con bajo contenido de finos”. El hormigón autocompactante, es un concepto nuevo, donde el material, métodos de diseño de la mezcla y control del hormigón fresco difieren del hormigón tradicional. En los últimos años se han realizado investigaciones para el desarrollo del hormigón autocompactante, con la finalidad de encontrar una nueva forma de ver el hormigón que puede revolucionar el mundo de la construcción en cuanto a la mejora de la calidad de la obra y de las condiciones de trabajo. Lo que se pretende con el hormigón autocompactante es obtener un hormigón, que sin necesidad de vibración o de cualquier otro método de compactación, sea capaz de rellenar todos los rincones del encofrado pasando a través de las armaduras sin que se produzca segregación del árido grueso. Este hormigón debe ir acompañado de una correcta dosificación que debe tener en cuenta las características particulares del material a preparar, el tipo de elemento para el cual se va a utilizar y los métodos de control propios del HAC. El primer ejemplo se desarrolló en Japón en 1986, por el profesor Hajima Okamura del Department of Civil Engineering University of Tokio,

empleando escoria granulada de alto horno y cenizas volantes junto con un plastificante o aditivo químico, cuyos objetivos principales se perfilaron para sus dos estados:

En el estado fresco, una autocompactación que resistiera a la segregación. A edad temprana, evitar la formación de fisuras, generadas por la generación del calor que proviene de la hidratación del cemento, el endurecimiento o la retracción por secado.

En el estado endurecido, debía brindar una protección contra factores agresivos externos, es decir, presentar una permeabilidad muy baja y ser resistente a las heladas.

2.1.2. INVESTIGACIONES NACIONALES

En el Perú, el uso del Aditivo Superplastificante como material para la elaboración del Concreto Autocompactante se ve limitada, llegó entre el 2005 y 2006.

(SÁNCHEZ, 2014). Cajamarca; en la tesis “Efecto del Aditivo Superplastificante Sika Viscocrete en la Resistencia Mecánica del Concreto Autocompactante”. Analiza el comportamiento del concreto autocompactante de resistencia media, como una alternativa para mejorar la insuficiente trabajabilidad del concreto convencional y para su posible aplicación en edificación e incluso en obras civiles en general. Dentro de dicha Investigación se analiza la variación del comportamiento del concreto autocompactante en función al porcentaje de aditivo superplastificante utilizado. Llegando a los resultados obtenidos, siendo el porcentaje óptimo de aditivo 1% en peso del cemento, la cual produce un incremento de resistencia a la compresión en más de 10%.

(PACCOSONCCO, 2013). Arequipa; en la tesis “Diseño de Concreto Autocompactante con agregado angular y sub – redondeado utilizando Aditivos de las marcas Chema, Sika y Euco”. En la presente Investigación se logró obtener un concreto

autocompactante con la utilización del agregado angular y sub redondeado, cumpliendo este con todas las características y propiedades requeridas a partir de diseños de mezcla de concreto convencional con la incorporación del Superplastificante. Siendo los resultados que las resistencias a compresión en todas las edades, de un concreto autocompactante fueron muy superiores a la de un concreto convencional (concreto patrón), tanto como para el uso del agregado grueso angular y el sub redondeado.

En la ciudad de Lima se construyó el Edificio Capital, ubicada en San Isidro, este proyecto se realizó con un concreto Autocompactante con resistencia de hasta 800 kg/cm², con 24 pisos que constituyen 92 metros de altura; es la obra más grande hecha en el Perú con este sistema, fue construido entre los años 2008 y 2009. (INGENIERIA & CONSTRUCCION, 2012)

(MOLINA, C. y SALDAÑA, S., 2014). Trujillo; en la tesis “Influencia del aditivo hiperplastificante plastol 200 ext en las propiedades del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido”. Tiene como objetivo fundamental determinar la influencia del aditivo Hiperplastificante a base de policarboxilatos en el concreto Autocompactante con agregados locales y determinar la influencia del aditivo, en las propiedades del concreto autocompactante en estado Freso y endurecido.

Para lo cual, en primer lugar, realizarán los diseños de concreto, luego del cual se procederán a analizar la trabajabilidad de concreto autocompactante en estado fresco mediante los ensayos de Extensibilidad, embudo V, Anillo J, Caja En L y de estabilidad de tamiz a través de la malla GTM. Posteriormente se ejecutará el ensayo de rotura del CAC en estado endurecido. Con los resultados obtenidos de los ensayos de trabajabilidad y de rotura determinaremos cual es la influencia del aditivo en estudio.

(HUICHO, 2011). Lima; con su tesis “Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsilice y nanosilice con cemento portland tipo I”. La presente investigación estudia los concretos de alta resistencia preparados con microsilice (SIKA FUME), nanosilice y superplastificante (VISCOCRETE 20HE) usando cemento Portland tipo I, relaciones agua – cemento menores a 0.25, usando por primera vez agregado grueso HUSO 89. Los asentamientos obtenidos son del orden del 8 a 10 pulgadas y una extensibilidad entre 56 y 70 centímetros, considerándose concretos de alta resistencia y a la vez autocompactantes. El diseño se basa en el Peso Unitario Compactado Máximo de la combinación de los agregados y un bajo contenido de cemento (560 kg/m^3) La más alta resistencia a la compresión obtenida fue de 1423 kg/cm^2 a la edad de 90 días.

Se desarrolla un concreto Patrón (CPO) con relación agua- cemento igual 0.40 y se coparan sus propiedades con cada una de las mezclas diseñadas. A la mezcla patrón se le adicionó 3% de aditivo superplastificante (CPA), luego 10,15,20% de microsilice en peso del cemento SF10, SF15 Y SF20 respectivamente, se usó nanosilice en dosis de 1.0, 1.5 y 2.0% en peso del cemento NS1.0, NS 1.5 Y NS2.0 respectivamente; también se usó microsilice y nanosilice. Se presentan también el diseño de los diferentes tipos de mezcla y la determinación de sus propiedades al estado fresco y endurecido, así como también un análisis de resultados. Finalmente se realiza un análisis de costos de estos tipos de concretos que incluyen los insumos.

2.2. BASES TEÓRICAS

- ✓ Según (NEVILLE, A. y BROOKS, J., 2010), el diseño de la mezcla puede definirse como el proceso de selección de los ingredientes adecuados del concreto, para determinar sus cantidades relativas con el propósito de producir un concreto económico, con ciertas propiedades mínimas, notable manejabilidad, resistencia y durabilidad.
- ✓ Según (CUEVA, R. y EUSTAQUIO, W., 2012), el “Concreto Autocompactante (CAC)” es aquel concreto capaz de fluir en el interior del encofrado o molde llenándolo de forma natural, pasando entre las barras de armadura y consolidándose únicamente bajo la acción de su peso propio, sin la ayuda de ningún medio de compactación o vibración y sin que se produzca segregación de alguno de sus componentes.
- ✓ Según (OKAMURA, H., MAEKAWA, K. & MISHIMA T., 2000), establecieron que el concreto autocompactante de alto rendimiento deben cumplir con tres requisitos que se explican a continuación:
 - El concreto debe fluir libremente por cada rincón del encofrado sin uso de vibración.
 - Efectos derivados de la generación de calor, endurecimiento o retracción por secado deben ser mínimos.
 - La permeabilidad del concreto frente a la penetración del oxígeno, cloruros y agua debe ser mínima, lo cual obliga al uso de contenidos bajos de materiales cementicios y relaciones agua/cemento bajas.
- ✓ Según (CARRILLO, J., ALCOCER, S. y APEDADOR, W., 2013), el concreto autocompactante mejora el acabado de los terminados aparentes y reduce los costos asociados a su compactación en el llenado de los moldes y/o encofrados ya que no

requieren mano de obra excesiva ni vibraciones mecánicas como pequeños golpes para compactar el concreto.

- ✓ Según (AMBROSIE, J., PERA, J., 2001), el concreto autocompactante posee propiedades específicas que deben lograrse mediante el uso de aditivos tales como reductores de agua de alto rango, para reducir la relación agua/materiales cementantes garantizando al mismo tiempo la fluidez de la mezcla, además de algún aditivo que garantice la viscosidad de la mezcla para reducir o eliminar por completo la segregación y el sangrado.

2.2.1. APLICACIONES

El CAC puede utilizarse en secciones prefabricadas, en obra civil y edificación, permitiendo ejecutar estructuras esbeltas de concreto que es muy difícil obtener con la tecnología del concreto convencional.

El CAC puede mejorar los sistemas constructivos actuales, basados en actividades convencionales como el proceso de compactación, esta actividad puede ser causa de segregación y un obstáculo para la realización del trabajo constructivo. Si este requisito es minimizado, la construcción puede ser racionalizada y nuevos sistemas de construcción pueden ser desarrollados incluyendo encofrados, refuerzos, soportes, diseños estructurales, entre otros. (OKAMURA, H., & OUCHI, M, 2003).

El CAC puede ser en general aplicado en formas complejas donde es difícil obtener la fluidez y consolidación adecuadas para el concreto. Como por ejemplo en puentes, túneles, presas, productos de concreto tales como bloques, tuberías de drenaje, paredes, tanques de agua, bóvedas, columnas, etc.

2.2.2. VENTAJAS

Las ventajas del concreto autocompactante:

- Reduce el tiempo de colocación del concreto.
- Reducción de la mano de obra y equipos necesarios para la puesta en obra.
- Mejora la compactación alrededor de refuerzo y adherencia con el refuerzo.
- Mejora el acabado superficial de las estructuras.
- Se elimina el resanado de las superficies.
- Mayor facilidad de colocación en estructuras complejas o densamente armadas.
- Mejora la durabilidad de la estructura por no dejar espacios vacíos.
- Mayor resistencia a la compresión con igual contenido de cemento.
- Mayor libertad y posibilidades en el diseño arquitectónico y estructural.
- Fluye en secciones de concreto más reducidas sin que sus componentes se segreguen.
- Reducción del ruido por la usencia de vibradores.
- Reduce los riesgos de salud laboral.

2.2.3. DESVENTAJAS

Las desventajas del concreto autocompactante:

- Estricto control en la dosificación, ya que puede conllevar al concreto a la segregación y exudación.
- Juntas frías posibles si se descuida la continuidad en el vertido del concreto.

2.2.4. MARCO LEGAL

En la actualidad la Norma Técnica Peruana, publicó cuatro normas sobre concreto autocompactante:

- **NTP 339.218:2008** (revisada el 2018) Hormigón (Concreto). Método de ensayo normalizado para la segregación estática del hormigón (concreto) autocompactante. Ensayo de columna. 1a Edición.
- **NTP 339.219:2008** (revisada el 2018) Hormigón (Concreto). Método de ensayo normalizado para determinar la fluidez de asentamiento del concreto autocompactado. 1a Edición.
- **NTP 339.220:2008** (revisada el 2018) Hormigón (Concreto). Método de ensayo normalizado para determinar la habilidad de paso del concreto autocompactado por el anillo J. 1a Edición.
- **NTP 339.218:2011** (revisada el 2016) Hormigón (Concreto). Método de ensayo normalizado para la evaluación rápida de la resistencia a la segregación estática del concreto autocompactante utilizando el ensayo de penetración estándar. 1a Edición.

Para la evaluación y caracterización del concreto autocompactante la NTP es insuficiente, es por ello que se tiene que recurrir a normas Europeas como:

La Instrucción Española de Hormigón Estructural (EHE-08), en su Anexo 17, nos recomienda sobre la utilización del Hormigón Autocompactante.

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) publicó las cuatro normas UNE (Una Norma Española) existentes de ensayos para la caracterización del comportamiento en estado fresco del concreto autocompactante y que son las siguientes:

- **UNE-EN 12350-8:2011.** Ensayos de hormigón fresco. Parte 8. Hormigón autocompactante. Ensayo de escurrimiento.
- **UNE-EN 12350-9:2011.** Ensayos de hormigón fresco. Parte 9. Hormigón autocompactante. Ensayo del embudo en V.
- **UNE-EN 12350-10:2011.** Ensayos de hormigón fresco. Parte 10. Hormigón autocompactante. Método de la caja L.
- **UNE-EN 12350-11:2011.** Ensayos de hormigón fresco. Parte 11. Ensayo de segregación por tamiz.
- **UNE-EN 12350-12:2011.** Ensayo de hormigón fresco. Parte 12. Hormigón autocompactante. Ensayo con el anillo japonés.
- **UNE 83361:2007.** Hormigón autocompactante. Caracterización de la fluidez. Ensayo de escurrimiento.

Además existen diversas publicaciones que se hicieron y que hoy en día sirven de guía para una buena elaboración de CAC, entre ellas tenemos:

- Self-Consolidating Concrete. American Concrete Institute (ACI) 237R-07. (ACI 2007).
- Guía Práctica para la Utilización del Hormigón Autocompactante. Instituto Español de Cementos y sus Aplicaciones (IECA).
- Especificaciones y Directrices para Hormigón Autocompactable. Federación Europea dedicada a sistemas específicos de hormigón y productos químicos especializados para la construcción (EFNARC).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. CONCRETO

El concreto es un material heterogéneo el cual está compuesto principalmente por la combinación de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso. El concreto contiene un pequeño volumen de aire atrapado y puede contener también aire intencionalmente incorporado mediante el empleo de un aditivo. (RIVVA, 2015)

2.3.2. CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

Es el resultado de una tecnología que permite por primera vez que una propiedad del concreto en estado fresco pueda garantizar la correcta compactación y consolidación del concreto directamente en el elemento estructural. Esta propiedad es su capacidad de autocompactación. De esta forma se logran conectar las propiedades del concreto en estado fresco con el desempeño del elemento de concreto en estado endurecido debido a la homogeneidad en el comportamiento mecánico y durabilidad del concreto colocado en la estructura. El concreto autocompactante, se puede definir como: aquel que tiene la propiedad de consolidarse bajo su propio peso sin necesidad de vibrado, aún en elementos estrechos y densamente armados. Este concreto pertenece a la familia de los concretos de alto desempeño y tiene la propiedad de fluir sin segregación autocompactándose por sí solo, asegurando así la continuidad del concreto endurecido. (CHUTÁN, 2004).

2.3.3. COMPONENTES DEL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

2.3.3.1. CEMENTO

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. (RIVVA, Materiales para el Concreto, 2014)

Para un concreto autocompactante al igual que un concreto convencional se puede utilizar cualquier tipo de cemento. Todo dependerá del uso que se le va a dar, la disponibilidad en el mercado, su finura a emplearse, y la calidad del concreto que se desee, entendiéndose esto último como durabilidad, resistencia, etc. (ALVAREZ, 2014), por lo tanto deberá cumplir con la Norma Técnica Peruana NTP 334.009 o la Norma Técnica Americana ASTM C150.

Para la presente investigación usaremos el Cemento Portland Tipo I proveniente de la fábrica de Cementos Andino S.A., la cual cumple con las normas y es la más usada en la ciudad de Ayacucho.

2.3.3.1.1. PROPIEDADES DEL CEMENTO

- **Finura:** La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Cumple con la norma ASTM C325, C430.
- **Consistencia:** La consistencia se refiere a la movilidad relativa de una pasta de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de fluir, cumple con la norma ASTM C230.

- **Fraguado:** El fraguado como el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto (o mortero de cemento). La velocidad de fraguado viene limitado por las normas estableciendo un periodo de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual debe producirse el principio y fin del fraguado. Cumple con la norma ASTM C150.
- **Resistencia a la compresión:** En términos generales, la resistencia mecánica, que potencialmente puede desarrollar el concreto, depende de la resistencia individual de los agregados, la pasta de cemento endurecida y la cantidad de vacíos que este posee por la adherencia que se produce en ambos materiales.

La resistencia es medida a los 7, 14, 21 y 28 días, teniendo estas que cumplir los valores mínimos. Para determinar la resistencia a la compresión se realiza un ensayo de compresión de acuerdo a la norma NTP 339.034.

2.3.3.1.2. CEMENTO PORTLAND

Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.009, el cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del Clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir:

$$\text{Cemento Portland} = \text{Clinker Portland} + \text{Yeso}$$

El cemento Portland es un polvo muy fino de color verdoso, que al mezclarlo con agua forma una masa (pasta) muy plástica y moldeable que luego de fraguar y endurecer, adquiere gran resistencia y durabilidad.

2.3.3.1.3. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO

Durante la calcinación en la fabricación del Clinker, el óxido de calcio se combina con los componentes ácidos de la materia prima para formar cuatro componentes cementantes que constituyen el 90% al 95% del peso del cemento, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 1: Composición química del cemento

COMPUESTO	FÓRMULA DEL ÓXIDO	NOTACIÓN	NOMBRE COMÚN
Silicato tricálcico	3CaO SiO_2	C_3S	Alita
Silicato dicálcico	2CaO SiO_2	C_2S	Belita
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	C_3A	Aluminato
Alumino ferrito tetracálcico	$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{FeO}_3$	C_4AF	Ferrita

- **Silicato tricálcico (C3S)**, se hidrata y endurece rápidamente y es responsable en gran medida del fraguado inicial y de la resistencia temprana.
- **Silicato dicálcico (C2S)**, se hidrata y endurece lentamente y contribuye en gran parte al incremento de resistencia a edades mayores de una semana.
- **Aluminato tricálcico (C3A)**, libera una gran cantidad de calor en los primeros días de hidratación y endurecimiento. También contribuye al desarrollo de la resistencia temprana; el yeso que se agrega al cemento durante la molienda final, retrasa la velocidad de hidratación del C3A. Sin el yeso un cemento que contuviera C3A fraguaría rápidamente, los cementos con bajos porcentajes de C3A son particularmente resistentes a los suelos y agua que contienen sulfatos.

- El **aluminoferrito tetracálcico (C4AF)**, reduce la temperatura de formación del Clinker, ayudando por tanto a la manufactura del cemento.

2.3.3.1.4. TIPOS DE CEMENTO

La totalidad de los cementos empleados en el Perú son cementos portland tal como los especifica la Norma ASTM C150.

De acuerdo a lo recomendado en la Norma ASTM C150, los cinco tipos de cemento portland normal que pueden ser clasificados como estándar y cuya fabricación esta normada por requisitos específicos son: ⁽²⁸⁾

- **Tipo I:** De uso general que no requiera propiedades especiales.
- **Tipo II:** De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Especialmente adecuados para ser empleados en estructuras en ambientes agresivos.
- **Tipo III:** De desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Especiales para uso en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras o para usos en climas fríos.
- **Tipo IV:** De bajo calor de hidratación, recomendables para concretos masivos.
- **Tipo V:** Recomendables para ambientes muy agresivos por su alta resistencia a los sulfatos.

2.3.3.1.5. CEMENTO ANDINO PORTLAND TIPO I

Descripción; Es un Cemento Portland Tipo I, obtenido de la molienda Clinker Tipo I y yeso.

Beneficios;

- Alta resistencia a mediano y largo plazo, alta durabilidad.
- Excelente trabajabilidad y acabado.
- Bajo contenido de álcalis. Buena resistencia a los agregados álcalis reactivos.
- Moderada resistencia al salitre.

Usos;

- Estructuras solidas de acabados perfectos.
- Construcciones en general de gran envergadura como, puentes, estructuras industriales y conjuntos habitacionales.

Características Técnicas; cumple con la Norma Técnica Peruana NTP-334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C150. (UNACEM)

2.3.3.2. AGREGADOS

La Norma (NTP 400.011) define a los agregados como un conjunto de partículas pétreas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.037.

Al igual que para el uso de cemento, los agregados usados para la fabricación de un concreto autocompactante son los mismos que se utilizan para elaborar el concreto convencional.

Una de las características del concreto autocompactante es que por lo general, el contenido de agregado grueso es menor o similar que el del agregado fino. Siendo la relación árido fino/totalidad de áridos, de gran importancia en el hormigón

autocompactante ya que sus propiedades reológicas mejoran al incrementarse esa relación. Por otro lado, si el contenido de árido grueso en el hormigón autocompactante excede de cierto límite, la mezcla se bloqueará independientemente de la viscosidad de ella. (OKAMURA, H., & OUCHI, M, 2003)

2.3.3.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

Los agregados, convencionalmente se clasifican según su tamaño entre partículas mayores y menores de 4.75mm (Tamiz N° 4), estas pueden ser agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena):

(A) AGREGADO FINO

La Norma NTP 400.011 define al agregado fino como, un agregado artificial de rocas o piedras provenientes de la disgregación natural o artificial, que pasa el 100% del tamiz normalizado 9.5mm (Tamiz 3/8") y que cumple con los límites establecidos en las normas ASTM C33 y NTP 400.037.

Para el uso del agregado fino en la elaboración del CAC, debe de cumplir con las especificaciones que exige el concreto convencional, las cuales deben estar compuestos por partículas limpias, libre de polvo, materia orgánica, sales y otras sustancias dañinas para el concreto.

Para el CAC el contenido de arenas representa las partículas de tamaño entre 0.074 mm (tamiz N° 200) y 4.75 mm (tamiz N° 4), siendo el contenido óptimo del agregado fino de 40 % a 50 % en función de las propiedades de la pasta.

La cantidad de partículas inferiores a 0.150 mm (malla N° 100) se consideran como finos y es muy importante para la reología, debe alcanzarse una cantidad mínima de finos procedente de los aglomerantes y la arena para evitar la segregación. (EFNARC, 2002)

Se debe tener un cuidado estricto en el control del contenido de humedad del agregado fino para producir un CAC de calidad constante.

(B) AGREGADO GRUESO

La Norma NTP 400.011 define al agregado grueso como, el agregado que es retenido el 100% en el tamiz normalizado 4.75mm (Tamiz N° 4) y que cumple los límites establecidos en las normas ASTM C33 y NTP 400.037.

La única especificación en particular que requiere el concreto autocompactante (CAC) en comparación con el convencional es la limitación del árido grueso para conseguir una mezcla más uniforme y evitar problemas de bloqueo en el paso de la masa en estado fresco entre las armaduras. (SÁNCHEZ, 2014)

El tamaño máximo normal suele ser de 16-20 mm; sin embargo, se han empleado tamaños de partícula de hasta 40 mm en CAC. La consistencia en la granulometría es de vital importancia.

En cuanto a las características de los distintos tipos de áridos, los áridos triturados tienden a mejorar la resistencia gracias al enclavamiento de las partículas angulares, mientras que los áridos redondeados mejoran el flujo debido a su menor fricción interna.

Las mezclas de áridos de granulometría discontinua suelen ser mejores que las de granulometría continua, que pueden experimentar una mayor fricción interna y producir una reducción del flujo. (EFNARC, 2002)

2.3.3.2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Las propiedades físicas de mayor importancia son la de peso específico, peso unitario, humedad, porosidad y la distribución volumétrica de las partículas, que se acostumbra denominar granulometría o gradación.

Asociadas a estas características se encuentran una serie de ensayos o pruebas standard que miden estas propiedades para compararlas con valores de referencia establecidos o para emplearlas en el diseño de mezclas.

Es importante para evaluar estos requerimientos el tener claros los conceptos relativos a las siguientes características físicas de los agregados y sus expresiones numéricas: (PASQUEL, 1998)

(A) GRANULOMETRIA (ASTM C33 y NTP 400.037)

Se define como granulometría de un agregado a la distribución por tamaños de las partículas del mismo, la que se logra por separación mediante el empleo de tamices de aberturas determinadas. La granulometría seleccionada para el agregado deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla. (RIVVA, Materiales para el Concreto, 2014)

Figura 5: Límites de granulometría

(STEVEN, K., KERKHOFF, B., PANARESE, W. y TANESI, J., 2004)

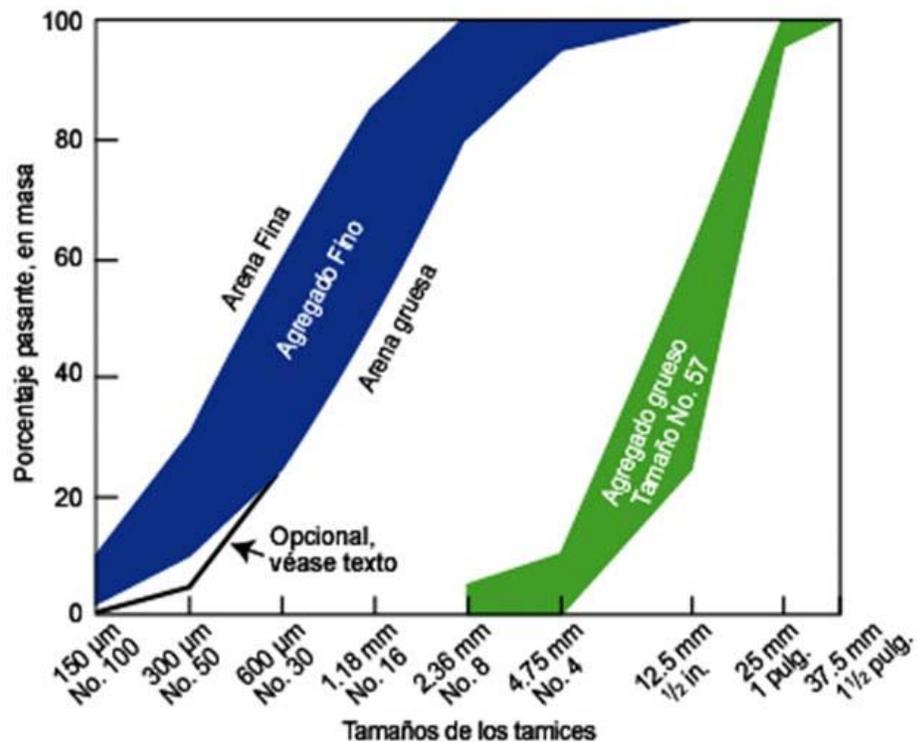


Tabla 2: Tamices Standard ASTM

(PASQUEL, 1998)

DENOMINACIÓN DEL TAMIZ	APERTURA EN PULGADAS	ABERTURA EN MILIMETROS
3"	3.0000	75.0000
1 1/2"	1.5000	37.5000
3/4"	0.7500	19.0000
3/8"	0.3750	9.5000
N° 4	0.1870	4.7500
N° 8	0.0937	2.3600
N° 16	0.0469	1.1800
N° 30	0.0234	0.5900
N° 50	0.0117	0.2950
N° 100	0.0059	0.1475
N° 200	0.0029	0.0737

✓ **Granulometría para el Agregado Fino:**

La composición granulométrica de la arena suele identificarse por su módulo de finura (MF).

