



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN
CONCRETO AUTOCOMPACTANTE ADICIONANDO FIBRAS
SINTÉTICAS SIKACEM®-1 FIBER – CUSCO 2019”

Presentado por:

Bach. Baca Uscamayta, Carlos Eduardo

Bach. Vela Cáceres, Luis Fernando

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez

CUSCO- PERÚ

2020



Dedicatoria

Al Señor, mi Dios, por ser mi fortaleza en todo momento.
"Encomienda al Señor tus obras, y tus proyectos tendrán éxito." Prov. (16:3)

A mis abuelitos, Yolanda y Reynaldo, por el apoyo constante, cariño y en especial formarme un hombre de bien.

Con mucho amor a mi madre, Elizabeth, por estar ahí siempre apoyándome y ser mi guía durante todo mi trayecto de vida.

Con afecto a mi padre, Melitón, por el apoyo moral y orientación en la vida.

A mis tíos Virginia y Washington, por todo su apoyo incondicional en cada paso de mi formación como profesional.

A mis tíos Gustavo y Carla, por el apoyo y cariño que me tienen.

A mis primos, Milagros, Rodrigo, Fernanda y Joaquín, porque son mi motivación para seguir adelante y ser el mejor ejemplo.

A la familia León – Salazar – Azeñas, por haberme acogido en su hogar y permitirme formar parte de su familia en mi estancia de intercambio estudiantil en Bolivia.

CARLOS EDUARDO BACA USCAMAYTA



Dedicatoria

Esta tesis está dedicada a:

Mi madre que me guía y cuida desde el cielo y a mi familia quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades y siempre seguir adelante.

A mi hermana por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento.

Y finalmente a todas aquellas personas especiales quienes con consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan y me acompañaron durante todo este proceso guiándome y dándome siempre fuerza para continuar.

LUIS FERNANDO VELA CACERES



Agradecimientos

A Dios, mi maestro y guía que es mi inspiración a orientar mis conocimientos adquiridos al desarrollo y progreso de la sociedad

A toda mi familia por la confianza y fe depositada en mí.

Al Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez por la confianza, asesoría y apoyo durante todo el proceso de desarrollo de la investigación.

Al My DIM. Mirko Zacarías Mancilla por el apoyo y confianza brindada en mi paso por la Escuela Militar de Ingeniería.

A los ingenieros Claudio Puma y Celestino Puma por los conocimientos y experiencia brindados en mi último año de formación.

A mi alma mater la Universidad Andina del Cusco y sus docentes por haberme brindado con mucho esmero conocimientos y valores para formarme como profesional.

A la Escuela Militar de Ingeniería por abrirme sus puertas, brindarme conocimientos y expandir mi visión profesional y personal.

A Corporación Ayar SAC por permitirnos desarrollar la parte final de la investigación en sus instalaciones durante pandemia.

A todos mis amigos y compañeros que me acompañaron durante todo mi proceso de formación.

A todas aquellas personas que colaboraron en el desarrollo de la presente investigación.

CARLOS EDUARDO BACA USCAMAYTA



Agradecimientos

Me faltarían páginas para agradecer a todas las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, merecen reconocimiento especial mi familia que con su esfuerzo y dedicación me ayudaron a culminar mi carrera universitaria y me dieron el apoyo suficiente para no decaer cuando todo parecía complicado e imposible y a Dios por su creación e inmenso amor.

Asimismo, agradezco de gran manera a mi hermana que con sus palabras me hacía sentir orgulloso de lo que soy y de lo que puedo lograr.

Agradecer también a quienes me acompañaron y me impulsaron siempre a no decaer en mi camino dándome fuerzas y apoyo incondicional para poder hacer de mi ahora un gran profesional, pero también una mejor persona.

Finalmente agradecer a mi madre, que a pesar de estar hoy en el cielo me impulso a ser el mejor siempre, y me dio la fuerza para seguir adelante siempre a pesar de las dificultades y a luchar por alcanzar mis sueños.

LUIS FERNANDO VELA CACERES



Resumen

La investigación tiene por título: “EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE ADICIONANDO FIBRAS SINTÉTICAS SIKACEM®-1 FIBER – CUSCO 2019”. En la investigación se propuso desarrollar un concreto autocompactante con materiales encontrados en el medio adicionando 100 gr. y 200 gr. de Fibras Sintéticas SikaCem®-1 Fiber por bolsa de cemento, buscando de esta forma mejorar las propiedades mecánicas del concreto autocompactante. La investigación presenta un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo, haciendo uso del método hipotético-deductivo y se presenta un diseño cuasi-experimental pudiendo así verificar las hipótesis planteadas a los problemas.

La dosificación para obtener el concreto autocompactante se realizó mediante la metodología del ACI 237R-07 re-aprobada el 2019, donde se cumplieron las características de capacidad de paso, capacidad de relleno y resistencia a la segregación propios de este tipo de concreto, cumpliéndose las Directrices para el Hormigón Autocompactante 2006 y del ACI 237R-07., se hizo uso del aditivo reductor de agua de alto rango con base policarboxilato Eucoplast 8500 HP, específico para climas fríos y uso en concretos autocompactantes .

Las principales propiedades mecánicas evaluadas son el peso unitario, resistencia a la compresión, módulo de rotura y módulo de elasticidad, analizándose también el costo de producción a nivel de insumos por metro cubico de concreto. Para ello se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia donde la muestra es igual a la población, siendo un total de 90 especímenes, 45 briquetas de 10 x 20 cm y 45 viguetas de 15 cm x 15 cm x 50 cm., desarrollándose y analizándose tres tipos de concreto, un concreto autocompactante patrón, un concreto autocompactante patrón con 100 gr. de fibra sintética por bolsa de cemento y un concreto autocompactante patrón con 200 gr. de fibra sintética por bolsa de cemento.

De acuerdo a la evaluación de las propiedades mecánicas del concreto autocompactante, la adición de las Fibras Sintéticas SikaCem®-1 Fiber mejoran levemente las propiedades mecánicas hasta en un 4.54% el peso unitario, en un 11.39% la resistencia a la compresión, un 12.47% el módulo de rotura y hasta en un 12.08% el módulo de elasticidad. Concluyendo que el uso de la Fibra Sintética en el Concreto Autocompactante es favorable.

Palabras Clave: Concreto Autocompactante, Resistencia a la compresión, módulo de rotura, módulo de elasticidad, fibra sintética, aditivo reductor de agua de alto rango.



Abstract

The investigation has for title "EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A SELF-COMPACTING CONCRETE ADDING SYNTHETIC FIBERS SIKACEM®-1 FIBER - CUSCO 2019". The research proposes to develop a self-compacting concrete with materials that are found in the city, adding 100 gr. and 200 gr. of Synthetic Fibers "SikaCem®-1 Fiber" per bag of cement, seeking in this way to enhance the mechanical properties of self-compacting concrete. The research presents a quantitative approach, in a descriptive level, making use of the hypothetical-deductive method and a quasi-experimental design, thus being able to verify the hypotheses proposed to the problems.

The dosage to obtain self-compacting concrete was made using the ACI 237R-07's methodology reapproved in 2019, where the characteristics of passing ability, filling ability and stability that are typical of this type of concrete were met, complying with the Guidelines for Self-Compacting Concrete 2006 and ACI 237R-07., for the design of the dosage was used the high-range water-reducing additive (HRWRA) based on polycarboxylate called Eucoplast 8500 HP, specific for cold climates and for use in self-compacting concrete.

The main mechanical properties evaluated are the unit weight, compressive strength, flexural strength and the elastic modulus, also analyzing the cost of production at the level of materials necessary for a cubic meter of concrete. For this, a non-probabilistic convenience sampling was carried out where the sample is equal to the population, with a total of 90 specimens, 45 cylinder concrete specimens of 10 x 20 cm and 45 prismatic concrete specimens of 15 cm x 15 cm x 50 cm., Developing and analyzing three types of concrete, a standard self-compacting concrete, a standard self-compacting concrete with 100 gr. of Synthetic Fibers per bag of cement and a standard self-compacting synthetic concrete with 200 gr. of Synthetic Fibers synthetic fiber per bag of cement.

According to the evaluation of the mechanical properties of self-compacting concrete, the addition of the Synthetic Fibers SikaCem®-1 Fiber slightly improve the mechanical properties, up to 4.54% the unit weight, up to 11.39% the compressive strength, up to 12.47% the flexural strength and up to 12.08% the elastic modulus. Concluding that the use of Synthetic Fiber in Self-compacting Concrete is favorable.

Keywords: Self-compacting concrete, compressive strength, flexural strength, elastic modulus, synthetic fiber, high-range water reducer additive (HRWRA)



Introducción

La tecnología utilizada para el desarrollo de Concreto Autocompactante (CAC) fue descubierta en los años 80s por investigadores japoneses de la universidad de Tokio y recientemente fue normada en las dos últimas décadas, este tipo de concreto viene siendo bastante utilizado especialmente en la rama de concretos prefabricados, sus características especiales lo sitúan como una alternativa al concreto convencional de fácil acceso y costos moderados. Desde su creación se realizaron diferentes investigaciones acerca de este concreto en el mundo, mas no se tiene un estándar para su producción, debido a que para alcanzar la característica autocompactable, que lo hace único, depende de los agregados característicos de cada zona. Por lo que se tienen diversos métodos de dosificación para su fabricación como, por ejemplo: el americano, el japonés, el brasileño, etc.

Las fibras sintéticas vienen siendo utilizadas desde hace unos años en el refuerzo de estructuras de concreto, incluso en algunos casos remplazando al acero de refuerzo no sin previamente haberse realizado los diseños correspondientes. Las ventajas que ofrece la fibra sintética al ser utilizadas en el concreto son diversas, como la prevención de agrietamientos en el concreto debido a la contracción térmica o aumentando la durabilidad del concreto, estas ventajas hacen que sea una opción atractiva para la fabricación de concreto.

La combinación entre estas dos tecnologías nos permite obtener un concreto que sin necesidad de compactación mecánica y que tan solo por acción de la gravedad logre compactarse, permitiéndonos un vaciado adecuado que evite la generación de espacios vacíos en los elementos estructurales, fisuraciones o agrietamientos generados después del retiro de formas y por el uso durante el tiempo, manteniendo la calidad y duración del concreto, utilizando agregados de la zona y continuando con el desarrollo de esta tecnología. Además, se dosificó de acuerdo a la metodología americana, siguiendo los estándares del ACI 237R-07 re-aprobada el 2019.

Una ventaja importante del desarrollo de esta tecnología es la reducción del personal para el trabajo de vaciados de concreto, personal encargado de vibrado e incluso también de acabados, de esta forma se puede disminuir la cantidad de personas en obra como aplica la normativa vigente debido a la pandemia.



Índice General

Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iv
Resumen	vi
Abstract	vii
Introducción	viii
Índice General	ix
Índice de Tablas	xiii
Índice de Figuras	xix
Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	1
1.1 Identificación del problema.....	1
1.1.1 Descripción del problema.....	1
1.1.2 Formulación Interrogativa del Problema.....	3
1.2 Justificación e Importancia de la Investigación	4
1.2.1 Justificación Técnica	4
1.2.2 Justificación Social.....	4
1.2.3 Justificación por Vialidad.....	5
1.2.4 Justificación por Relevancia.....	5
1.3 Limitaciones de la investigación	5
1.3.1 Limitaciones de Objeto de Estudio	5
1.3.2 Limitaciones Geográficas.....	5
1.3.3 Limitación de Materiales.....	6
1.3.4 Limitaciones en el Diseño de Mezcla	6
1.3.5 Limitaciones de ensayos en Laboratorio	6
1.4 Objetivo de la investigación.....	8
1.4.1 Objetivo General	8
1.4.2 Objetivos Específicos	8
Capítulo II: Marco Teórico	9
2.1 Antecedentes de la Tesis	9
2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional	9
2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional.....	11
2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes	14
2.2.1 Definición de Concreto Autocompactante	14



2.2.2	Historia del Concreto Autocompactante	14
2.2.3	Ventajas del Concreto Autocompactante	16
2.2.4	Componentes del Concreto Autocompactante	17
2.2.5	Características de Concreto Autocompactante.....	36
2.2.6	Propiedades del Concreto Autocompactante en estado fresco.....	36
2.2.7	Propiedades del Concreto Autocompactante en Estado Endurecido	48
2.2.8	Métodos de Dosificación del Concreto Autocompactante.....	54
2.2.9	Fibras.....	59
2.2.10	Bases Estadísticas.....	62
2.3	Hipótesis.....	66
2.3.1	Hipótesis General	66
2.3.2	Hipótesis Específicas.....	66
2.4	Variables e Indicadores	66
2.4.1	Dependientes	66
2.4.2	Indicadores de Variables Dependientes	66
2.5	Cuadro de Operacionalización de Variables	68
Capítulo III: Metodología.....		69
3.1	Metodología de la Investigación	69
3.1.1	Tipo de Investigación	69
3.1.2	Nivel de Investigación.....	69
3.1.3	Método de Investigación	69
3.2	Diseño de la Investigación	70
3.2.1	Diseño Metodológico	70
3.2.2	Diseño de Ingeniería.....	71
3.3	Población y Muestra.....	73
3.3.1	Población.....	73
3.3.2	Muestra.....	73
3.3.3	Criterios de Inclusión	75
3.4	Instrumentos	75
3.4.1	Instrumentos Metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos	75
3.4.2	Instrumentos de Ingeniería	84
3.5	Procedimiento de recolección de datos	87
3.5.1	Muestreo de los agregados (NTP 400.010).....	87
3.5.2	Granulometría de los agregados (NTP 400.012).....	91



3.5.3	Peso Unitario del Agregado Fino y Agregado Grueso.....	97
3.5.4	Peso específico y Absorción del Agregado fino (NTP 400.021)	102
3.5.5	Peso específico y Absorción del Agregado grueso (NTP 400.021).....	106
3.5.6	Contenido de Humedad del Agregado fino (NTP 339.185).....	108
3.5.7	Contenido de Humedad del Agregado grueso (NTP 339.185)	110
3.5.8	Resistencia a la Degradación por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles. (NTP 400.019).....	111
3.5.9	Flujo de asentamiento y extensibilidad (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005) e Índice de Estabilidad Visual (VSI) (ASTM C1611).....	114
3.5.10	Ensayo de Caja en “L” (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)	117
3.5.11	Ensayo de embudo V (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)	119
3.5.12	Ensayo de Estabilidad de Tamiz GTM (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)	122
3.5.13	Ensayo para determinar la densidad (peso unitario) del hormigón en fresco (concreto) (ASTM C 138).....	124
3.5.14	Elaboración y curado de especímenes de concreto autocompactante en laboratorio (ASTM C1758-15) (NTP 339.183).....	126
3.5.15	Peso Unitario del Concreto (NTP 339.046)	129
3.5.16	Ensayo de Resistencia a Compresión (ASTM C39) (NTP 339.034)	132
3.5.17	Ensayo de Resistencia a Flexión (ASTM C78) (NTP 339.078)	138
3.6	Procedimiento de Análisis de datos	144
3.6.1	Análisis de Granulometría de Agregados.....	144
3.6.2	Procesamiento de Propiedades de los Agregados	150
3.6.3	Procesamiento del Diseño de Mezcla - Método ACI 237R-07	158
3.6.4	Análisis Del Concreto Autocompactante en estado Fresco	166
3.6.5	Análisis de las Características del Concreto Autocompactante en Estado Endurecido	172
3.6.6	Evaluación de las Propiedades Mecánicas del Concreto Autocompactante	177
3.6.7	Análisis estadístico de los datos de las propiedades mecánicas.....	204
3.6.8	Análisis de Costos por m ³ de Concreto Autocompactante	217
Capítulo IV: Resultados		220
4.1	Resultados de Ensayos realizados a los Agregados	220



4.2	Resultados de la Dosificación por la Metodología ACI 237R-07.....	220
4.3	Resultados de Concreto Autocompactante en Estado Fresco	224
4.4	Resultados del Concreto Autocompactante en Estado Endurecido	225
4.4.1	Peso Unitario en Estado Endurecido.....	225
4.4.2	Resistencia a la Compresión	226
4.4.3	Resistencia a la Flexión.....	227
4.4.4	Módulo de Elasticidad.....	229
4.5	Resultado de Análisis Estadístico de las muestras de Concreto Autocompactante.....	232
4.6	Resultado de la Relación entre la Resistencia a la Compresión y el Módulo de Rotura	233
4.7	Relación entre la Resistencia a la Compresión y el Módulo de Elasticidad	234
4.8	Resultado de Costos por metro cubico de concreto	235
4.8.1	Costos por insumo para la fabricación de 1 metro cubico de concreto.....	235
4.8.2	Costos por partida para la fabricación de 1 metro cubico de concreto	235
	Capítulo V: Discusión	236
5.1	Contrastes de resultados con referentes del marco teórico	236
5.2	Interpretación de los resultados encontrados en la investigación	238
5.3	Comentario de la demostración de la hipótesis.....	239
5.4	Aporte de la investigación.....	240
5.5	Incorporación de temas que se han presentado durante el proceso de la investigación que no estaba considerado dentro de los objetivos de la investigación.	241
	Glosario	242
	Conclusiones	246
	Recomendaciones.....	251
	Referencias.....	252
	Anexos	255
	Apéndices	270



Índice de Tablas

Tabla 1:	Clasificación general del agregado según su tamaño.....	21
Tabla 2:	Clasificación del agregado según su densidad.....	22
Tabla 3:	Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	24
Tabla 4:	Límites granulométricos del Agregado Fino	27
Tabla 5:	Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino.....	29
Tabla 6:	Límites para sustancias deletéreas en el agregado grueso	30
Tabla 7:	Ensayo para la clasificación de CAC.....	38
Tabla 8:	Clases de asentamiento	39
Tabla 9:	Clases de Viscosidad.....	39
Tabla 10:	Clases de capacidad de paso (Ensayo de la caja en L)	40
Tabla 11:	Clases de resistencia a la segregación (segregación en tamiz).....	40
Tabla 12:	Lista de métodos de ensayo para las propiedades de trabajabilidad del HAC.....	40
Tabla 13:	Ensayos para Concreto Autocompactante	41
Tabla 14:	Criterios de Conformidad para las propiedades de Concreto Autocompactante	41
Tabla 15:	Valores del Índice de Estabilidad Visual.....	44
Tabla 16:	Imágenes para determinar valores de Índices de Estabilidad Visual (VSI).....	44
Tabla 17:	Factor de corrección	50
Tabla 18:	Objetivos de Slump Flow (Daczko and Container, 2001).....	56
Tabla 19:	Rangos de material cementante	58
Tabla 20:	Parámetros para proporcionamiento de CAC.....	59
Tabla 21:	Valores de Dispersión en el control de concreto para ($f'c \leq 35\text{MPa}$).....	63
Tabla 22:	Criterio de Chauvenet para rechazar una medición.....	64
Tabla 23:	Valores Críticos para T.....	64
Tabla 24:	Criterio de Dixon para datos atípicos	65
Tabla 25:	Operacionalización de Variables	68
Tabla 26:	Cuantificación de la muestra.	74
Tabla 27:	Hoja de recolección de datos para Granulometría de Agregado Fino	76
Tabla 28:	Hoja de recolección de datos para Granulometría del Agregado Grueso.....	77
Tabla 29:	Hoja de recolección de datos para Peso específico y absorción del agregado fino.	78
Tabla 30:	Hoja de recolección de datos para peso específico y absorción del agregado grueso	78
Tabla 31:	Hoja de recolección de datos para Contenido de humedad del agregado.....	79
Tabla 32:	Hoja de recolección de datos para ensayo de resistencia a la degradación por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles	79
Tabla 33:	Hoja de recolección de datos para Prueba de consistencia (Slump), t50 e índice de estabilidad visual (VSI).....	80