En relación con su granulometría, el agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33. (RIVVA, Materiales para el Concreto, 2014)

Tabla 3: Análisis granulométrico para agregado fino

(RIVVA, Materiales para el Concreto, 2014)

Tamiz	% que pasa
3/8" (9.50mm)	100.0000
N° 4 (4.75mm)	95 - 100
N° 8 (2.36mm)	80 - 100
N° 16 (1.18mm)	50 - 85
N° 30 (600µm)	25 - 60
N° 50 (300µm)	10 - 30
N° 100 (150µm)	02 - 10

Adicionalmente en relación con su granulometría, el agregado fino deberá: (RIVVA, Materiales para el Concreto, 2014)

- Contener suficiente cantidad de material que pasa la malla N° 50 a fin de obtener en el concreto adecuada trabajabilidad, ello especialmente en mezclas con pastas pobres.
- Tener un máximo de 3% a 5% de material que pasa la malla N° 200.

Otros requisitos de la ASTM C33 son: (STEVEN, K., KERKHOFF, B., PANARESE, W. y TANESI, J., 2004)

- El agregado fino no debe contener más del 45% de material retenido entre dos tamices normalizados consecutivos.

- El módulo de finura debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1, y no debe variar más que 0.2 del valor típico de la fuente del agregado.

✓ **Granulometría para el Agregado Grueso:**

La granulometría seleccionada deberá preferentemente ser continua y permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla.

En relación a su granulometría el agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites indicados en las normas NTP 400.037 o ASTM C33.

(RIVVA, Materiales para el Concreto, 2014)

Del análisis granulométrico del agregado grueso se desprende dos conceptos necesarios: (PASQUEL, 1998)

- **Tamaño máximo;** es el menor tamiz por el que pasa todo el agregado tamizado.
- **Tamaño máximo nominal;** es el que corresponde al menor tamiz que produce el primer retenido.

Tabla 4: Límites granulométricos para agregado grueso según las Normas NTP 400.037 y ASTM C33

(RIVVA, Materiales para el Concreto, 2014)

HUSO	Tamaño Maximo Nominal		Requisitos Granulométricos del Agregado Grueso Porcentaje que pasa por Tamices Normalizados													
			100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	300 mm
			4 pulg.	3 ½ pulg.	3 pulg.	2 ½ pulg.	2 pulg.	1 ½ pulg.	1 pulg.	¾ pulg.	½ pulg.	¾ pulg.	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 50
1	90 mm a 37.5 mm	3 ½ pulg. a 1 ½ pulg.	100	90 a 100	----	25 a 60	----	0 a 15	----	0 a 15	----	----	----	----	----	----
2	63 mm a 37.5 mm	3 ½ pulg. a 1 ½ pulg.	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----	----
3	50 mm a 25.0 mm	2 pulg. a 1 pulg.	----	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 15	----	----	----	----	----
357	50 mm a 4.75 mm	2 pulg. a Nº 4	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	----	0 a 5	----	----	----
4	37.5 mm a 19.0 mm	1 ½ pulg. a ¼ pulg.	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	----	0 a 5	----	----	----	----
467	37.5 mm a 4.75 mm	1 ½ pulg. a Nº 4	----	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	0 a 5	----	----	----
5	25.0 mm a 9.5 mm	1 pulg. a ½ pulg.	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----	----
56	25.0 mm a 9.5 mm	1 pulg. a 3/8 pulg.	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----	----
57	25.0 mm a 4.75 mm	1 pulg. a Nº 4	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 10	0 a 5	----	----
6	19.0 mm a 9.5 mm	¾ pulg. a 3/8 pulg.	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	----	----	----
67	19.0 mm a 4.75 mm	¾ pulg. a Nº 4	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	----	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----
7	12.5 mm a 4.75 mm	½ pulg. a Nº 4	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	----	----
8	9.5 mm a 2.36 mm	3/8 pulg. a Nº 8	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	----
89	9.5 mm a 1.18 mm	3/8 pulg. a Nº 16	----	----	----	----	----	----	----	----	100	90 a 100	25 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	475 mm a 1.18 mm	Nº 4 a Nº 16	----	----	----	----	----	----	----	----	----	100	85 a 100	40 a 10	0 a 10	0 a 5

(B) MODULO DE FINEZA (ASTM C136 y NTP 400.012)

Se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie Standard hasta el Tamiz No 100 y esta cantidad se divide entre 100.

Debe tenerse muy en claro que es un criterio que se aplica tanto a la piedra como a la arena, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente o la mezcla de agregados en conjunto.

La base experimental que apoya al concepto de Módulo de Fineza es que granulometrías que tengan igual M.F. independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad y resistencia lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño y control de mezclas. (PASQUEL, 1998)

Según la Norma NTP 400.012, cuando se requiera calcular el módulo de fineza, se suman el porcentaje acumulado retenido de material de cada uno de los siguientes tamices (porcentaje acumulado retenido: N°30; N°16; N°8; N°4; 3/8"; 3/4"; 1 1/2"; 3" y 6") y se divide la suma entre 100.

- **Módulo de fineza para el Agregado Fino:**

Para el módulo de fineza del agregado fino se considera los tamices:

$$MF = \frac{\sum \%ret. acum. (3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

- **Módulo de fineza para el Agregado grueso:**

Para el módulo de fineza del agregado grueso se considera los tamices:

$$MF = \frac{\sum \%ret. acum. (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N^{\circ}4)}{100}$$

(C) PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (ASTM C127, ASTM C128, NTP 400.021 y NTP 400.022)

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen de las mismas sin considerar los vacíos entre ellas. Las normas ASTM C127 y ASTM C128 establecen el procedimiento estandarizado para su determinación en laboratorio, distinguiéndose tres maneras de expresarlo en función de las condiciones de saturación y estableciéndose las siguientes expresiones para la determinación en el laboratorio del peso específico. (PASQUEL, 1998)

✓ **Para el Agregado Fino:**

- **Peso específico de la muestra (Pem):**

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas); a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.

$$P_{em} = \frac{A}{B + S - C}$$

- **Peso específico de la muestra saturada con superficie seca (Pesss):**

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa de agua de los poros llenos hasta colmarse por sumersión en agua por 24 horas aproximadamente (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa en el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas.

$$P_{esss} = \frac{A}{B + S - C}$$

- **Peso específico aparente (Pea):**

Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.

$$Pea = \frac{A}{B + A - C}$$

- **Absorción:**

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia pues se refleja en el concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencia en las propiedades resistentes y en la trabajabilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones necesarias. ⁽²⁹⁾

$$\%Absorción = \frac{S - A}{A} * 100$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca en el horno (gr).

B: Peso del picnómetro lleno con agua (gr).

C: Peso del picnómetro con la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gr).

S: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr).

✓ **Para el Agregado Grueso:**

- **Peso específico de la muestra (Pem):**

$$Pem = \frac{A}{B - C}$$

- **Peso específico de la muestra saturada con superficie seca (Pesss):**

$$Pesss = \frac{B}{B - C}$$

- **Peso específico aparente:**

$$Pea = \frac{A}{A - C}$$

- **Absorción:**

$$\%Aborsición = \frac{S - A}{A} * 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca en el aire (gr).

B: Peso de la muestra saturada con superficialmente seca en el aire (gr).

C: Peso en el agua de la muestra saturada (gr).

(D) PESO UNITARIO (ASTM C29 y NTP 400.017)

Es el cociente de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas, está influenciado por la manera en que se acomodan estas, lo que lo convierte en un parámetro hasta cierto punto relativo.

La Norma ASTM C29, define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde

metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8" en 3 capas. El valor obtenido, es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezclas para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen. La expresión para calcular esta propiedad es la siguiente: (PASQUEL, 1998)

$$PU = \frac{A - B}{V}$$

Donde:

A: Peso del recipiente más agregado (kg).

B: Peso del recipiente (kg).

V: Volumen del recipiente (m³).

(E) PORCENTAJE DE VACIOS (ASTM C29 y NTP 400.017)

Es la medida del volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende también del acomodo entre partículas, por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. La misma norma ASTM C29 indicada anteriormente establece la fórmula para calcularlo, empleando los valores de peso específico y peso unitario estándar:

$$\% \text{ Vacios} = \frac{((P_{em} * D_a) - PU)}{P_{em} * D_a} * 100$$

Donde:

PU: Peso unitario del agregado (kg).

P_{em}: Peso específico del material.

D_a: Densidad del agua (kg/m³).

(F) CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM C566 y NTP 339.185)

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. (PASQUEL, 1998)

La expresión para calcular humedad de los agregados es la siguiente:

$$\%w = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

Ps: Peso de la muestra seca al horno (gr).

Ph: Peso de muestra húmeda (gr).

(G) ABRASIÓN LOS ANGELES (ASTM C131, ASTM C535, NTP 400.019 y NTP 400.020)

Se define la resistencia a la abrasión como la habilidad de una superficie de concreto a ser desgastada por roce y fricción.

En la mayoría de los casos, el desgaste por abrasión no ocasiona problemas estructurales, sin embargo puede traer consecuencias en el comportamiento bajo las condiciones de servicio o indirectamente propiciando el ataque de algún otro enemigo de la (agresión química, corrosión etc.) siendo este último más evidente en el caso de las estructuras hidráulicas. ⁽²⁹⁾

$$\%Desg. = \frac{P_o - P_f}{P_f} * 100$$

Donde:

P_o: Peso inicial de la muestra (gr).

P_f: Peso final de la muestra (gr).

2.3.3.3.AGUA

El agua empleada en la preparación y curado del concreto autocompactante deberá cumplir con la Norma Técnica Peruana NTP 339.088, las cuales cumplen con las especificaciones de un concreto convencional y deberá ser de preferencia potable.

(RIVVA, Tecnología del Concreto: Diseño de Mezclas, 2015)

El agua en el concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir en la trabajabilidad del conjunto.

El problema principal del agua de mezcla reside en las impurezas y la cantidad de estas, que ocasionan reacciones químicas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento.

Una regla empírica que sirve para estimar si determinada agua sirve o no para emplearse en la producción de concreto, consiste en establecer su habilidad para el consumo humano, ya que lo que no daña al hombre no daña al concreto.

(PASQUEL, 1998)

2.3.3.3.1. REQUISITOS DE CALIDAD DEL AGUA

La Norma NTP 339.088 considera aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas cuyas propiedades y contenidos de sustancias disueltas están comprendidas dentro de los límites señalados:

Tabla 5: Límites permisibles para el agua de mezclado y curado.

Norma NTP 339.088

DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE	
Sólidos en suspensión	5000 ppm	Máximo
Materia Orgánica	3 ppm	Máximo
Alcalinidad (NaCHCO3)	1000 ppm	Máximo
Sulfatos (ión SO4)	600 ppm	Máximo
Cloruros (ión Cl-)	1000 ppm	Máximo
pH	5 a 8	

2.3.3.4. ADITIVO

De acuerdo a la Norma Española UNE-EN 934-2, se denominan aditivos a aquellos productos que se incorporan en el momento del amasado del hormigón o inmediatamente después, en una cantidad no superior al 5 % en masa, con relación al contenido de cemento, con objeto de modificar las propiedades y características de la mezcla en estado fresco y/o endurecido.

Por otro lado el comité del "American Concrete Institute" (ACI 116R) y la norma NTP 334.088, definen al aditivo como un material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado.

2.3.3.4.1. TIPOS DE ADITIVO

La Asociación de Productores de Cemento (Asocem), manifiesta que en armonía con el desarrollo de los aditivos y su aplicación más extensiva en nuestro medio, se ha dado la nueva norma NTP 334.088 que reemplaza a las anteriores normas nacionales 339.086 y 339.087 del año 1981. El antecedente de la nueva norma se encuentra en la ASTM C494. La norma, como lo indica su denominación, se refiere a aditivos químicos, comprendidos dentro de la

nomenclatura de la norma ASTM. No se consideran algunos aditivos de uso limitado, como son aquellos que regulan la contracción del concreto, fungicidas y germicidas, generadores de burbujas de gas, etc.

En consecuencia las Normas ASTM C494 y NTP 334.088 distinguen siete tipos de aditivos:

- Tipo A: Reductor de agua.
- Tipo B: Retardador de fraguado.
- Tipo C: Acelerador de fraguado.
- Tipo D: Reductor de agua y retardador.
- Tipo E: Reductor de agua y acelerador.
- Tipo F: Reductor de agua de alto rango.
- Tipo G: Reductor de agua de alto rango y retardador.

Por otra parte la norma UNE-EN 934-2 (2010), establece que todos los aditivos se clasifican en los 11 grupos siguientes:

- Reductores de agua/plastificante.
- Reductores de agua de alta actividad/superplastificante.
- Aceleradores de fragua.
- Aceleradores de endurecimiento.
- Retardadores de fraguado.
- Incluidores de aire.
- Retenedores de agua.
- Hidrófugo de masa.
- Reductores de agua de alta actividad/ superplastificantes / retardador de fraguado.

- Reductores de agua/ plastificantes/ aceleradores de fraguado.
- Reductores de agua/ plastificantes/ retardadores de fraguado.

2.3.3.4.2. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

La norma NTP 334.088 y ASTM C494 se refiere a los aditivos, dentro de ellos al aditivo llamado superplastificante o reductor de agua de alto rango y que se encuentran en la categoría "Tipo F".

Para la elaboración del CAC en la presente investigación se usará un aditivo superplastificante de alto rango denominada Sika Viscocrete 3330, está modificará las propiedades de la mezcla de concreto haciéndola más fluida

2.3.3.4.3. FUNCIONES DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Los aditivos superplastificantes pueden ser usados para tres funciones principales: (PORTUGAL, 2007)

(A) INCREMENTAR LA TRABAJABILIDAD (FUNCIÓN SUPERPLASTIFICANTE)

Dada una mezcla de concreto con un asentamiento, relación agua/cemento, y cantidad de cemento definidos, el aditivo se utiliza para incrementar la trabajabilidad de la mezcla, sin cambiar otra característica del diseño de mezcla, dependiendo de la dosis y tipo de aditivo en la prueba de cono de Abrams, el slump puede ser incrementado de manera considerable.

(B) INCREMENTAR LA RESISTENCIA (FUNCIÓN REDUCTOR DE AGUA)

Dada una mezcla de concreto con un asentamiento y cantidad de cemento definidos, el aditivo se utiliza para encontrar la cantidad de agua + aditivo que producirá el slump deseado; según la dosis y tipo de aditivo, la reducción de agua puede llegar hasta el orden del 40%, con el consiguiente incremento de resistencia, dada la menor relación agua/cemento; esta función es empleada para producir concretos de alta resistencia.

(C) REDUCIR LA CANTIDAD DE CEMENTO

Dada una mezcla de concreto con una relación agua/cemento, slump y cantidad de cemento definidos, el aditivo se usa para reducir la cantidad de agua, manteniendo constante la relación agua/cemento, con la consiguiente reducción de la cantidad de cemento; esta función ha sido muy empleada, sin embargo no es muy recomendada usarla para reducir al máximo la cantidad de cemento, dada la reducción en la durabilidad del concreto; si bien puede conseguirse ahorros de hasta el 30% del contenido del cemento, en un análisis de los costos puede ser anti-económico por el mayor uso de aditivo.

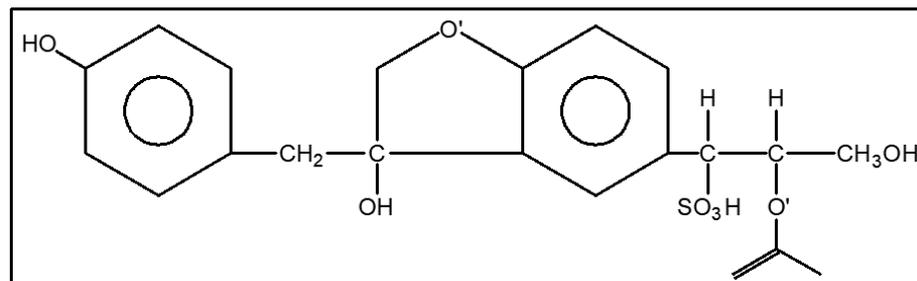
2.3.3.4.4. COMPOSICIÓN Y EVOLUCIÓN DEL ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

Los primeros superplastificantes utilizados, hacia la década de 1940, fueron los lignosulfonatos modificados, cuya estructura molecular se muestra en la Figura 6.

Estos aditivos se utilizaban como reductores de agua, y su mejora como aditivo superplastificante se consigue con la eliminación de las impurezas (carbohidratos) y seleccionando aquellas fracciones de mayor peso molecular. Su rango de reducción de agua oscila entre el 5 y el 10 %.

Figura 6: Estructura molecular de un aditivo superplastificante lignosulfonato modificado

(ALONSO, 2011)

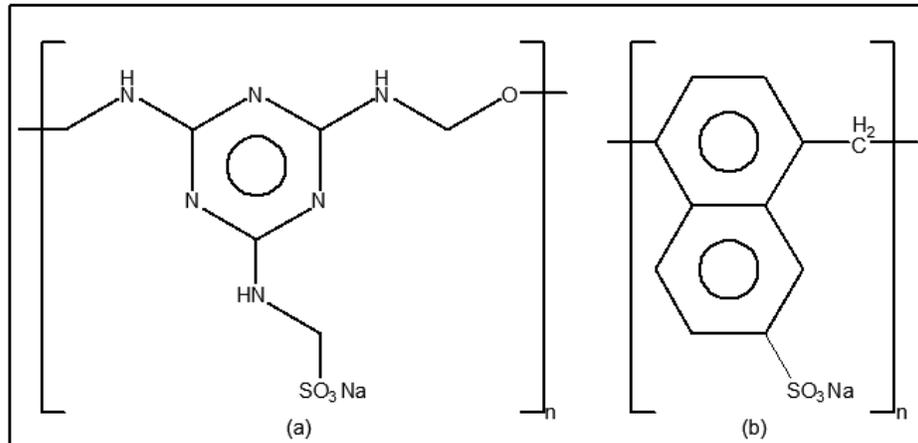


La estructura molecular esta del aditivo superplastificante lignosulfonato modificado está compuesto por moléculas de oxígeno, hidrógeno, azufre y carbono que conjuntamente forman compuestos de ácido sulfúrico (SO_3H), Hidroxilo (OH), Metileno (CH_2) y Metanol (CH_3OH).

A partir de la década de 1960 se desarrollaron los aditivos derivados de melanina (SMFCs- sulfonated melamine formaldehyde polycondensates), en Alemania, y los derivados de naftaleno (SNFC- sulfonated naphtalene formaldehyde polycondensates), en Japón, y que se sintetizan a partir de la sulfonación de melamina y naftaleno respectivamente, y posterior polimerización. Su rango de reducción de agua oscila entre el 10 y el 20 %. Sus estructuras moleculares típicas, se presentan en la Figura 7.

Figura 7: Estructura molecular básica de un aditivo superplastificante: (a) derivado de melamina (b) derivado de naftaleno.

(ALONSO, 2011)

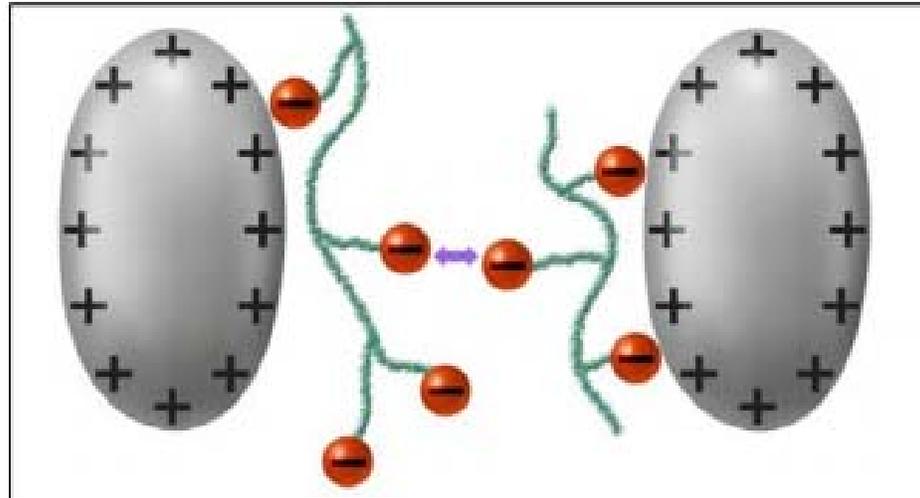


Estos aditivos superplastificantes convencionales (lignosulfonatos y derivados de melamina y naftaleno) se adsorben sobre los granos de cemento a través de sus grupos aniónicos (grupos sulfónicos), debido a la carga positiva (+) superficial de las partículas de cemento. Además, una parte de estos grupos con carga negativa (-) quedan en contacto con la disolución confiriendo a los granos de cemento una carga neta negativa responsable de una repulsión de tipo electrostático entre ellos.

Esta repulsión provoca la dispersión entre los granos de cemento, liberando el agua contenida en los flóculos. El esquema de actuación de estos aditivos se observa en la Figura 8.

Figura 8: Esquema del mecanismo de adsorción de aditivos superplastificantes convencionales en partículas de cemento. Repulsión electrostática.

(ALONSO, 2011)



Por lo tanto, la adsorción de estos surfactantes sobre las partículas de cemento produce un efecto sobre el potencial zeta del cemento. En el caso de los aditivos superplastificantes convencionales, su adsorción induce potenciales zetas negativos y mayores en valor absoluto que el correspondiente valor inicial del cemento. Así pues, las medidas de potencial zeta de las suspensiones acuosas de los cementos y su interacción con estos aditivos superplastificantes resultan de interés desde dos puntos de vista:

- Por una parte, las medidas de potencial zeta de las suspensiones acuosas de los cementos y de las adiciones, nos da idea de la capacidad de los cementos para adsorber aditivos a través de sus grupos aniónicos. Cuanto más positivo sea el potencial zeta del cemento, mayor será la capacidad para adsorber los aditivos.
- Por otra parte la variación que el potencial zeta sufre con la incorporación del aditivo, nos proporciona información relativa a las fuerzas

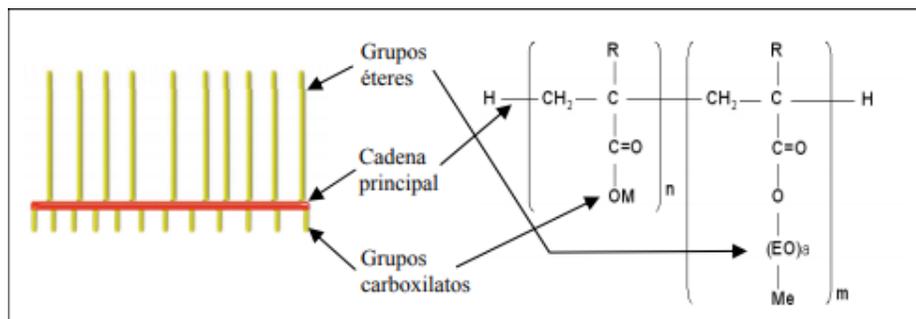
electrostáticas de repulsión inducidas por el aditivo que tienen una relación directa con las propiedades dispersantes del aditivo.

A principios de la década de los 90 se desarrolló una nueva generación de aditivos superplastificantes basados en polímeros sintéticos, con formulaciones basadas en policarboxilatos (PCE), cuya síntesis proviene generalmente de la polimerización de derivados del ácido acrílico ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{COOH}$) o el metacrílico ($\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{COOH}$). Estos aditivos pueden llegar a reducir la relación agua/cemento hasta en un 40 % para la misma trabajabilidad.

Los aditivos PCE poseen cadenas laterales, más o menos largas, generalmente de tipo poliéter (PEO). Estos aditivos tienen una estructura tipo "peine" (Figura 9) con una cadena hidrocarbonada principal con grupos carboxilatos y cadenas laterales con los grupos éteres. En los últimos años, existe una mayor tendencia a sintetizar aditivos con cadenas principales más cortas y cadenas laterales de poliéteres más largas.

Figura 9: Estructura química y molecular de un aditivo PCE.

(ALONSO, 2011)

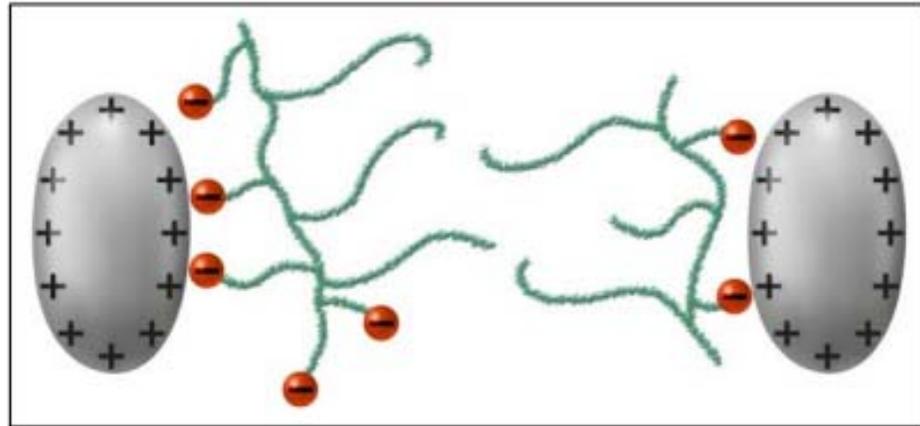


La adsorción de estos aditivos policarboxilatos (PCE) sobre los granos de cemento se produce a través de los grupos carboxílicos ($-\text{COO}-\text{H}^+$) y carboxilatos ($-\text{COO}^- \text{M}^+$).

La dispersión que estos aditivos inducen entre las partículas de cemento se debe, fundamentalmente, a una repulsión de tipo estérica asociada a las largas cadenas laterales de los grupos éteres (Figura 10). (ALONSO, 2011)

Figura 10: Esquema del mecanismo de adsorción y repulsión de aditivos PCE en partículas de cemento. Repulsión electrostática.