Tabla 34:	Hoja de recolección de datos para ensayo de Caja en L.....	80
Tabla 35:	Hoja de recolección de datos para ensayo de Embudo V.....	81
Tabla 36:	Hoja de recolección de datos para Estabilidad de Tamiz GTM.....	81
Tabla 37:	Hoja de recolección de datos para Peso unitario del concreto en estado fresco.....	82
Tabla 38:	Hoja de recolección de datos para peso unitario del concreto.....	82
Tabla 39:	Hoja de recolección de datos para resistencia a la compresión del concreto.....	83
Tabla 40:	Hoja de recolección de datos para resistencia a la flexión del concreto.....	83
Tabla 41:	Hoja de recolección de datos para el módulo de elasticidad del concreto.....	84
Tabla 42:	Muestra individual del agregado fino.....	89
Tabla 43:	Muestra individual del Agregado Grueso.....	91
Tabla 44:	Granulometría del agregado fino de Vicho.....	93
Tabla 45:	Granulometría del agregado fino de Cunyac.....	94
Tabla 46:	Granulometría del agregado grueso.....	97
Tabla 47:	Peso unitario del agregado fino.....	100
Tabla 48:	Peso unitario del agregado grueso.....	102
Tabla 49:	Peso específico y absorción del agregado fino combinado.....	105
Tabla 50:	Peso específico y absorción del agregado grueso.....	108
Tabla 51:	Contenido de humedad del agregado fino.....	109
Tabla 52:	Contenido de humedad del agregado fino.....	111
Tabla 53:	Resistencia a la Degradación por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles..	113
Tabla 54:	Ensayo de la Prueba de Consistencia, T50 e Índice de Estabilidad Visual.....	117
Tabla 55:	Ensayo de caja en L.....	119
Tabla 56:	Ensayo de embudo V.....	121
Tabla 57:	Ensayo de estabilidad de tamiz GTM.....	124
Tabla 58:	Ensayo para determinar la densidad (peso unitario) del hormigón en fresco (concreto) (ASTM C 138).....	125
Tabla 59:	Peso unitario del concreto – Concreto autocompactante Patrón.....	130
Tabla 60:	Peso unitario del concreto – Concreto autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM®-1 FIBER por bolsa de cemento.....	131
Tabla 61:	Peso unitario del concreto – Concreto autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM®-1 FIBER por bolsa de cemento.....	132
Tabla 62:	Resistencia a la compresión– Concreto autocompactante Patrón.....	136
Tabla 63:	Resistencia a la compresión – Concreto autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM®-1 FIBER por bolsa de cemento.....	136
Tabla 64:	Resistencia a la compresión – Concreto autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM®-1 FIBER por bolsa de cemento.....	137
Tabla 65:	Resistencia a la Flexión – Concreto autocompactante Patrón.....	141



Tabla 66:	Resistencia a la Flexión – Concreto autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM®-1 FIBER por bolsa de cemento	142
Tabla 67:	Resistencia a la compresión – Concreto autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM®-1 FIBER por bolsa de cemento	143
Tabla 68:	Análisis de Datos de la Granulometría del Agregado Fino de Vicho.....	145
Tabla 69:	Análisis de Datos de la Granulometría del Agregado Fino de Cunyac	146
Tabla 70:	Tabla: Análisis de Datos de la Granulometría del Agregado Fino Cabeceado 30% Vicho – 70% Cunyac.	147
Tabla 71:	Análisis de Datos de la Granulometría del Agregado Grueso de Vicho	149
Tabla 72:	Datos del peso específico y absorción del agregado fino cabeceado.....	151
Tabla 73:	Análisis de Datos del Peso unitario del Agregado Fino Combinado.....	152
Tabla 74:	Análisis de datos de Contenido de humedad de agregado fino combinado.....	153
Tabla 75:	Datos del peso específico y absorción del agregado grueso	154
Tabla 76:	Análisis de Datos del Peso unitario del Agregado Fino Combinado.....	155
Tabla 77:	Análisis de datos de Contenido de humedad de agregado grueso	156
Tabla 78:	Resistencia a la degradación por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles....	157
Tabla 79:	Muestras de Diseño de Mezcla	159
Tabla 80:	Objetivos de Slump Flow (Daczko and Container, 2001).....	161
Tabla 81:	Contenido de aire atrapado según tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	162
Tabla 82:	Rangos de material cementante	162
Tabla 83:	Resumen de dosificación de Concreto Autocompactante en estado seco.....	164
Tabla 84:	Resumen de dosificación de Concreto Autocompactante corregido	166
Tabla 85:	Resumen de dosificación de la mezcla en volumen	166
Tabla 86:	Análisis de Slump test y T50	167
Tabla 87:	Análisis de ensayo de embudo en V	168
Tabla 88:	Análisis de ensayo de Caja en L	169
Tabla 89:	Análisis del Ensayo de la Prueba de Consistencia, T50 e Índice de Estabilidad Visual de la mezcla 7	170
Tabla 90:	Análisis del Ensayo de Estabilidad de Tamiz GTM	171
Tabla 91:	Análisis del Ensayo de Peso Unitario del Concreto en Estado Fresco	172
Tabla 92:	Análisis del Ensayo de Peso unitario del Concreto Autocompactante Patrón.....	174
Tabla 93:	Análisis del Ensayo de Peso unitario del Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento.....	175
Tabla 94:	Análisis del Ensayo de Peso unitario del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento.....	176
Tabla 95:	Análisis del Ensayo de Resistencia a Compresión de Concreto Autocompactante Patrón a los 7 días de curado	178



Tabla 96: Análisis del Ensayo de Resistencia a Compresión de Concreto Autocompactante Patrón a los 28 días de curado	179
Tabla 97: Análisis del Ensayo de Resistencia a Compresión de Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado.	180
Tabla 98: Análisis del Ensayo de Resistencia a Compresión de Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado.	181
Tabla 99: Análisis del Ensayo de Resistencia a Compresión de Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado.	182
Tabla 100: Análisis del Ensayo de Resistencia a Compresión de Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado.	183
Tabla 101: Análisis del Ensayo de Resistencia a Flexión de Concreto Autocompactante Patrón a los 7 días de curado.....	185
Tabla 102: Análisis del Ensayo de Resistencia a Flexión de Concreto Autocompactante Patrón a los 28 días de curado.....	186
Tabla 103: Análisis del Ensayo de Resistencia a Flexión de Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado.....	187
Tabla 104: Análisis del Ensayo de Resistencia a Flexión de Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado.....	188
Tabla 105: Análisis del Ensayo de Resistencia a Flexión de Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado.....	189
Tabla 106: Análisis del Ensayo de Resistencia a Flexión de Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado.....	190
Tabla 107: Relaciones entre resistencia a la compresión de concreto y módulo de rotura del Concreto Autocompactante Patrón.....	191
Tabla 108: Relaciones entre Resistencia a la compresión promedio de concreto y módulo de rotura del Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas por bolsa de cemento.....	192
Tabla 109: Relaciones entre Resistencia a la Compresión promedio de concreto y Módulo de Rotura del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas por bolsa de cemento.....	193
Tabla 110: Análisis del Módulo de Elasticidad de Concreto Autocompactante Patrón a los 7 días de curado	195
Tabla 111: Análisis del Módulo de Elasticidad de Concreto Autocompactante Patrón a los 28 días de curado	196



Tabla 112: Análisis del Módulo de Elasticidad de Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado.	197
Tabla 113: Análisis del Módulo de Elasticidad de Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado.	198
Tabla 114: Análisis del Módulo de Elasticidad de Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado.	199
Tabla 115: Análisis del Módulo de Elasticidad de Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado.	200
Tabla 116: Relaciones entre resistencia a la compresión de concreto y módulo de elasticidad del Concreto Autocompactante Patrón.....	201
Tabla 117: Relaciones entre Resistencia a la Compresión promedio de concreto y Módulo de Elasticidad del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas por bolsa de cemento	203
Tabla 118: Criterio de Dixon para datos atípicos en 6 y 9 muestras	204
Tabla 119: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Compresión del Concreto Autocompactante Patrón a los 7 días de curado.....	205
Tabla 120: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Compresión del Concreto Autocompactante Patrón a los 28 días de curado.....	205
Tabla 121: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Compresión del Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado	206
Tabla 122: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Compresión del Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado	206
Tabla 123: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Compresión del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado	207
Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Compresión del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado.....	207
Tabla 124: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Flexión del Concreto Autocompactante Patrón a los 7 días de curado	208
Tabla 125: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Flexión del Concreto Autocompactante Patrón a los 28 días de curado	208
Tabla 126: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Flexión del Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado	209



Tabla 127: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Flexión del Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado	209
Tabla 128: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Flexión del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado	210
Tabla 129: Análisis Estadístico del ensayo de Resistencia a Flexión del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado	210
Tabla 130: Análisis Estadístico del Módulo de Elasticidad del Concreto Autocompactante Patrón a los 7 días de curado	211
Tabla 131: Análisis Estadístico del Módulo de Elasticidad del Concreto Autocompactante Patrón a los 28 días de curado	211
Tabla 132: Análisis Estadístico del Módulo de Elasticidad del Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento los 7 días de curado	212
Tabla 133: Análisis Estadístico del Módulo de Elasticidad del Concreto Autocompactante adicionando 100 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento los 28 días de curado	212
Tabla 134: Análisis Estadístico del Módulo de Elasticidad del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 7 días de curado	213
Tabla 135: Análisis Estadístico del Módulo de Elasticidad del Concreto Autocompactante adicionando 200 gr. de fibras sintéticas SIKACEM-1 FIBER por bolsa de cemento a los 28 días de curado	213
Tabla 136: Análisis de Costos de insumos para un metro cubico de Concreto Autocompactante ..	217
Tabla 137: Análisis de Costos de insumos para un metro cubico de Concreto Autocompactante ..	218
Tabla 138: Análisis de Costos de insumos para un metro cubico de Concreto Autocompactante con 100 gr. de Fibra Sintética	219
Tabla 139: Análisis de Costos de insumos para un metro cubico de Concreto Autocompactante con 200 gr. de Fibra Sintética	219
Tabla 140: Tabla Resumen de las propiedades de los agregados de las canteras de Vicho y Cunyac ..	220
Tabla 141: Resumen de dosificación de Concreto Autocompactante corregido	220
Tabla 142: Tabla: Resumen de dosificación de la mezcla en volumen	221



Tabla 143: Resumen de los Parámetros para el proporcionamiento de mezclas de Concreto Autocompactante.....	223
Tabla 144: Resumen de los resultados obtenidos de Concreto Autocompactante en estado fresco	224
Tabla 145: Resumen Comparativo de los resultados obtenidos del Peso Unitario del CAC en estado fresco	225
Tabla 146: Resumen Comparativo de los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión..	226
Tabla 147: Resumen Comparativo de los resultados obtenidos de la resistencia a la flexión	227
Tabla 148: Resumen Comparativo de los resultados obtenidos del módulo de elasticidad.....	229
Tabla 149: Resumen del análisis estadístico del ensayo de resistencia a compresión.....	232
Tabla 150: Resumen del análisis estadístico del ensayo de resistencia a flexión	232
Tabla 151: Resumen del análisis estadístico del Módulo de Elasticidad.....	233
Tabla 152: Correlación preliminar de la relación entre la Resistencia a la Compresión y el Módulo de Rotura	233
Tabla 153: Correlación preliminar entre la Resistencia a la Compresión y el Módulo de Rotura ..	234
Tabla 154: Resumen Comparativo de los costos de insumos del CAC	235
Tabla 155: Resumen Comparativo de los costos por partida del CAC.....	235
Tabla 156: Resumen de las propiedades mecánicas del Concreto Autocompactante.....	246
Tabla 157: Resumen de la Resistencia a la Compresión del Concreto Autocompactante.....	247
Tabla 158: Resumen del Módulo de Elasticidad del Concreto Autocompactante.....	248
Tabla 159: Resumen del Módulo de Rotura del Concreto Autocompactante.....	249
Tabla 160: Resumen del Peso Unitario del Concreto Autocompactante	250



Índice de Figuras

Figura 1:	Elemento estructural altamente reforzado	1
Figura 2:	Segregación del concreto y Aparición de Vacíos	1
Figura 3:	Colocación de concreto convencional en Losa.....	2
Figura 4:	Fisuras de Contracción	2
Figura 5:	Ubicación de zona de estudio	3
Figura 6:	Estructura en forma de iglú, fabricada con concreto Autocompactante	16
Figura 7:	Reacción química del cemento tipo I.....	17
Figura 8:	Reacción química del cemento tipo IP	18
Figura 9:	Mecanismos de acción de un aditivo a base de policarboxilatos.....	34
Figura 10:	Aditivo Eucoplast 8500 HP	35
Figura 11:	Mecanismo para obtención de autocompactabilidad.....	36
Figura 12:	Continuum de Trabajabilidad del Concreto.....	37
Figura 13:	Propiedades del CAC para distintos tipos de aplicaciones basado en Walraven.....	39
Figura 14:	Bandeja utilizada para el ensayo de flujo de escurrimiento.....	43
Figura 15:	Realización del ensayo	43
Figura 16:	Embudo V.....	46
Figura 17:	Caja en L.....	47
Figura 18:	Ensayo de resistencia a la Compresión.....	49
Figura 19:	Diagrama de un dispositivo adecuado para ensayar a flexión vigas con cargas a los tercios	51
Figura 20:	Diagrama Esfuerzo deformación	53
Figura 21:	Método de obtención de Concreto Autocompactante.....	55
Figura 22:	Procedimientos para la Obtención de Concreto Autocompactante	55
Figura 23:	Fibras de refuerzo	59
Figura 24:	Fibras SikaCem – 1 Fiber	62
Figura 25:	Diagrama de flujo de la investigación – parte 1	71
Figura 26:	Diagrama de flujo de la investigación – parte 2	72
Figura 27:	Muestreo de la arena gruesa de la cantera de Vicho.....	88
Figura 28:	Muestreo de la arena fina de la cantera de Cunyac.....	89
Figura 29:	Muestreo de agregado grueso fina de la cantera de Vicho.	90
Figura 30:	Ensayo granulométrico del Agregado Fino	92
Figura 31:	Partículas del agregado fino retenidas en cada malla. (a) Agregado Fino de la cantera de Cunyac. (b) Agregado Fino de la cantera de Vicho.	92
Figura 32:	a) Tamizado Mecánico del Agregado Grueso (b) Partículas del agregado grueso retenidas en cada malla.....	96



Figura 33:	Ensayo granulométrico del Agregado Grueso de la Cantera de Vicho	96
Figura 34:	Colocación del agregado fino en el molde metálico.....	99
Figura 35:	Compactación del agregado fino en el molde metálico con la varilla metálica de 5/8".	99
Figura 36:	Enrasado del molde con agregado fino con la varilla de 5/8".	100
Figura 37:	Compactado del agregado grueso en el molde metálico con la varilla de 5/8".	101
Figura 38:	Enrazado del agregado grueso en el molde metálico con la varilla de 5/8".	102
Figura 39:	Prueba de humedad del agregado fino luego de haberse usado el cono metálico. (a) Agregado Fino de la cantera de Cunyac. (b) Agregado Fino de la cantera de Vicho	104
Figura 40:	(a) Pesado del agregado fino antes de ser colocado en la fiola. (b) Pesado de la fiola con agua y el agregado fino.	104
Figura 41:	Extracción de vacíos de la fiola con el material y agua.....	105
Figura 42:	(a) Muestra de agregado grueso sumergida para su saturación. (b) Secado superficial de la muestra.	107
Figura 43:	(a) Pesado de la muestra en la canastilla sumergida. (b) Pesado de la muestra sacada del horno.	107
Figura 44:	Pesado de la muestra de agregado fino para ser colocada en el horno.	109
Figura 45:	Pesado de la muestra de agregado grueso para ser colocada en el horno.....	110
Figura 46:	(a) Muestra de agregado grueso en la máquina de los Ángeles. (b) Retiro del material de la máquina de Los Ángeles	112
Figura 47:	Lavado por la malla N° 10 del material extraído de la máquina de Los Ángeles.....	113
Figura 48:	Colocación el cono de Abrams en el centro de la placa, marcada con un círculo concéntrico de 50cm de diámetro.....	115
Figura 49:	Colocación del concreto autocompactante en el cono de Abrams.....	115
Figura 50:	Asentamiento del autocompactante.	116
Figura 51:	(a) Muestra de Concreto Autocompactante en la Caja L (b) Medición de la altura alcanzada por el concreto autocompactante.	118
Figura 52:	Nivelación de la mezcla dentro del embudo.....	120
Figura 53:	Asegurando la salida inferior del embudo.....	121
Figura 54:	(a) Mezcla reposando en Baldes. (b) Mezcla colocada en los tamices N°04.	123
Figura 55:	Determinación de la masa del fondo del tamiz con el CAC que cayó sobre él.	123
Figura 56:	Toma del dato del Peso del Concreto Autocompactante en estado Fresco.....	125
Figura 57:	Preparación de los moldes para el vaciado. (a) Probetas cilíndricas (b) Probetas prismáticas	127
Figura 58:	Dando acabado a las superficies de las probetas luego del vaciado. (a) Probetas Cilíndricas (b) Probetas prismáticas.....	128
Figura 59:	Probetas colocadas en poza de curado. (a) Probetas Cilíndricas (b) Probetas Prismáticas	128



Figura 60:	Determinación del peso de las briquetas de CAC.	129
Figura 61:	Determinación del diámetro de las briquetas de CAC.....	130
Figura 62:	Registro de las medidas de las briquetas de CAC que serán ensayadas.	133
Figura 63:	Colocación de las almohadillas de neopreno a la briquea de CAC para ser ensayada. 134	
Figura 64:	Briquea de CAC colocada dentro de la máquina de compresión axial ara ser ensayada....	134
Figura 65:	Registro de los datos obtenidos del ensayo.	135
Figura 66:	Registro de las dimensiones de las viguetas.	139
Figura 67:	Vigueta colocada en la máquina de flexión para ser ensayada.	140
Figura 68:	Vigueta ensayada en la máquina de flexión.	140
Figura 69:	Curva Granulométrica del Agregado Fino de Vicho.....	145
Figura 70:	Curva Granulométrica del Agregado Fino de Cunyac.....	146
Figura 71:	Curva Granulométrica del Agregado Fino Cabeceado 30% Vicho - 70% Cunyac	147
Figura 72:	Curva Granulométrica del Agregado Grueso de la cantera de Vicho.....	149
Figura 73:	Consistencia y cohesividad de las mezclas de prueba de menos estable a estable (izquierda a derecha)	160
Figura 74:	Diagrama de porcentaje de acuerdo al peso de cemento	221
Figura 75:	Diagrama de porcentaje de acuerdo al volumen por metro cubico de concreto	222
Figura 76:	Diagrama de porcentaje de acuerdo al volumen por metro cubico de concreto	222
Figura 77:	Diagrama de porcentaje de acuerdo al volumen por metro cubico de concreto	223
Figura 78:	Identificación del CAC para distintos tipos de aplicaciones	224
Figura 79:	Gráfico Comparativo del peso volumétrico del CAC.....	225
Figura 80:	Gráfico Comparativo de la resistencia a la compresión de CAC	226
Figura 81:	Comparación Desarrollo de la resistencia a la compresión de CAC	227
Figura 82:	Gráfico Comparativo de la resistencia a la flexión de CAC.....	228
Figura 83:	Comparación Desarrollo de la resistencia a la flexión de CAC	228
Figura 84:	Gráfico Comparativo del módulo de elasticidad de CAC	229
Figura 85:	Comparación del Desarrollo del módulo de elasticidad del CAC	230
Figura 86:	Gráfico de Esfuerzo vs deformación CAC Patrón.....	230
Figura 87:	Gráfico de Esfuerzo vs deformación CAC con 100 gr. de Fibra Sintética	231
Figura 88:	Gráfico de Esfuerzo vs deformación CAC con 200 gr. de Fibra Sintética	231
Figura 89:	Cuadro comparativo de Costos.....	235
Figura 90:	Cuadro comparativo de Costos.....	235



Capítulo I: Planteamiento del Problema

1.1 Identificación del problema

1.1.1 Descripción del problema

a) Descripción de la problemática

Durante los procesos constructivos tradicionales se tiene el uso de equipos y herramientas para la vibración del concreto, se realizan orificios al encofrado para permitir vaciados por partes y también se haga uso de estos y finalmente se suele golpear el encofrado, todo ello con el fin de que el concreto tradicional pueda abarcar todos los espacios de manera homogénea. Un problema que suele suceder durante el vaciado es el exceso de vibración del concreto por los diferentes métodos, donde se produce segregación, proceso en el cual los materiales en la mezcla se separan, por efectos de la gravedad y densidades de los materiales, el agua utilizada se eleva a la superficie.

Por otra parte, la alta densidad de la armadura que sucede en algunos elementos estructurales hace que el concreto no rellene todos los espacios dentro del encofrado, produciendo así espacios vacíos dentro de estos elementos, coloquialmente llamados “cangrejeras” las cuales son perjudiciales para lograr una eficiente resistencia de los elementos estructurales y perjudicando también el acabado de dichos elementos.



Figura 1: *Elemento estructural altamente reforzado*

Fuente: (Tutikian & Dal Molin, 2008)



Figura 2: *Segregación del concreto y Aparición de Vacíos*



Fuente: (Guo, Wu, Wang, & Zhang, 2020)

Además, durante procesos de colocación de concreto tradicional se requiere personal para vaciado, vibrado y acabado, produciéndose aglomeración de personas en estos procesos, durante pandemias se requiere la reducción de aforo de personal para el avance de actividades en proyectos de esta forma disminuir los contagios.



Figura 3: *Colocación de concreto convencional en Losa*

Fuente: (Talento Inmobiliario, 2017)

Por otra parte, la situación actual referente al uso del Concreto Autocompactante (CAC) en grandes luces y estructuras que trabajan en flexión, nos presenta el riesgo de la presencia de posibles fisuras y agrietamientos. Durante los procesos de fraguado y endurecimiento del concreto se presentan ciertas tensiones por la contracción que sucede, teniendo la posibilidad de generarse estos problemas, que pueden llegar a perjudicar la estructura interna del elemento estructural, de esta forma también afectando su capacidad de carga y la posibilidad de colapso debido a fenómenos naturales como sismos



Figura 4: *Fisuras de Contracción*

Fuente: (Vidaud, 2013)

b) Ubicación geográfica

La presente investigación se realiza en la región y provincia del Cusco, ubicada en la región sur oriental del Perú con una altitud de 3390 m.s.n.m. y extensión aproximada de 72,104 km².

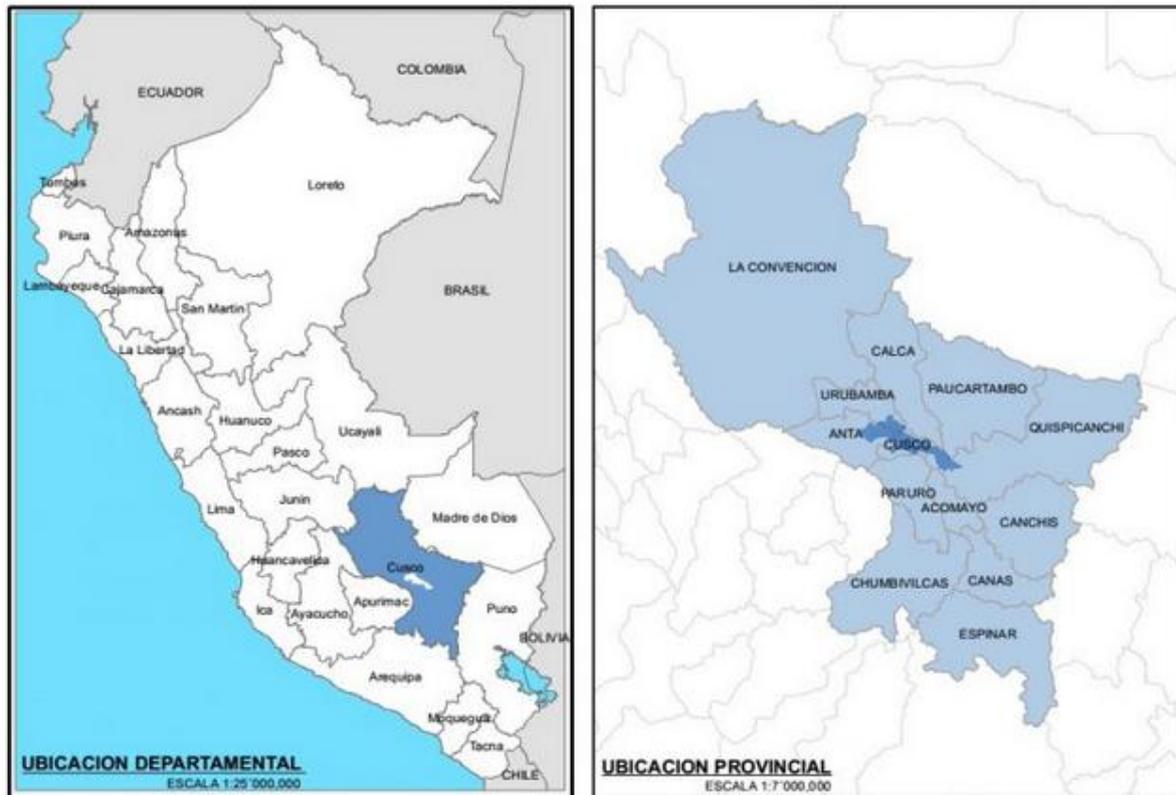


Figura 5: *Ubicación de zona de estudio*

Fuente: Plan de Desarrollo Metropolitano Cusco 2017-2037

1.1.2 Formulación interrogativa del problema

1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general

¿Cuál será la evaluación de las propiedades mecánicas de un concreto autocompactante con adición de fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento?

1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

1. ¿Cuál es la influencia en la adición de fibras sintéticas Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante?
2. ¿Cuál es la variación del módulo de elasticidad del concreto autocompactante con adición de fibras sintéticas Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento?
3. ¿Cuál es la influencia en adicionar fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento en la resistencia a la flexión del concreto autocompactante?
4. ¿Cuál es la variación del peso unitario del concreto autocompactante con adición de fibras sintéticas Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento?



1.2 Justificación e importancia de la investigación

1.2.1 Justificación técnica

La presente investigación se desarrolló dentro del campo de la Ingeniería Civil, en el área de estudio de las ramas de Construcciones y Estructuras, obteniendo la parte teórica de las especialidades de Tecnología del Concreto y Resistencia de Materiales, específicamente sobre las propiedades mecánicas de los materiales.

La investigación cumple con las normativas vigentes del ACI, Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante, ASTM y NTP, tanto para los agregados, material cementante y aditivos para la elaboración del concreto autocompactante. La dosificación se basó en el método ACI 237R-07 revisión 2019, los diferentes ensayos para la validación de este tipo de concreto cumplen con la metodología del ACI y las Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante y para los ensayos en estado endurecido se cumplen con las NTP correspondientes.

En la presente investigación se determinan las propiedades mecánicas del concreto autocompactante (CAC), estas propiedades son indispensables para el diseño de estructuras, por su influencia en la calidad del concreto. Se espera mejorar el peso unitario, módulo de elasticidad, resistencia a la compresión y resistencia a la flexión, con el fin de que las propiedades mecánicas nos permitan obtener un Concreto Autocompactante para ser ampliamente utilizado en el medio.

Las fibras sintéticas SIKACEM®-1 FIBER, son fibras de alta tenacidad que se utilizan como refuerzo en el concreto, estas cumplen con los requisitos de la norma ASTM C1116, según su ficha técnica se pueden aplicar en todo tipo de concreto, recomendando el uso de una bolsa de fibras por bolsa de cemento. En la investigación se utilizaron las fibras de acuerdo a la recomendación y duplicando esta para esperar obtener mejoras en cuanto a las propiedades mecánicas.

1.2.2 Justificación social

La presente investigación es de beneficio para la población, continuando con la divulgación de la tecnología del Concreto Autocompactante, se pretende mejorar las propiedades mecánicas de este tipo de concreto con un material disponible y de costos alcanzables en el medio local, aportando a la industria de la construcción un concreto de calidad y que cumpla con los parámetros normativos.

Esta investigación fomenta el desarrollo del concreto autocompactante, siendo una de sus ventajas la reducción de personal en vaciados, vibrado y acabado del concreto, permitiendo de



esta forma la reducción de concentración de personas en áreas de trabajo, disminuyendo el riesgo de contagio en posibles pandemias.

Esta investigación queda como un aporte a la comunidad, permitiendo conocer los beneficios del uso tanto de las fibras sintéticas como del concreto autocompactante, permitiendo la aplicación de los procedimientos realizados para futuros estudios como aparición de nuevas fibras comerciales, valiendo de fuente de información para futuras investigaciones.

1.2.3 Justificación por vialidad

Tanto los materiales, las herramientas como los equipos utilizados para el desarrollo de la investigación se encuentran disponibles, son fáciles de obtener y sus costos no son elevados.

Así también, se dispone del laboratorio de la Universidad Andina del Cusco y el laboratorio de la Corporación Ayar SAC para poder obtener los datos de las propiedades mecánicas del concreto autocompactante reforzado.

Respecto a la bibliografía y normatividad, estas se encuentran disponibles, permitiendo realizar los diferentes procedimientos propuestos con éxito.

1.2.4 Justificación por relevancia

La investigación nos permite conocer los valores de la resistencia a la compresión, módulo de ruptura y módulo de elasticidad del Concreto Autocompactante reforzado con fibras sintéticas, siendo valores que determinan la calidad del concreto, además estas fibras de alta tenacidad evitan agrietamientos en el concreto, permitiendo de esta manera mejorar sus propiedades y así pueda ser ampliamente utilizado.

1.3 Limitaciones de la investigación

1.3.1 Limitaciones de objeto de estudio

La investigación se limita a la evaluación de las propiedades mecánicas de un concreto autocompactante adicionando fibras sintéticas SikaCem®-1 Fiber en cantidades de 100 gramos por bolsa de cemento y 200 gramos por bolsa de Cemento. Se evalúa el desarrollo de la resistencia a la compresión, flexión y módulo de elasticidad a edades de 7 y 28 días. El módulo de elasticidad es evaluado para aplicaciones donde no sea crítico para elementos de concreto de acuerdo a la norma ACI 237R-07

1.3.2 Limitaciones geográficas

La investigación tiene un ámbito de influencia específicamente aplicado a la ciudad del Cusco y departamento del Cusco, donde se realizaron los ensayos a los agregados, concreto en estado fresco (Universidad Andina del Cusco) y en estado endurecido (Laboratorio “Corporación Ayar”) además de la realización y curado de briquetas y viguetas de concreto.



1.3.3 Limitación de materiales

Se limita al uso de los siguientes materiales para el desarrollo de la investigación:

El agregado fino proveniente de las canteras de Vicho y Cunyac, proveyendo confitillo y arena fina respectivamente en una dosificación de 30% y 70%.

El Agregado Grueso proveniente de la cantera de Vicho, con un tamaño máximo nominal (TMN) de 1/2".

Uso de cemento de tipo IP (Cemento Portland Pozolánico).

Uso del aditivo reductor de agua de alto rango Eucoplast 8500 HP obtenido de la empresa QSI Perú S.A.

Uso de fibras sintéticas de la empresa Sika SikaCem®-1 Fiber.

El uso de agua proveniente de la red pública provista por la EPS Seda Cusco.

1.3.4 Limitaciones en el diseño de mezcla

El diseño de mezcla para la obtención del concreto autocompactante se basó en el método propuesto en el ACI 237R-07 re-aprobada en el 2019.

El flujo de asentamiento para el diseño de mezcla es mayor a 650 mm.

Se escogió como material fino cementante (<0.125 mm.) solo al cemento sin la combinación con otros materiales finos.

La relación agua/cemento es de 0.445.

Se limita al uso de 100 y 200 gr. de fibra sintética Sika SikaCem®-1 Fiber por bolsa de cemento.

De acuerdo a las Directrices Europeas del Hormigón Autocompactante, los resultados de ensayos en estado fresco la clasificación del diseño de mezcla se limita a ser usado en rampas, muros, pilares, pavimentos, losas y elementos altos y esbeltos.

1.3.5 Limitaciones de ensayos en laboratorio

Para los materiales se limita:

- Uso de la NTP 400.010:2011 Rev. 2016 para la preparación y obtención de las muestras de agregado fino y grueso.
- Uso de la NTP 400.011:2008 Rev. 2018 para definir y clasificar los agregados para uso en mortero y hormigón.
- Uso de la NTP 400.037:2014 para las especificaciones normalizadas para agregados en concreto
- Uso de la NTP 400.012:2013 Rev. 2018 para el análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.



- Uso de la NTP 400.017:2011 para determinar el peso unitario de los agregados.
- Uso de la NTP 400.022:2013 para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.
- Uso de la NTP 400.021:2013 para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso.
- Uso de la NTP 339.185:2013 para determinar el contenido de humedad total evaporable de agregados por secado
- Uso de la NTP 400.019 2014 para determinar la resistencia a la degradación por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles

Para el concreto en estado fresco se limita:

- Uso del ASTM C1611-14 para determinar el flujo de asentamiento, T50, además de obtener el índice de estabilidad visual (VSI) para determinar la estabilidad de la mezcla
- Uso del ACI 237R-07 y las Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante: Especificaciones (2006), Producción y Uso para realizar ensayos de capacidad de paso, capacidad de relleno y resistencia a la segregación.
- Uso de la NTP 339.046:2008 y ASTM C 138 para determinar el peso unitario del concreto en fresco por método gravimétrico.
- Uso del ASTM C1758-15 para la elaboración de especímenes de concreto autocompactante en laboratorio.

Para el concreto en estado endurecido se limita:

- Uso de la NTP 339.046:2008, para definir el método que determine el peso unitario del concreto.
- Uso de la NTP 339.183:2013, para el curado de los testigos de concreto por sumersión.
- Uso de probetas de concreto con dimensiones de 10cm de diámetro y 20cm de altura.
- Uso de Viguetas de concreto con dimensiones de 15 cm de ancho y alto y 50 cm de largo.
- Uso de la NTP 339.034:2015, para definir el método que determine la resistencia a la compresión del concreto.
- Uso de la NTP 339.078:2012, para definir el método que determine la resistencia a la flexión del concreto.
- Uso del ACI 237R-07 y la norma E.060 del Reglamento Nacional de Edificaciones para determinar el módulo de elasticidad del concreto autocompactante.

Para el procesamiento de datos y cálculos de los ensayos realizados se hace uso del programa Excel.



Para los costos de materiales es de insumos por metro cubico de concreto.

1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo general

Evaluar las propiedades mecánicas de un concreto autocompactante con adición de fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar la influencia en la adición de fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante.
2. Determinar la variación del módulo de elasticidad del concreto autocompactante con adición de fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento.
3. Determinar la influencia en la adición de fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento en la resistencia a la flexión del concreto autocompactante.
4. Determinar la variación del peso unitario del concreto autocompactante con adición de fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento.



Capítulo II: Marco Teórico

2.1 Antecedentes de la tesis

2.1.1 Antecedentes a nivel nacional

- Antecedente 01:

Título: “Influencia de la fibra sintética (Sika® Fiber Force pp-48) en el comportamiento mecánico de un concreto autocompactante con $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ ”

Universidad: Universidad Nacional de Cajamarca

Autores: Bach. Sander Neker Chilón Quispe

País: Perú - Cajamarca

Año de Publicación: 2018

La presente investigación tuvo como objetivo principal, determinar el comportamiento mecánico del concreto autocompactante (CAC) con resistencia $F'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ al adicionar fibra sintética “SIKA® FIBER FORCE PP-48”, contempla además la determinación de propiedades del concreto autocompactante en estado fresco como su fluidez empleando ensayos de escurrimiento, caja en L y Caja V

Los resultados manifiestan que, la adición de fibra aumenta la resistencia a compresión hasta un máximo de 17.3% para una dosificación de 4 kg/m^3 de fibra, la resistencia a la tracción indirecta incrementa hasta un 26.73% para una dosificación de 4 kg/m^3 de fibra, en tanto la resistencia a flexión aumenta hasta 7% para una dosificación de 2 kg/m^3 de fibra. Según los ensayos realizados, las propiedades en estado se encuentran dentro del rango establecido por la normativa internacional.

Conclusiones:

Las resistencias a compresión obtenidas a los 28 días fueron 290.76, 316.26, 327.71 y 340.94 kg/cm^2 para el concreto patrón y para el concreto con dosificaciones de fibra de 2, 3 y 4 kg/m^3 respectivamente. Las resistencias a tracción indirecta obtenidas a los 28 días fueron 30.42, 34.16, 34.94 y 38.55 kg/cm^2 para el concreto patrón y para el concreto con dosificaciones de fibra de 2, 3 y 4 kg/m^3 respectivamente. Las resistencias a flexión obtenidas a los 28 días fueron 56.59, 60.51, 53.32 y 48.12 kg/cm^2 para el concreto patrón y para el concreto con dosificaciones de fibra de 2, 3 y 4 kg/m^3 respectivamente, se incrementa en 7% (para el concreto con 2 kg/m^3 de fibra).

Comentario:

En el presente antecedente se hace uso de aditivo reductor de agua de alto rango (MasterGlenium ® SCC 3800) en combinación de macrofibras sintéticas (SIKA® FIBER



FORCE PP-48), siendo de referencia para un adecuado proceso de mezclado donde la mezcla resulte homogénea. También se observaron los ensayos al concreto autocompactante en estado fresco y finalmente se estudió el desarrollo de la evaluación del gráfico esfuerzo-deformación elaborado con el promedio de los esfuerzos y deformaciones de todos los especímenes ensayados.