(ALONSO, 2011)



2.3.3.4.5. COMPATIBILIDAD CEMENTO – ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

A pesar de los beneficios evidentes, que la utilización de aditivos de tipo PCE produce en los sistemas cementantes, en la práctica, la utilización de estos aditivos superplastificantes conduce en ocasiones a efectos anómalos o indeseables como pueden ser la segregación de las pastas, baja trabajabilidad inicial, una pérdida rápida de la misma, difícil bombeo, cortos mantenimientos de la fluidez o excesivos retrasos en el fraguado. En estas situaciones, se considera que existe un problema de incompatibilidad aditivo-cemento. En concreto, los factores que afectan a la compatibilidad cemento-aditivo son de tres tipos: (ALONSO, 2011)

- **Factores Asociados a los Aditivos:**

Con respecto a los factores asociados a los aditivos que son determinantes en su comportamiento y efecto fluidificante, destacan:

- Dosificación.
- Peso molecular y distribución de pesos moleculares.
- Composición química.
- Naturaleza del contraíón.

- **Factores Asociados al cemento:**

Los principales factores asociados al cemento, que afectan a la compatibilidad cemento - aditivo son:

- Finura y distribución del tamaño de partícula.
- Composición química, considerando especialmente el contenido en C3A y la cantidad y tipo de sulfatos cálcicos y de sulfatos alcalinos.
- Presencia de adiciones minerales, tales como cenizas volantes, escorias vítreas de horno alto, etc., que modifican no solo la granulometría final del cemento, sino la reactividad del mismo, su proceso de hidratación, etc.
- Diferente composición mineralógica, como es el caso del cemento de aluminato de calcio, cuya fase principal es el aluminato monocálcico.

- **Factores Asociados a las condiciones de Ensayo:**

Factores como el tiempo de incorporación de los aditivos o la temperatura de trabajo, influyen en la interacción cemento-aditivo y en las propiedades que confieren a la mezcla y, por lo tanto, pueden determinar la compatibilidad del sistema cemento-aditivo.

2.3.3.4.6. REQUISITOS DE LOS ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTES

La norma NTP 334.088 establece los requisitos para comprobar las modificaciones aportadas por un aditivo superplastificante (Tipo F) sobre alguna de las siguientes propiedades del concreto:

- Reducción de agua.
- Tiempo de fraguado.
- Resistencia a la compresión.

La evaluación de estas características se efectúa por comparación con los resultados obtenidos con un concreto de similar composición y características pero sin aditivos, que se denomina concreto de control o concreto patrón.

2.3.3.4.7. ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKA VISCOCRETE 3330

Es un superplastificante de tercera generación para concretos y morteros, ideal para climas fríos y de alta resistencia a temprana edad. Este aditivo cumple con la norma ASTM C494 tipo F y ASTM C1017. (SIKA, Sika Viscocrete 3330)

Figura 11: Aditivo Sika Viscocrete 3330 (2018)



(D) USOS:

Es adecuado para la producción del concreto en obra y concreto premezclado, se usa para los siguientes tipos de concreto:

- Concreto pre-fabricado.
- Concretos de pronta puesta en servicio.
- Concreto para climas fríos.
- Concreto con alta reducción de agua.
- Concreto de alta resistencia.
- Concreto autocompactante.

El alto poder reductor de agua, la excelente fluidez y el corto tiempo de fraguado con altas resistencias tempranas tienen una influencia positiva en las aplicaciones antes mencionadas.

(E) CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS:

Sika Viscocrete 3330, gracias a su absorción superficial y el efecto de separación especial sobre las partículas de cemento, se obtienen las siguientes características:

- Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia).
- Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- Adecuado para la producción de concreto autocompactante.
- Incrementa las altas resistencias iniciales.
- Alta impermeabilidad.
- Menor relación agua/cemento.
- Aumenta la durabilidad del concreto.
- Reduce la exudación y segregación.
- Aumenta la cohesión del concreto.
- Aumenta la adherencia entre el acero y el concreto.

No contiene cloruros ni otros agentes que promuevan la corrosión del acero.

2.3.4. CARÁCTERÍSTICAS DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN ESTADO FRESCO

En estado fresco, el comportamiento del concreto autocompactante difiere mucho con respecto al del concreto convencional, de hecho, los ensayos para su caracterización son distintos. 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)

- **Capacidad de fluidez:** Se define como la capacidad que el concreto debe tener para fluir por sitios estrechos sin que el contacto entre los áridos cause el bloqueo de la mezcla. La obtención de esta propiedad se da incrementando la fluidez de la pasta con la utilización de superplastificantes y ajustando el diámetro máximo del árido en función de los espacios por donde el concreto debe pasar. (RIGUEIRA, 2007)
- **Capacidad de llenado:** Es la capacidad que el concreto debe tener a la hora de fluir dentro del encofrado rellenando todas las superficies. Por un lado esta propiedad garantiza la calidad del acabado, de manera que este presentará una superficie lisa, con color homogéneo y libre de vacíos. Por otra parte, las armaduras deben estar perfectamente recubiertas evitando la ocurrencia de bolsas de aire en la parte inferior de las mismas. (RIGUEIRA, 2007)
- **Resistencia a la segregación:** Esta propiedad está relacionada con la estabilidad del concreto. En un CAC la mezcla debe permanecer homogénea durante y tras el proceso de vaciado de la mezcla sin que ocurra separación de los áridos o exudación. (RIGUEIRA, 2007)

2.3.4.1. ENSAYOS PARA CARACTERIZAR AL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN ESTADO FRESCO

2.3.4.1.1. ENSAYO DE ESCURRIMIENTO (UNA NORMA ESPAÑOLA “UNE-EN 12350-8:2011”)

En este ensayo de escurrimiento se **evalúa la fluidez** del concreto fresco bajo su propio peso, a través del cono de Abrams. Además, nos aporta cualitativamente la idea que el concreto tiene tendencia a la segregación.

El cono de Abrams debe cumplir con lo establecido en la norma UNE 83-301 o UNE –EN 12350-2, el cual tiene que tener un diámetro superior de 100 ± 2 mm, un diámetro inferior de 200 ± 2 mm y una altura de 300 ± 2 mm.

La base del cono tiene que tener un área mínima de 900mm x 900mm, sobre esta base se marcan dos circunferencias con diámetros de 210 ± 1 mm y 500 ± 1 mm.

Figura 12: Representación del equipo para el ensayo de escurrimiento.



(F) Procedimiento del Ensayo:

- ✓ Verificar que la superficie esté libre de impurezas, sea plana y firme.
- ✓ El cono se coloca sobre el diámetro de 210 ± 1 mm, en el centro del mismo.
- ✓ Sujutando firmemente el cono, se va rellenado sin compactar la mezcla, se nivela la superficie de la mezcla con el cono, se levanta el cono antes que hayan transcurrido 30 segundos de haber vertido la mezcla.
- ✓ El cono se debe levantar de forma vertical por el espacio de 1 a 3 segundos.

✓ De este ensayo se obtendrán unos resultados, que son importantes para medir los siguientes parámetros:

- T500, es el tiempo transcurrido en que el hormigón se tarda en alcanzar el círculo de diámetro 500mm, medidos en segundos.
- Df, es el diámetro final alcanzado por la mezcla, una vez ha dejado de fluir el hormigón. Se toma la primera medida d1, que equivale al lado más ancho, y d2, es la medida perpendicular a d1, con lo cual el cual se determina una media aritmética. Si los dos diámetros perpendiculares 37 difieren más de 5 cm se deberá repetir el ensayo con otra porción de muestra. Los resultados se expresan en milímetros.

Según se menciona en la guía europea para el ensayo de escurrimiento, los valores normales para los distintos tipos de asentamiento y su campo de aplicación se describen a continuación:

“Slump Flow – 1” SF1 (550 – 650 mm); es apropiado para:

- Estructuras en masa o poca densidad de armadura que sean llenadas desde la parte superior con desplazamiento libre desde el punto de entrega (losas de cimentación o pavimentos).
- Hormigones de rellenos por bombeo (encofrado de túneles).
- Elementos suficientemente pequeños que no precisen largos flujos horizontales (pilares y algunas cimentaciones profundas).

“Slump Flow – 2” SF2 (660 - 750 mm); es apropiado para:

- Muchas aplicaciones normales (muros, pilares)

“**Slump Flow – 3” SF3 (760 - 850 mm)**; se elabora normalmente con una limitación del tamaño máximo de áridos (16 mm) y se usa para:

- Aplicaciones verticales en estructuras muy armadas, estructuras de formas complejas, o rellenos bajos los encofrados.

El SF3 da normalmente un mejor acabado superficial que el SF2 para aplicaciones verticales pero la segregación es más difícil de controlar. Valores mayores de 850 mm pueden especificarse en algunos casos especiales, pero deberán extremarse las precauciones, considerando la segregación y el tamaño máximo de los áridos será normalmente menor de 12 mm.

2.3.4.1.2. ENSAYO DEL EMBUDO EN V (UNA NORMA ESPAÑOLA “UNE-EN 12350-8:2011”)

Este ensayo tiene como propósito medir la capacidad de relleno, la viscosidad plástica y la capacidad de paso del hormigón autocompactante en estado fresco. Permitiendo saber la autocompactabilidad del hormigón, con lo cual se puede valorar la capacidad de fluir por zonas muy armadas bajo su propio peso. Fundamentalmente se obtiene el tiempo en que el concreto tarda en pasar por un recipiente en forma de V. (ALVAREZ, 2014)

El molde en forma de embudo en V consta con una altura total de 600 ± 4 mm dividida en dos partes: una altura desde la parte superior de 450 ± 2 mm y siguiendo a esta medida una de 150 ± 2 mm, una boca superior de 515 ± 2 mm x 75 ± 1 mm, boca inferior más estrecha de 65 ± 1 mm x 75 ± 1 mm. Tiene una capacidad aproximada de 13 litros de hormigón. El recipiente se utiliza para recoger la mezcla de hormigón mientras se va vertiendo.

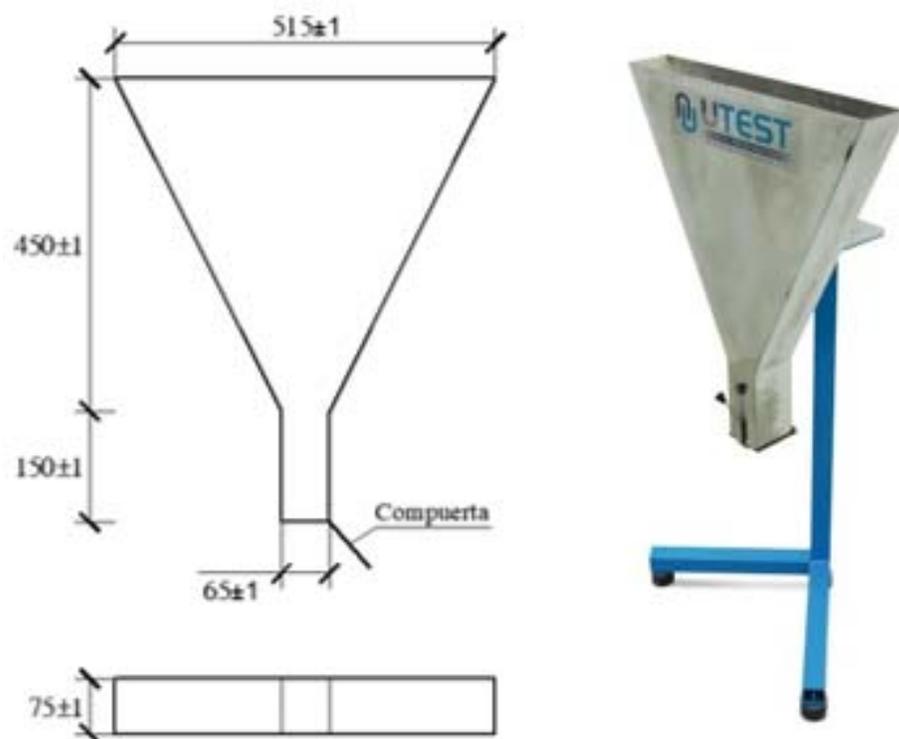
(G) Procedimiento del Ensayo:

Con el embudo en V limpio;

- ✓ Se cierra la compuerta inferior
- ✓ Se llena con la muestra de concreto de manera continua sin compactar
- ✓ Se nivela la parte superior y se coloca un contenedor bajo el embudo
- ✓ Después de transcurridos (10 ± 2) segundos se abre la compuerta inferior y se mide el tiempo desde la apertura de la compuerta hasta cuando es posible ver verticalmente a través del embudo hacia el contenedor debajo.

(SANDOVAL, 2016)

Figura 13: Embudo tipo V para determinar la fluidez o relleno.



UNA NORMA ESPAÑOLA (UNE-EN 12350-9)

2.3.4.1.3. ENSAYO DE LA CAJA EN L (UNA NORMA ESPAÑOLA “UNE-EN 12350-8:2011”)

El ensayo de la caja en L es **utilizado para evaluar la capacidad de paso o resistencia al bloqueo de concretos** autocompactante sin segregación. Se realiza de acuerdo a la Norma Europea EN 12350 – 10.

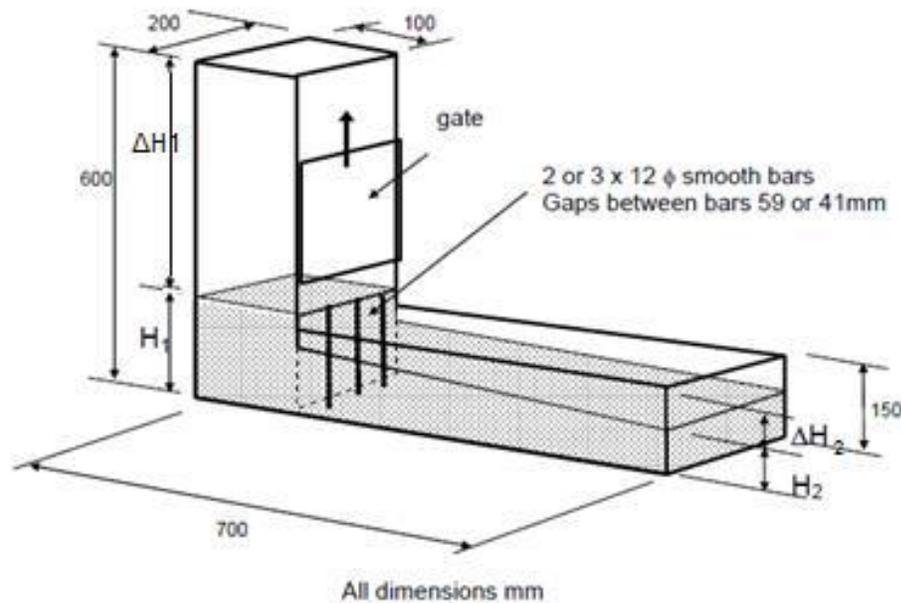
El molde o caja en L tiene que tener una forma rectangular, que se compone de un depósito vertical y depósito horizontal. El depósito vertical consta con una altura máxima de 600mm y una boca de 100mm x 200mm, y el depósito horizontal tienen una longitud máxima de 700mm, un ancho de 200mm y una altura de 150mm, para una capacidad aproximada de 13 litros de concreto. Las barras que tendrán función de armadura para confinar el flujo van a estar dentro de la caja en L, y serán de 2 a 3 barras dependiendo del tamaño máximo de los áridos. Se utilizarán 3 barras de 12 ± 0.2 mm de diámetro cuando el tamaño máximo de los áridos sean 20mm o menor, 2 barras de 16mm de diámetro cuando el tamaño máximo de los áridos superior a 20mm. (ALVAREZ, 2014)

(H) Procedimiento del Ensayo:

- ✓ Primeramente hay que colocar las barras a elegir dentro de la caja en L dependiendo del tamaño máximo a ensayarse en el CAC.
- ✓ Luego hay que verificar que el molde este nivelado y de forma horizontal.
- ✓ Se humedece el molde con agua sin dejar exceso. Siempre verificando que la compuerta este cerrada y se comienza a rellenar el depósito vertical con la mezcla de concreto sin ningún medio de compactación.
- ✓ Se enrasa la mezcla con la parte superior del depósito vertical dejándolo reposar por 60 ± 10 segundos.

- ✓ Después de transcurrir el tiempo de reposo se abre rápidamente la compuerta dejando fluir el concreto.
- ✓ Finalizando el ensayo de forma correcta se obtendrán unos resultados que permiten conocer los siguientes parámetros:
 - T60 es el tiempo que se tarda el CAC en llegar al extremo horizontal de la caja en L desde su salida, donde la distancia es 600 mm y se mide en segundos.
 - Se miden las alturas H1 y H2, obtenidas de la medición de la altura del hormigón cuando este toca el extremo de la caja y frente a la compuerta como se muestra en la figura N° 2.10. Con esta altura se obtiene un coeficiente de bloque expresado en milímetros.

Figura 14: Caja tipo L para evaluar la capacidad de paso o bloqueo.



(EFNARC, 2002)

2.3.4.1.4. ENSAYO CON EL ANILLO JAPONES (UNA NORMA ESPAÑOLA “UNE-EN 12350-8:2011”)

El ensayo de escurrimiento con el anillo japonés (J-Ring), evalúa la resistencia al bloqueo del hormigón autocompactante a través de barras de armadura, en condiciones de flujo libre. Además se puede observar si hay segregación, exudación, o si se produce una mayor concentración de árido grueso en la zona central. (NIETO, 2005)

Se realiza de acuerdo a la norma europea EN 12350-12

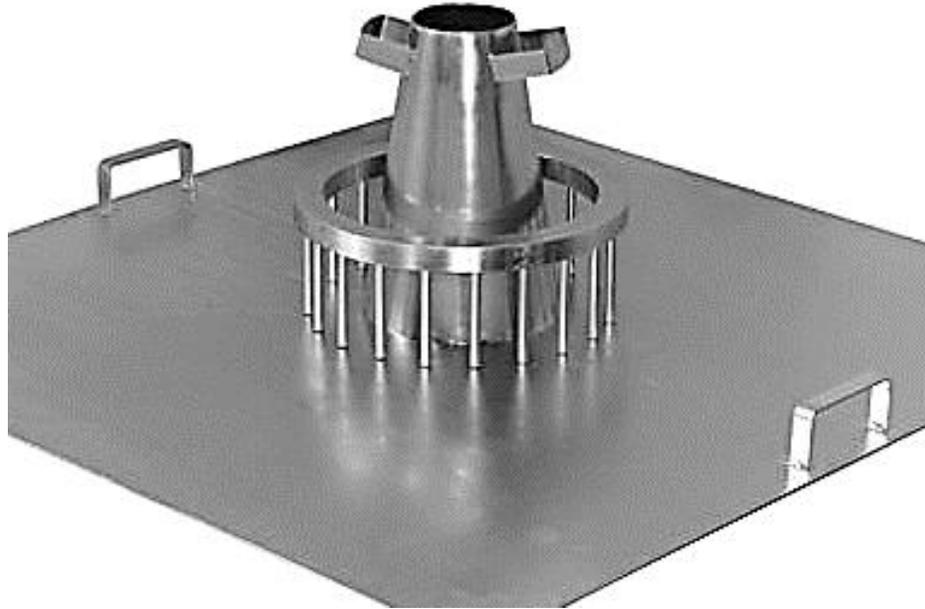
El cono de Abrams consta de dos aberturas con diámetros superior e inferior de 100 mm y 200 mm respectivamente y una altura de 300 mm. Tiene una capacidad aproximada de 7 litros de hormigón. La base de acero debe tener 900 mm x 900 mm x 2 mm. En la base se deben realizar tres círculos con diámetros de 210 mm, 300 ± 2 mm, y 500 mm. El anillo japonés consiste de un anillo con diámetro de 300 mm y una altura de 120 mm. Posee unas barras perimetrales que su tamaño van a variar en función del tamaño máximo de los áridos. Es recomendable usar 20 barras de 10 mm diámetro para un tamaño máximo de áridos igual o menor a 20mm, y 12 barras de 28 mm de diámetro para un tamaño máximo de áridos a 20 mm. (EFNARC, 2002)

A. Procedimiento del Ensayo:

- ✓ El procedimiento de este ensayo es muy similar al ensayo de escurrimiento.
- ✓ Se comienza verificando que la base y el cono estén limpios de impurezas.
- ✓ Ambos aparatos deben estar nivelados y horizontalmente con la superficie sólida.
- ✓ Se debe humedecer con agua sin dejar un exceso de la misma.

- ✓ Colocar de forma centrada el cono de Abrams en el círculo de 210 mm de diámetro y el anillo japonés en el círculo de 300 ± 2 mm de diámetro realizados previamente.
- ✓ Sujetando firmemente el cono, se va vertiendo la mezcla de concreto de forma continua, sin ningún medio de compactación.
- ✓ Hay que enrasar ambas superficies, antes de transcurrir 30 segundos de haber vertido la mezcla, el cono se levanta verticalmente por el espacio de 1 a 3 segundos, dejando fluir la mezcla.
- ✓ Esto permite conocer los resultados de los siguientes parámetros:
 - D_{fj} , es el diámetro final alcanzado por la mezcla, una vez ha dejado de fluir el hormigón. Se toma la primera medida d_1 , que equivale al lado más ancho, y d_2 , es la medida perpendicular a d_1 . De estas dos medidas se calcula una media aritmética. Si los dos diámetros perpendiculares difieren más de 5 cm se deberá repetir el ensayo con otra porción de muestra. El resultado es expresado en milímetros. Cabe mencionar que si entre el ensayo de escurrimiento y el ensayo con el anillo japonés hay una diferencia de 50 mm, este último se repite ($D_{fj} - D_f \geq 50\text{mm}$).
 - T_{j500} , es el tiempo transcurrido en que el hormigón se tarda en alcanzar el círculo de diámetro 500mm, medidos en segundos.
 - h_1 y h_2 , que son las alturas medidas del hormigón en la cara interior y exterior del anillo, lo que permite calcular un coeficiente de bloqueo.

Figura 15: Representación del equipo de Anillo Japonés para evaluar la resistencia al bloqueo del CAC.



2.3.4.2. RANGO DE ACEPTACIÓN DE LOS RESULTADOS ENSAYADOS AL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE EN ESTADO FRESCO

Los rangos de los parámetros que se mencionarán a continuación no están estandarizados en una norma sino que son unos criterios que dan una idea según el ensayo a ejecutarse, y qué valor tiene que dar aproximadamente. Esta información fue tomada de la publicación ‘‘Especificaciones y Directrices para el Hormigón Autocompactable’’ - HAC de EFNARC en Febrero de 2002. La EFNARC es la Federación Europea que se dedica a los sistemas específicos de hormigón y productos químicos especializados para la construcción.

Tabla 6: Rango de valores de aceptación para los ensayos del CAC

RANGO DE VALORES ACEPTABLES DEL CAC				
ENSAYOS	VARIABLE	MÍNIMO	MÁXIMO	UNIDAD
Ensayo de Esguerrimiento	d_f	550	850	mm
Ensayo de Esguerrimiento	t_{50}	2	8	segundos
Ensayo del Embudo en V	t_v	4	20	segundos
Ensayo de la Caja en L	h_2/h_1	0.75	1	adimensional
Ensayo del Anillo J	d_f	0	10	mm

2.3.5. CARÁCTERÍSTICAS DEL CONCRETO AUTOCOMPACTABLE EN ESTADO ENDURECIDO

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 concreto convencional de igual relación agua/cemento y elaborado con los mismos materiales. (EHE-08, 2011)

2.3.5.1. RESISTENCIA MECÁNICA DE DISEÑO A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS DE CONCRETO (f_c)

Es una de las propiedades más valiosas del hormigón, a pesar que en algunos casos prácticos otras características, como la durabilidad o permeabilidad, pueden resultar más importantes. No obstante, la resistencia ofrece un panorama general de la calidad del hormigón porque está relacionada directamente con la estructura de la pasta endurecida del cemento. (CARRASCO, s.f.)

Las probetas cilíndricas para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de 6x12 pulgadas (15x30cm), el diámetro del cilindro utilizado debe ser como mínimo tres veces el tamaño máximo nominal del tamaño del agregado grueso que se emplee en el concreto.

Con el fin de conseguir una distribución uniforme de la carga generalmente los cilindros se tapan con morteros de azufre (ASTM C617) o con tapas de almohadillas de neopreno (ASTM C1231).

La resistencia a compresión de los especímenes se rige a la norma NTP 339.034 y ASTM C 39. (RIVVA, Naturaleza y Materiales del Concreto, 2000)

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto, la determinación de la resistencia a compresión se da a través de ensayos (experimentación, prueba) en probetas (Muestras de prueba, muestras de ensayo, especímenes) de concreto o mortero.

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se emplean fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requisitos de la resistencia especificada ($f'c$), en la especificación del trabajo.

- **Expresión de Resultados:**

La resistencia a la compresión de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$F'c = \frac{4G}{\pi d^2}$$

Donde:

$f'c$: Resistencia de rotura a la compresión (kg/cm^2).

G: Carga máxima de rotura (kg).

D: Diámetro de la probeta cilíndrica (cm).

El rango entre los cilindros compañeros del mismo conjunto y probado a la misma edad deberá ser en promedio de aproximadamente, 2 a 3% de la

resistencia promedio. Si la diferencia entre los dos cilindros compañeros sobrepasa con demasiada frecuencia 8%, o 9.5% para tres cilindros compañeros, se deberán evaluar y rectificar los procedimientos de ensayo en el laboratorio.

2.3.5.2. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Las resistencias a tracción y compresión están relacionadas, pero no en forma proporcional. A medida que la resistencia a compresión del hormigón aumenta, la resistencia a tracción también se incrementa, pero a una velocidad decreciente. Es decir, la relación tracción-compresión depende del nivel de resistencia, a mayor resistencia a compresión, menor es dicha relación. La misma depende de la interfaz y de las características de la pasta. También afectan la relación agua-cemento, el curado, el tipo de agregado y los aditivos presentes. (CARRASCO, s.f.)