- Antecedente 02:

Título: “Análisis comparativo de las características mecánicas a Compresión, flexión, y costos de materiales de un concreto Patrón y otro adicionado con fibra sintética mejorada Sikafiber® pe, elaborado con agregado de las canteras Cunyac y vicho”.

Universidad: Universidad Andina del Cusco

Autores: Bach. Carmen Rosa Champi Chavez, Bach. Lizbet Espinoza Chile

País: Perú - Cusco

Año de Publicación: 2017

La presente investigación tiene por objetivo principal analizar comparativamente las características mecánicas del esfuerzo a compresión, módulo de rotura y costos de materiales de un concreto patrón $f'c=210\text{kg/cm}^2$ y otro adicionado con fibra sintética mejorada Sikafiber.pe en diferentes dosificaciones. El cual tiene un diseño de mezcla por el método del instituto americano del concreto (ACI-211).

El concreto patrón se contrastó con el concreto adicionado con fibra sintética mejorada Sikafiber.pe en diferentes dosificaciones. Por lo tanto, en base a los resultados obtenidos en los ensayos realizados; tenemos un aumento significativo en el esfuerzo a compresión del concreto con dosificación 600gr/m^3 . En los datos obtenidos en el módulo de rotura, se verificó un incremento del concreto en la dosificación de 900 gr/m^3 , mostrando mejores resultados que el concreto patrón y validando de esa manera nuestra sub hipótesis número dos.

Conclusiones:

Debido a la obtención de resultados del concreto patrón y concreto adicionado con fibra sintética observamos que la fibra incrementa la resistencia a la compresión en los 28 días se observó, que el concreto patrón es $f'c=246.47\text{kg/cm}^2$, al adicionar la fibra en una dosificación de 300gr/m^3 es $f'c = 247.73\text{k/cm}^2$, es próximo a la del concreto patrón, en la DO: 600gr/m^3 su incremento es significativo ya que obtuvimos un $f'c = 333.53\text{kg/cm}^2$, la dosificación de 900gr/m^3 tiene un $f'c = 296.75\text{kg/cm}^2$. La resistencia a flexión aumenta proporcionalmente a las dosificaciones de fibra teniendo así el concreto patrón, concreto con fibra en DO:



300gr/m³, DO: 600 gr/m³ y DO: 900gr/m³, teniendo el módulo de rotura $f_r = 34.41\text{kg/cm}^2$, $f_r = 35.78\text{kg/cm}^2$, $f_r = 36.11\text{kg/cm}^2$, $f_r = 39.52\text{kg/cm}^2$ respectivamente.

Comentario:

La presente investigación se hace uso de las fibras SikaFiber® PE (empaques de 600 gr.) en un concreto convencional en la ciudad del Cusco. Se tomo de referencia el análisis comparativo de las propiedades mecánicas y de los costos de materiales, donde se observó las mejoras en la resistencia a la compresión y en el módulo de rotura al adicionar las fibras sintéticas.

2.1.2 Antecedentes a nivel internacional

- Antecedente 01:

Título: “Evaluación De Las Propiedades Físicas Y Mecánicas De Concretos Autocompactantes De Altas Prestaciones Con La Inclusión De Fibras Plásticas Normalizadas Y Recicladas”

Universidad: Universidad De Cuenca - Ecuador

Autores: Bach. José Antonio Abad González, Bach. Jorge Miguel Romero Loyola

País: Ecuador - Cuenca

Año de Publicación: 2016

El trabajo de titulación tiene por objetivo incorporar fibras plásticas, recicladas y normalizadas, a CAC para evaluar y comparar sus propiedades físicas y mecánicas, en estado fresco y endurecido, enfocados a la obtención de la dosificación que de mejor comportamiento en función de las propiedades analizadas.

Las propiedades mecánicas analizadas en los CAC fueron las siguientes: resistencia a compresión simple, módulo de elasticidad, relación de Poisson, asentamiento, velocidad de propagación de onda y módulo de ruptura. Los resultados obtenidos fueron analizados por análisis de varianza ANOVA simple y multifactorial, con el fin de saber si existe o no variación estadísticamente significativa para cada propiedad estudiada.

Conclusiones:

De los ensayos a resistencia de compresión simple de las probetas cilíndricas, se observó un aumento de hasta un 15% con respecto al concreto base sin fibras, sin embargo, se obtuvo en un único tratamiento (2.25 kg Fibra Normalizada – 4.50 kg Fibra Reciclada) resistencia menor en 2% al concreto base. La mezcla que mayor resistencia alcanzó fue la conformada por 4.5 kg de fibra comercial por metro cubico, siendo esta 399.32 kg/cm².



Del ensayo de módulo de ruptura en las probetas prismáticas tipo viguetas, se observó que solo dos mezclas superaron el valor del módulo de ruptura de la mezcla base (65.99 kg/cm²). Estas mezclas, la primera conformada por 2.25 kg de fibra comercial por metro cúbico de concreto, y la segunda conformada por 2.25 kg de fibra reciclada por metro cúbico de concreto, alcanzaron 67 kg/cm². El menor valor de módulo de ruptura pertenece a la mezcla conformada por 2.25 kg de fibra comercial y 2.25 kg de fibra reciclada por metro cúbico, siendo igual a 61 kg/cm².

Los ensayos de módulo de elasticidad en las probetas cilíndricas realizados en el laboratorio de la Universidad de Cuenca no presentaron resultados confiables, ya que estos no predicen de manera correcta el comportamiento de un concreto. Los resultados de los módulos de elasticidad de los CAC base sin inclusión de fibras obtenidos en el laboratorio Labscon, se asemejan a los determinados por la ecuación del ACI, así como los calculados por la velocidad de propagación de onda de ultrasonido, como se indica en el Capítulo IV. En busca de la obtención de valores que representen bien el concreto el factor de corrección determinado se multiplicó a los valores obtenidos en el laboratorio de la Universidad de Cuenca. El menor módulo de elasticidad es de 238785 kg/cm², correspondiente a la mezcla conformada por 2.25 kg/m³ de fibra comercial y 2.25 kg/m³ de fibra reciclada.

Comentario:

En la presente investigación se hizo obtuvo Concreto Autocompactante haciendo uso del aditivo Sika Viscocrete 2100, se compararon las propiedades mecánicas al adicionaron fibras sintética Sika Fiber Force PP/PE-700/55 y al adicionar fibras de PET, o tereftalato de polietileno recicladas. Se tomo de referencia los ensayos al concreto autocompactante en estado fresco, así como de las propiedades mecánicas comparadas entre ambas donde se observa la mejor al adicionar las fibras sintéticas en el concreto.

- Antecedente 02:

Título: “Bond between Self-Compacting Concrete and Reinforcement”

(Tesis Doctoral)

Universidad: Ghent University

Technical University of Cluj-Napoca

Autores: Ing. Ioan Pop

País: Bélgica, Gante

Rumania, Cluj-Napoca

Año de Publicación: 2014



Esta tesis doctoral presenta un estudio sobre el vínculo entre el concreto autocompactante (CAC) y el acero de refuerzo. La tesis consta de tres partes. La primera parte es teórica y comprende los primeros tres capítulos. La segunda es la parte práctica de esta tesis y se describe en el capítulo 4. La última parte de la tesis consiste en una centralización de todos los resultados de ambos estudios prácticos presentados en el capítulo 4.

El objetivo principal de este programa era estudiar la influencia del proceso de bombeo desde la parte inferior de los elementos para vincular la resistencia. El Capítulo 5 es el capítulo donde se realiza la centralización de todos los resultados experimentales. Como resultado del análisis estadístico y analítico de los resultados, se presentó una nueva ecuación que evalúa la tensión de enlace para el hormigón autocompactante. El Capítulo 6 es el último capítulo y consiste en un resumen de la tesis, las conclusiones del autor y las recomendaciones futuras derivadas de los datos analizados.

Conclusiones:

Se observó la influencia de las barras de refuerzo y su longitud de anclaje para cada tipo de hormigón, SCC y VC.

La evaluación estadística de los resultados condujo a una ecuación que simulaba la unión del hormigón autocompactante. La ecuación es un punto de partida en términos de evaluar las resistencias finales de adherencia para el hormigón autocompactante, con una adición a los modelos existentes al considerar la influencia de la altura de la nervadura en relación con el diámetro de la barra.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \left[6,28 \cdot \left(\frac{c}{d}\right)^{0.7} + 52 \cdot \left(\frac{h}{d}\right) - 4 \right] \cdot f_c^{0.55}$$

Donde:

- $\tau_{m\acute{a}x}$: Fuerza de unión máxima
- c: Distancia entre nervios de refuerzo
- h: Altura de la nervadura
- f_c : Resistencia a la compresión media

Comentario:

El presente trabajo de investigación doctoral nos sirvió para obtener principalmente el método de dosificación del ACI 237R-07 de donde se obtuvieron los pasos para la obtención del concreto autocompactante. También se explican las características del concreto autocompactante en estado fresco, donde se detallan los ensayos y el procedimiento para clasificar la mezcla, siendo estos muy útiles.



2.2 Aspectos teóricos pertinentes

2.2.1 Definición de Concreto Autocompactante

El Concreto Autocompactante (CAC) es un tipo innovador de concreto que no requiere vibración alguna para su colocación y compactación. El concreto autocompactante fluye por su propio peso, ocupando completamente la forma del encofrado y alcanza una plena compactación, aún en presencia de una alta densidad de armaduras. Este concreto endurecido es denso, homogéneo y tiene las mismas propiedades estructurales y una vida útil igual a la del hormigón convencional compactado por vibración. (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

El Concreto Autocompactante (CAC) es altamente fluido, sin segregación que puede ser extendido en el lugar, llenar la forma, y encapsular el refuerzo sin consolidación mecánica. (ACI 237R-07, 2007)

Como se observó en las definiciones, el Concreto Autocompactante es un tipo de concreto que se puede obtener de igual manera que un concreto convencional, la diferencia radica en sus propiedades, que permiten que tenga alta fluidez para llegar a lugares altamente armados y de difícil acceso para equipos de vibración, evitando segregaciones y espacios sin rellenar.

2.2.2 Historia del Concreto Autocompactante

La tecnología del concreto autocompactante no lleva más de 40 años de desarrollo en la construcción a nivel internacional, teniendo recientemente en la década pasada normativas para su control de calidad y dosificación, siendo uno de los más utilizados por las empresas de prefabricados, una breve reseña histórica de los inicios de esta tecnología es realizada por (Correia Gomez & Rodrigues de Barros, 2009):

El concreto autocompactante (CAC), desarrollado inicialmente en Japón por el profesor Hajime Okamura en la década de 1980, surgió de la necesidad de estructuras más duraderas, económicas y de menor tiempo de ejecución, teniendo en vista la proporción optimizada de los componentes de la mezcla y la ausencia de la necesidad de compactación Mecánica del concreto.

El Concreto Autocompactante fue obtenido por primera vez en la Universidad de Tokio, en Japón, en 1986, con su primer prototipo obtenido por Ozawa. Los estudios previos fueron iniciados en pruebas que describían el flujo de concreto. Se encontró bloqueo de flujo por contacto entre los agregados. El bloqueo se puede observar cuando el concreto intenta pasar a través de una abertura.



A partir de estos estudios y del uso del prototipo CAC, se desarrollaron varias investigaciones, proyectos y publicaciones en Japón, y se realizaron algunas aplicaciones de CAC in situ (Okamura & Ouchi, 1999). A mediados de la década de 1990, el CAC surgió en Europa, específicamente en Suecia (Billberg, 1999), sin demorar la rápida aceptación de los mercados europeos e internacionales (Gomes, 2002). Hoy en día, el interés en el CAC en todo el mundo ha crecido y se destaca por los numerosos documentos publicados en congresos, simposios y seminarios específicamente sobre CAC y eventos relacionados con tecnología concreta y diversas aplicaciones que se justifican por las ventajas muy atractivas para las empresas constructoras. En América del Sur, específicamente en Brasil, no podría ser diferente; La investigación crece día a día y la aplicación de CAC aumenta cada año. Recientemente, la revista *Téchne* n-132, 2008, publicó varias aplicaciones de CAC en diferentes situaciones que se justificaron por el costo, la reducción del tiempo de hormigonado, la calidad del concreto y el mejor acabado.

Habiendo visto la historia del Concreto Autocompactante (CAC), (Daczko, 2012) nos muestra las normativas realizadas durante todo ese tiempo; Durante un periodo de 13 años (1997 - 2010) numerosas normativas y métodos de prueba han sido publicados mundialmente, incluyendo los de Italia, Francia, Suecia, Noruega y los Estados Unidos de América. La siguiente es una lista parcial de consensos publicados o documentos basados en comités:

- “AIJ Recommended Practice for High Fluidity Concrete for Building Construction”, Architectural Institute of Japan, 1997
- “Recommendation for Construction of Self-Compacting Concrete,” Japan Society of Civil Engineers, 1998
- “Report rep023: Self-Compacting Concrete—State-of-the-Art Report,” RILEM TC 174-SCC, 2000
- “The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use,” Self-Compacting Concrete European Project Group, 2005
- “Report rep035: Casting of Self-Compacting Concrete—Final Report,” RILEM TC 188-CSC, 2006
- “Report rep038: Durability of Self-Compacting Concrete—State-of-the-Art Report,” RILEM Technical Committee 205-DSC, 2007
- “ACI 237R-07, Self-Consolidating Concrete,” American Concrete Institute, 2007.
- Otros numerosos reportes han sido publicados aparte de estos.

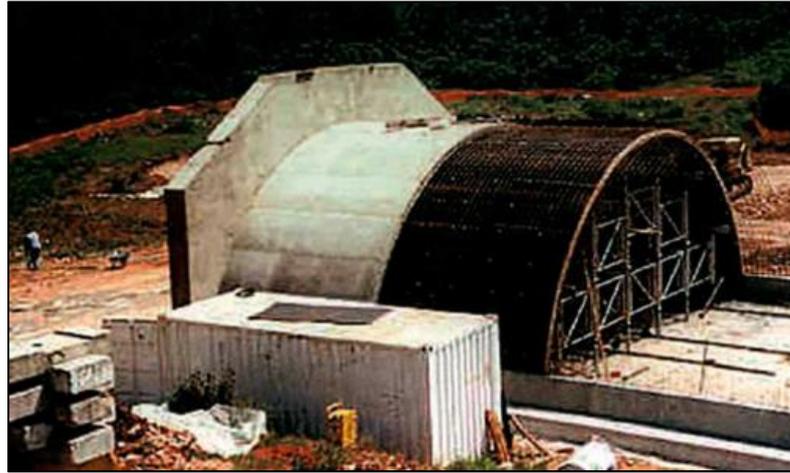


Figura 6: Estructura en forma de iglú, fabricada con concreto Autocompactante

Fuente: (Bernabeu, 2000)

2.2.3 Ventajas del Concreto Autocompactante

Gracias a sus características principales este tipo de concreto nos brinda ciertas ventajas, según la (National Ready Mixed Concrete Association, 2004) son las siguientes:

- Puede colocarse rápidamente sin vibración mecánica y con menos allanado, resultando en ahorros de costos de colocación.
- Mejora la uniformidad en acabados de superficies arquitectónicas, reduciendo los trabajos de reparación superficial.
- Fácil llenado de secciones restringidas y áreas de difícil acceso. Oportunidad para crear formas estructurales y arquitectónicas y acabados superficiales que no se podrían lograr con concretos convencionales.
- Mejora la consolidación alrededor del refuerzo y adherencia con el refuerzo.
- Mejora la bombeabilidad.
- Mejora la uniformidad del concreto colocado en el sitio, eliminando la variable del esfuerzo del operario en la consolidación.
- Ahorros en mano de obra.
- Menores tiempos de construcción, resultando en ahorro en costos.
- Menores ciclos de los camiones mezcladores permitiendo al productor servir al proyecto de manera más eficiente.
- Reduce o elimina el ruido potencial del vibrado incrementando las horas de construcción en zonas urbanas.
- Minimiza el movimiento de camiones mezcladores y bombas durante la colocación.
- Incrementa la seguridad en el trabajo, eliminando la necesidad de consolidación.

2.2.4 Componentes del Concreto Autocompactante

Los materiales que componen un HAC son en general los mismos que se utilizan en los hormigones convencionales, a diferencia sólo del uso de arenas finas o filler y el uso de aditivos superplastificantes, viscosantes y eventualmente incorporadores de aire. (Vargas Salazar & Sciaraffia Pérez, 2006)

2.2.4.1 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. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (Rivva López, 2000)

Existen diferentes tipos de cementos, de acuerdo a (Rivva López, 2000) tenemos:

- Tipo I. De uso general, donde no se requiere propiedades especiales.

El Cemento Tipo I, Produce un 75 % de Silicatos de calcio (Resistencia), el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones. (Yura, 2014)

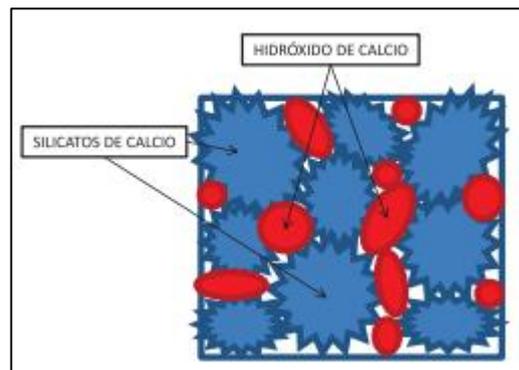


Figura 7: *Reacción química del cemento tipo I*

Fuente: (Yura, 2014)

- Tipo II. De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Especialmente adecuados para ser empleados en estructuras en ambientes agresivos y/o vaciados masivos
- 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 servicios de las estructuras, o para uso 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.



- Los denominados «cementos adicionados» son mezclas de cemento y un material de características puzolánicas molidos en forma conjunta. En el Perú se fabrican los Tipos IP, IPM, IS, y ISM
- El cemento Tipo IP es un cemento al cual se ha añadido puzolana en un porcentaje que oscila entre el 15% y el 40% del peso total.

Las características principales de este cemento de acuerdo a la ficha técnica de la marca (Yura, 2014) son:

- Buena resistencia a la acción de los sulfatos reduciendo la eflorescencia del salitre por lo tanto la corrosión del acero de refuerzo en los elementos estructurales.
- Mayor resistencia a la compresión debido a que los aluminosilicatos de la puzolana entran en reacción con el hidróxido de calcio que es liberado en la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que dan una resistencia adicional a este tipo de cemento comparado con otros que no contienen puzolana.

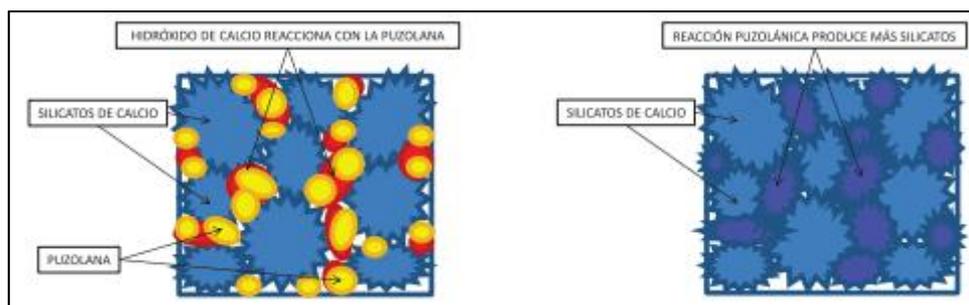


Figura 8: *Reacción química del cemento tipo IP*

Fuente: (Yura, 2014)

- Mayor Impermeabilidad debido a la gran generación de silicatos cálcicos producidos en la hidratación del cemento los cuales permiten que el concreto sea menos permeable y protegiendo así a los elementos de acero de la corrosión.
- Menor calor de hidratación ya que la puzolana al reaccionar con el hidróxido de calcio inhibe la gran generación de calor de hidratación producida por la reacción del hidróxido de calcio con el aluminato tricálcico evitando así fuertes contracciones y fisuraciones importantes que afectan la calidad del concreto, principalmente en obras de gran tamaño.
- Disminuye la reacción Nociva álcali – agregado debido a que la puzolana remueve los álcalis de la pasta del cemento antes que estos reaccionen con los agregados evitando así la figuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali-agregado, ante la presencia de agregados álcali - reactivo.



- El cemento Tipo IPM es un cemento al que se le ha añadido puzolana en un porcentaje menor del 15% del peso total
- El cemento Tipo IS es un cemento al cual se le ha añadido entre 25% y 75% de escoria de altos hornos referido al peso total.
- El cemento Tipo ISM es un cemento al cual se ha añadido menos del 25% de escoria de altos hornos referida al peso total.

Según la ACI 237R-07, una de las normas que el cemento debe cumplir es la norma ASTM C595, de acuerdo al tipo de cemento seleccionado.

En la ASTM C 595 observamos las especificaciones para los cementos adicionados hidráulicos, el tipo IS cemento Portland de escoria de alto horno, tipo IP cemento puzolánico Portland, tipo P cemento Portland puzolánico para su uso cuando no se requieren mayores resistencias a edades tempranas, tipo I (PM) puzolana modificado con cemento Portland, tipo I (SM) cemento Portland modificado con escoria, tipo S cemento de escoria para su uso en combinación con cemento Portland en la fabricación de hormigón y en combinación con cal hidratada en la fabricación de mortero de albañilería. (Vergara, 2013)

2.2.4.2 Agua

Los requisitos de calidad del agua para concretos autocompactantes son los mismos que para un concreto convencional. (Tutikian & Dal Molin, 2008)

Para concretos convencionales en la Norma Técnica de Edificación (E.060, 2009) el agua de mezcla debe cumplir con las siguientes características:

- El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser, de preferencia, potable.
- Se podrán utilizar aguas no potables sólo si:
Están limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo o elementos embebidos.

La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basa en ensayos en los que se ha utilizado agua de la fuente elegida.

Los cubos de mortero para ensayos, hechos con agua no potable, deben tener resistencias a los 7 y 28 días, de por lo menos 90% de la resistencia de muestras similares hechas con agua potable. La comparación de los ensayos de resistencia debe hacerse en morteros idénticos, excepto por el agua de mezclado, preparados y ensayados de acuerdo con la NTP 334.051.



- Las sales u otras sustancias nocivas presentes en los agregados y/o aditivos deberán sumarse a las que pueda aportar el agua de mezclado para evaluar el contenido total de sustancias inconvenientes.

2.2.4.3 Agregados

Agregado es un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados, y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la NTP 400.011. Se les llama también áridos. (NTP 400.011, 2008)

En general los agregados utilizados en el concreto autocompactante (CAC) deben cumplir las mismas exigencias normativas utilizadas para el concreto convencional. Se recomienda que las de tamaño menor a 0.125 mm sean consideradas como parte del contenido de finos, es decir de la pasta, ya que influyen en el comportamiento reológico del CAC. El diámetro máximo típico de los agregados grandes normalmente utilizados en CAC es de 20 mm, pero el diámetro máximo de 40 mm ya se ha utilizado en aplicaciones de CAC. (Okamura H. , Self-Compacting High-Performance Concrete, 1997)

La humedad, absorción de agua, la clasificación y las variaciones en la cantidad de finos de los agregados deben ser cuidadosa y continuamente supervisadas, teniendo en consideración mantener la calidad del Concreto Autocompactante (CAC). La forma y la distribución del tamaño de las partículas del agregado son muy importantes y afectan la compactación y el índice de vacíos de este. (Correia Gomez & Rodrigues de Barros, 2009)

2.2.4.3.1.1 Clasificación de agregados

Existen diferentes puntos de vista para clasificar a los agregados, la clasificación presentada por (Sanchez de Guzman, 2001) es la siguiente:

- Clasificación según su tamaño

La forma más generalizada de clasificar los agregados es según su tamaño, el cual varía desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en sección transversal. Esta distribución del tamaño de las partículas es lo que se conoce con el nombre de granulometría. La fracción fina de este material, cuyas partículas tienen un diámetro inferior a 4.76 mm y no menor de 0,074 mm (74 μ m), es lo que comúnmente se llama arena y la fracción gruesa, o sea aquellas partículas que tienen un diámetro superior a 4.76 mm, es la que normalmente se denomina agregado grueso o simplemente grava. Una clasificación más específica es la que se muestra en la siguiente tabla, donde se indican los nombres más usuales de las fracciones y su aptitud como agregados para concreto según su tamaño.



Tabla 1: *Clasificación general del agregado según su tamaño*

Tamaño de las partículas en mm (pulg.)	Denominación más corriente	Clasificación	Clasificación como agregados para concreto
Inferior a 0.002	Arcilla	Fracción muy Fina	No recomendable
Entre 0.002 - 0.074 (No. 200)	Limo		
Entre 0.074 – 4.76 (No. 200) – (No. 4)	Arena	Agregado Fino	Material apto para producir concreto
Entre 4,76- 19.1 (No. 4) - (3/4")	Gravilla	Agregado Grueso	
Entre 19.1-50.8 (3/4")-(2")	Grava		
Entre 50.8- 152.4 (2") - (6")	Piedra		
Superior a 152.4 (6")	Rajón, Piedra bola		

Fuente: (Sanchez de Guzman, 2001)

- Clasificación según su procedencia

De acuerdo con el origen de los agregados, según provengan de fuentes naturales o sean fabricados a partir de productos industriales, se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Agregados naturales: Son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas y gravas de río) o de glaciares (cantos rodados) y de canteras de diversas rocas y piedras naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.
- Agregados artificiales: Estos agregados se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker, limaduras de



hierro y otros. Por lo general estos agregados son más ligeros o pesados que los ordinarios.

- Clasificación según su densidad

Otra forma de clasificar los agregados es según su densidad, la cual depende de la cantidad de masa por unidad de volumen y del volumen de los poros, ya se trate de agregados naturales o artificiales. Esta distinción se hace porque afecta la densidad del concreto (ligero, normal o pesado) que se desea producir, como lo indica la tabla:

Tabla 2: *Clasificación del agregado según su densidad*

Tipo de Agregado	Peso unitario aprox. del concreto kg/m ²	Peso unitario del agregado kg/m ²	Ejemplo de utilización	Ejemplo de agregado
Ligero	400 - 800	60 - 480	Concreto para aislamientos	Piedra Pómez
	950 - 1350	480 - 1040	Concreto para rellenos y mampostería estructural	Perlita
	1450 - 2000		Concreto estructural	
Normal	2000 - 2500	1300 - 1600	Concreto estructural y no estructural	Canto Rodado Agregados de río
Pesado	2500 - 5600	3400-7500	Concreto para protección contra radiación gamma o X	Piedra barita, magnetita

Fuente: (Sanchez de Guzman, 2001)

2.2.4.3.1.2 Características del agregado grueso

- Granulometría

El agregado grueso deberá ser graduado dentro de los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o en la norma ASTM C 33, los cuales están indicados en la tabla. (Abanto Castillo, 1996).



El Tamaño Máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso. (NTP 400.011, 2008). El tamaño máximo del agregado es otro factor que se deriva del análisis granulométrico y está definido como la abertura del menor tamiz de la serie que permite el paso del 100% del material. En la práctica, lo que indica el tamaño máximo de un agregado es el tamaño de la partícula más grande que hay dentro de la masa de agregados, el cual debe ser compatible con las dimensiones y especificaciones de la estructura. (Sanchez de Guzman, 2001).

El tamaño máximo nominal del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido (NTP 400.011, 2008). Es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido entre 5 % y 10 % (NTP 400.037, 2014)



Tabla 3: *Requisitos granulométricos del agregado grueso*

Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
	100 mm (4 pulg)	90 mm (3 ½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 ½ pulg)	25,0 mm (1 pulg)	19,0 mm (¾ pulg)	12,5 mm (½ pulg)	9,5 mm (¾ pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
90 mm a 37,5mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
63 mm a 37,5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	...
50 mm a 25,0 mm (2 pulg a 1 pulg)	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
50 mm a 4,75 mm (2 pulg a No. 4)	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	...
37,5 mm a 19,0 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	...
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	...	...	...
25,0 mm a 12,5mm (1 pulg a ½ pulg)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	...
25,0 mm a 9,5 mm (1 pulg a ¾ pulg)	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	...
25,0 mm a 4,75mm (1 pulg a No. 4)	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	...
19,0 mm a 9,5 mm (¾ pulg a ¾ pulg)	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	...
19,0 mm a 4 mm (¾ pulg a No. 4)	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...
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	...	...
9,5 mm a 2,36 mm (¾ pulg a No. 8)	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	...
12,5 mm a 9,5 mm (½ pulg a ¾ pulg)	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
4,75 mm a 1,18 mm (No. 4 a No. 16)	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: (NTP 400.037, 2014)



- **Peso Específico**

El peso específico es la relación, a una temperatura estable, de la masa (o peso en el aire) de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a las temperaturas indicadas. Los valores son adimensionales. (NTP 400.021, 2002)

El peso específico aparente: 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. (NTP 400.021, 2002)

$$Pe_a = \frac{A}{(A - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

El peso específico de la masa (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. (NTP 400.021, 2002)

$$Pem = \frac{A}{(B - C)} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

- **Peso Unitario**

El peso unitario: Peso (Masa) por unidad de volumen (Este término es obsoleto, es preferible usar el término densidad de masa). La densidad de masa del agregado: Masa de una unidad de volumen de la masa material del agregado, en que el volumen incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de vacíos entre partículas, expresado en kg/m³. (NTP-400.017, 2011)

Para obtener los datos y realizar los cálculos se debe de realizar el siguiente procedimiento; Llenar el recipiente a un tercio del total y nivelar la superficie con los dedos. Apisonar la capa de agregado con 25 golpes con la varilla de apisonado uniformemente distribuido sobre la superficie. Llenar el recipiente a los 2 tercios del total y nuevamente nivelar y apisonar como anteriormente. Finalmente, llenar el recipiente a sobre-volumen y apisonar nuevamente de la forma indicada líneas arriba



Determinar la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente vacío, y registrar los valores con exactitud de 0,05 kg. (NTP-400.017, 2011)

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

Donde:

M = Densidad de masa del agregado, kg/m³

G = Mase de la muestra más recipiente, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m³

- Humedad

El procedimiento para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación, por lo que no está incluida en el porcentaje determinado por este método

El contenido de humedad superficial es igual a la diferencia entre el contenido de humedad total evaporable y la absorción, con todos los valores referidos a la masa de una muestra seca.

La absorción puede determinarse de acuerdo con la NTP 400.021 o la NTP 400.022. (NTP 339.185, 2013)

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

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra en porcentaje

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramos

- Contenido de Vacíos

Calcular el contenido de vacíos en el agregado usando la densidad de masa determinada por cualquiera de los procedimientos descritos como sigue (NTP-400.017, 2011)

$$\% \text{Vacíos} = \frac{100((S \times W) - M)}{(S \times W)}$$

Donde:

M = Densidad de masa del agregado, kg/m³

S = Gravedad específica de masa (Base seca) de conformidad con el método NTP 400.021 o con el método NTP 400.022



W = Densidad del agua, 998 kg/m³

- Absorción

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en ésta, se expresa como porcentaje del peso seco. El agregado se considera “seco” cuando éste ha sido mantenido a una temperatura de 110 °C ± 5 °C por tiempo suficiente para remover toda el agua sin combinar. (NTP 400.021, 2002)

$$Ab, (\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, gramos;

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire, gramos;

2.2.4.3.1.3 Características del agregado fino

- Granulometría

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.037. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. Las mallas normalizadas utilizadas para el agregado fino son N°s 4, 8, 16, 30, 50 y 100. El Reglamento Nacional de Edificaciones especifica la granulometría de la arena en concordancia con las normas del ASTM. (Abanto Castillo, 1996)

El agregado fino, excepto numeral 6.2 (El agregado fino no tendrá más de 45 % entre dos mallas consecutivas de las que se muestra en la tabla y su módulo de fineza no será menor de 2,3 ni mayor de 3,1) y 6.3 (Se permitirá el uso de agregados que no cumplan con las gradaciones especificadas, cuando existan estudios que aseguren que el material producirá concreto de la resistencia requerida a satisfacción de las partes.) deberá tener la gradación según los límites de la Tabla (NTP 400.037, 2014)

Tabla 4: *Límites granulométricos del Agregado Fino*

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85



600 μm (No. 30)	25 a 60
300 μm (No. 50)	05 a 30
150 μm (No. 100)	0 a 10

Fuente (NTP 400.037, 2014)

- Módulo de fineza

El módulo de fineza se calcula sumando los porcentajes retenidos en la serie de mallas estándar: 3", 1½", ¾", 3/8", N°4, N°8, N° 16, N°30, N°50 y N°100. (Abanto Castillo, 1996)

Este módulo indica si un agregado es más fino o más grueso que otro: cuanto mayor sea el MF, más grueso es el agregado. Se usa para controlar la granulometría y la uniformidad y para calcular el proporcionamiento del concreto. En las arenas el MF podrá variar entre 2.3 arenas finas y 3.1 arenas gruesas. La arena se rechazará cuando el MF sea menor que 2 o mayor que 3.5. La granulometría podrá corregirse cuando $3.1 < MF < 3.5$ o cuando $2.0 < MF < 2.3$. (Gonzalez, 2004)

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

Donde:

MF: Modulo de Fineza

- Peso específico seco o gravedad específica

Una muestra de agregado es retirada en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ para esencialmente llenar los poros. Luego es retirada del agua, el agua superficial de las partículas es secada y se determina la masa. Posteriormente, la muestra (o una parte de ella) se coloca en un recipiente graduado y el volumen de la muestra se determina por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra es secada en horno y la masa se determina de nuevo. Usando los valores de la masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y la absorción. Calcular la densidad relativa (gravedad específica) de la siguiente manera, cálculos realizados para procedimientos gravimétricos: (NTP 400.022, 2013)

Densidad relativa (Gravedad Específica) seca al horno:

$$\text{DensidadRelativa(gravedadespecífica)} (OD) = \frac{A}{(B+S-C)}$$

Densidad relativa (gravedad específica) saturado superficialmente seca

$$\text{DensidadRelativa(gravedadespecífica)} (SSD) = \frac{S}{(B+S-C)}$$



Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente)

$$\text{Densidad Relativa Aparente (gravedad específica aparente)} = \frac{B}{(B + A - C)}$$

Donde:

A = masa de la muestra seca al horno, g

B = masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración, g

C = masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración, g

S = masa de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico para la densidad y la densidad relativa (gravedad específica), o para la absorción con ambos procedimientos), g

- Absorción

Es el aumento de la masa del agregado debido al agua que penetra en los poros de las partículas, durante un período de tiempo prescrito, pero sin incluir el agua que se adhiere a la superficie exterior de las partículas, expresado como porcentaje de la masa seca. (NTP 400.022, 2013)

$$\text{Absorción \%} = \frac{100 \times (S - A)}{(A)}$$

2.2.4.4 Partículas deleznable:

Las partículas deleznable son aquellas que pueden ser desmenuzadas con los dedos como las arcillas y sustancias orgánicas que pueden ser separadas a través del tamizado. Este tipo de partículas son aquellas que pasan la malla N° 200 y forman parte de las sustancias deletéreas que son sustancias que pueden dañar al concreto, este tipo de sustancias son elementos contaminantes de los agregados es por ello que se recomienda el lavado de los agregados para poder quitar o disminuir la cantidad de este tipo de sustancias. Entre las sustancias deletéreas tenemos: Terrones de arcilla y partículas friables, Carbón, lignito e Impurezas orgánicas.

La cantidad de sustancias deletéreas del agregado fino no deberá exceder de los límites establecidos en la siguiente tabla según la NTP 400.037:

Tabla 5: *Límites para sustancias deletéreas en el agregado fino.*

Ensayo	Porcentaje del total de la muestra (máx.)
Terrones de arcilla y partículas friables	3,0
Material más fino que la malla normalizada 75 μm (No. 200): Concreto sujeto a abrasión.	3,0*



Otros concretos	5,0*
Carbón y lignito: Cuando la apariencia de la superficie del concreto es importante.	0,5
Otros concretos	1,0
Impurezas orgánicas	El agregado fino que no demuestre presencia nociva de materia orgánica, cuando se determine conforme NTP 400.013, se deberá considerar satisfactorio. El agregado fino que no cumple con el ensayo anterior, podrá ser utilizado si al determinarse el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia de morteros (NTP 400.024) la resistencia relativa a los 7 días no es menor del 95 %
* En el caso de arena manufacturada los porcentajes de material más fino que la malla normalizada 75 μm (No. 200) pueden aumentarse a 5,0 % y 7 % respectivamente, siempre que estén libres de arcillas o limos. Para la caracterización de esos finos, existen diversos métodos disponibles, dentro de ellos el de Equivalente de Arena de la norma ASTM D 2419.	

Fuente: (NTP 400.037, 2014)

La cantidad de sustancias deletéreas del agregado grueso no deberá exceder de los límites establecidos en la siguiente tabla según la NTP 400.037:

Tabla 6: *Límites para sustancias deletéreas en el agregado grueso*

Ensayo	Porcentaje del total de la muestra (máx.)
Terrones de arcilla y partículas friables	5,0
Material más fino que la malla normalizada 75 μm (No. 200): Concreto sujeto a abrasión.	1,0*
Horsteno (menos de 2,40 de densidad)	0,5 **
Carbón y lignito: Cuando la apariencia de	0,5



la superficie del concreto es importante.	
Otros concretos	1.0
* Este porcentaje podrá ser aumentado a 1,5 % si el material está esencialmente libre de limos y arcillas.	
** Sólo en casos de intemperización moderada (concreto en servicio a la intemperie continuamente expuesto a congelación y deshielo en presencia de humedad)	

Fuente: (NTP 400.037, 2014)

También se debe cumplir según la NTP 400.037 (2014) para el agregado fino:

El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de impurezas orgánicas. Los agregados sujetos a la prueba de impurezas orgánicas que produzcan un color más oscuro que el estándar deberán ser desechados.