Para la determinación de este parámetro no se suele usar ensayos directos debido a las dificultades que se presentan sobre todo por los efectos secundarios que generan los dispositivos de carga. Para estimarlo se ha diseñado la prueba brasilera o split-test consiste en cargar lateralmente el cilindro estándar, a lo largo de uno de sus diámetros hasta que se rompa. El procedimiento está especificado en la norma ASTM C496.

- **Expresión de Resultados:**

La resistencia a la tracción de la probeta se calcula con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{2G}{\pi Ld}$$

Donde:

T: Resistencia a la tracción (kg/cm²).

G: Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo (kg).

L: Longitud (cm)

D: Diámetro (cm).

2.3.6. DISEÑO DE MEZCLA PARA EL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

El diseño de mezcla es el proceso por el cual se busca obtener la dosificación óptima de los materiales que forman el concreto y que para lograrlo se tiene en cuenta los requerimientos técnicos de cada proyecto.

En la actualidad existen numerosos métodos de diseño de concreto, todos ellos con resultados diferentes pues han sido creados en base a experiencias, materiales disponibles y condiciones propias del lugar donde se originó dicho método y que al ser aplicados en otros lugares genera variabilidad en los resultados. Por ello, el método de diseño de concreto que se adopte debe ser usado como punto de inicio en pruebas que busquen obtener la mezcla de concreto que se ajuste a nuestras necesidades.

Para la presente investigación se tomó como método de diseño el Método del Comité 211 del ACI.

2.3.6.1. DISEÑO DE MEZCLA PATRÓN SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI

La estimación de las cantidades de materiales requeridas para preparar una unidad cúbica de concreto implica una secuencia cuyo cumplimiento permite, en función de las características de los materiales, preparar la mezcla adecuada para el trabajo que se va a efectuar. ⁽²⁰⁾

SECUENCIA DE DISEÑO:

✓ Selección de la Resistencia Promedio (f'_{cr}):

Las mezclas de concreto deben diseñarse para un resistencia promedio requerida (f'_{cr}), cuyo valor es siempre superior al de la resistencia de diseño (f'_c).

Tabla 7: Resistencia a la compresión promedio según ACI 211

f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

✓ Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso (TMN):

El TMN se determina por medio del análisis granulométrico del agregado grueso y se rige a la Norma NTP 400.037, el cual también define al “Tamaño Máximo Nominal” como aquel que “corresponde al menor tamiz retenido de la serie utilizada que produce el primer retenido”.

Se considera que, en ningún caso, el TMN del agregado grueso deberá exceder de los siguientes valores:

- 1/5 de la menor dimensión entre caras del encofrado.
- 1/3 del peralte de la losa.
- 3/4 del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo.

Tomando como dimensión entre caras de encofrado el embudo en “V” el cual posee 6.5cm de ancho que es la menor dimensión de este, lo dividimos entre 5 nos da como resultado de 1.3cm.

Por lo tanto en el presente trabajo de investigación se optó por trabajar con un TMN de 1/2 pulgada.

✓ **Selección del Asentamiento:**

La consistencia es aquella propiedad del concreto fresco que define el grado de humedad de la mezcla. De acuerdo a su consistencia, la mezcla de concreto se clasifica en:

- Mezclas secas; aquellas cuyo asentamiento está entre 0 y 2 pulgadas.
- Mezclas plásticas; aquellas cuyo asentamiento está entre 3 y 4 pulgadas.
- Mezclas fluidas; aquellas cuyo asentamiento es mayor igual a 5 pulgadas.

La determinación del asentamiento de la mezcla de concreto, empleando el Cono de Abrams, se efectuará siguiendo las recomendaciones de la Norma NTP 339.035 o ASTM C143.

Tabla 8: Asentamiento del concreto

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	ASENTAMIENTO	
	Máximo*	Mínimo
Zapata y Muros de cimentación reforzados	3"	1"
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	3"	1"
Vigas y muros reforzados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	1"
Pavimento y losas	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"

ACI 211

✓ **Selección del Volumen Unitario de Agua:**

Definido los valores del asentamiento el tamaño máximo nominal, se procede a calcular la cantidad de agua de diseño.

Tabla 9: Volumen de unitario de agua

ASENTAMIENTO O SLUMP	AGUA (lt/m3) DE CONCRETO PARA LOS TMN DE AGREGADO GRUESO			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Concreto sin aire incorporado				
1" a 2"	207	199	190	179
3" a 4"	228	216	205	193
6" a 7"	243	228	216	202
Concreto con aire incorporado				
1" a 2"	181	175	168	160
3" a 4"	202	193	184	175
6" a 7"	216	205	197	184

ACI 211

✓ **Selección del Contenido de Aire:**

La tabla N° 5 nos muestra el porcentaje aproximado de aire atrapado, en mezcla sin aire incorporado, el cual depende del TMN del agregado grueso.

Tabla 10: Contenido de aire atrapado

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	AIRE ATRAPADO
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

ACI 211

✓ **Selección de la Relación Agua/Cemento (a/c):**

Se refiere a la cantidad de agua que interviene en la mezcla cuando el agregado está en condición de saturado superficialmente seco, es decir que no toma ni aporta agua.

Esta tabla da valores aproximados y relativamente conservadores para concretos con cemento Portland normal Tipo I.

Tabla 11: Relación agua/cemento

RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA f'_{cr} (kg/cm ²)	RELACIÓN AGUA-CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORP.	CONCRETO CON AIRE INCORP.
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	-----
450	0.38	-----

ACI 211

✓ **Cálculo del Contenido de Cemento (Factor Cemento “FC”):**

Conocidos el volumen unitario de agua y la relación a/c, se puede determinar el factor cemento por unidad cúbica de concreto mediante la simple operación de dividir el volumen unitario de agua (expresado en litros por metro cúbico), entre la relación a/c, obteniéndose el número de kilos de cemento por unidad cúbica de concreto.

$$FC = \frac{\text{agua}}{(a/c)} \quad (kg/m^3)$$

✓ **Cálculo del Contenido de Agregado Grueso:**

La selección de las proporciones de los agregados fino y grueso en la unidad cúbica de concreto tiene por finalidad obtener una mezcla en la que, con un mínimo contenido de pasta, se puedan obtener las propiedades deseadas en el concreto. Para ello es deseable que la granulometría total de las partículas de agregado sea tal que el volumen de vacíos, o espacios entre partículas sea mínimo.

El comité 211 del ACI parte del criterio que agregados grueso de tamaño máximo nominal y granulometría esencialmente similares, deberán permitir obtener concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando un determinado volumen de agregado grueso, en condiciones de seco y compactado, es empleado por unidad de volumen del concreto.

Tabla 12: Peso del agregado grueso por unidad de volumen

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino (b/b _o)			
	MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

ACI 211

Conocido el peso unitario compactado seco del agregado grueso (PUCS) calculado del ensayo en el laboratorio y calculado el peso de agregado grueso

por unidad de volumen de concreto (b/b_0), se procede a calcular el peso del agregado grueso mediante:

$$\text{Peso A. grueso seco} = \left(\frac{b}{b_0} \right) * PUCS \quad \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

✓ **Cálculo de los Volúmenes Absolutos (V.A):**

Conocidos los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire, se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos de estos, entonces:

$$\bullet \quad V.A \text{ cemento} = \frac{FC}{P.e \text{ (cemento)}} \quad (m^3)$$

$$\bullet \quad V.A \text{ agua} = \frac{\text{Vol.unit.de agua}}{P.e \text{ (agua)}} \quad (m^3)$$

$$\bullet \quad V.A \text{ aire} = \frac{\text{Contenido de aire}}{100} \quad (m^3)$$

$$\bullet \quad V.A.A. \text{ grueso} = \frac{\text{Peso A.grueso}}{P.e \text{ (A.grueso)}} \quad (m^3)$$

$$\bullet \quad \text{Suma de Vol. conocidos} = V.A \text{ (cemento +} \\ \text{agua + aire + A. grueso)} \quad (m^3)$$

✓ **Cálculo del Contenido de Agregado Fino:**

El volumen absoluto de agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos. El peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso sólido.

$$\bullet \quad V.A.A. \text{ fino} = 1 - \text{Suma de Vol. conocidos} \quad (m^3)$$

$$\bullet \quad \text{Peso A. fino seco} = \text{Vol. abs. A. fino} * P.e \text{ (A. fino)} \quad (m^3)$$

✓ **Valores de Diseño en Estado Seco:**

Las cantidades de materiales a ser empleadas como valores de diseño serán;

- Cemento = FC (kg/m³)
- Agua de diseño = Vol. Unit. Agua (lt/m³)
- Agregado fino seco = Peso A. fino seco (kg/m³)
- Agregado grueso seco = Peso A. grueso seco (kg/m³)

✓ **Corrección por Humedad del Agregado (CHA):**

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cúbica del concreto deberá ser corregida en función de las condiciones de humedad de los agregados fino y grueso, los pesos húmedos de los agregados serán:

$$CHA = Peso\ seco * \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right)$$

Donde:

%w: Porcentaje de humedad

- *Peso Humedo A. fino = Peso A. fino seco * CHA*
- *Peso Humedo A. grueso = Peso A. fino seco * CHA*

✓ **Aporte del Agua a la Mezcla:**

Para el aporte de agua a la mezcla, utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Aporte\ de\ agua = \frac{(\%w - \%abs.) * agregado\ seco}{100}$$

Donde:

%w : Porcentaje de humedad

%abs : Porcentaje de absorción

Se realizara el cálculo del aporte del agua para el agregado fino y el agregado grueso, luego se realizará la suma algebraica con sus respectivos signos, para después sumarle o restarle al agua efectiva.

- Aporte Agua A. fino (lt/m³)
- Aporte Agua A. grueso (lt/m³)
- Suma de Aporte agua (lt/m³)

✓ **Cálculo del Agua Efectiva:**

$$\text{Agua efectiva} = \text{Vol. unit. agua} - \text{Suma aporte agua (lt/m}^3\text{)}$$

✓ **Pesos de los Materiales Corregido por humedad:**

- Cemento (C) = Cemento diseño en estado seco
- Agregado Fino (AF) = Peso Húmedo A. fino
- Agregado Fino (AG) = Peso Húmedo A. grueso
- Agua (A) = Agua efectiva

✓ **Cálculo de la Proporción en Peso:**

Las proporciones de los materiales corregidas por humedad serán calculados por bolsa de cemento:

$$\frac{C}{C} : \frac{AF}{C} : \frac{AG}{C} : \frac{A}{C}$$

✓ **Cálculo de la Proporción en Volumen:**

La proporción en volumen se calculará teniendo en cuenta que:

$$1\text{m}^3 = 35.31 \text{ pie}^3$$

- $Cemento = \frac{C}{kg \text{ de bls cemento}} \quad (\text{pie}^3)$
- $Ag. Fino = \frac{AF}{PUSS} * 35.31 \quad (\text{pie}^3)$
- $Ag. Grueso = \frac{AG}{PUSS} * 35.31 \quad (\text{pie}^3)$
- $Agua (A) = Agua Efectiva \quad (\text{lt/m}^3)$

Por lo tanto el proporcionamiento por volumen se calculará con la siguiente proporción en volumen:

$$\frac{C}{C} : \frac{AF}{C} : \frac{AG}{C} : \frac{A}{C}$$

✓ **Cálculo de la Proporción de los Pesos por Tanda de un Saco:**

Para conocer la cantidad de material que se necesitan en una tanda de bolsa, es necesario multiplicar la proporción en peso por el peso de una bolsa de cemento:

$$\text{Peso de una bolsa de cemento} = 42.5 \text{ kg}$$

- $Cemento = \frac{C}{C} * 42.5 \quad (\text{kg/bls})$
- $Ag. Fino = \frac{AF}{C} * 42.5 \quad (\text{kg/bls})$
- $Ag. Grueos = \frac{AG}{C} * 42.5 \quad (\text{kg/bls})$
- $Agua = \frac{Agua Efectiva}{FC} \quad (\text{lt/bls})$

2.3.6.2. DISEÑO DE MEZCLA DEL CAC POR REDUCCIÓN DE AGUA

En esta sección se analizará al concreto autocompactante obtenido de los ensayos de laboratorio a partir del diseño del concreto patrón mediante la adición del aditivo superplastificante Sika Viscocrete 3330 y la reducción de agua en un 27% para así controlar y evitar segregaciones en el concreto.

Se utilizó un concreto patrón de relación $a/c = 0.56$, el cual al reducir el agua en la mezcla de concreto cambia totalmente la relación a/c de diseño siendo igual a 0.41, estos concretos fueron utilizados como referencia para la comparación del concreto autocompactante y el concreto normal.

Para evaluar el diseño óptimo del CAC se utilizó tres dosificaciones de aditivo del superplastificante Sika Viscocrete 3330 las cuales fueron: 1.0%, 1.2%, 1.5% y 2.0% del peso de cemento.

Básicamente el procedimiento de colocación de los materiales y dosificación óptima de agua para evitar segregaciones, fue el siguiente:

- Se colocan en la mezcladora los materiales del concreto patrón, excepto el agua y el aditivo.
- Se diluye el aditivo con la dosificación fijada en parte del agua ya reducida en un 27% correspondiente al concreto patrón.
- Se procede a mezclar los materiales con un 50% del total de agua.
- Luego de 30 segundos de iniciado el mezclado se incrementa el otro 50% de agua con aditivo.
- Se deja mezclando por un lapso de 12 minutos hasta obtener aparentemente un concreto muy fluido pero no segregado.

- Con la mezcla lista se ejecuta el ensayo de Ecurrimiento (D_{\max} . y T_{50}) y el Embudo en V (T_v), esperando obtener los siguientes valores para mezclas autocompactantes:

$$D_{\max} > 650 \text{ mm}$$

$$2 \text{ seg.} < T_{50} < 8 \text{ seg.}$$

$$4 \text{ seg.} < T_v < 20 \text{ seg.}$$

Las mezclas generadas dieron lugar a 6 muestras (M-1, M-2, M-3, M-4, M-5, M-6) por cada dosificación y mezcla patrón generando un total de 30 probetas cilíndricas, cuyos resultados se encuentran en el capítulo 4.

CAPITULO III

METODO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. ENFOQUE

El enfoque de la presente investigación es de tipo cuantitativo y cualitativo ya que se deben realizar diferentes ensayos y cumplir con las normas, cuyos resultados deben ser tabulados y analizados para sacar conclusiones que ayudarán a obtener la correcta dosificación de un concreto autocompactante.

3.2. ALCANCE

La presente investigación es de alcance correlacional, ya que se tienen que evaluar cómo se relacionan las diferentes dosis de aditivo superplastificante con las propiedades del concreto fresco y endurecido.

3.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es experimental y correlacional, se realizó probetas de concreto autocompactante usando el aditivo superplastificante Sika Viscocrete 3330 y se aplicó cuatro porcentajes de dosis para evaluar la resistencia mecánica a la compresión en estado endurecido a los 7, 14, 21 y 28 días de fraguado.

Tabla 13: Matriz Experimental del Diseño de Investigación

RESULTADOS		C° PATRON	CAC con Aditivo Sika Viscocrete 3330			
DOSIFICACIÓN		Sin Aditivo	1.0% Aditivo en peso de cemento	1.25% Aditivo en peso de cemento	1.5% Aditivo en peso de cemento	2.0% Aditivo en peso de cemento
Resistencia a la Compresión (kg/cm ²)	7 días	M-1	M-1	M-1	M-1	M-1
		M-2	M-2	M-2	M-2	M-2
	14 días	M-3	M-3	M-3	M-3	M-3
	21 días	M-4	M-4	M-4	M-4	M-4
	28 días	M-5	M-5	M-5	M-5	M-5
		M-6	M-6	M-6	M-6	M-6

El número total de pruebas realizadas en estado endurecido es igual a: Variable independiente (resistencia a la compresión) x Número de tratamiento de estudios = $5 \times 6 = 30$ ensayos de resistencia mecánica del concreto autocompactante.

3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.4.1. POBLACIÓN

La población son las canteras de donde se extrajeron las muestras de agregados para su respectivo estudio las cuales son: “La Moderna” – Río Cachi y “Las Piedras” – Río Chacco. También es parte de la población el Laboratorio V.G. Geotecnia & Ingeniería S.A.C., ubicado en la ciudad de Ayacucho, donde se dio lugar a los ensayos del CAC.

3.4.2. MUESTRA

La muestra será elegida por juicio o por conveniencia, se tomará como muestra 30 especímenes de concreto diseñado las cuales serán sometidos a ensayos de compresión axial.

3.5. HIPÓTESIS

3.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Al realizar el diseño óptimo del CAC se tendrá mayor eficiencia de colocación y consolidación, reduciendo así los espacios vacíos en el concreto fresco.

3.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- Al utilizar el aditivo superplastificante se optimizará la trabajabilidad del CAC.
- Al diseñar las mezclas de prueba haciendo uso del aditivo superplastificante, se determinará la proporción óptima para obtener un CAC con características autocompactables.
- Al establecer las propiedades físicas y mecánicas del CAC se podrá verificar la resistencia mecánica a la compresión en estado endurecido.
- Al determinar el costo de producción del CAC óptimo se podrá implementar en nuestra región.

3.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES, DEFINICIÓN CONCEPTUAL Y OPERACIONAL

Tabla 14: Operacionalización de variables

TIPO DE VARIABLE	VARIABLE	CONCEPTUALIZACIÓN DE VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADORES	SUB INDICADORES	TECNICAS E INSTRUMENTOS	INDICES
VARIABLE INDEPENDIENTE	Concreto Autocompactante	El CAC es aquel que posee una consistencia fluida, capaz de consolidarse por su propio peso en elementos estrechos y densamente armados.	ensayo al concreto fresco	ensayo de escurrimiento	aditivo superplastificante Sika viscrote 3330	<ul style="list-style-type: none"> Laboratorio Bibliografía 	mm
				ensayo del cono en V	aditivo superplastificante Sika viscrote 3331	<ul style="list-style-type: none"> Laboratorio Bibliografía 	segundos
VARIABLE DEPENDIENTE	Propiedades físicas y mecánicas del concreto autocompactante	son aquellas propiedades que se determinan en el concreto fresco y el concreto endurecido	ensayo al concreto endurecido	ensayo a la compresión	máquina de ensayo a la compresión simple	<ul style="list-style-type: none"> Laboratorio Bibliografía 	kg/cm ²

3.7. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Tabla 15: Técnicas e instrumentos de la investigación

TECNICAS	INSTRUMENTOS
Ensayos de Laboratorio	Herramienta menor
	Trompo mezclador eléctrico
	Moldes para probetas de concreto
	Cono de Abrams
	Cono en v
	Máquina de compresión
	Cámara de curado

3.8. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

La técnica de recolección de datos son procedimientos utilizados en la investigación, para tener una base en la obtención de los resultados. En respuesta a la técnica utilizada fue la observación directa, la cual consistió en observar atentamente el suceso o caso estudiado, luego tomar la información y registrarla para la interpretación y analizarla.

En respuesta a la técnica de observación directa podemos destacar.

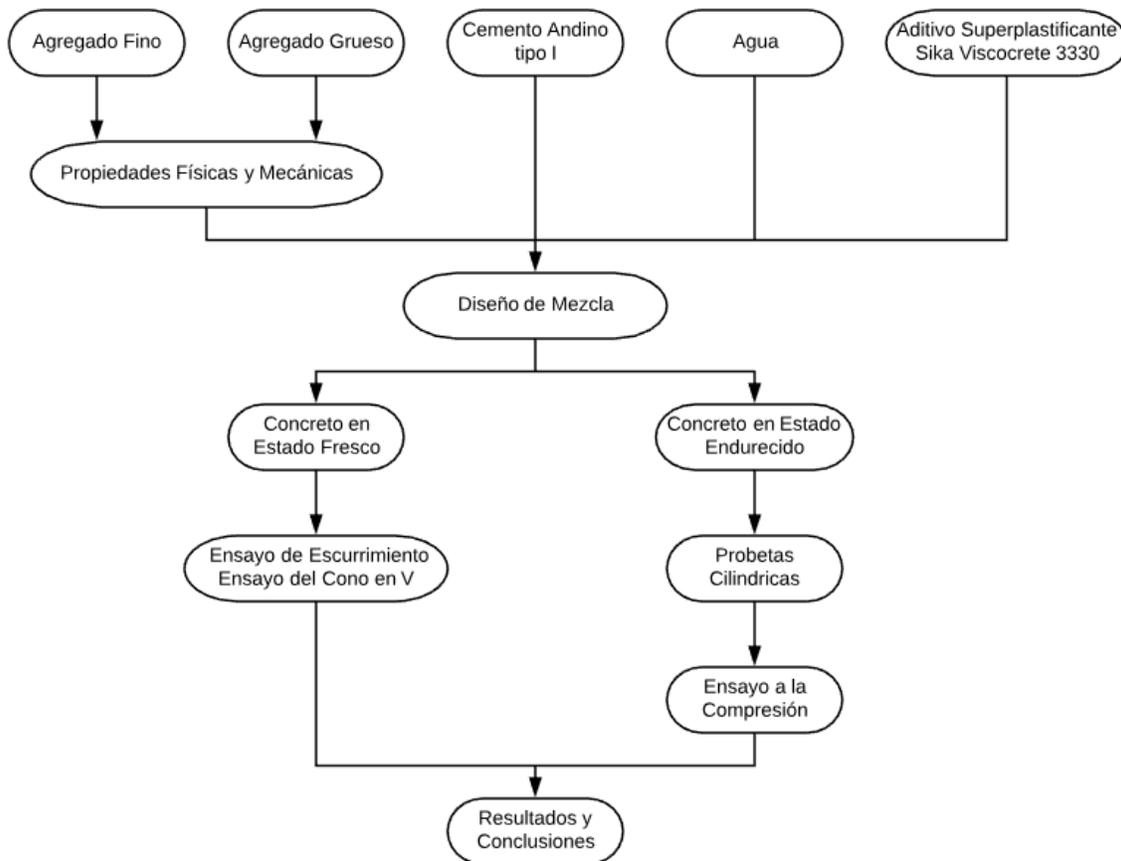
- ✓ El diseño de mezcla adecuado para el CAC, es decir la dosificación óptima para el diseño de los testigos de concreto de acuerdo a los resultados obtenidos de las mezclas tanto en estado fresco y endurecido.
- ✓ La prensa hidráulica, para los ensayos de la resistencia a la compresión. Obtenida para cada testigo de concreto con aditivo superplastificante Sika Viscocrete 3330, el tiempo de curado, la fecha de ensayo, las medidas de la muestra y la carga de ruptura.
- ✓ Balanza para medir el peso de los testigos de concreto.
- ✓ Cámara fotográfica, la cual nos permite registrar imágenes y actividades realizadas del trabajo de la investigación.

- ✓ Ensayos de laboratorio, la cual nos permite obtener toda la información técnica de cada testigo de concreto.
- ✓ Computadora y cuadernos de apuntes.

El procesamiento de datos y gráficos para el trabajo de investigación, se realizó mediante el software Microsoft Excel 2013 y el S10 para determinar el costo unitario.

3.9. DESARROLLO DEL TRABAJO DE TESIS

Figura 16: Diagrama del desarrollo del trabajo de tesis



CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. CONSTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

4.1.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS

Al realizar un estudio de diseño de concreto autocompactable se tendrá mayor eficiencia de colocación y consolidación del concreto, reduciendo los espacios vacíos en estructuras densamente armadas o encofrados con poca accesibilidad para un vibrado adecuado.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO (f'c) (kg/cm ²)			
NORMAS NTP 339.034 y ASTM C39			
Edad (días)	Muestra	Concreto Patrón	Concreto Autocompactante
		Sin Aditivo	Aditivo al 1.0%
28	1	328.82	473.58
28	2	308.78	459.42

a) Formulación de Hipótesis

$$H_0: \mu_{CP} - \mu_{CA} = 0$$

La hipótesis nula (H_0) afirma que, la resistencia a la compresión del concreto patrón convencional es igual a la Resistencia a la compresión del concreto autocompactable.

$$H_A: \mu_{CP} - \mu_{CA} < 0$$

La hipótesis alterna (H_A) afirma que, la resistencia a la compresión del concreto autocompactable, es mayor que la resistencia a la compresión del concreto patrón convencional.

H_0 : Hipótesis Nula

H_A : Hipótesis Alterna

$$\mu_{CP}: f'c = 210 \frac{kg}{cm^2} \text{ del concreto patrón}$$

$$\mu_{CA}: f'c = 210 \frac{kg}{cm^2} \text{ del concreto autocompactable}$$

b) Nivel de Significancia

$$\alpha = 0.05$$

c) Estadístico de Prueba

$$T = \frac{(\bar{X}_{CP} - \bar{X}_{CA})}{\sqrt{\frac{V_{CP}}{n_{CP}} + \frac{V_{CA}}{n_{CA}}}}$$

Donde:

\bar{X}_{CP} : Media de la Resistencia a la Compresión del Concreto patrón.

\bar{X}_{CA} : Media de la Resistencia a la Compresión del Concreto Autocompactable.

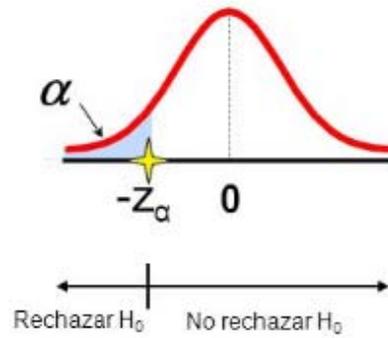
$\mu_{CP} - \mu_{CA}$: Diferencia Hipotética de las Medias.

V_{CP} : Varianza del Concreto Patrón.