El uso de un agregado fino que no cumpla con esta prueba será permitido, si se comprueba que la coloración es debida principalmente a la presencia de pequeñas cantidades de carbón, lignito o partículas similares.

El agregado fino utilizado en concretos sujetos permanentemente a la acción de la humedad o contacto con suelos húmedos, no deberá ser reactivo (sílice amorfa) ya que se combinaría químicamente con los álcalis de cemento, por cuanto se produciría expansiones excesivas en el concreto.

Y para el agregado grueso según la NTP 400.037 (2014) se debe tomar en cuenta que:

El agregado grueso utilizado en concretos sujetos permanentemente a la acción de la humedad o contacto con suelos húmedos, no deberá ser reactivo (sílice amorfa) ya que se combinaría químicamente con los álcalis de cemento, por cuanto se produciría expansiones excesivas en el concreto.

2.2.4.5 Aditivos

Un aditivo es definido, tanto por el Comité 116R del American Concrete Institute como por la Norma ASTM C 125, como «un material que, no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado». Los aditivos son materiales utilizados como componentes del concreto o el mortero, los cuales se añaden a éstos durante el mezclado a fin de modificar una o algunas de sus propiedades, a fin de permitir que sean más adecuados al trabajo que se está efectuando; facilitar su colocación reducir los costos de



operación En la decisión sobre el empleo de aditivos debe considerarse en qué casos su utilización puede ser la única alternativa para lograr los resultados deseados y los objetivos deseados pueden lograrse, con mayor economía y mejores resultados, por cambios en la composición o proporciones de la mezcla. (Rivva López, 2000)

Otra diferencia del Concreto Autocompactante (CAC) con el Concreto Convencional (CVV) son los aditivos. Son dos los principales tipos de aditivos utilizados; los superplastificantes y los modificadores de viscosidad. Los aditivos superplastificantes permiten que se alcance alta fluidez en las mezclas, mientras que los aditivos modificadores de viscosidad ofrecen un aumento de cohesión, previniendo la exudación y segregación del concreto. (Tutikian & Dal Molin, 2008)

2.2.4.5.1 Tipos de aditivos

Según la ASTM C 494-82 y la NTP 334.088, se reconocen 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

2.2.4.5.2 Aditivos plastificantes y superplastificantes

El ácido lignosulfónico se obtiene a partir del licor de desperdicio del proceso de sulfatación de la pulpa de madera blanda. Aumentan la trabajabilidad del concreto mejorando la relación A/C al reducir el contenido de agua de 5 a 10% manteniendo el mismo revenimiento. Pueden aumentar la resistencia a todas las edades hasta en un 15 a 25%. Disminuyen la tensión superficial del agua lo que hace que atrape aire. El ácido lignosulfónico puede inhibir definitivamente el fraguado o hacerlo totalmente incontrolable, por lo que debe cuidarse mucho la dosificación. Los superplastificantes (Tipo F) requieren de un proporcionamiento especial: más arena, menos grava, poco aditivo; el tamaño máximo debe reducirse en $3/8''$; es autonivelante y penetra cualquier armado, por cerrado que sea; deben incorporarse a pie de obra porque en un término de media hora se empieza a endurecer el concreto; para evitar esto úsense los superplastificantes tipo G. (Gonzalez, 2004)

Según (Hartmann & Helene, 2002), estos aditivos se clasifican de la siguiente manera:



- Lignosulfonatos o lignosulfonatos modificados (LS). Los Lignosulfonatos generalmente incorporan aire y retardante, con diversas intensidades, al tiempo de fraguado del cemento.
- Sales de sulfonatos de policondensado de naftaleno y formaldeído, usualmente denominados sulfonato naftaleno o apenas naftaleno (NS). Estos compuestos no incorporan aire y prácticamente no intervienen en el tiempo de fraguado del cemento.
- Sales de sulfonatos de policondensado de melanina y formaldehído, usualmente denominados sulfonato de melamina o simplemente melamina (MS). La melanina puede presentar una tendencia a retardar el fraguado del cemento y eventualmente incorporan pequeñas cantidades de aire.
- Policarboxilato (PC).

Los lignosulfonatos (LS) se conocen como aditivos plastificantes de primera generación, utilizados como reductores de agua normalmente y, en algunos casos, como superplastificantes. El naftaleno (NS) y la melamina (MS) se conocen comercialmente como aditivos superplastificantes de segunda generación, y permiten una reducción de hasta un 25% en la cantidad de agua en la mezcla cuando se usan como reductores de agua. Y finalmente, los policarboxilatos (PC) son los aditivos más recomendados para su uso en concretos autocompactantes porque son aditivos superplastificantes de alta eficiencia que dispersan y desfloculan las partículas de cemento. Por lo tanto, permiten que el agua se reduzca hasta en un 40% mientras se mantiene la misma trabajabilidad. También son poliméricos. Se puede afirmar que los aditivos superplastificantes basados en policarboxilato son los más utilizados en Concretos Autocompactantes, ya que mejoran significativamente la dispersión de las partículas de cemento en comparación con los aditivos de primera y segunda generación. Esto se debe a que los superplastificantes tradicionales se basan en polímeros que las partículas de cemento absorben y acumulan en su superficie. A medida que estos polímeros aumentan la carga negativa (desequilibrante) del cemento, hacen que sus partículas se dispersen por repulsión eléctrica, lo que requiere menos agua para fluidizar la pasta. Las cadenas superplastificantes de tercera generación, formadas por polímeros de éter carboxílico de cadena lateral ancha, dispersan las partículas de cemento de la misma manera, pero con mayor eficiencia. Esto se debe a que sus cadenas están ramificadas, lo que aumenta el área de superficie. Además, todavía generan energía que estabiliza la refracción y dispersabilidad de las partículas de cemento. La Figura muestra los pasos de acción del aditivo superplastificante basado en policarboxilato. (Tutikian & Dal Molin, 2008)

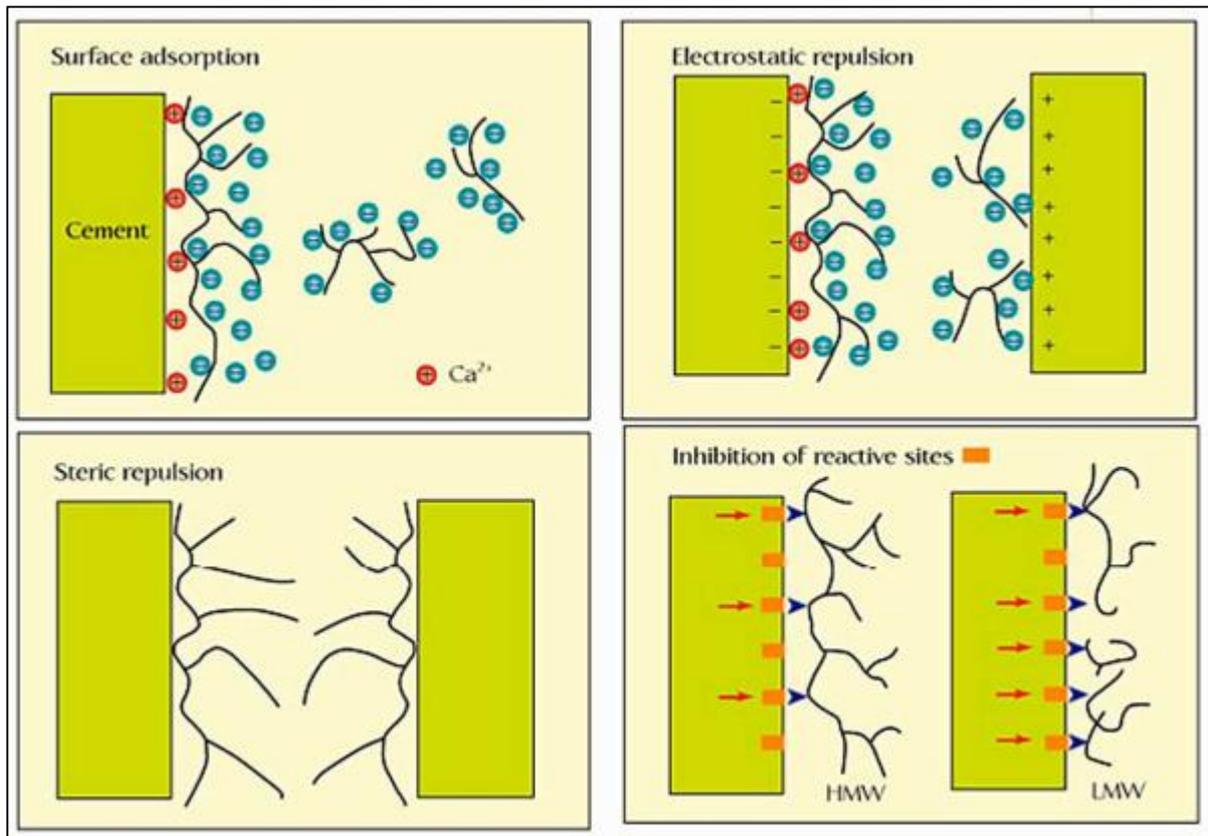


Figura 9: Mecanismos de acción de un aditivo a base de policarboxilatos

Fuente: (Tutikian & Dal Molin, 2008)

2.2.4.5.3 Aditivo Eucoplast 8500 HP (QSI Perú S.A., 2019)

Eucoplast 8500 HP es un aditivo para concreto especialmente desarrollado para incrementar el tiempo de trabajabilidad, reductor de agua de alto rango sin retardo y optimizador de cemento en mezclas de concreto, está diseñado para ser empleado en climas cálidos y fríos.

- Aplicaciones Principales
 - Concreto autocompactados.
 - Concreto de baja relaciones agua/cemento.
 - Concreto de alta resistencia.
 - Concreto fluido de alto asentamiento.
 - Concreto reforzado.
- Beneficios
 - Produce concretos fluidos sin retardo.
 - Permite que el concreto o mortero sea transportado a largas distancias.
 - Reduce más de 45% del agua de amasado.
 - Reduce la segregación y exudación en el concreto plástico.
 - Reduce las fisuras y permeabilidad en el concreto endurecido.



- Normas

El Eucoplast 8500 HP cumple con la clasificación de la norma NTP 334.088 y ASTM C-494, Tipo F (Eucoplast 8500 HP clasifica la norma en la dosis de 0.5%).

- Información técnica

- Densidad: 1.10 kg/L
- Color: Ámbar oscuro
- Apariencia: Líquido

- Instrucción de Aplicación

Eucoplast 8500 HP se presenta listo para su uso y debe incorporarse a la mezcla cuando ésta se encuentra húmeda dentro del mezclador, ya sea en la planta o en la obra. Agregue Eucoplast 8500 HP al agua restante del amasado de la mezcla o directamente. No debe entrar en contacto directo con el cemento seco.

Las variaciones en la pérdida de asentamiento y fraguado están en función a la cantidad usada del aditivo, característica del cemento y el diseño de mezcla elegido

- Dosificación

El Eucoplast 8500 HP es recomendado usar a una dosificación 0.2– 2.0% por peso del cemento. Se recomienda hacer ensayos previos para establecer la dosis según los requerimientos establecidos en obra.



Figura 10: *Aditivo Eucoplast 8500 HP*

Fuente: Propia

2.2.5 Características de Concreto Autocompactante

Las características del Concreto Autocompactante (CAC) se obtienen del uso de aditivos superplastificantes a base de policarboxilato que permiten la obtención de una alta fluidez incluso a muy bajas relaciones agua / cemento. A pesar de su fluidez, el CAC sigue siendo homogéneo, viscoso, sin segregación o exudación. También se verifica que es necesaria una composición de concreto adecuada, considerando el requerimiento de una mayor cantidad de finos (partículas ≤ 0.125 mm). De forma simplificada, las características determinantes del CAC es que tiene alta fluidez y estabilidad. A pesar de las grandes ventajas que tiene CAC sobre el Concreto Convencional debido a su mayor fluidez, la presión lateral en las formas es inicialmente más alta. Por lo tanto, las formas deben tener un tamaño estructural para soportar una mayor presión lateral, así como un mejor sellado de las juntas para evitar que el CAC nuevo se filtre a través de posibles huecos en las costuras de las formas. Otro aspecto importante a ser observado es el tiempo disponible de trabajabilidad del CAC, desde la mezcla en la planta de fabricación hasta completar la operación de vaciado en las formas y compactado, con mayor atención a las regiones de clima más cálido donde este tiempo será más corto. (de Araújo Calado, Camões, Jalali, & Barkokebas Júnior , 2015)

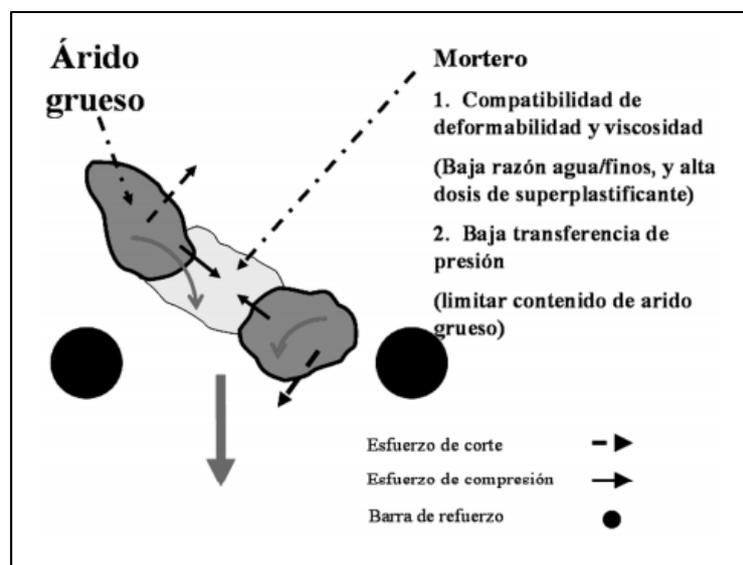


Figura 11: *Mecanismo para obtención de autocompactabilidad*

Fuente: (Vargas Salazar & Sciaraffia Pérez, 2006)

2.2.6 Propiedades del Concreto Autocompactante en estado fresco

2.2.6.1 Trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto autocompactante se puede describir como la facilidad con la que el concreto se puede mezclar, colocar, compactar y darle acabado. Según RILEM, en términos de trabajabilidad, la autocompactabilidad se puede definir como la capacidad del



concreto para fluir después de ser descargado de las bombas para concreto, solo por la acción de la gravedad. La autocompactabilidad, como propiedad de concreto fresco, puede describirse dependiendo de varias necesidades derivadas de las especificadas anteriormente, siendo las más importantes: la capacidad de llenado, la capacidad de paso y la resistencia a la segregación. (Pop, 2014)

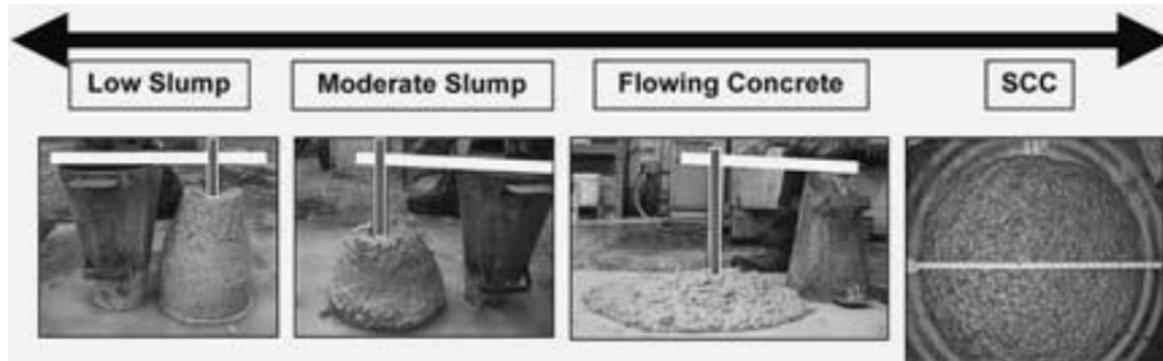


Figura 12: *Continuum de Trabajabilidad del Concreto*

Fuente: (Daczko, 2012)

2.2.6.2 Capacidad de llenado

La capacidad de llenado de la mezcla de Concreto Autocompactante (CAC) en estado fresco es la capacidad para fluir y llenar el encofrado bajo su propio peso. Este término a veces se usa indistintamente con fluidez y flujo con respecto a CAC. Esta es la característica que la mayoría reconocerá cuando vea que una mezcla de CAC fluye libremente, bajo su propio peso, a través de una forma. La mayoría de la gente estaría de acuerdo en que esta es la característica principal que define al CAC. Las otras propiedades a mencionar pueden estar presentes en mayor o menor grado dependiendo de los requisitos de la aplicación, pero para que una mezcla se considere autocompactante, debe tener una capacidad de llenado adecuada. (Daczko, 2012)

2.2.6.3 Capacidad de paso

Esto se refiere a la capacidad de una mezcla de SCC para fluir a través de espacios restringidos sin bloqueo. Esta propiedad generalmente se refiere al agregado que fluye a través del refuerzo; sin embargo, también puede referirse al flujo a través de secciones de estrechamiento en encofrados o cuando hay reducciones en las líneas para bombeo de concreto. Cualquier situación en la que las partículas sólidas en el concreto tienen que reorganizarse para fluir a través de un obstáculo es donde las características de capacidad de paso son importantes. (Daczko, 2012)



2.2.6.4 Resistencia a la segregación.

Esta característica se refiere a la habilidad de una mezcla de Concreto Autocompactante (CAC) para resistir la separación de sus materiales constituyentes. La estabilidad se determina bajo dos condiciones: dinámica y estática. La estabilidad dinámica se refiere a la resistencia a la segregación de una mezcla durante el transporte, la colocación y hasta el punto donde la estabilidad estática se hace cargo. Dos ejemplos de esto son la estabilidad durante el transporte en equipos sin agitación y la estabilidad durante largas distancias de flujo. En muchas fábricas de prefabricados, el concreto es llevado a las formas en recipientes sin agitar el equipo. Si la mezcla no está diseñada adecuadamente, puede producirse el asentamiento de los agregados puede darse debido al empuje y las vibraciones durante el transporte. Además, si una mezcla no se dosifica correctamente y se permite que el concreto fluya por una distancia demasiado larga, se ha visto que la fracción de mortero fino se separa de la mayor parte de la mezcla de concreto. Las técnicas para mejorar la estabilidad dinámica del CAC incluyen reducir el nivel de flujo de asentamiento y reducir el tamaño y la densidad del agregado grueso. Hasta el momento no se han desarrollado métodos de prueba estandarizados que midan la estabilidad dinámica. La estabilidad estática se refiere a la capacidad de los componentes de la mezcla para resistir la segregación y el asentamiento a medida que el concreto se sienta sin perturbaciones. Esto podría tomar la forma de partículas de agregados gruesos o la migración de agua y aire hacia la superficie. (Daczko, 2012)

2.2.6.5 Clasificación usada en la especificación del Concreto Autocompactante

Las directrices europeas para el concreto autocompactante en la versión de 2005 clasifican a este tipo de hormigón de acuerdo a las características que este posee. Los principales ensayos que se realizan para la caracterización del CAC son:

Tabla 7: *Ensayo para la clasificación de CAC*

Característica	Métodos de ensayo idóneos	Clases
Flujo (SF)	Ensayo de Asentamiento	3 clases
Viscosidad (VS o VF)	T500, ensayo del embudo en V	2 clases
Capacidad de Paso (CP)	Ensayo de Caja en L	2 clases
Segregación (RS)	Ensayo de Resistencia a la segregación	2 clases

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

La siguiente imagen resalta los parámetros iniciales y las clases a considerar para la especificación del HAC en distintas aplicaciones. Ésta no considera condiciones especiales de confinamiento, la geometría de los elementos, el método de llenado o las características de los materiales usados en la mezcla del hormigón. Será preciso analizar con el suministrador del hormigón las especificaciones finales antes de tomar una decisión (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

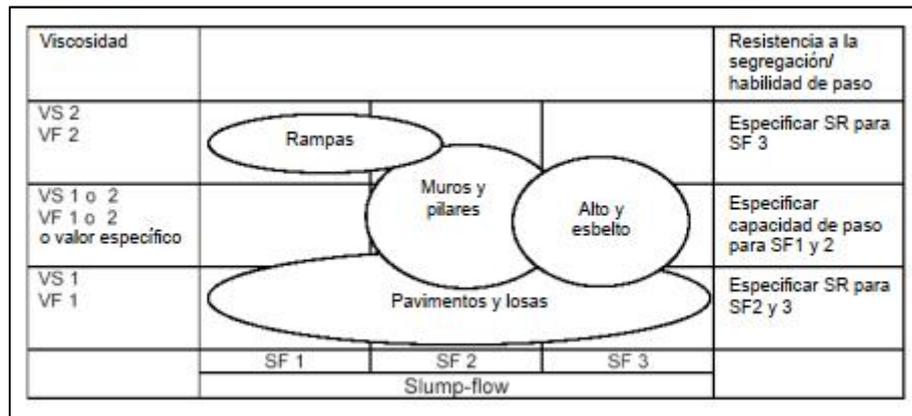


Figura 13: *Propiedades del CAC para distintos tipos de aplicaciones basado en Walraven*

Fuente: (Walraven, 2003) obtenido de (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

Se presentan las tablas para la clasificación de acuerdo a las Directrices Europeas para el Concreto Autocompactante:

- Flujo

Tabla 8: *Clases de asentamiento*

Clase	Asentamiento en mm.
SF1	De 550 a 650
SF2	De 650 a 750
SF3	De 750 a 850

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

- Viscosidad

Tabla 9: *Clases de Viscosidad*

Clase	T500, S	Tiempo del ensayo del embudo V en S
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	>2	De 9 a 25

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)



- Capacidad de paso

Tabla 10: *Clases de capacidad de paso (Ensayo de la caja en L)*

Clase	Capacidad de paso
PA1	$\geq 0,80$ con 2 obstáculos de barras
PA2	$\geq 0,80$ con 3 obstáculos de barras

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

- Segregación

Tabla 11: *Clases de resistencia a la segregación (segregación en tamiz)*

Clase	Resistencia a la segregación
SR1	≤ 20
SR2	≤ 20

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

2.2.6.6 Ensayos Para Concreto Autocompactante en estado fresco

Se ha desarrollado una amplia gama de métodos de ensayo para medir y caracterizar las propiedades del Concreto Autocompactante en estado fresco. En la siguiente tabla se muestran los ensayos más comunes agrupados por la propiedad a la que valoran. Estos son los métodos más aceptados en Europa y por los que las clases de especificaciones obtenidas se pueden asignar con confianza tal. (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

Tabla 12: *Lista de métodos de ensayo para las propiedades de trabajabilidad del HAC*

Característica	Método de Ensayo	Valor Medido
Caracterización de la fluidez / Capacidad de Llenado	Ensayo del escurrimiento	Extensión
	Caja de Kajima	Llenado visual
Viscosidad / Caracterización de la Fluidez	T500	Tiempo de Flujo
	Ensayo del embudo en V	Tiempo de Flujo
	Ensayo del embudo en O	Tiempo de Flujo
	Orimet	Tiempo de Flujo
Capacidad de Paso	Método de la caja en L	Relación de paso
	Método de la caja en U	Diferencia de Altura
	Ensayo del escurrimiento con el anillo japonés	Altura de paso, flujo total
	Caja de Kajima	Capacidad de paso visual
Resistencia a la Segregación	Penetración	Profundidad
	Segregación en Tamiz	Porcentaje de Retención
	Columna de decantación	Relación de Segregación

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)



La siguiente tabla presente el resumen de los métodos de ensayo realizados para medir las principales características del Concreto Autocompactante. (de Araújo Calado, Camões, Jalali, & Barkokebas Júnior , 2015)

Tabla 13: *Ensayos para Concreto Autocompactante*

Nombre de Ensayo	Categoría	Característica	Medición del ensayo
Flujo de Asentamiento	Flujo Libre	Capacidad de relleno	Diámetro de Flujo
Índice de estabilidad visual (VSI)	Condición Estática	Resistencia a la Segregación	Estabilidad Visual de la mezcla
T50	Flujo Libre	Capacidad de relleno	Tasa de Flujo
J-ring	Flujo Confinado	Capacidad de paso	Flujo
L-box	Flujo Confinado	Capacidad de paso y relleno	Tasa de Flujo y distancia
Ensayo de columna de segregación	Flujo Confinado	Resistencia a la Segregación	Segregación de Agregados

Fuente: (ACI 237R-07, 2007)

Se dará la conformidad a las propiedades del CAC si los criterios especificados satisfacen los límites dados en la tabla:

Tabla 14: *Criterios de Conformidad para las propiedades de Concreto Autocompactante*

Criterios de Conformidad para las propiedades del HAC	
Propiedad	Criterio
Clase de Asentamiento SF1	$\geq 520 \text{ mm}, \leq 700 \text{ mm}$
Clase de Asentamiento SF2	$\geq 640 \text{ mm}, \leq 800 \text{ mm}$
Clase de Asentamiento SF3	$\geq 740 \text{ mm}, \leq 900 \text{ mm}$
Clase de asentamiento especificada como valor nominal	$\pm 80 \text{ mm del valor nominal}$
Clase del Ensayo del Embudo en V VF1	$\leq 10 \text{ s}$
Clase del Ensayo del Embudo en V VF2	$\geq 7 \text{ s}, \leq 27 \text{ s}$
Clase del ensayo del embudo en V especificada como valor nominal	$\pm 3 \text{ s}$
Clase de Capacidad de paso PA1	$\geq 0,75$
Clase de Capacidad de paso PA2	$\geq 0,75$
Clase de Capacidad de paso especificada como valor nominal	No más de 0,05 debajo del valor nominal



Clase de Resistencia a la segregación de tamiz SR1	≤ 23
Clase de Resistencia a la segregación de tamiz SR2	≤ 18

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

2.2.6.6.1 Ensayo de escurrimiento y ensayo de T50cm

El ensayo del escurrimiento y el tiempo T500 son métodos para caracterizar la fluidez y el ritmo de flujo del hormigón autocompactante en ausencia de obstrucciones. El resultado indica la capacidad de llenado del hormigón autocompactante. El tiempo T500 es también una medida de la velocidad de flujo y por lo tanto de la viscosidad del CAC. Se rellena con el hormigón fresco un cono como el usado en el ensayo Slump. Cuando se saca el cono hacia arriba, se mide el tiempo desde el inicio del movimiento vertical del cono hasta que el hormigón ha fluido hasta la marca de 500 mm de diámetro; éste es el valor del tiempo T500. Se miden el mayor diámetro de la extensión del flujo del hormigón y el diámetro de extensión perpendicular a éste y la media es el escurrimiento. Se puede omitir la medida del tiempo T500 si no se requiere. (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

El ensayo de flujo de escurrimiento es un procedimiento común usado para determinar el flujo libre horizontal característico del Concreto autocompactante (CAC) en ausencia de obstrucciones. Fue desarrollado inicialmente en Japón para caracterizar las mezclas de concreto fluido colocado bajo el agua. El valor de flujo de asentamiento permite la comparación del flujo lateral y potencial de capacidad de relleno de diferentes mezclas de concreto autocompactante CAC. Un rango común de flujo de escurrimiento es de 18 a 30 pulgadas (450 a 760 mm.) A mayor flujo de escurrimiento, mayor es la distancia alcanzada que puede desplazarse el concreto autocompactante por su propio peso desde un punto de descarga, y la rapidez que puede llenar una forma un molde. El valor de flujo de escurrimiento puede también ser usado para evaluar la consistencia del CAC, y no debería diferir de más de 2" (50mm) de prueba a prueba. (ACI 237R-07, 2007)

El radio de flujo de una mezcla de CAC es influenciado por su viscosidad. Cuando desarrollamos una mezcla de CAC en el laboratorio, una medida relativa de la viscosidad es útil. El tiempo que le toma al borde exterior del concreto esparcido, resultando del procedimiento descrito en el ensayo de flujo de escurrimiento, para alcanzar el diámetro de 20" (500mm) desde el momento que el molde es levantado provee una medida relativa del flujo no confinado de la mezcla de concreto. Para materiales similares, este periodo de tiempo, denominado T50, nos da una indicación de la viscosidad de la mezcla de CAC. A un mayor tiempo T50 nos indica una mezcla más viscosa; de igual forma de manera opuesta. Un



tiempo de 2 segundos o menos es típico de una mezcla de CAC con baja viscosidad, y un tiempo de T50 mayor a 5 segundos es generalmente considerado una mezcla de CAC con alta viscosidad. (ACI 237R-07, 2007)

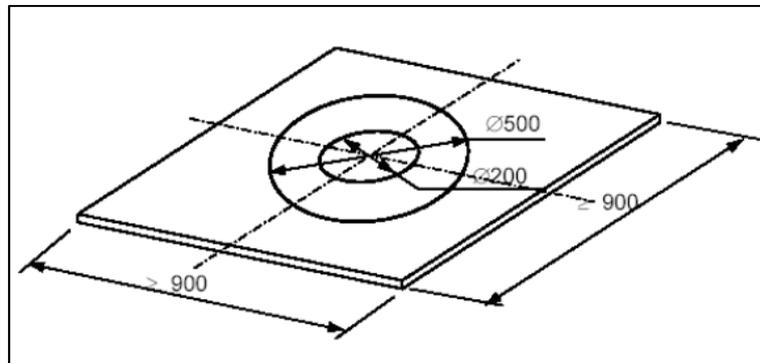


Figura 14: *Bandeja utilizada para el ensayo de flujo de escurrimiento*

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)



Figura 15: *Realización del ensayo*

Fuente: (de Araújo Calado, Camões, Jalali, & Barkokebas Júnior, 2015)

2.2.6.6.2 Índice de Estabilidad Visual (VSI) (ACI 237R-07, 2007):

La prueba del índice de estabilidad visual (VSI) implica el examen visual del Concreto Autocompactante (CAC), la dispersión del flujo de asentamiento resultante de realizar la prueba de flujo de asentamiento. Este método de prueba está destinado a proporcionar al usuario un procedimiento para determinar la estabilidad de las mezclas de CAC (Daczko y Kurtz 2001). Se utiliza para evaluar la estabilidad relativa de lotes de mezclas CAC iguales o similares.

Una clasificación VSI de 0 o 1 es una indicación de que la mezcla del CAC es estable y debe ser adecuada para el uso previsto. Una clasificación VSI de 2 o 3 indica un posible potencial de segregación y que un productor debe tomar medidas modificando o ajustando la mezcla para garantizar la estabilidad. Debido a que la clasificación VSI se determina visualmente, puede ser subjetiva. Por lo tanto, la clasificación VSI es una excelente herramienta de control



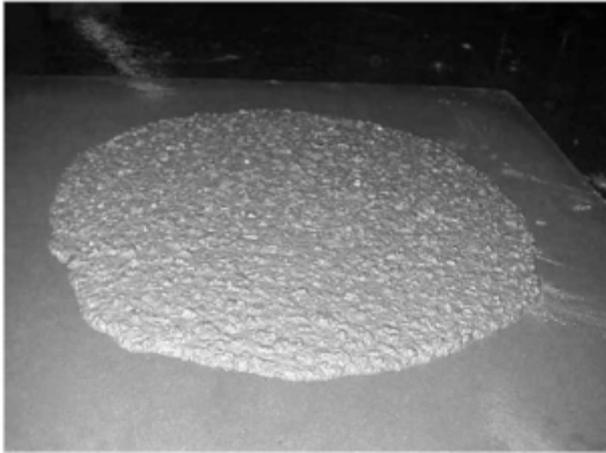
de calidad para producir CAC, pero no debe usarse para aceptar o rechazar una mezcla dada. La prueba VSI es más aplicable a las mezclas CAC que tienden a sangrar. Si una mezcla no sangra, esta prueba es menos útil para identificar la tendencia de la mezcla a segregarse.

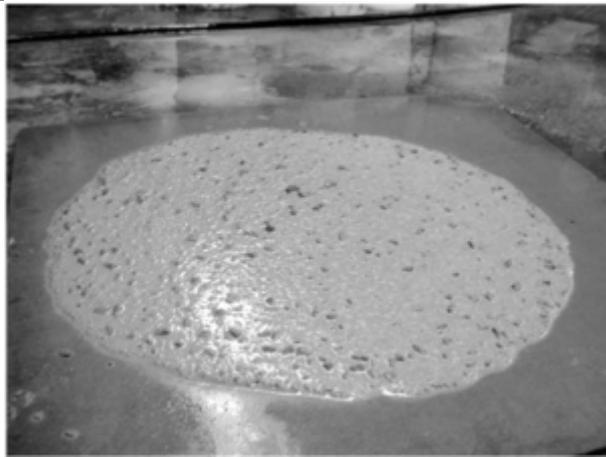
Tabla 15: *Valores del Índice de Estabilidad Visual*

Valor de VSI	Criterio
0 = Alta Estabilidad	Sin evidencia de segregación en el flujo de asentamiento
1 = Estabilidad	Sin aureola de mortero o acumulación de agregado en el flujo de asentamiento
2 = Inestabilidad	Una ligera aureola de mortero (< 10mm [3/8"]) o acumulación de agregados o ambos en el flujo de asentamiento.
3 = Alta Inestabilidad	Claramente segregando por la evidencia de una gran aureola de agregados (> 10mm [3/8"]), y/o una gran acumulación de agregados en el centro de la extensión del flujo

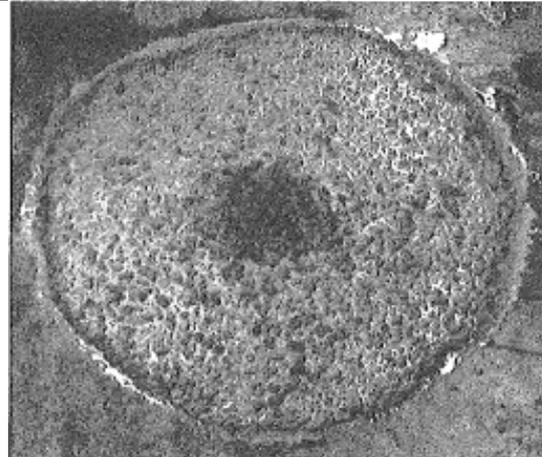
Fuente: (ACI 237R-07, 2007) obtenido de (de Araújo Calado, Camões, Jalali, & Barkokebas Júnior, 2015, pág. 53)

Tabla 16: *Imágenes para determinar valores de Índices de Estabilidad Visual (VSI)*

	
<p>VSI=0; Masa de concreto homogénea sin evidencia de sangrado</p>	<p>VSI=1; No hay evidencia de segregación y existe sangrado leve observado como un brillo en la masa de hormigón</p>



VSI=2; Un halo delgado de mortero y una pila de agregado en el centro de la masa de concreto



VSI=3; Evidente segregación por un largo halo de mortero y una pila de agregados en el centro de la masa de concreto

Fuente: (ASTM C1611/1611M, 2014)

2.2.6.6.3 Ensayo de embudo V

El ensayo del embudo en V se usa para calcular la viscosidad y la capacidad de llenado del concreto autocompactable. Se llena un embudo en V con hormigón fresco y se anota el tiempo que tarda el hormigón en salir del embudo, siendo el tiempo de flujo del embudo en V. Se limpia el embudo y la compuerta inferior, se humedece toda la superficie interior incluyendo la compuerta. Se cierra la compuerta y se pone la muestra de hormigón en el embudo, sin compactación alguna, después se enrasa la parte superior con la barra metálica, igualando la superficie del concreto a la parte superior del embudo. Se pone el recipiente debajo del embudo para recoger el hormigón en su caída. Pasado 10 ± 2 s del llenado del embudo, abrir la compuerta y tomar el tiempo t_v con una resolución de 0,1 s, desde el inicio de la apertura de la compuerta y hasta que se pueda ver por primera vez verticalmente a través del embudo el interior del recipiente. El tiempo de flujo del ensayo del embudo en V es t_v .