V_{CA} : Varianza del Concreto Autocompactable.

n_{CP} y n_{CA} : Número de Observaciones del Concreto Patrón y del Concreto Autocompactable.

d) Región Crítica



Valor crítico de T : $t_{(1-\alpha, r)}$

$$\alpha = 0.05$$

$$n_{CP} = 2$$

$$n_{CA} = 2$$

$$\bar{X}_{CP} = 318.80$$

$$\bar{X}_{CA} = 466.50$$

$$V_{CP} = 200.80$$

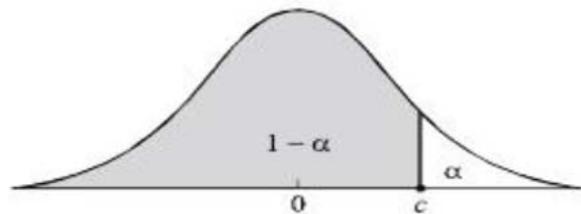
$$V_{CA} = 100.25$$

	Concreto Patrón Convencional	Concreto Autocompactante
	f'c (kg/cm ²)	f'c (kg/cm ²)
Promedio (\bar{X})	318.80	466.50
Varianza (V)	200.80	100.25

$$r = \frac{\left(\frac{V_{CP}}{n_{CP}} + \frac{V_{CA}}{n_{CA}}\right)^2}{\frac{\left(\frac{V_{CP}}{n_{CP}}\right)^2}{n_{CP} - 1} + \frac{\left(\frac{V_{CA}}{n_{CA}}\right)^2}{n_{CA} - 1}}$$

$$r = \frac{\left(\frac{200.80}{2} + \frac{100.25}{2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{200.80}{2}\right)^2}{2-1} + \frac{\left(\frac{100.25}{2}\right)^2}{2+1}} = 1.80$$

$$t_{(1-\alpha,r)} = t_{(0.95,1.80)} = \mathbf{2.920}$$



r	1 - α							
	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032

e) Valor Estadístico

$$t_c = \frac{(\bar{X}_{CP} - \bar{X}_{CA})}{\sqrt{\frac{V_{CP}}{n_{CP}} + \frac{V_{CA}}{n_{CA}}}}$$

$$t_c = \frac{(318.80 - 466.50)}{\sqrt{\frac{200.80}{2} + \frac{100.25}{2}}}$$

$$t_c = \mathbf{-12.039}$$

f) Decisión

$t_c = -12.039 \in a$ la región crítica. Por lo tanto, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

g) Conclusión

A un 95% de confianza se estima que la resistencia a la compresión del concreto autocompactante es mayor que la resistencia a la compresión del concreto patrón convencional.

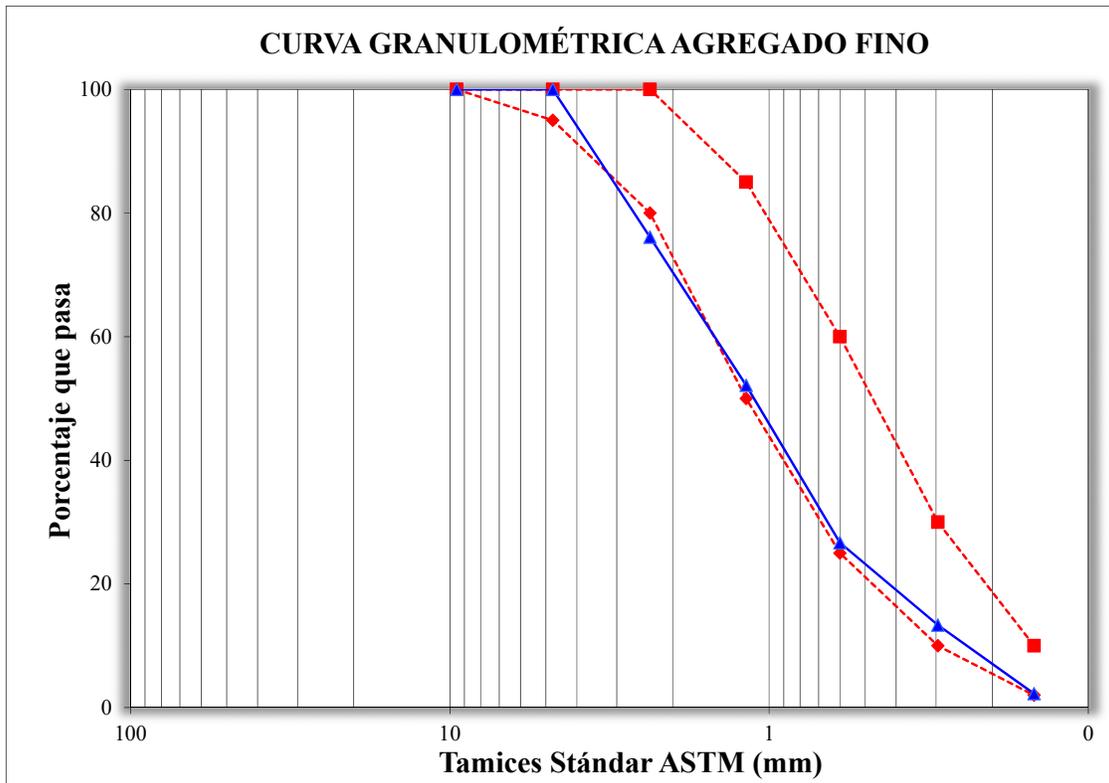
4.2. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

4.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS

4.2.1.1. CANTERA “LAS PIEDRAS” – RIO CHACCO

Tabla 16: Resultados del análisis granulometría del agregado fino.

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO							
Cantera: "Las Piedras" - Rio Chacco				Peso Inicial de la Muestra = 1,671.94 gr.			
Mallas	Abertura (mm)	Material Retenido		Porcentajes Acumulados		Especificaciones ASTM C136	
		(gr.)	(%)	Retenidos	Que Pasan		
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
Nº 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
Nº 8	2.360	399.51	23.89	23.89	76.11	80	100
Nº 16	1.180	400.86	23.98	47.87	52.13	50	85
Nº 30	0.600	425.91	25.47	73.34	26.66	25	60
Nº 50	0.296	222.38	13.30	86.65	13.35	10	30
Nº 100	0.148	185.49	11.09	97.74	2.26	2	10
Nº 200	0.074	29.60	1.77	99.51	0.49		
Fondo	0.000	5.39	0.32	99.83	0.17		
Suma		1669.14	99.83%	Módulo de Fineza (MF): 3.29			

Figura 17: Curva granulométrica del agregado fino.

- ✓ La granulometría del agregado fino no cumple con las especificaciones de la norma NTP 400.037 puesto que sobrepasa el límite inferior granulométrico, por lo cual se determinó que para cumplir con los requerimientos de la norma es necesario mejorar la granulometría eliminando el 60% del material retenido en la malla N°4; mediante este proceso se quiso ajustar la granulometría llegando a acercar la curva granulométrica al límite inferior, sin embargo no se tuvo un resultado positivo (Fig. N° 17), ya que la curva granulométrica no se ajusta a los límites granulométricos, por ende no cumple con la norma NTP 100.037.

granulométrica, se aprecia que el agregado grueso se encuentra dentro de los usos granulométricos de la NTP 400,037.

Tabla N° 4.3: Resultado de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.

Tabla 18: Resultado de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados. (Ver Anexos 1 al 5)

ENSAYOS DE LOS AGREGADOS: Cantera “Las Piedras” – Río Chacco				
Materiales	Unidad	Cemento	Arena	Piedra
TMN				1/2"
Peso Específico (Pe)	gr/cm ³	3.15	2.65	2.60
Peso Unitario Seco Suelto (PUSS)	kg/m ³		1,497.14	1,337.62
Peso Unitario Seco Compactado (PUCS)	kg/m ³		1,621.29	1,441.96
% Humedad			0.56	0.33
% Absorción			2.90	1.32
Módulo de Fineza			3.29	6.74

- ✓ Los valores para el módulo de fineza (M.F.) del agregado fino no deben ser menor a 2.3 ni mayor a 3.1 según lo indicado en la norma peruana NTP 400.037. Por lo tanto el agregado fino de la Cantera “Las Piedras” proveniente del Río Chacco, no cumple con la Norma ya que el valor del M.F. es de 3.29, pues no se encuentra dentro de los límites normales.
- ✓ Según el EFNARC y cumpliendo con las exigencias de la Norma UNE – EN 12620, el cual especifica que para concretos autocompactantes el tamaño máximo del agregado debe ser menor a 20 mm, es por ello y de acuerdo a la granulometría que se eligió como tamaño máximo nominal (T.M.N.) de 1/2” (12.7 mm).
- ✓ El peso específico de los agregados puede variar entre intervalos de 1.2 a 2.2 gr/cm³ para concretos ligeros, 2.3 a 2.9 gr/cm³ para concretos normales y 3.00 a 5.00 gr/cm³ para concretos pesados, entonces podemos decir que los pesos específicos de los agregados son de 2.65 y 2.60 gr/cm³ para los agregados finos

y gruesos respectivamente, cumpliendo así con los valores para concretos normales.

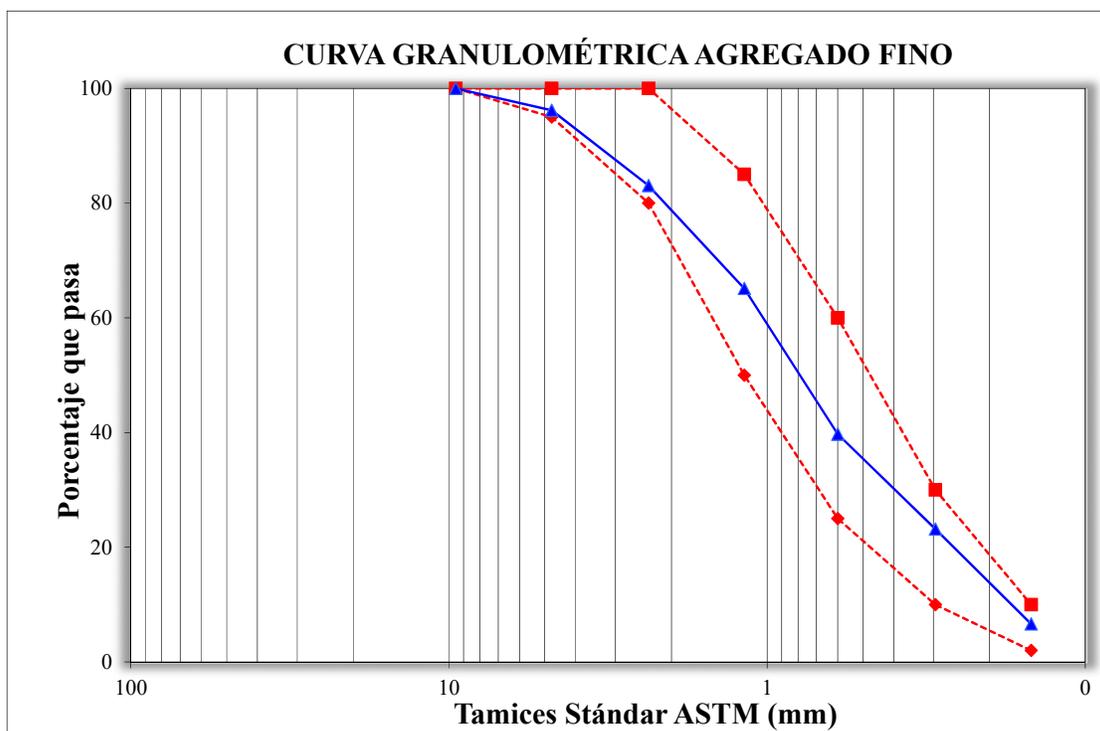
- ✓ El porcentaje de absorción de los agregados comúnmente se encuentran en el intervalo de 0.20% - 3.5%, por lo que los agregados tiene un porcentaje de absorción de 2.90% y 1.32% para los agregados finos y gruesos los cuales se encuentran dentro de los límites.
- ✓ Los pesos unitarios suelto seco obtenido son de 1,497.14 kg/m³ y 1,337.62 kg/m³ para el agregado fino y grueso respectivamente, y el peso unitario suelto compactado para el agregado fino es de 1621.29 kg/m³ y para el grueso de 1,441.96 kg/m³.

4.2.1.2. CANTERA “LA MODERNA” – RIO CACHI

Tabla 19: Resultados del análisis granulometría del agregado fino.

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO							
Cantera: "La Moderna" - Rio Cachi				Peso Inicial de la Muestra = 1,544.62 gr.			
Mallas	Abertura (mm)	Material Retenido		Porcentajes Acumulados		Especificaciones ASTM C136	
		(gr.)	(%)	Retenidos	Que Pasan		
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
Nº 4	4.760	59.07	3.82	3.82	96.18	95	100
Nº 8	2.360	202.60	13.12	16.94	83.06	80	100
Nº 16	1.180	276.91	17.93	34.87	65.13	50	85
Nº 30	0.600	392.68	25.42	60.29	39.71	25	60
Nº 50	0.296	255.36	16.53	76.82	23.18	10	30
Nº 100	0.148	255.78	16.56	93.38	6.62	2	10
Nº 200	0.074	64.54	4.18	97.56	2.44		
Fondo	0.000	34.73	2.25	99.81	0.19		
Suma		1541.67	99.81%	Módulo de Fineza (MF): 2.86			

Figura 19: Curva granulométrica del agregado fino.



- ✓ La granulometría del agregado fino se ajusta a los límites granulométricos según la norma peruana NTP 400.037, en la Fig. N° 19, se aprecia que el agregado fino se encuentra dentro de los límites granulométricos superior e inferior.

Tabla 20: Resultados del análisis granulometría del agregado grueso.

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO							
Cantera: "La Moderna" - Rio Cachi				Peso Inicial de la Muestra = 1,790.89 gr.			
Mallas	Abertura (mm)	Material Retenido		Porcentajes Acumulados		Especificaciones ASTM C136	
		(gr.)	(%)	Retenidos	Que Pasan		
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
3/4"	19.000	337.73	18.86	18.86	81.14	40	85
1/2"	12.500	964.83	53.87	72.73	27.27	10	40
3/8"	9.525	353.16	19.72	92.45	7.55	0	15
N° 4	4.760	134.75	7.52	99.98	0.02	0	5
FONDO	0.000	0.38	0.02				
Suma		1,790.85	100.00%	Tamaño Máximo Nominal (TMN): 1/2"			

Por lo tanto se cumple con la norma ya que el valor del M.F. es de 2.86, el cual se encuentra dentro de los límites normales.

- ✓ Según el EFNARC y cumpliendo con las exigencias de la Norma UNE – EN 12620, el cual especifica que para concretos autocompactantes el tamaño máximo del agregado debe ser menor a 20 mm, por lo que se eligió y de acuerdo a la granulometría como tamaño máximo nominal (T.M.N.) de 1/2” (12.7 mm).
- ✓ El peso específico de los agregados puede variar entre intervalos de 1.2 a 2.2 gr/cm³ para concretos ligeros, 2.3 a 2.9 gr/cm³ para concretos normales y 3.00 a 5.00 gr/cm³ para concretos pesados, entonces podemos decir que los pesos específicos de los agregados de la Cantera “La Moderna” son de 2.70 y 2.65 gr/cm³ para los agregados finos y gruesos respectivamente, cumpliendo así con los valores para concretos normales.
- ✓ El porcentaje de absorción de los agregados comúnmente se encuentran en el intervalo de 0.20% - 3.5%, por lo que los agregados de la Cantera “La Moderna” son de 1.56% y 0.99% para los agregados finos y gruesos los cuales se encuentran dentro de los límites.
- ✓ Los pesos unitarios suelto seco obtenido son de 1669.20 kg/m³ y 1462.37 kg/m³ para el agregado fino y grueso respectivamente, y el peso unitario suelto compactado para el agregado fino es de 1812.44 kg/m³ y para el grueso de 1552.72.

4.2.2. TABLA COMPARATIVA DE CANTERAS

Tabla 22: Comparación de canteras en las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.

Cantera	TMN	Peso Específico del Ag. Fino	Peso Específico del Ag. Grueso	% de Absorción	Granulometría Ag. Grueso	Granulometría Ag. Fino	Módulo de Fineza del Ag. Fino
“La Moderna” Río Cachi	Cumple con UNE - EN 12620	Cumple con NTP 400.037	Cumple con NTP 400.037	Cumple con NTP 400.037	Cumple con NTP 400.037	Cumple con NTP 400.037	Cumple con NTP 400.037
“Las Piedras” Río Chacco	Cumple con UNE - EN 12620	Cumple con NTP 400.037	Cumple con NTP 400.037	Cumple con NTP 400.037	Cumple con NTP 400.037	No Cumple con NTP 400.037	No Cumple con NTP 400.037

- ✓ Se observa de los resultados de la tabla comparativa de canteras (**Tabla N° 22**), donde la Cantera “La Moderna” – Río Cachi cumple con todas las especificaciones técnicas y recomendaciones acorde a las normas.
- ✓ Asimismo se observa que la Cantera “Las Piedras” – Río Chacco, cumple con las especificaciones y recomendaciones de las normas a excepción del módulo de fineza por tener un valor de 3.29, en el cual la norma recomienda valores mayor a 2.3 y menor a 3.1, a su vez la granulometría del agregado fino tampoco cumple con la norma por encontrarse fuera del límite inferior granulométrico (**Fig. N° 17**).

4.2.3. DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO DEL “COMITÉ 211 ACI” PARA EL CONCRETO PATRON - “CANTERA LA MODERNA” – RIO CACHI

1. DATOS OBTENIDOS DE LABORATORIO

MATERIALES	CEMENTO	ARENA	PIEDRA
TMN	-----	-----	1/2"
Peso Específico (Pe)	3.15	2.70	2.65
Peso Unitario Seco Suelto (PUSS)		1,669.20	1,462.37
Peso Unitario Seco Compactado (PUCS)		1,812.44	1,552.72
% Humedad		0.39	0.42
% Absorción		1.56	0.99
Módulo de Fineza		2.86	6.84

2. PROCEDIMIENTO

a. Selección de la Resistencia Promedio (f'_{cr}):

$$\text{Resistencia } f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$\Rightarrow f'_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{Según Tabla 7})$$

b. Selección del Asentamiento:

Consistencia : Plástica

Tipo de construcción : Zapatas, Vigas, Columnas

$$\Rightarrow \text{Asentamiento} = 3'' - 4'' \quad (\text{Según Tabla 8})$$

c. Selección de Volumen Unitario de Agua de Diseño:

Criterio : Sin Aire Incorporado

TMN : 1/2''

$$\Rightarrow \text{Vol. Unit. Agua} = 216 \text{ lt/m}^3 \quad (\text{Según Tabla 9})$$

d. Selección del Contenido de Aire:

$$\Rightarrow \text{Aire Atrapado} = 216 \text{ lt/m}^3 \quad (\text{Según Tabla 10})$$

e. Selección de la Relación Agua – Cemento (A/C):

Por interpolación se obtiene:

$$\Rightarrow \text{Relación A/C} = 0.56 \quad (\text{Según Tabla 11})$$

f. Determinación del Factor Cemento (FC):

$$\text{Agua} = 216$$

$$\text{A/C} = 0.56$$

$$\Rightarrow FC = 216/0.56 = 385.71 \text{ kg/m}^3 = 9.08 \text{ bls/m}^3$$

g. Determinación del Contenido o Peso del Agregado Grueso:

$$PUSC = 1,552.72$$

Por interpolación, para un módulo de fineza = 2.86, se obtiene:

$$b/b_o = 0.544 \quad (\text{Según Tabla 12})$$

$$\Rightarrow \text{Peso Ag. Grueso} = 0.544 * 1,552.72 = 844.68 \text{ kg/m}^3$$

h. Determinación del Volúmenes Absoluto:

Aire	= 2.5%	Agua	= 216 lt/m ³
Cemento	= 385.71 kg/m ³	Peso Ag. Grueso	= 844.68 kg/m ³
Pe. cemento	= 3.15 gr/cm ³	Pe. Ag. Grueso	= 2.65 gr/cm ³
\Rightarrow Cemento	= 385.71/(3.15 * 1000)		= 0.122 m ³
Agua	= 216/1000		= 0.216 m ³
Aire	= 2.5/100		= 0.025 m ³
Vol. Ag. Grueso	= 844.68/(2.65 * 1000)		= 0.319 m ³
		Σ	= 0.682 m ³

i. Determinación del Volumen Absoluto del Agregado Fino:

$$\Rightarrow \text{Vol. Ag. Fino} = 1 - 0.682 = 0.318 \text{ m}^3$$

j. Determinación del Peso del Agregado Fino:

$$\text{Pe. Ag. Fino} = 2.70 \text{ gr/cm}^3 = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$\Rightarrow \text{Peso Ag. Fino} = 0.318 * 2700 = 858.50 \text{ kg/m}^3$$

k. Valores de Diseño en Estado Seco:

$$\text{Cemento} = 385.71 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ag. Fino} = 858.50 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ag. Grueso} = 844.68 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 216.00 \text{ lt/m}^3$$

l. Corrección de los Valores de Diseño por Humedad del Agregado (CHA):

Utilizando la Fórmula:

$$CHA = \text{Peso seco} * \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right)$$

$$\Rightarrow \text{Ag. Fino} = 858.50 * ((0.39/100)+1) = 861.85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ag. Grueso} = 844.68 * ((0.42/100)+1) = 848.23 \text{ kg/m}^3$$

m. Aporte de Agua a la Mezcla:

Utilizando la Fórmula:

$$\text{Aporte de agua} = \frac{(\%w - \%abs.) * \text{agregado seco}}{100}$$

$$\Rightarrow \text{Ag. Fino} = ((0.39-1.56)*858.50)/100 = -10.04 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Ag. Grueso} = ((0.42-0.99)*844.68)/100 = -4.81 \text{ lt/m}^3$$

$$\Sigma = -14.85 \text{ m}^3$$

n. Agua Efectiva:

Utilizando la Fórmula:

$$\text{Agua efectiva} = \text{Vol. unit. agua} - \text{Suma aporte agua} \quad (\text{lt})$$

$$\Rightarrow \text{Agua} = 216 - (-14.85) = 230.85 \text{ lt/m}^3$$

o. Cálculo de la Proporción de Diseño en Peso:

$$\text{Cemento} = 385.71 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Ag. Fino} = 861.85 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Ag. Grueso} = 848.23 \text{ kg/m}^3 \quad \text{Agua} = 230.85 \text{ lt/m}^3$$

Para calcular la proporción en peso usaremos la siguiente proporción:

$$\frac{C}{C} : \frac{AF}{C} : \frac{AG}{C} : \frac{A}{C}$$

$$\Rightarrow 1 : 2.23 : 2.20 : 0.60$$

p. Cálculo de la Proporción de Diseño en Volumen:

Sabiendo que: $1\text{m}^3 = 35.31 \text{ pie}^3$, entonces se tiene las proporciones en volumen:

$$\Rightarrow 1 : 2.00 : 2.25 : 25.44$$

q. Determinación de los Pesos por Tanda:

Sabiendo que: 1 bolsa de cemento = 42.5 kg, tendremos:

$$\Rightarrow \text{Cemento} = 1 * 42.5 = 42.5 \text{ kg}$$

$$\text{Ag. Fino} = 2.23 * 42.5 = 94.96 \text{ kg}$$

$$\text{Ag. Grueso} = 2.19 * 42.5 = 93.46 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} = 230.85/9.08 = 25.44 \text{ lts}$$

4.2.4. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO AUTOCOMPACTANTE GENERADA A PARTIR DEL CONCRETO PATRON NORMAL, MEDIANTE REDUCCIÓN DE AGUA Y CON ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE

En esta sección se obtuvo como resultados a partir de los ensayos realizados con diferentes dosificaciones de aditivo superplastificante 1.0%, 1.25%, 1.50% y 2.0% del peso del cemento y con una reducción de agua en 10%, 15%, 20%, 27% y 30% de la cantidad total del agua de diseño, analizada mediante el ensayo de escurrimiento con el cono de abrams y mediante inspección visual, con la finalidad de evitar segregaciones en la mezcla de concreto (**Fig. 21**), obteniendo como resultado para la obtención de la dosificación óptima de agua en la **tabla 23**.

Tabla 23: Obtención de la dosificación óptima de agua mediante ensayo de escurrimiento e inspección visual.

REDUCCIÓN DE AGUA (%)	DOSIFICACIÓN DE ADITIVO			
	1.00%	1.25%	1.50%	2.00%
- 10%	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación
- 15%	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación
-20%	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación	Presencia de Segregación
-27%	No Existe Segregación	No Existe Segregación	No Existe Segregación	Comienza la Aparición de Segregación
-30%	Consistencia no fluida del concreto			

Figura 21: Segregación en la mezcla de concreto.



Se obtuvo como resultado, la dosificación óptima de agua en la mezcla con una reducción de 27% del agua total de diseño, esta reducción de agua modificará la relación A/C del CAC, pero se mantendrá la misma cantidad de cemento del concreto patrón.

Entonces, las dosificaciones para diseño de mezcla del CAC, manteniendo las cantidades de materiales y reduciendo la cantidad de agua serán las siguientes:

Tabla 24: Proporción de diseño para el CAC en peso para aditivo al 1.00%.

Diseño de Mezcla de CAC con Aditivo 1.00%				
A/C:	Material	Peso/m ³	Unidad	Proporción Peso
0.41	Cemento	385.71	kg/m ³	1.00
	Ag. Fino	861.85	kg/m ³	2.23
1.00%	Ag. Grueso	848.23	kg/m ³	2.20
	Agua diseño:	170.51	lt/m ³	0.44
174.37 lt	Aditivo	3.86	lt/m ³	0.0100

Tabla 25: Proporción de diseño para el CAC en peso para aditivo al 1.25%.

Diseño de Mezcla de CAC con Aditivo 1.25%				
A/C:	Material	Peso/m3	Unidad	Proporción Peso
0.41	Cemento	385.71	kg/m3	1.00
Aditivo:	Ag. Fino	861.85	kg/m3	2.23
	Ag. Grueso	848.23	kg/m3	2.20
Agua diseño:	Agua	169.55	lt/m3	0.44
	Aditivo	4.82	lt/m3	0.0125
174.37 lt				

Tabla 26: Proporción de diseño para el CAC en peso para aditivo al 1.50%.

Diseño de Mezcla de CAC con Aditivo 1.50%				
A/C:	Material	Peso/m3	Unidad	Proporción Peso
0.41	Cemento	385.71	kg/m3	1.00
Aditivo:	Ag. Fino	861.85	kg/m3	2.23
	Ag. Grueso	848.23	kg/m3	2.20
Agua diseño:	Agua	168.58	lt/m3	0.44
	Aditivo	5.79	lt/m3	0.0150
174.37 lt				

Tabla 27: Proporción de diseño para el CAC en peso para aditivo al 2.00%.

Diseño de Mezcla de CAC con Aditivo 2.00%				
A/C:	Material	Peso/m3	Unidad	Proporción Peso
0.41	Cemento	385.71	kg/m3	1.00
Aditivo:	Ag. Fino	861.85	kg/m3	2.23
	Ag. Grueso	848.23	kg/m3	2.20
Agua diseño:	Agua	166.66	lt/m3	0.43
	Aditivo	7.71	lt/m3	0.0200
174.37 lt				

4.2.5. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

- **Ensayo de Asentamiento del Concreto Patrón:**

Según la Norma NTP 339.035, se obtuvo que el asentamiento de la mezcla del concreto patrón es de 8.13 cm (3.2”), el cual está conforme de acuerdo al diseño realizado del concreto patrón.

- **Ensayo de Ecurrimiento del CAC (Cono de Abrams):**

Tabla 28: Resultado del ensayo de escurrimiento del CAC

T₅₀: Tiempo que alcanza la mezcla a los 50cm de diámetro.

D_{máx.}: Diámetro máx. que alcanza la mezcla.

Ensayo	Unidad	Parámetro Según Norma UNE-EN 1235-8		Porcentajes de Aditivo			
		Min.	Máx.	1.00%	1.25%	1.50%	2.00%
T ₅₀	seg.	2.0	8.0	5.6	4.8	4.3	3.1
D _{max}	cm	55.0	85.0	68	69.3	72	75.5
Segregación				Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ligera

- ✓ Se realizó el ensayo de escurrimiento a las mezclas del CAC, obteniendo resultados de escurrimientos mayores a los 60 cm (**Ver Tabla 28**), las cuales se encuentran dentro de los parámetros permisibles y es apropiado para muchas aplicaciones (muros, pilares, columnas, etc).
 - ✓ Los resultados del T₅₀, también se encuentran dentro del rango permisible que especifica la norma.
- **Ensayo del Embudo en V del CAC:**

Tabla 29: Resultado del ensayo del embudo en V del CAC

T_v.: Tiempo que alcanza el concreto en vaciarse del embudo en V.

Ensayo	Unidad	Parámetro Según Norma UNE-EN 1235-9		Porcentajes de Aditivo			
		Min.	Máx.	1.00%	1.25%	1.50%	2.00%
T _v	seg.	4.0	20.0	12.0	10.0	9.0	7.0
Segregación				Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ligera

- ✓ Se realizó el ensayo del Embudo en V a las mezclas del CAC, obteniendo resultados de descarga favorable con un máximo de 12 segundos para mezcla con aditivo al 1.00% y un mínimo de 7 segundo para mezcla con aditivo al 2.00%, las cuales se encuentran dentro de los parámetros permisibles de la norma (**Ver Tabla 29**).

4.2.6.RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

- **Ensayo de la Resistencia a Compresión: (VER ANEXO 13)**

Se codificó a la dosificación de aditivo de la siguiente manera:

- CP : Concreto Patrón sin aditivo
- A-1 : CAC con 1.00% de aditivo
- A-2 : CAC con 1.25% de aditivo
- A-3 : CAC con 1.50% de aditivo
- A-4 : CAC con 2.00% de aditivo

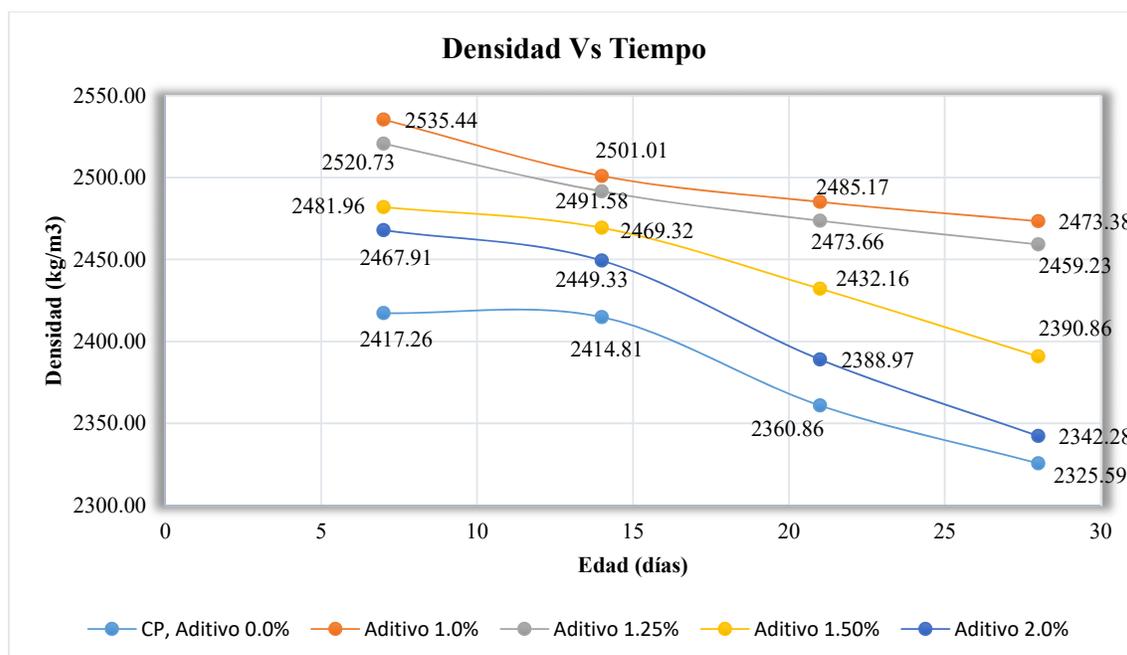
Tabla 30: Densidad de probetas de concreto a los 7, 14, 21 y 28 días

DENSIDAD DE PROBETAS (kg/cm3)					
Edad	CP	A-1	A-2	A-3	A-4
(días)	0.00%	1.00%	1.25%	1.50%	2.00%
7	2429.90	2559.68	2533.65	2503.65	2466.50
	2404.63	2511.20	2507.80	2460.27	2469.32
14	2414.81	2501.01	2491.58	2469.32	2449.33
21	2360.86	2485.17	2473.66	2432.16	2388.97
28	2315.03	2474.79	2460.27	2409.15	2354.64
	2336.15	2471.97	2458.20	2372.56	2329.93

Tabla 31: Resumen comparativo de las densidades promedio de las probetas de concreto a los 7, 14, 21 y 28 días

RESUMEN DE DENSIDAD DE PROBETAS (kg/cm3)					
Edad	CP	A-1	A-2	A-3	A-4
(días)	0.00%	1.00%	1.25%	1.50%	2.00%
7	2417.26	2535.44	2520.73	2481.96	2467.91
14	2414.81	2501.01	2491.58	2469.32	2449.33
21	2360.86	2485.17	2473.66	2432.16	2388.97
28	2325.59	2473.38	2459.23	2390.86	2342.28

Figura 22: Evolución de las densidades del concreto por cada dosificación de aditivo en el tiempo.



- ✓ De la **Fig. 22**, se aprecia que los concretos autocompactantes tienen mayor densidad con respecto al concreto patrón normal, esto quiere decir que las mezclas con aditivo superplastificante llegan a ocupar mayor cantidad de espacios vacíos con respecto a un concreto normal.
- ✓ Por otro lado se deduce que el concreto con una dosificación de aditivo al 1.0% tiene mayor densidad que las demás, entonces esta sería la que contiene menos vacíos en su interior.

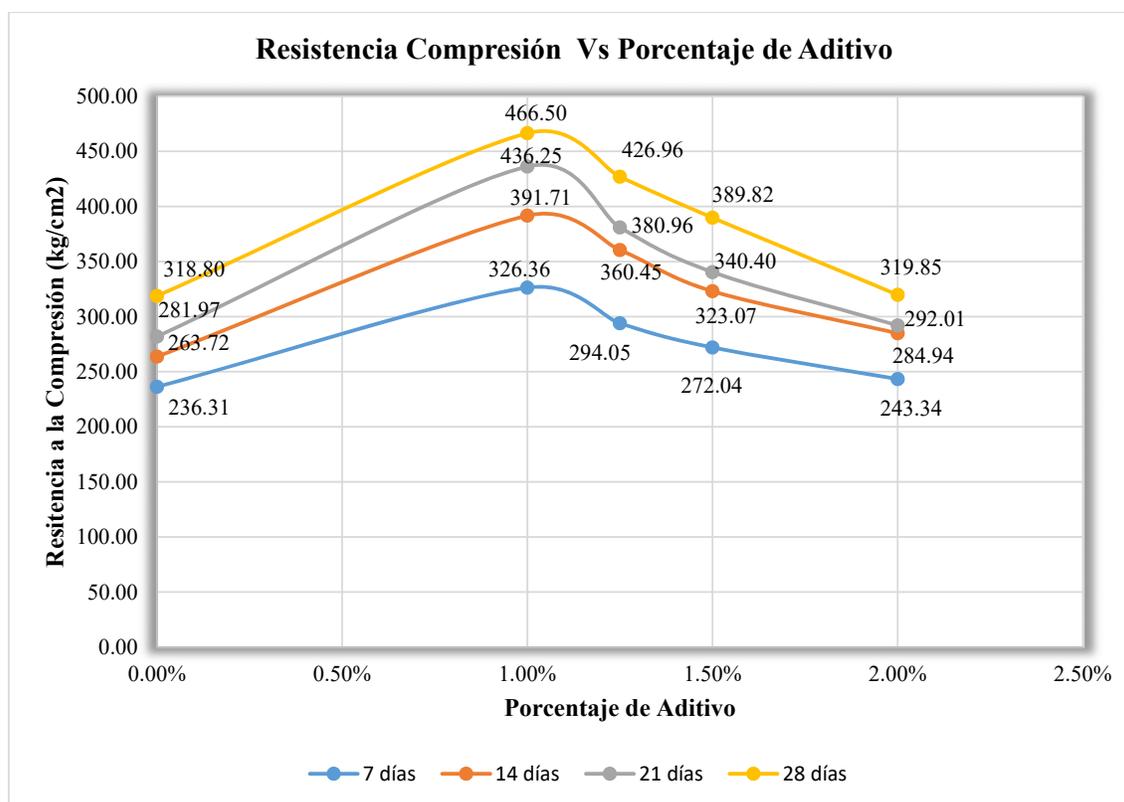
Tabla 32: Resultado de la resistencia a la compresión del concreto a los 7, 14, 21 y 28 días.

RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO ($f'c$) (kg/cm ²)					
NORMAS NTP 339.034 y ASTM C39					
Edad	CP	A-1	A-2	A-3	A-4
(días)	0.00%	1.00%	1.25%	1.50%	2.00%
7	241.47	319.81	287.15	264.27	246.71
	231.14	332.90	300.94	279.80	239.97
14	263.72	391.71	360.45	340.40	284.94
21	281.97	436.25	380.96	323.07	292.01
28	328.82	473.58	420.87	386.80	326.37
	308.78	459.42	433.04	392.84	313.33

Tabla 33: Resumen de la resistencia promedio a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días con diferentes dosificaciones de aditivo.

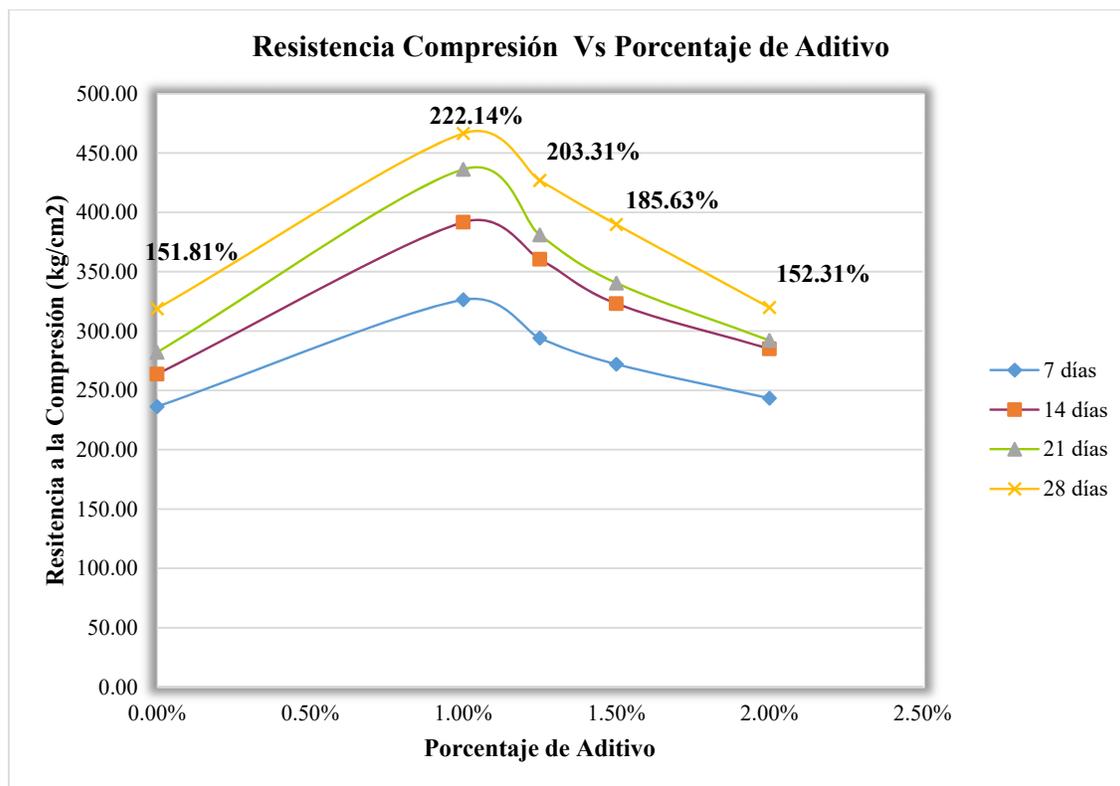
RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO ($f'c$) (kg/cm ²)					
NORMAS NTP 339.034 y ASTM C39					
Edad	CP	A-1	A-2	A-3	A-4
(días)	0.00%	1.00%	1.25%	1.50%	2.00%
7	236.31	326.36	294.05	272.04	243.34
14	263.72	391.71	360.45	323.07	284.94
21	281.97	436.25	380.96	340.40	292.01
28	318.80	466.50	426.96	389.82	319.85

Figura 23: Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto en función del porcentaje de aditivo.



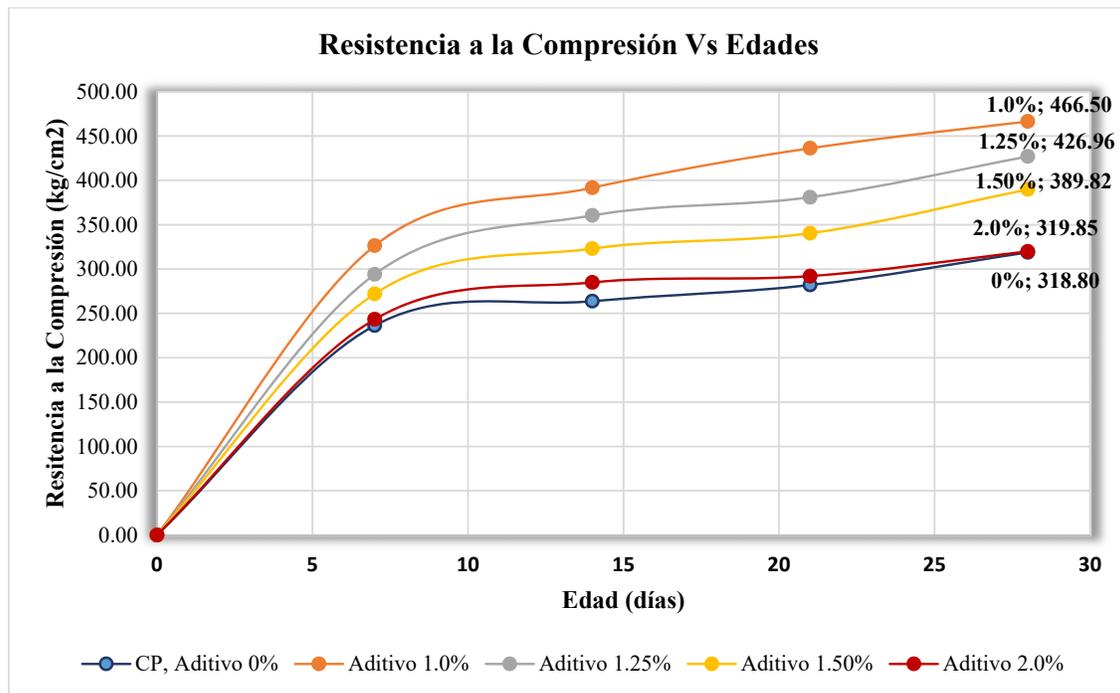
- ✓ De la **Fig. 23**, se deduce que a medida que se aumente la cantidad de aditivo a la mezcla, su resistencia a la compresión va disminuyendo. Esto se debe a que al aumentar la fluidez de la mezcla de concreto autocompactante esta comenzara a tener las primeras apariciones de segregación, afectando en las propiedades del concreto y dejando vacíos en la mezcla.

Figura 24: Porcentaje de la resistencia a compresión del concreto en función a los 28 días con respecto a la resistencia de diseño.



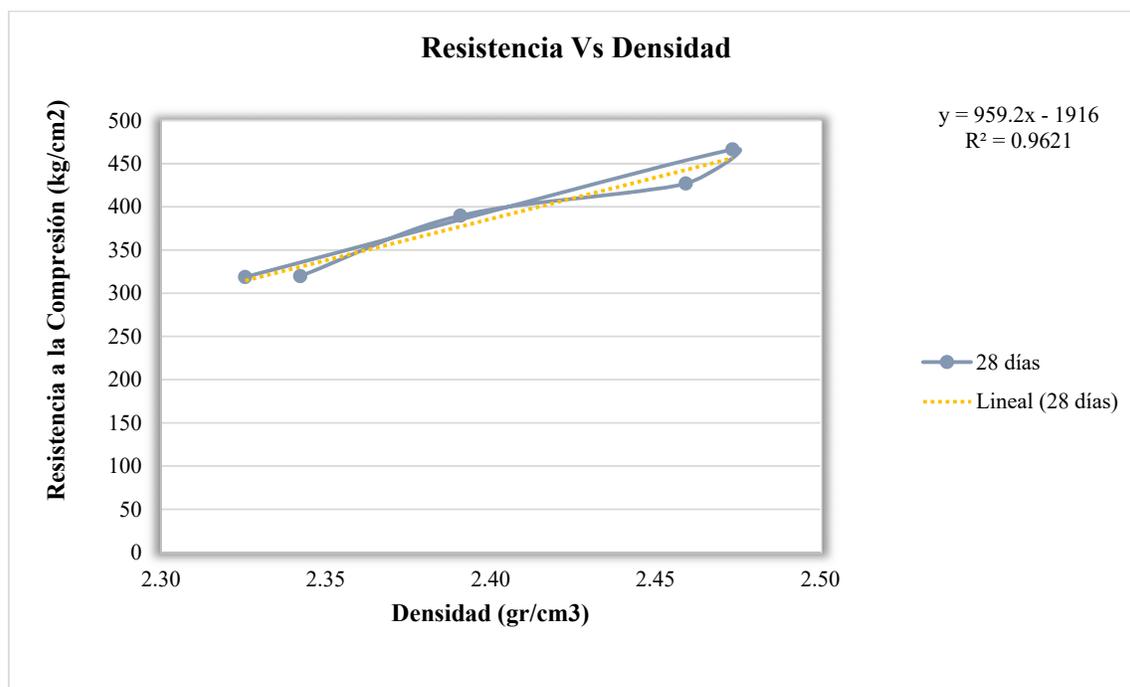
- ✓ De la **Fig. 24**, se observa que el concreto patrón alcanza una resistencia a la compresión de 151.81% con respecto al $f'_c=210\text{kg/cm}^2$, mientras que el CAC al 1.00% de aditivo alcanza una resistencia de 222.14% a los 28 días de madurez del concreto.
- ✓ De la misma manera se observa que, a medida que pasa la edad del concreto, este aumenta su resistencia en todos los casos.
- ✓ Por otra parte se llega el concreto autocompactante logra mayor resistencia a edades iniciales en comparación al concreto patrón, pero esto no asegura que mantenga la tendencia a los 28 días.

Figura 25: Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto en función del tiempo.



De la **Fig. 25**, se aprecia que el concreto con 1.0% de aditivo aumenta considerablemente la resistencia a la compresión en 147.70 kg/cm^2 más que concreto patrón en 28 días, a comparación las dosificaciones de 1.25% y 1.50% que se encuentran por encima del concreto patrón en 108.16 kg/cm^2 y 71.02 kg/cm^2 respectivamente. Para la mezcla con 2.0% de aditivo se tiene una pequeña diferencia de 1.05 kg/cm^2 en comparación al concreto patrón, entonces se obtiene como resultado que las mezclas con aditivo aumentan la resistencia la compresión

Figura 26: Relación de la resistencia a la compresión y su densidad.

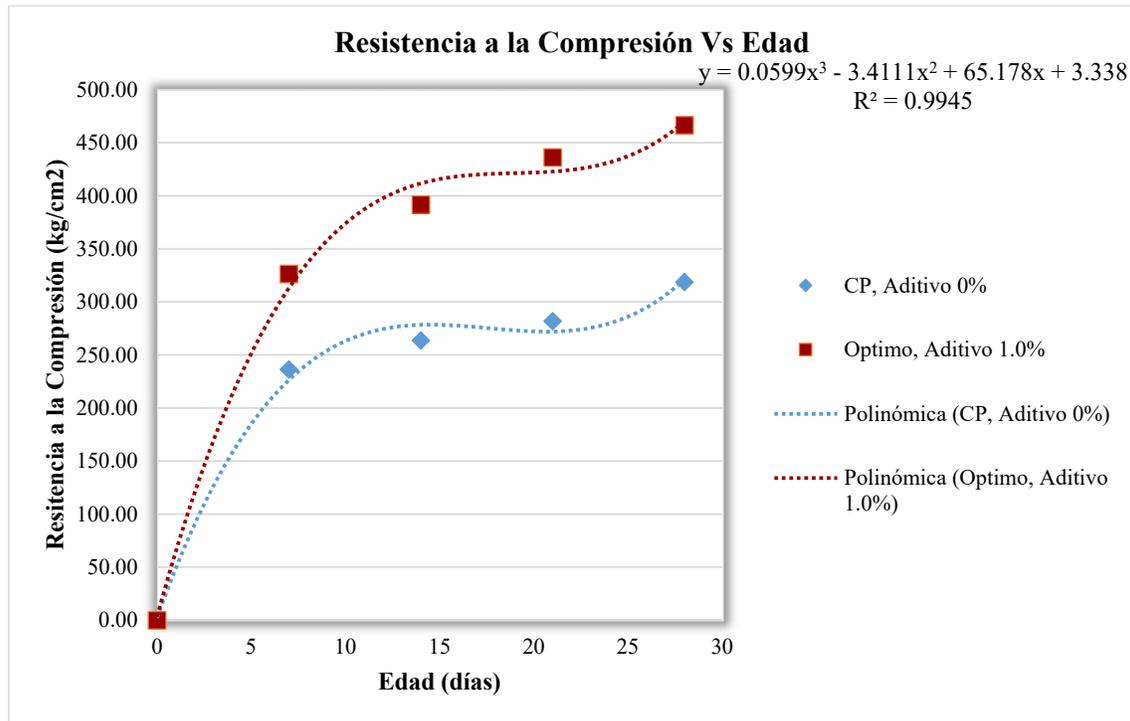


En la **Fig. 26**, se observa que el concreto mientras mayor sea su densidad, mayor será su resistencia. Es decir que su densidad es directamente proporcional a su resistencia.

- **Diseño Óptimo del Concreto Autocompactante:**

De las **Fig. 23, 24 y 25**, se deduce que la dosificación óptima para el CAC es de 1.0% el cual cumple con todos los parámetros de un concreto autocompactante.

Figura 27: Línea de tendencia de evolución a la resistencia a compresión de concreto óptimo del CAC.



De la **Fig. 27**, se observa que la tendencia de un concreto autocompactante se asemeja a la de un concreto normal, quiere decir que la adición de aditivo superplastificante a pesar de incrementar su resistencia considerablemente no cambiar sus características físicas en el estado endurecido.

4.2.7. COMPARACIÓN ECONÓMICA DEL CONCRETO PATRON CONVENCIONAL VS EL CONCRETO AUTOCOMPACTANTE

Tabla 34: Análisis de costo del concreto patrón por m3 (0.0% de aditivo) $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

ANALISIS DE COSTOS "CONCRETO PATRON $f'c=210\text{kg/cm}^2$ " (Aditivo 0.0%)				
Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Agregado Grueso	m3	0.5800	55.00	31.90
Agregado Fino	m3	0.5200	50.00	26.00
Cemento Portland Tipo I (42.5 Kg)	bol	9.0800	25.80	234.26
Agua	m3	0.2300	1.68	0.39
Vibrador Para Concreto	hm	0.6667	5.00	3.33
Total				295.88

Tabla 35: Análisis de costo del concreto CAC por m3 (1.0% de aditivo) $f'c=210\text{kg/cm}^2$.

ANALISIS DE COSTOS "CONCRETO AUTOCOMPACTANTE $f'c=210\text{kg/cm}^2$ " (Aditivo 1.0%)				
Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Agregado Grueso	m3	0.5800	55.00	31.90
Agregado Fino	m3	0.5200	50.00	26.00
Cemento Portland Tipo I (42.5 Kg)	bol	9.0800	25.80	234.26
Aditivo Superplastificante Sika Viscocrete 3330	l	0.0036	25.98	0.09
Agua	m3	0.1700	1.68	0.29
Total				292.54

Tabla 36: Análisis de costo del concreto por m3 (0.0% de aditivo) $f'c=400\text{kg/cm}^2$

ANALISIS DE COSTOS "CONCRETO $f'c=400\text{kg/cm}^2$ "				
Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Agregado Grueso	m3	0.5800	55.00	31.90
Agregado Fino	m3	0.4400	50.00	22.00
Cemento Portland Tipo I (42.5 Kg)	bol	12.4000	25.80	319.92
Agua	m3	0.2300	1.68	0.39
Vibrador para concreto	hm	0.6667	5.00	3.33
Total				377.54

Tabla 37: Resumen de costos de concreto por m³

RESUMEN DE COSTOS				
Muestra	f'c diseño (kg/cm ²)	f'c final (kg/cm ²)	Dosis	Costo (S/.)
CP	210	318.80	0.0%	295.88
CAC	210	466.50	1.0%	292.54
Concreto		400	0.0%	377.54

- ✓ Se observa de los resultados de la tabla de resumen de costos (**Tabla 37**), que el costo de elaboración del concreto autocompactante es ligeramente menor en comparación del concreto patrón convencional en S/. 3.34 soles.
- ✓ Por otro lado se realizó una comparación económica con un concreto de alta resistencia de $f'c=400\text{kg/cm}^2$ ya que el CAC llegó a obtener una resistencia $f'c=466.50\text{kg/cm}^2$ a los 28 días, teniendo como resultado una diferencia de S/. 85 soles menos que el concreto de alta resistencia.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

5.1. CONCLUSIONES

- ✓ Una vez realizado los ensayos de laboratorio y evaluado sus propiedades físicas y mecánicas de los materiales de las Canteras “La Moderna” – Río Cachi y “Las Piedras” – Río Chacco, se optó por la primera cantera para realizar los diseños finales del CAC por cumplir con las especificaciones y recomendaciones técnicas de las Normas NTP, ASTM y UNE. En cambio la Cantera “Las Piedras” perteneciente a la fluencia del Río Chacco se descartó el uso de sus materiales para la elaboración de un CAC por no cumplir con los requisitos de granulometría y módulo de fineza en su agregado fino que la norma exige.
- ✓ En la presente investigación se logró obtener un concreto autocompactable con los materiales recabados de la fluencia del Río Cachi, las cuales son óptimas para este tipo de concreto.
- ✓ Se pudo comprobar que el concreto autocompactante no necesita de vibrado, ya que el concreto por su propio peso se consolida y reduce la cantidad de vacíos a comparación de un concreto convencional, esta característica se puede notar porque la densidad del CAC es mayor a la del concreto convencional.

- ✓ La resistencia mecánica a la compresión (f'_c) del concreto autocompactante, fueron superiores a las del concreto normal, demostrando así que el uso del aditivo superplastificante mejora la calidad de un concreto.
- ✓ Se demostró que a pesar de reducir los vacíos y mejorar las propiedades del concreto, es factible económicamente para su uso ya que en comparación del concreto convencional reducimos el costo de elaboración en el concreto en S/. 3.34 soles por m^3 .
- ✓ Con el uso del aditivo superplastificante se pudo obtener un concreto autocompactante de alta resistencia llegando hasta una resistencia de $f'_c=466.50\text{kg/cm}^2$ con un diseño plasmado para un $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ y con mejores características. El CAC en comparación económica con un concreto convencional con un diseño para una resistencia de $f'_c=400\text{kg/cm}^2$, es mucho más factible ya que se tiene S/. 85.00 soles menos por m^3 que el concreto convencional.
- ✓ Se demostró que el concreto autocompactable diseñado fue óptimo y de alta calidad ya que superó todos los ensayos proyectados cumpliendo son los parámetros establecidos de los ensayos y también con las características específicas de un CAC.

5.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Para utilizar el CAC como material de construcción, es necesario realizar previamente un estudio técnico de los materiales que se vayan a utilizar, ya que no todas las canteras de agregado pueden cumplir con los requisitos para la elaboración de un CAC.
- ✓ El Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso para la elaboración de un CAC, debe preferentemente de 1/2" a 3/8", y se deben de realizar los ensayos necesarios y básicos de manera cuidadosa y responsable, para obtener una correcta estabilidad de la mezcla, garantizando así el cumplimiento de sus propiedades autocompactables.

- ✓ Es necesario tener un cuidado adecuado en la dosificación del aditivo en la mezcla, ya que este puede crear segregación y sangrado.
- ✓ Según los ensayos realizados en la investigación para elaborar un CAC, se pudo observar que la mejor manera para una correcta colocación del concreto es por premezclado, ya que el tiempo de fraguado del concreto es muy rápido.
- ✓ Tener en consideración para la elaboración del CAC en laboratorio un tiempo de mezclado de 10 minutos como mínimo, ya que este es tiempo en que el aditivo superplastificante comienza a reacción en la mezcla.

5.3. TRABAJOS FUTUROS

- ✓ Fomentar el uso de los aditivos en las futuras construcciones a nivel regional y provincial.
- ✓ Realizar estudios controlando la resistencia diseño a la que se quiere alcanzar.
- ✓ Realizar estudios del concreto autocompactante con adiciones que puedan reducir segregaciones en la mezcla.
- ✓ Propiciar normativas que cumplan con los requerimientos de los materiales acorde a nuestra NTP.

BIBLIOGRAFÍA

- ALONSO, M. (2011). Tesis. *Comportamiento y Compatibilidad de Cementos y Aditivos Superplastificante Basados en Policarboxilatos, Efecto de la Naturaleza de los Cementos y Estructura de los Aditivos.*
- ALVAREZ, J. (2014). Hormigón Autocompactante con Nano Adiciones y Fibras. *Tesis.*
- AMBROSIE, J., PERA, J. (Febrero de 2001). Propiedades del Concreto Autonivelante. (I. M. Concreto, Ed.) *Construcción y Tecnología en Concreto*, págs. 16-22.
- CARRASCO, F. (s.f.). *Tecnología del Hormigón .*
- CARRILLO, J., ALCOCER, S. y APEDADOR, W. (2013). Propiedades Mecánicas del Concreto para Viviendas de Bajo Costo. *Ingeniería Investigación y Tecnología, XIV(2).*
- CHUTÁN, R. (2004). CONCRETO AUTOCOMPACTADO EXPERIMENTACIÓN EN GUATEMALA. *Tesis.*
- CREMADES, S. (2011). Estudio de la Robustez en el Hormigón Autocompactante con Bajo Contenido de Finos. *Tesis.*
- CUEVA, R. y EUSTAQUIO, W. (2012). Influencia del Procentaje de Diatomita Sobre la trabajabilidad y la Compresión de un Concreto Autocompactable. *Tesis.*
- EFNARC, F. E. (2002). *Especificaciones y Directrices para el Hormigón Autocompactable - HAC.*
- EHE-08. (2011). Instrucción Española del Hormigón Estructural. Serie Normativo, Ministerio de Fomento. Secretaría General . Madrid.

- HUICHO, E. (2011). Concreto de Alta Resistencia Usando Aditivo Superplastificante, Microsilice y Nanosilice con Cemento Portland Tipo I. *Tesis*.
- INGENIERIA & CONSTRUCCION. (2012). Ingenieria y Construcción. Edición N° 39.
- MOLINA, C. y SALDAÑA, S. (2014). Influencia del Aditivo Hiperplastificante Plastol 200 Ext en las Propiedades del Concreto Autocompactante en Estado Fresco y Endurecido. *Tesis*.
- NEVILLE, A. y BROOKS, J. (2010). *Tecnología del Concreto* (Segunda ed.). Techbooks.
- NIETO, D. (2005). *Estudio de Hormigón Autocompactante con Árido Reciclado*. España.
- OKAMURA, H. (1997). Diseño de Hormigones Autocompactables de Alta Resistencia. *Revista Cemento Hormigón*, 32-33.
- OKAMURA, H., & OUCHI, M. (2003). *Self-compacting concrete*. *Journal of advanced concrete technology* (Vol. 1).
- OKAMURA, H., MAEKAWA, K. & MISHIMA T. (2000). Performance based desing for self-compacting structural hig-strength concrete. *ACI special publication*.
- PACCOSONCCO, I. C. (2013). Diseño de Concreto Autocompactante con Agregado Angular y Sub-Redondeado Utilizando Aditivos de las Marcas Chema, Sika y Euco. *Tesis*.
- PASQUEL, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto* (Segunda ed.). Perú.
- PORTUGAL, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño*. Lima.
- RIGUEIRA, V. (2007). Estudio de la Sensibilidad e Influencia de la Composición en las Propiedades Reológicas y Mecánicas de los Hormigones Autocompactantes. *Tesis*.
- RIVVA, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto* (Segunda ed.).

- RIVVA, E. (2014). *Materiales para el Concreto* (Tercera ed.). Lima.
- RIVVA, E. (2015). *Tecnología del Concreto: Diseño de Mezclas* (Tercera ed.). Lima.
- SÁNCHEZ, H. (2014). Efecto del Aditivo Superplastificante Sika Viscocrete en la Resistencia Mecánica del Concreto Autocompactante. *Tesis*.
- SANDOVAL, A. (2016). *Caracterización del Hormigón Autocompactante Reforzado con Fibras sintéticas para su Uso Estructural*. Chile.
- SIKA. (s.f.). TECNOLOGÍA SIKA VISCOCRETE "Sika Viscocrete Concreto Autocompactable". *Referencias Internacionales Serie Sika Concreto*, 8-9.
- SIKA. (s.f.). Sika Viscocrete 3330. *Hoja Técnica*.
- STEVEN, K., KERKHOFF, B., PANARESE, W. y TANESI, J. (2004). *PCA: Diseño y Control de Mezclas de Concreto* (Primera ed.).
- UNACEM. (s.f.). Concreto Andino. *Ficha Técnica*.
- VILANOVA, A. (2009). Influencia de la Dosificación y Empleo de Diferentes Tipos de Cemento y Adiciones en las Propiedades Mecánicas del Hormigón Autocompactante. *Tesis*.

ANEXOS

ANEXO A

PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA “LAS PIEDRAS” – RÍO CCHACCO.

1. Granulometría del Agregado Fino
2. Granulometría del Agregado Grueso
3. Peso Unitario Suelto Seco de los Agregados
4. Peso Unitario Compacto Seco de los Agregados
5. Peso Específico y Absorción de los Agregados

ANEXO 1: Granulometría del Agregado Fino

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM C-136
(AGREGADO FINO)**

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".

ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

NORMA : ASTM C-136

CANTERA : "LAS PIEDRAS" - RIO CHACCO

MUESTRA : AGREGADO FINO

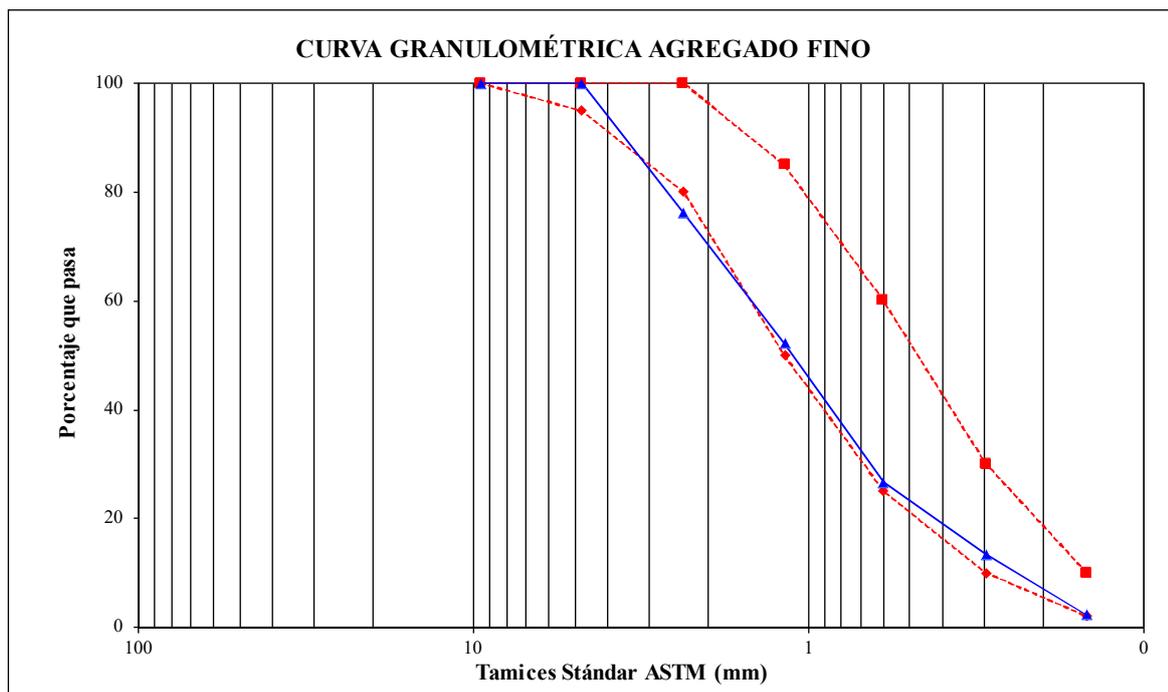
% DE FINOS : 0.49%

% HUMEDAD : 0.56%

% ABSORCION : 2.90%

PESO LAVADO SECO : 1671.94 Grs **M. F.** : 3.29

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES ASTM C-136	
		(GRS)	(%)	RETENIDOS	QUE PASAN		
2"	50.000						
1 1/2"	38.100						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
Nº 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
Nº 8	2.360	399.51	23.89	23.89	76.11	80	100
Nº 16	1.180	400.86	23.98	47.87	52.13	50	85
Nº 30	0.600	425.91	25.47	73.34	26.66	25	60
Nº 50	0.296	222.38	13.30	86.65	13.35	10	30
Nº 100	0.148	185.49	11.09	97.74	2.26	2	10
Nº 200	0.074	29.60	1.77	99.51	0.49		
Lavado		0.00	0.00	99.51	0.49		
FONDO	0.000	5.39	0.32	99.83	0.17		
		1669.14	99.83				



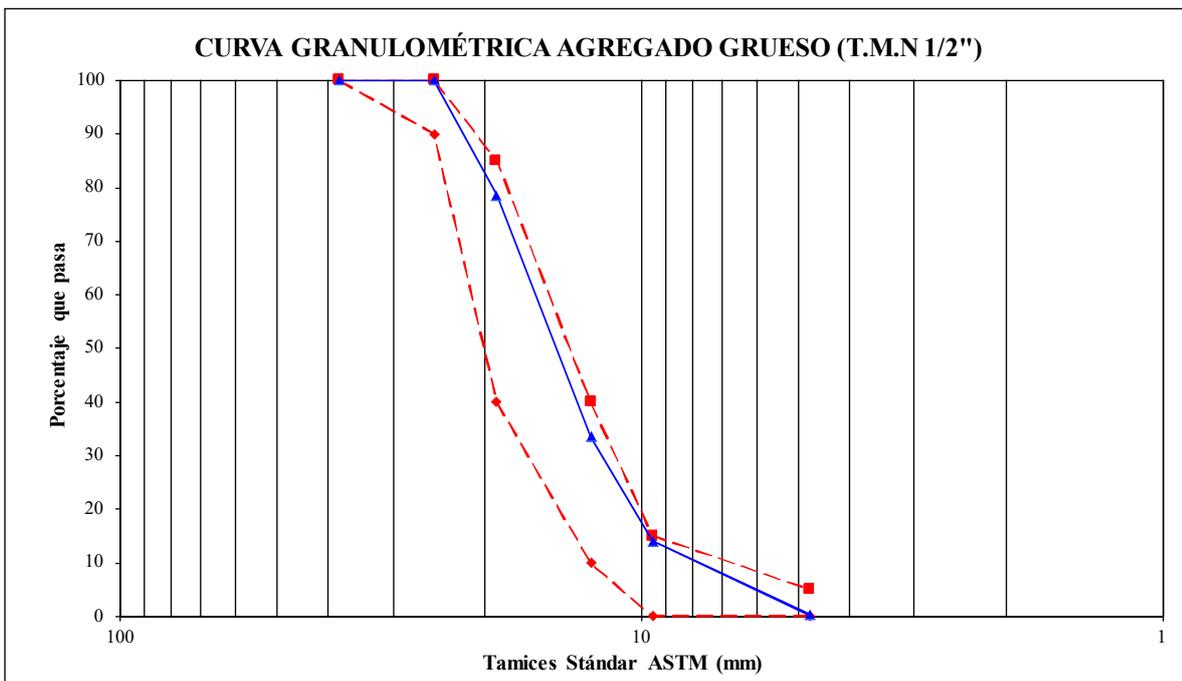
ANEXO 2: Granulometría del Agregado Grueso

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM C-136
(AGREGADO GRUESO T.M.N 1/2")**

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".
ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
NORMA : ASTM C-136
CANTERA : "LAS PIEDRAS" - RIO CHACCO
MUESTRA : AGREGADO GRUESO

% **HUMEDAD** : 0.33%
 % **ABSORCION** : 1.32%
PESO INICIAL SECO : 1,786.50 GRS. **M. F.** : 6.74

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES ASTM C-136	
		(GRS)	(%)	RETENIDOS	QUE PASAN		
2"	50.000						
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
3/4"	19.000	383.47	21.46	21.46	78.54	40	85
1/2"	12.500	803.48	44.98	66.44	33.56	10	40
3/8"	9.525	349.23	19.55	85.99	14.01	0	15
Nº 4	4.760	244.25	13.67	99.66	0.34	0	5
Nº 8	2.360	0.00					
Nº 16	1.180						
Nº 30	0.600						
Nº 50	0.296						
Nº 100	0.148						
FONDO	0.000	5.81	0.33				
		1,786.24	99.99				



ANEXO 3: Peso Unitario Suelto Seco de los Agregados

PESO UNITARIO SUELTO SECO DE AGREGADOS ASTM C-29

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".
ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
NORMA : ASTM C-29
CANTERA : "LAS PIEDRAS" - RIO CHACCO
MUESTRA : AGREGADOS GRUESO Y FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO FINO

Agregado		Fino		
Tamaño máximo		-----		
Número de ensayo		Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
1	Peso molde (gr)	7,021.00	7,021.00	7,021.00
2	Peso Agregado + molde (gr)	20,966.00	20,936.00	20,971.00
3	Peso Agregado suelto (gr) = (2) - (1)	13.945	13.915	13.950
4	Ø interno molde (cm)	22.80	22.80	22.80
5	Altura interna molde (cm)	22.80	22.80	22.80
6	Volumen molde = $\text{PI} \cdot (4)^2 / 4 \cdot (5)$ (m ³)	0.009309	0.009309	0.009309
7	Peso Unitario Suelto Seco = (3) / (6) (Kg/m ³)	1,498.04	1,494.82	1,498.58
Promedio		1,497.14 KG/M3		

PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO GRUESO

Agregado		Grueso		
Tamaño máximo Nominal		1/2"		
Número de ensayo		Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
1	Peso molde (gr)	7,021.00	7,021.00	7,021.00
2	Peso Agregado + molde (gr)	19,490.00	19,472.00	19,456.00
3	Peso Agregado suelto (gr) = (2) - (1)	12.469	12.451	12.435
4	Ø interno molde (cm)	22.80	22.80	22.80
5	Altura interna molde (cm)	22.80	22.80	22.80
6	Volumen molde = $\text{PI} \cdot (4)^2 / 4 \cdot (5)$ (m ³)	0.009309	0.009309	0.009309
7	Peso Unitario Suelto Seco = (3) / (6) (Kg/m ³)	1,339.48	1,337.55	1,335.83
Promedio		1,337.62 KG/M3		

ANEXO 4: Peso Unitario Suelto Seco de los Agregados

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO DE AGREGADOS ASTM C-29

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".
ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
NORMA : ASTM C-29
CANTERA : "LAS PIEDRAS" - RIO CHACCO
MUESTRA : AGREGADOS GRUESO Y FINO

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO DE AGREGADO FINO

Agregado		Fino		
Tamaño máximo		1/2 - 3/4"		
Número de ensayo		Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
1	Peso molde (gr)	7,021.00	7,021.00	7,021.00
2	Peso Agregado compactado + molde (gr)	22,098.00	22,109.00	22,133.00
3	Peso Agregado compactado (gr) = (2) - (1)	15.077	15.088	15.112
4	Ø interno molde (cm)	22.80	22.80	22.80
5	Altura interna molde (cm)	22.80	22.80	22.80
6	Volumen molde = $\text{PI} \cdot (4)^2 / 4 \cdot (5)$ (m ³)	0.009309	0.009309	0.009309
7	Peso Unitario Seco Compactado = (3) / (6) (Kg/m ³)	1,619.64	1,620.83	1,623.40
Promedio		1,621.29 KG/M3		

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO DEL AGREGADO GRUESO

Agregado		Grueso		
Tamaño máximo nominal		1/2 - 3/4"		
Número de ensayo		Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
1	Peso molde (gr)	7,021.00	7,021.00	7,021.00
2	Peso Agregado compactado + molde (gr)	20,424.00	20,443.00	20,465.00
3	Peso Agregado compactado (gr) = (2) - (1)	13.403	13.422	13.444
4	Ø interno molde (cm)	22.80	22.80	22.80
5	Altura interna molde (cm)	22.80	22.80	22.80
6	Volumen molde = $\text{PI} \cdot (4)^2 / 4 \cdot (5)$ (m ³)	0.009309	0.009309	0.009309
7	Peso Unitario Seco Compactado = (3) / (6) (Kg/m ³)	1,439.81	1,441.86	1,444.22
Promedio		1,441.96 KG/M3		

ANEXO 5: Peso específico y Absorción de los Agregados

**PESO ESPECIFICO Y LA ABSORCION DE LOS AGREGADOS ASTM C-127 Y
ASTM C-128**

TESIS : CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".

ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

NORMA : ASTM C-127 Y C-128

CANTERA : "LAS PIEDRAS" - RIO CHACCO

MUESTRA : AGREGADOS GRUESO Y FINO

AGREGADO GRUESO				
IDENTIFICACION		"A"	"B"	Promedio
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	2381.00	2374.97	2377.99
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Agua)	1447.08	1439.60	1443.34
C	Vol. De Masas + Vol de vacios = A - B	933.92	935.37	934.65
D	Peso Mat. Seco en estufa (105 °C)	2349.00	2345.11	2347.06
E	Vol. de Masa = C - (A - D)	901.92	905.51	903.72
	Pe Bulk (Base Seca) = D/C	2.52	2.51	2.51
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/C	2.55	2.54	2.54
	Pe Aparente (Base Saturada) = D/E	2.60	2.59	2.60
	% de Absorcion = ((A - D)/D) X 100	1.36	1.27	1.32

AGREGADO FINO				
IDENTIFICACION		"A"	"B"	Promedio
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	500.00	500.00	500.00
B	Peso Frasco + H2O	719.29	719.20	719.25
C	Peso Frasco + H2O + A	1219.29	1219.20	1219.25
D	Peso Mat. + H2O en el frasco	1022.69	1020.81	1021.75
E	Vol. de Masas + Vol. De Vacios = C - D	196.60	198.39	197.50
F	Peso Mat. Seco en estufa (105 °C)	485.26	486.52	485.89
G	Vol. de Masa = E - (A - F)	181.86	184.91	183.39
	Pe Bulk (Base Seca) = F/E	2.47	2.45	2.46
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/E	2.54	2.52	2.53
	Pe Aparente (Base Saturada) = F/G	2.67	2.63	2.65
	% de Absorcion = ((A - F)/F) X 100	3.04	2.77	2.90

ANEXO B

DISEÑO Y PROPIEDADES FÍSICAS, MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS DE LA CANTERA “LA MODERNA” – RÍO CACHI.

6. Granulometría del Agregado Fino
7. Granulometría del Agregado Grueso
8. Peso Unitario Suelto Seco de los Agregados
9. Peso Unitario Compacto Seco de los Agregados
10. Peso Específico y Absorción de los Agregados
11. Diseño del Mezcla del Concreto Patrón $f'c= 210\text{kg/cm}^2$
12. Ensayo de Resistencia a la Compresión del concreto

ANEXO 6: Granulometría del Agregado Fino

**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO ASTM C-136
(AGREGADO FINO)**

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".

ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

NORMA : ASTM C-136

CANTERA : "LA MODERNA" - RIO CACHI

MUESTRA : AGREGADO FINO

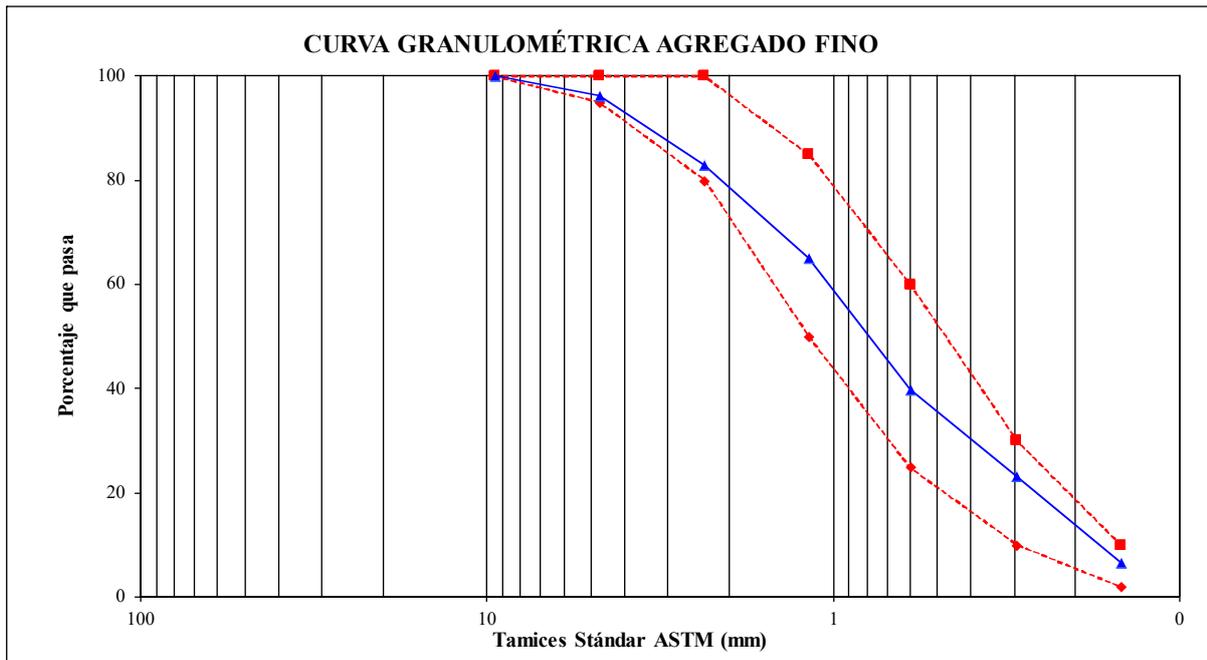
% DE FINOS : 2.44%

% HUMEDAD : 0.39%

% ABSORCION : 1.56%

PESO LAVADO SECO : 1544.62 Grs **M. F.** : 2.86

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		PORCENTAJES ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(GRS)	(%)	RETENIDOS	QUE PASAN	ASTM C-136	
2"	50.000						
1 1/2"	38.100						
1"	25.000						
3/4"	19.000						
1/2"	12.500						
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
Nº 4	4.760	59.07	3.82	3.82	96.18	95	100
Nº 8	2.360	202.60	13.12	16.94	83.06	80	100
Nº 16	1.180	276.91	17.93	34.87	65.13	50	85
Nº 30	0.600	392.68	25.42	60.29	39.71	25	60
Nº 50	0.296	255.36	16.53	76.82	23.18	10	30
Nº 100	0.148	255.78	16.56	93.38	6.62	2	10
Nº 200	0.074	64.54	4.18	97.56	2.44		
Lavado		0.00	0.00	97.56	2.44		
FONDO	0.000	34.73	2.25	99.81	0.19		
		1541.67	99.81				



ANEXO 7: Granulometría del Agregado Grueso

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM C-136
(AGREGADO GRUESO T.M.N 1/2")**

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS
CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE

ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION

NORMA : ASTM C-136

CANTERA : "LA MODERNA" - RIO CACHI

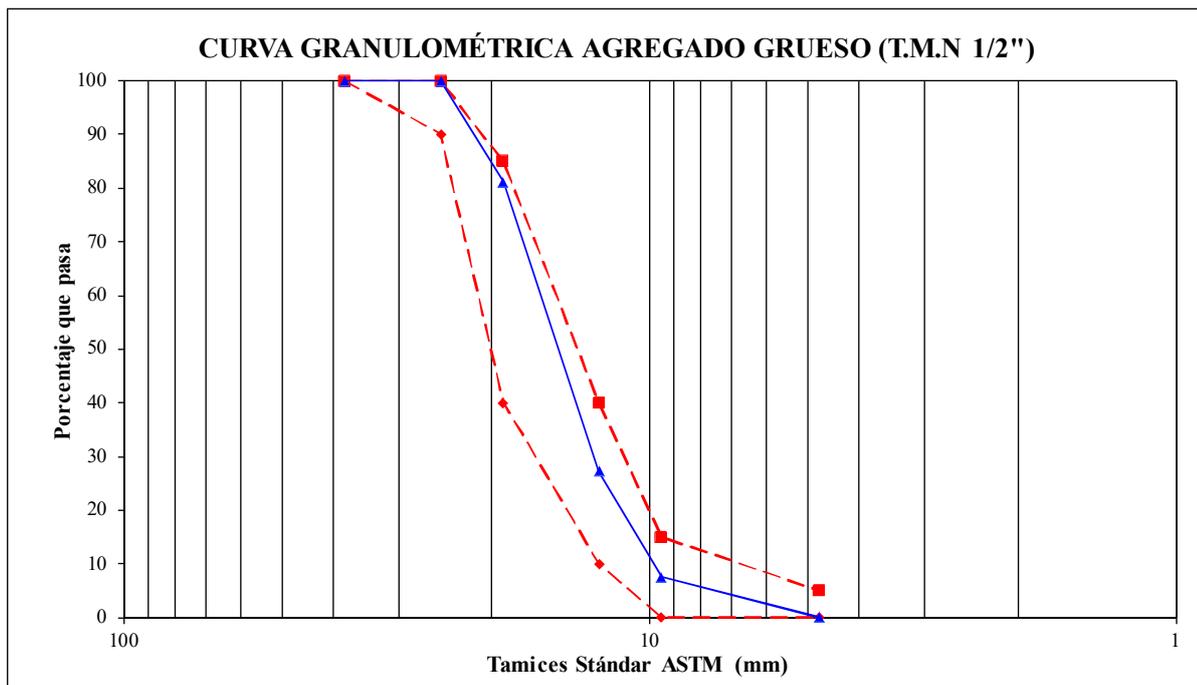
MUESTRA : AGREGADO GRUESO

% HUMEDAD : 0.42%

% ABSORCION : 0.99%

PESO INICIAL SECO : 1,790.89 GRS. **M. F. :** 6.84

MALLAS	ABERTURA (mm)	MATERIAL		PORCENTAJES		ESPECIFICACIONES	
		(GRS)	(%)	RETENIDOS	QUE PASAN	ASTM C-136	
2"	50.000						
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00	90	100
3/4"	19.000	337.73	18.86	18.86	81.14	40	85
1/2"	12.500	964.83	53.87	72.73	27.27	10	40
3/8"	9.525	353.16	19.72	92.45	7.55	0	15
Nº 4	4.760	134.75	7.52	99.98	0.02	0	5
Nº 8	2.360	0.00					
Nº 16	1.180						
Nº 30	0.600						
Nº 50	0.296						
Nº 100	0.148						
FONDO	0.000	0.38	0.02				
		1,790.85	100.00				



ANEXO 8: Peso Unitario Suelto Seco de los Agregados

PESO UNITARIO DE AGREGADOS ASTM C-29

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".
ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
NORMA : ASTM C-29
CANTERA : "LA MODERNA" - RIO CACHI
MUESTRA : AGREGADOS GRUESO Y FINO

PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO FINO

Agregado		Fino		
Tamaño máximo		-----		
Número de ensayo		Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
1	Peso molde (gr)	7,021.00	7,021.00	7,021.00
2	Peso Agregado + molde (gr)	22,599.00	22,518.00	22,561.00
3	Peso Agregado suelto (gr) = (2) - (1)	15.578	15.497	15.540
4	Ø interno molde (cm)	22.80	22.80	22.80
5	Altura interna molde (cm)	22.80	22.80	22.80
6	Volumen molde = $\text{PI} \cdot (4)^2 / 4 \cdot (5)$ (m ³)	0.009309	0.009309	0.009309
7	Peso Unitario Suelto Seco = (3) / (6) (Kg/m ³)	1,673.46	1,664.76	1,669.38
Promedio		1,669.20 KG/M3		

PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO GRUESO

Agregado		Grueso		
Tamaño máximo Nominal		1/2"		
Número de ensayo		Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
1	Peso molde (gr)	7,021.00	7,021.00	7,021.00
2	Peso Agregado + molde (gr)	20,654.00	20,632.00	20,616.00
3	Peso Agregado suelto (gr) = (2) - (1)	13.633	13.611	13.595
4	Ø interno molde (cm)	22.80	22.80	22.80
5	Altura interna molde (cm)	22.80	22.80	22.80
6	Volumen molde = $\text{PI} \cdot (4)^2 / 4 \cdot (5)$ (m ³)	0.009309	0.009309	0.009309
7	Peso Unitario Suelto Seco = (3) / (6) (Kg/m ³)	1,464.52	1,462.16	1,460.44
Promedio		1,462.37 KG/M3		

ANEXO 9: Peso Unitario Suelto Seco de los Agregados

PESO UNITARIO DE AGREGADOS ASTM C-29

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".
ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
NORMA : ASTM C-29
CANTERA : "LA MODERNA" - RIO CACHI
MUESTRA : AGREGADOS GRUESO Y FINO

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO DEL AGREGADO FINO

Agregado		Fino		
Tamaño máximo		1/2 - 3/4"		
Número de ensayo		Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
1	Peso molde (gr)	7,021.00	7,021.00	7,021.00
2	Peso Agregado compactado + molde (gr)	23,873.00	23,905.00	23,900.00
3	Peso Agregado compactado (gr) = (2) - (1)	16.852	16.884	16.879
4	Ø interno molde (cm)	22.80	22.80	22.80
5	Altura interna molde (cm)	22.80	22.80	22.80
6	Volumen molde = $\text{PI} \cdot (4)^2 / 4 \cdot (5)$ (m ³)	0.009309	0.009309	0.009309
7	Peso Unitario Seco Compactado = (3) / (6) (Kg/m ³)	1,810.32	1,813.76	1,813.22
Promedio		1,812.44 KG/M3		

PESO UNITARIO COMPACTADO SECO DEL AGREGADO GRUESO

Agregado		Grueso		
Tamaño máximo nominal		1/2 - 3/4"		
Número de ensayo		Ensayo 01	Ensayo 02	Ensayo 03
1	Peso molde (gr)	7,021.00	7,021.00	7,021.00
2	Peso Agregado compactado + molde (gr)	21,458.00	21,493.00	21,474.00
3	Peso Agregado compactado (gr) = (2) - (1)	14.437	14.472	14.453
4	Ø interno molde (cm)	22.80	22.80	22.80
5	Altura interna molde (cm)	22.80	22.80	22.80
6	Volumen molde = $\text{PI} \cdot (4)^2 / 4 \cdot (5)$ (m ³)	0.009309	0.009309	0.009309
7	Peso Unitario Seco Compactado = (3) / (6) (Kg/m ³)	1,550.89	1,554.65	1,552.61
Promedio		1,552.72 KG/M3		

ANEXO 10: Peso específico y Absorción de los Agregados

**PESO ESPECIFICO Y LA ABSORCION DE LOS AGREGADOS ASTM C-127 Y
ASTM C-128**

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS
CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE
ENSAYO : PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
NORMA : ASTM C-127 Y C-128
CANTERA : "LA MODERNA" - RIO CACHI
MUESTRA : AGREGADOS GRUESO Y FINO

AGREGADO GRUESO				
IDENTIFICACION		"A"	"B"	Promedio
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	2447.00	2443.31	2445.16
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Agua)	1510.42	1504.51	1507.47
C	Vol. De Masas + Vol de vacios = A - B	936.58	938.80	937.69
D	Peso Mat. Seco en estufa (105 °C)	2423.00	2419.42	2421.21
E	Vol. de Masa = C - (A - D)	912.58	914.91	913.75
	Pe Bulk (Base Seca) = D/C	2.59	2.58	2.58
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/C	2.61	2.60	2.61
	Pe Aparente (Base Saturada) = D/E	2.66	2.64	2.65
	% de Absorcion = ((A - D)/D) X 100	0.99	0.99	0.99

AGREGADO FINO				
IDENTIFICACION		"A"	"B"	Promedio
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en Aire)	500.00	500.00	500.00
B	Peso Frasco + H2O	763.60	763.48	763.54
C	Peso Frasco + H2O + A	1263.60	1263.48	1263.54
D	Peso Mat. + H2O en el frasco	1074.59	1072.67	1073.63
E	Vol. de Masas + Vol. De Vacios = C - D	189.01	190.81	189.91
F	Peso Mat. Seco en estufa (105 °C)	493.63	491.02	492.33
G	Vol. de Masa = E - (A - F)	182.64	181.83	182.24
	Pe Bulk (Base Seca) = F/E	2.61	2.57	2.59
	Pe Bulk (Base Saturada) = A/E	2.65	2.62	2.63
	Pe Aparente (Base Saturada) = F/G	2.70	2.70	2.70
	% de Absorcion = ((A - F)/F) X 100	1.29	1.83	1.56

ANEXO 11: Diseño de Mezcla del Concreto Patron $f'c=210\text{kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLA PATRON DE CONCRETO - METODO DEL "COMITÉ 211 ACI"

Proyecto de Tesis : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".

Realizado por : Tesista Bach. Ing. Iván Huamani Huaranca
Resistencia del Concreto : **210 Kg/cm²**
Muestras : Agergados Cantera "La Moderna" - Río Cachi
Tipo de cemento a utilizar : Cemento Andino Tipo I
Se usará aire incorporado : No
Resistencia a la compresión simple (Kg/cm²) : 210.00
Resistencia promedio requerida (Kg/cm²) : 294.00

MATERIALES	CEMENTO	ARENA	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.70	2.65
PUSS		1,669.20	1,462.37
PUCS		1,812.44	1,552.72
% Humedad		0.39	0.42
% Absorción		1.56	0.99
Modulo de Fineza		2.86	6.84

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2"
SLUMP (Tabla 2.02)	3" a 4"
W/C (Tabla 2.04)	0.56
VOLUMEN UNITARIO AGUA (Tabla 2.03)	216
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 2.05) POR UNID. DE VOLUMEN DE CONCRETO	0.544
% AIRE INCORPORADO (Tablas 2.06 y 2.07)	2.50

FACTOR CEMENTO:
 9.08 Bolsas de cemento/m³ de c°
 CEMENTO = 385.71 kg

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO	0.122
AGUA	0.216
AIRE	0.025
GRAVA	0.319
ARENA	0.318
	1.000

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO $f'c=210\text{ Kg/cm}^2$

CEMENTO	385.71 Kg/m ³
AGUA	216.00 Lt/m ³
GRAVA	844.68 Kg/m ³
ARENA	858.50 Kg/m ³
total	2,304.90 Kg/m³

MATERIALES CORREGIDOS (Humedad) POR METRO CUBICO DE CONCRETO

CEMENTO	385.71 Kg/m ³	VOLUM. APARENT. MATER.	9.1 ft ³
AGUA EFECTIVA	230.85 Kg/m ³		ft ³
GRAVA	848.23 Kg/m ³		20.5 ft ³
ARENA	861.85 Kg/m ³		18.2 ft ³
total	2,326.64 kg/m ³		

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	2.23	2.20	0.60

PROPORCION EN VOLUMEN

1	1.98	2.23	25.44
---	------	------	-------

PROPORCION POR BOLSA DE CEMENTO (VOLUMEN)

CEMENTO	42.50 Kg
AGUA	25.44 Lts
GRAVA	94.67 Kg
ARENA	84.30 Kg

ANEXO 12: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO (f'c)

NORMAS ASTM C 39 / AASHTO T 22 / MTC E 704 - 2000

TESIS : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO.

CANTERA : "La Moderna" - Río Cachi

Nº	CODIGO	DOSIFICACIÓN DE ADITIVO	RESISTENCIA DE DISEÑO f'c (Kg/cm2)	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA	TIEMPO (Dias)	PESO PROBETA (gr)	DENSIDAD VOLUMETRICA (gr/cm3)	DIAMETRO (cm)	AREA (cm2)	LECTURA DE PRENSA (KN)	RESISTENCIA (f'c) (Kg/cm2)	RESISTENCIA / TIEMPO (%)
1	CP - 1	SIN ADITIVO 0.0%	210	16/05/2018	23/05/2018	7	12882	2.43	15.00	176.72	418.18	241.47	114.98%
2	CP - 2	SIN ADITIVO 0.0%	210	16/05/2018	23/05/2018	7	12748	2.40	15.00	176.72	400.30	231.14	110.07%
3	CP - 3	SIN ADITIVO 0.0%	210	16/05/2018	30/05/2018	14	12802	2.41	15.00	176.72	456.72	263.72	125.58%
4	CP - 4	SIN ADITIVO 0.0%	210	16/05/2018	06/06/2018	21	12516	2.36	15.00	176.72	488.33	281.97	134.27%
5	CP - 5	SIN ADITIVO 0.0%	210	16/05/2018	13/06/2018	28	12273	2.32	15.00	176.72	569.46	328.82	156.58%
6	CP - 6	SIN ADITIVO 0.0%	210	16/05/2018	13/06/2018	28	12385	2.34	15.00	176.72	534.76	308.78	147.04%
7	A1 - 1	CON ADITIVO 1.0%	210	19/09/2018	26/09/2018	7	13570	2.56	15.00	176.72	553.85	319.81	152.29%
8	A1 - 2	CON ADITIVO 1.0%	210	19/09/2018	26/09/2018	7	13313	2.51	15.00	176.72	576.53	332.90	158.53%
9	A1 - 3	CON ADITIVO 1.0%	210	21/09/2018	05/10/2018	14	13259	2.50	15.00	176.72	678.37	391.71	186.53%
10	A1 - 4	CON ADITIVO 1.0%	210	19/09/2018	10/10/2018	21	13175	2.49	15.00	176.72	755.68	436.35	207.79%
11	A1 - 5	CON ADITIVO 1.0%	210	19/09/2018	17/10/2018	28	13120	2.47	15.00	176.72	820.15	473.58	225.51%
12	A1 - 6	CON ADITIVO 1.0%	210	19/09/2018	03/10/2018	14	13105	2.47	15.00	176.72	795.63	459.42	218.77%
13	A2 - 1	CON ADITIVO 1.25%	210	27/09/2018	04/10/2018	7	13432	2.53	15.00	176.72	497.29	287.15	136.74%
14	A2 - 2	CON ADITIVO 1.25%	210	27/09/2018	04/10/2018	7	13295	2.51	15.00	176.72	521.17	300.94	143.30%
15	A2 - 3	CON ADITIVO 1.25%	210	27/09/2018	11/10/2018	14	13209	2.49	15.00	176.72	624.23	360.45	171.64%
16	A2 - 4	CON ADITIVO 1.25%	210	27/09/2018	18/10/2018	21	13114	2.47	15.00	176.72	659.76	380.96	181.41%
17	A2 - 5	CON ADITIVO 1.25%	210	27/09/2018	25/10/2018	28	13043	2.46	15.00	176.72	728.87	420.87	200.41%
18	A2 - 6	CON ADITIVO 1.25%	210	27/09/2018	25/10/2018	28	13032	2.46	15.00	176.72	749.95	433.04	206.21%
19	A3 - 1	CON ADITIVO 1.50%	210	25/09/2018	02/10/2018	7	13273	2.50	15.00	176.72	457.67	264.27	125.84%
20	A3 - 2	CON ADITIVO 1.50%	210	25/09/2018	02/10/2018	7	13043	2.46	15.00	176.72	484.56	279.80	133.24%
21	A3 - 3	CON ADITIVO 1.50%	210	25/09/2018	09/10/2018	14	13091	2.47	15.00	176.72	559.50	323.07	153.84%
22	A3 - 4	CON ADITIVO 1.50%	210	25/09/2018	16/10/2018	21	12894	2.43	15.00	176.72	589.51	340.40	162.09%
23	A3 - 5	CON ADITIVO 1.50%	210	25/09/2018	23/10/2018	28	12772	2.41	15.00	176.72	669.87	386.80	184.19%
24	A3 - 6	CON ADITIVO 1.50%	210	25/09/2018	23/10/2018	28	12578	2.37	15.00	176.72	680.33	392.84	187.07%
25	A4 - 1	CON ADITIVO 2.0%	210	02/10/2018	09/10/2018	7	13076	2.47	15.00	176.72	427.25	246.71	117.48%
26	A4 - 2	CON ADITIVO 2.0%	210	02/10/2018	09/10/2018	7	13091	2.47	15.00	176.72	415.58	239.97	114.27%
27	A4 - 3	CON ADITIVO 2.0%	210	02/10/2018	16/10/2018	14	12985	2.45	15.00	176.72	493.46	284.94	135.68%
28	A4 - 4	CON ADITIVO 2.0%	210	02/10/2018	23/10/2018	21	12665	2.39	15.00	176.72	505.71	292.01	139.05%
29	A4 - 5	CON ADITIVO 2.0%	210	02/10/2018	30/10/2018	28	12483	2.35	15.00	176.72	565.21	326.37	155.41%
30	A4 - 6	CON ADITIVO 2.0%	210	02/10/2018	30/10/2018	28	12352	2.33	15.00	176.72	542.63	313.33	149.20%

ANEXO C

DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONCRETO $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$.

13. Diseño del Mezcla para un Concreto $f'c = 400 \text{ kg/cm}^2$

ANEXO 13: Diseño de Mezcla para un Concreto $f_c = 400 \text{ kg/cm}^2$

DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO - METODO DEL "COMITÉ 211 ACI"

Proyecto de Tesis : CONCRETO AUTOCOMPACTABLE: "DISEÑO, BENEFICIOS CONSIDERACIONES BASICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO".

Realizado por : Tesista Bach. Ing. Iván Huamaní Huaranca

Resistencia del Concreto : **400 Kg/cm²**

Muestras : Agergados Cantera "La Moderna" - Río Cachi

Tipo de cemento a utilizar : Cemento Andino Tipo I

Se usará aire incorporado : No

MATERIALES	CEMENTO	ARENA	PIEDRA
Peso específico	3.15	2.70	2.65
PUSS		1,669.20	1,462.37
PUCS		1,812.44	1,552.72
% Humedad		0.39	0.42
% Absorción		1.56	0.99
Modulo de Fineza		2.86	6.84

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2"
SLUMP (Tabla 2.02)	3" a 4"
W/C (Tabla 2.04)	0.41
VOLUMEN UNITARIO AGUA (Tabla 2.03)	216
VOLUMEN ABSOLUTO AGREGADO GRUESO (Tabla 2.05) POR UNID. DE VOLUMEN DE CONCRETO	0.544
% AIRE INCORPORADO (Tablas 2.06 y 2.07)	2.50

FACTOR CEMENTO:
12.40 Bolsas de cemento/m³ de c°
CEMENTO = 526.83 kg

VOLUMEN ABSOLUTO

CEMENTO	0.167
AGUA	0.216
AIRE	0.025
GRAVA	0.319
ARENA	0.273
	1.000

MATERIALES POR METRO CUBICO DE CONCRETO $f_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

CEMENTO	526.83 Kg/m ³
AGUA	216.00 Lt/m ³
GRAVA	844.68 Kg/m ³
ARENA	737.48 Kg/m ³
total	2,324.98 Kg/m³

MATERIALES CORREGIDOS (Humedad) POR METRO CUBICO DE CONCRETO

		VOLUM. APARENT. MATER.
CEMENTO	526.83 Kg/m ³	12.4 ft ³
AGUA EFECTIVA	229.43 Kg/m ³	ft ³
GRAVA	848.23 Kg/m ³	20.5 ft ³
ARENA	740.35 Kg/m ³	15.7 ft ³
total	2,344.84 kg/m ³	

PROPORCION EN PESO

CEMENTO	ARENA	PIEDRA	AGUA
1	1.41	1.61	0.44

PROPORCION EN VOLUMEN

1	1.25	1.63	18.51
----------	-------------	-------------	--------------

PROPORCION POR BOLSA DE CEMENTO (VOLUMEN)

CEMENTO	42.50 Kg
AGUA	18.51 Lts
GRAVA	69.31 Kg
ARENA	53.02 Kg

ANEXO D

COMPARACIÓN ECONÓMICA DE COSTOS DEL CAC

14. Comparación Económica de Costo de Elaboración del CAC

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0102004 TESIS: "CONCRETO AUTOCOMPACTANTE DISEÑO, BENEFICIOS Y CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO"
 Subpresupuesto 001 TESIS: "CONCRETO AUTOCOMPACTANTE DISEÑO, BENEFICIOS Y CONSIDERACIONES BÁSICAS PARA SU USO EN LA CIUDAD DE AYACUCHO" Y Fecha presupuesto 01/11/2018

Partida 01.01 CONCRETO PATRON F'C = 210 kg/cm2

Rendimiento m3/DIA MO. 12.0000 EQ. 12.0000 Costo unitario directo por : m3 **295.88**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
02070200010003	AGREGADO GRUESO	m3		0.5800	55.00	31.90
02070200010004	AGREGADO FINO	m3		0.5200	50.00	26.00
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.0800	25.80	234.26
0290130022	AGUA	m3		0.2300	1.68	0.39
						292.55
Equipos						
0301290001	VIBRADOR PARA CONCRETO	hm	1.0000	0.6667	5.00	3.33
						3.33

Partida 01.02 CONCRETO AUTOCOMPACTANTE CON ADITIVO AL 1.0% F'C = 210 kg/cm2

Rendimiento m3/DIA MO. 12.0000 EQ. 12.0000 Costo unitario directo por : m3 **292.54**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
02070200010003	AGREGADO GRUESO	m3		0.5800	55.00	31.90
02070200010004	AGREGADO FINO	m3		0.5200	50.00	26.00
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		9.0800	25.80	234.26
02221500010022	ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE SIKA VISCOCRETE 3330	l		0.0036	25.98	0.09
0290130022	AGUA	m3		0.1700	1.68	0.29
						292.54

Partida 01.03 CONCRETO: A/C = 0.41 : F'C = 420 kg/cm2

Rendimiento m3/DIA MO. 12.0000 EQ. 12.0000 Costo unitario directo por : m3 **377.54**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Materiales						
02070200010003	AGREGADO GRUESO	m3		0.5800	55.00	31.90
02070200010004	AGREGADO FINO	m3		0.4400	50.00	22.00
0213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 kg)	bol		12.4000	25.80	319.92
0290130022	AGUA	m3		0.2300	1.68	0.39
						374.21
Equipos						
0301290001	VIBRADOR PARA CONCRETO	hm	1.0000	0.6667	5.00	3.33
						3.33

ANEXO E

PANEL FOTOGRÁFICO

15. Granulometría de los Agregados
16. Ensayo para el Peso Unitario Suelto y Compacto
17. Ensayo del Peso Específico y Absorción del Agregado Fino
18. Preparación de la Mezcla de Concreto
19. Ensayo de Asentamiento (Slump)
20. Elaboración de Testigos de Concreto en las Briquetas
21. Ensayo de Escurrimiento del CAC
22. Ensayo del Embudo en “V”
23. Curado del Concreto
24. Rotura de Probetas de Concreto

ANEXO 15: Granulometría de los agregados.



ANEXO 16: Ensayo para el peso unitario suelto y compacto.



ANEXO 17: Ensayo para del peso específico y absorción del agregado fino.



ANEXO 18: Preparación de la mezcla de concreto.



ANEXO 19: Ensayo de asentamiento (Slump).



ANEXO 20: Elaboración de las testigos de concreto en las briquetas.



ANEXO 21: Ensayo de escurrimiento del CAC.



ANEXO 22: Ensayo del Embudo en “V”



ANEXO 23: Curado del concreto.



ANEXO 24: Rotura de Probetas de concreto.