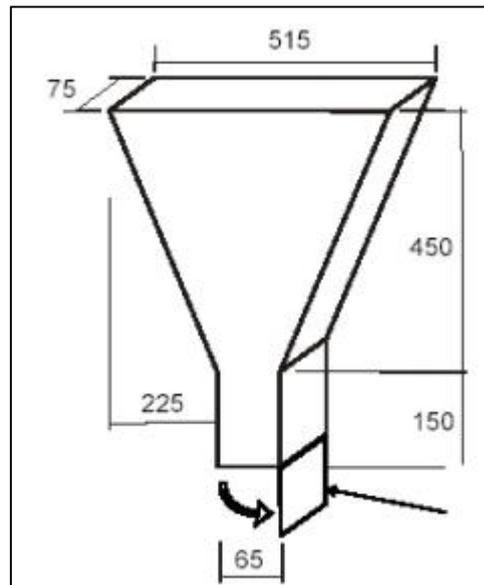


Figura 16: Embudo V

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

2.2.6.6.4 Método de ensayo de caja en L

El ensayo de la caja en L se usa para calcular la capacidad de paso del hormigón autocompactante, de fluir a través de aperturas estrechas incluyendo el espaciado entre las barras de la armadura y otras obstrucciones, sin segregación ni atasco. Hay dos variantes; el ensayo de 2 y el de 3 obstáculos de barras. El ensayo de tres obstáculos de barras simula un armado más denso. Se permite fluir un volumen determinado de hormigón fresco horizontalmente a través de espacios entre obstáculos de barras de armado verticales y lisas, y se mide la altura del hormigón más allá de las barras de armado. (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

El desarrollo del ensayo de la caja en L para concreto autocompactante CAC en aplicaciones normales es basado en un diseño para evaluar CAC colocado bajo el agua. El ensayo evalúa el flujo confinado del CAC, la medida en que está sujeto a bloqueo por refuerzo. El ensayo es adecuado para ser ejecutado en laboratorio. El ensayo de caja en L puede ser usado para el desarrollo de una mezcla de concreto autocompactante de acuerdo a una aplicación dada. El mínimo radio de la altura en la sección horizontal relacionada a la sección vertical es considerado a ser 0.8. Si el concreto autocompactante fluye libre como el agua, será completamente horizontal, y la relación será igual a 1. Por lo tanto, cuando más se aproxima la relación a 1.0, es mejor el potencial de flujo de la mezcla de CAC. Esta es una indicación de capacidad de paso, o si el grado para pasar a través de barras del concreto autocompactante es restringido. Agregado grueso detrás de las barras (Bloqueando) y segregación al final de la sección horizontal puede ser detectado visualmente. Las mezclas de concreto



autocompactante con cualquiera de estas características debe ser rediseñado para mejorar la estabilidad de la mezcla. (ACI 237R-07, 2007)

Se coloca la caja en L en una superficie horizontal y se cierra la compuerta y las secciones horizontales. Se vierte el concreto del recipiente a la tolva de llenado de la caja en L y se deja pasar 60 ± 10 s. Se anota cualquier segregación y luego se sube la compuerta para que el concreto fluya hacia la sección horizontal de la caja en L. Cuando el movimiento ha cesado, se mide la distancia vertical, al final de la sección horizontal de la caja en L, entre la superficie del hormigón y la parte superior de la sección horizontal de la caja en tres posiciones igualmente espaciadas a través del ancho de la caja. A partir de la diferencia de altura de la sección horizontal de la caja, estas tres medidas se usan para calcular la profundidad media del hormigón como H_2 mm. Se hace el mismo procedimiento para calcular la profundidad del hormigón inmediatamente después de la compuerta como H_1 mm. La capacidad de paso PA se calcula a partir de la siguiente ecuación: $PA = H_2/H_1$. (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

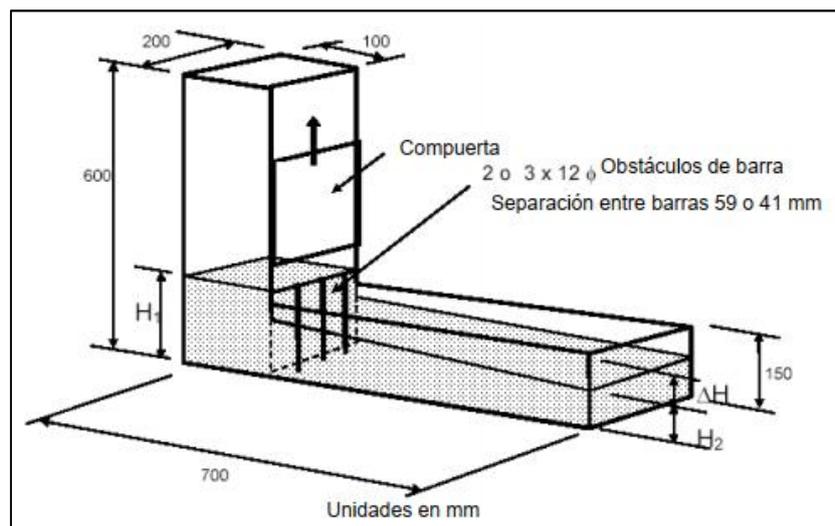


Figura 17: Caja en L

Fuente: (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)

2.2.6.6.5 Método de ensayo de la resistencia a la segregación en tamiz

El ensayo de resistencia a la segregación se usa para calcular la resistencia del hormigón autocompactante a la segregación. Después de tomar la muestra, se deja el hormigón durante 15 minutos y se anota cualquier segregación de lechada de exudación. La parte superior de la muestra se introduce en un tamiz de aperturas cuadradas de 5 mm. Después de 2 minutos se registra el peso del material que ha pasado a través del tamiz. La relación de segregación se calcula entonces como la proporción de la parte de la muestra que ha pasado a través del tamiz. (BIBM, CEMBUREAU, EFCA, EFNARC, ERMCO, 2005)



La proporción de segregación SR se calcula a partir de la siguiente ecuación y se redondea al 1%.

$$SR = \frac{(WPS - Wp) \times 100}{Wc} \%$$

Donde:

SR: Proporción de segregación %

WPS: Peso del recipiente y del hormigón que ha pasado gr.

Wp: Peso del recipiente del tamiz gr.

Wc: Peso del hormigón en el tamiz gr.

2.2.7 Propiedades del Concreto Autocompactante en estado endurecido

Describir las propiedades mecánicas y de durabilidad del Concreto Autocompactante en estado endurecido no difiere a explicar el conocimiento ya obtenido en tecnología de concretos. Esas propiedades son, básicamente, resultado de las decisiones tomadas en la dosificación y mezcla del material. (Tutikian & Dal Molin, 2008).

2.2.7.1 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión de las mezclas de concreto se puede diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad, que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras. La resistencia a la compresión se mide tomando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en megapascuales (MPa) en unidades SI. Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión se usan fundamentalmente para determinar que la mezcla de concreto suministrada cumpla con los requerimientos de la resistencia especificada, $f'c$, del proyecto. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2006)

2.2.7.1.1 Ensayo para determinar la resistencia a la compresión

El procedimiento es determinado por la (NTP 339.034, 2008); El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta.

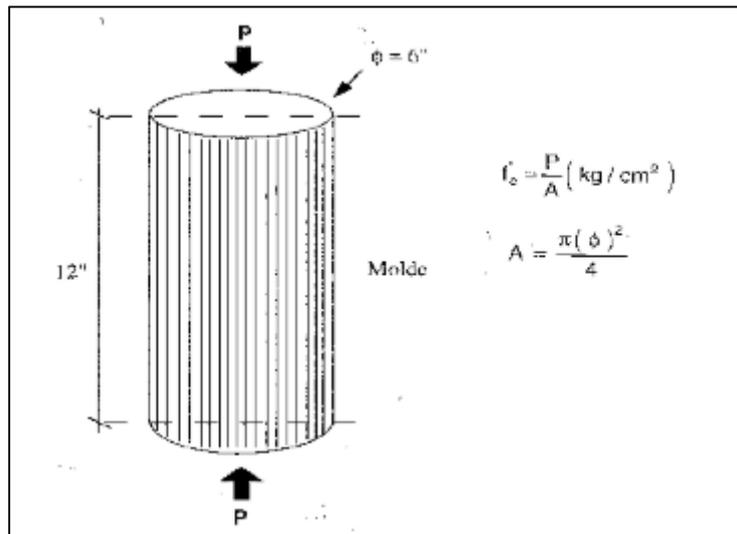


Figura 18: *Ensayo de resistencia a la Compresión*

Fuente: (Abanto Castillo, 1996)

$$f'c = \frac{P}{A} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Donde:

$f'c$: Resistencia a la compresión

P : Carga máxima alcanzada

A : Área de la sección recta de la probeta

- Los ensayos a compresión de probetas del curado húmedo serán hechos tan pronto como sea práctico luego de retirarlos del almacenaje de humedad
- Colocación: Colocar el bloque de rotura inferior, sobre el cabezal de la máquina de ensayo. El bloque de rotura superior directamente bajo la rótula del cabezal. Limpiar las caras de contacto de los bloques superior e inferior y las de la probeta de ensayo y colocar el cilindro sobre el bloque inferior de rotura. Cuidadosamente alinear los ejes de la probeta con el centro de empuje de la rótula del bloque asentado.
- Velocidad de carga: Aplicar la carga continuamente y sin detenimiento.
- Calcular la resistencia a la compresión del espécimen por dividir la carga máxima alcanzada por el espécimen durante el ensayo entre el área promedio de la sección recta y expresar el resultado con aproximación a 0,1 MPa.
- Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 por un apropiado factor de corrección mostrado en la siguiente tabla:



Tabla 17: *Factor de corrección*

L/D	1.75	1.5	1.25	1.00
Factor	0.98	0.96	0.93	0.87

Fuente: (NTP 339.034, 2008)

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

2.2.7.2 Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio). El Módulo de Rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El Módulo de Rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%. (National Ready Mixed Concrete Association, 2000)

2.2.7.2.1 Ensayo de resistencia a la flexión

El procedimiento de este ensayo se encuentra en la (NTP 339.078, 2012), explicando de la siguiente manera: Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla. El módulo de rotura se calculará, según la ubicación de la falla: dentro del tercio medio o a una distancia de este no mayor del 5 % de la luz libre. Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla. El módulo de rotura se calculará, según la ubicación de la falla: dentro del tercio medio o a una distancia de este no mayor del 5 % de la luz libre

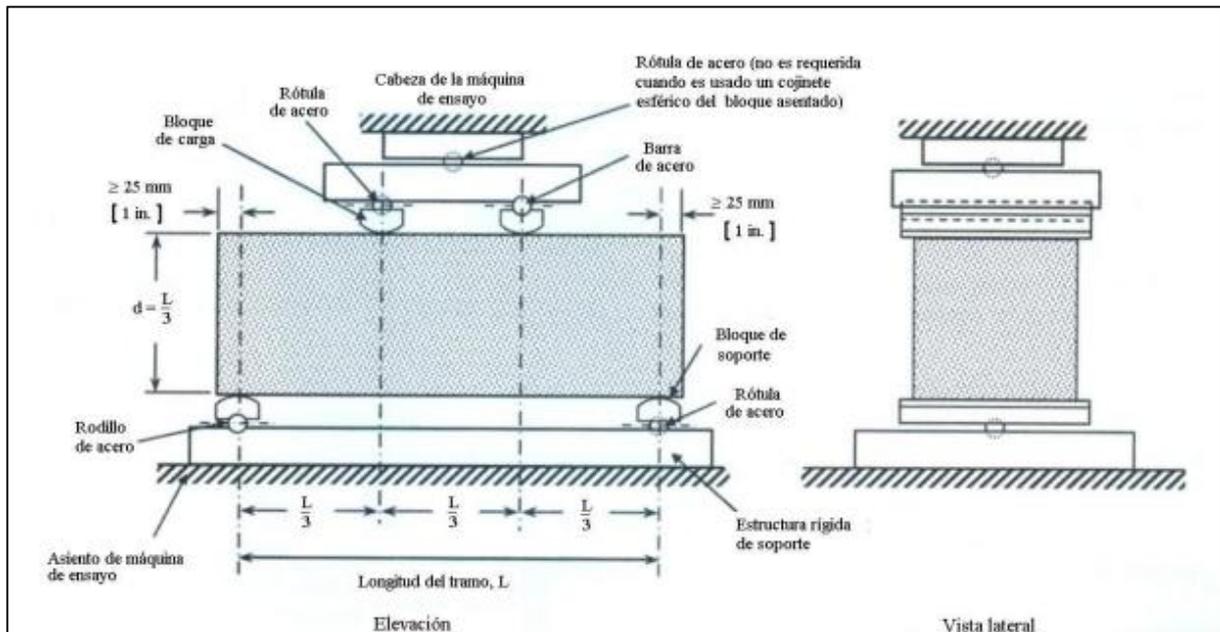


Figura 19: Diagrama de un dispositivo adecuado para ensayar a flexión vigas con cargas a los tercios

Fuente (NTP 339.078, 2012)

- La muestra, en forma de viga tendrá una luz libre entre apoyos equivalente a tres veces su altura con una tolerancia del 2 %. Las caras laterales de la viga formarán ángulos rectos con las caras superior e inferior de la misma. Todas las superficies deberán ser lisas y libres de asperezas, porosidad (cangrejeras) o marcas de identificación no apropiadas.
- La prueba de flexión se realizará tan pronto como sea posible, luego de retirar la viga de la cámara de curado. Las vigas con superficie seca arrojan resultados menores en mediciones del módulo de rotura.
- Se centra el sistema de aplicación de carga en relación con la fuerza aplicada. Se colocan los bloques a los cuales se aplicará la carga en contacto con la superficie de la muestra en los tercios de la luz de la viga y aplicar una carga entre 3 % y 6% de la carga de rotura estimada. Usando medidores de espesores tipo láminas de 0,10 mm y 0,40 mm, determinar si algún espacio existente entre la muestra y el bloque de carga o los de soporte, es mayor o menor que cada uno de los medidores de espesor en una longitud de 25 mm o más. Si no se obtiene un contacto completo entre la viga y los bloques de aplicación de la carga, será necesario refrentar, lijar o poner una cuña de cuero. Las tiras de cuero serán de un espesor uniforme de 6 mm y tendrán un ancho comprendido entre 25 mm a 50 mm, y deberán extenderse a todo el ancho de la viga. Los espacios de más de 0,40 mm deben ser eliminados solamente mediante refrentado o esmerilado. El lijado de las superficies laterales debe ser mínimo, debido a que esta acción puede cambiar las



características físicas de las muestras. El refrentado se hará en conformidad con las secciones aplicables de la NTP 339.037.

- Se aplica la carga al espécimen de forma continua y sin impactos. La carga se aplica a una velocidad constante hasta el punto de ruptura. Aplicar la carga a una velocidad que incremente constantemente la resistencia de la fibra extrema, entre 0,9 MPa/min y 1,2 MPa/min, hasta producir la rotura de la viga.
- Si la falla ocurre dentro del tercio medio de la luz, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M_r = \frac{P \times L}{b \times h^2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Donde:

M_r : es el módulo de rotura, en (kg/cm^2) .

P : Es la carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en kg

L : Es la luz libre entre apoyos, en cm

b : Es el ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm

h : Es la altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

- Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este no mayor del 5 % de la luz libre, el módulo de rotura se calculará mediante la siguiente fórmula:

$$M_r = \frac{3 \times P \times a}{b \times h^2} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$$

Donde:

a : Es la distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en cm.

- Si la falla ocurre fuera del tercio medio y a una distancia de este mayor del 5 % de la luz libre, se rechaza el ensayo.

2.2.7.3 Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad de un material es un parámetro que mide la variación de esfuerzo en relación a la deformación en el rango elástico. Es función del ángulo de la línea esfuerzo-deformación y es una medida de la rigidez o resistencia a la deformación de dicho material. El concreto presenta un comportamiento elastoplástico y por ello los esfuerzos no son directamente proporcionales a la deformación. Por lo anterior, ha sido necesario definir términos como módulo secante y módulo tangente en un intento por convenir un valor para el módulo de elasticidad del concreto. El módulo tangente se define como la pendiente de la recta tangente a la curva esfuerzo-deformación en un punto de ella. En particular, el módulo

tangente que corresponde al esfuerzo nulo se denomina módulo tangente inicial. La determinación de este parámetro es difícil pues la recta tangente en el origen no está bien definida. Por su parte, el módulo secante es la pendiente de una recta secante a la curva, que une el punto de esfuerzo cero con otro cualquiera de la curva. El módulo secante es más fácil de determinar que el módulo tangente, por ello, es el más utilizado. (Harmsen, 2005)

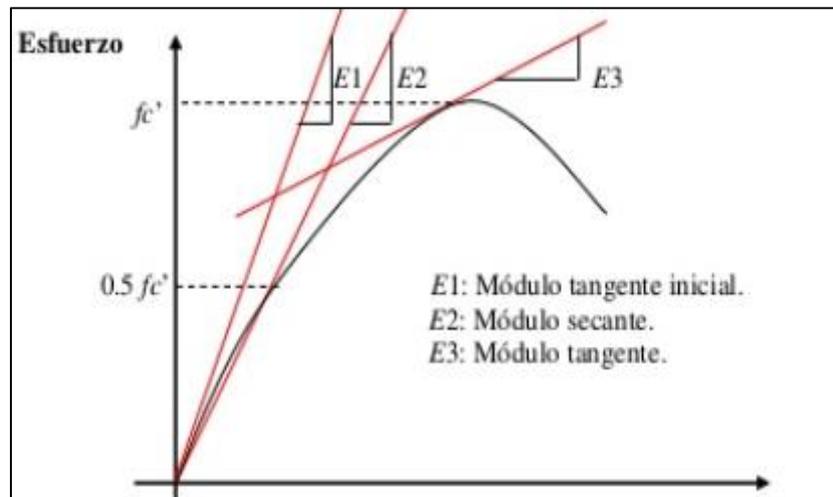


Figura 20: *Diagrama Esfuerzo deformación*

Fuente: (Harmsen, 2005)

En aplicaciones donde el módulo de elasticidad no es crítico para el elemento de concreto, la ecuación del ACI $E_c = W_c^{1.5} \times 0.043 \sqrt{f_c'} (MPa)$ o $E_c = W_c^{1.5} \times 0.14 \sqrt{f_c'} (kgf/cm^2)$ debería ser usada para concretos con una densidad (peso unitario) del concreto que varía entre 1500 y 2500 kg/m³. Para una densidad normal de concreto puede ser calculado como $E_c = 4700 \times \sqrt{f_c'} (MPa)$ o $E_c = 15100 \times \sqrt{f_c'} (kgf/cm^2)$ (ACI 237R-07, 2007), También indicada en la Norma E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Dónde:

E_c : Modulo de Elasticidad kg/cm²

W_c : densidad (peso unitario) del concreto de peso normal o densidad de equilibrio del concreto liviano, kg/m³

f_c' : Resistencia del concreto, kg/cm²

En la evaluación realizada por (Vilanova, J, & Agranati, 2010), se comparan tres normativas para el cálculo del módulo de elasticidad, ACI 318-08 (Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural), Eurocodigo 2 y EHE-08, llegando a la siguiente conclusión; Los modelos de cálculo de las normas estudiadas con relación al módulo de elasticidad son aplicables al hormigón autocompactante, al haberse obtenido ajustes muy altos, con respecto a



los valores medios de todos los datos. Los modelos del ACI pueden considerarse los más precisos para la determinación de las propiedades mecánicas

2.2.8 Métodos de dosificación del Concreto Autocompactante

Desde su inicio en 1980, el concreto autocompactante se usó para una variedad de aplicaciones en todo el mundo y no solo por sus propiedades sino también por la posibilidad de uso en su composición de materiales locales. La composición del concreto autocompactante CAC incorporó con éxito el material utilizado para la producción de hormigón vibrado convencional, lo que lo convierte en una solución atractiva en la industria de la construcción. De hecho, está claro que existe una gran diferencia entre los modos utilizados para diseñar concreto vibrado y mezclas de concreto autocompactante. Si bien el concreto convencional presenta una metodología bien organizada que produce mezclas robustas, esto es bastante difícil de lograr para el concreto autocompactante. La principal diferencia es que el concreto autocompactante acepta más combinaciones de material y alcanza las mismas propiedades, sin embargo, estas combinaciones a menudo contienen varias variables. Para obtener CAC adecuadamente, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones como; Es imposible obtener una mezcla universal de SCC debido a la variación de las propiedades del material utilizado. También es imposible obtener un método único para incluir todas las características y requisitos impuestos por el uso de material local para cada aplicación individual. Debido al mayor número de variables en comparación con concreto convencional, el concreto autocompactante requiere mayor atención para diseñar las mezclas. (Pop, 2014).

2.2.8.1 Método general

Una descripción es presentada por (Correia Gomez & Rodrigues de Barros, 2009), donde encontramos los pasos seguidos para obtener el Concreto Autocompactable:

Es el primer método diseñado por Okamura, Ozawa, Ouchi y Maekawa, reconocido en la literatura como el primer método de dosificación de mezcla propuesto para Concreto Autocompactante (CAC). El método experimental considera que el concreto consiste en dos fases: mortero y agregado grueso; y que los componentes de la pasta, relación agua/materiales finos y aditivos superplastificantes, son decisivos para la obtención de autocompactabilidad del CAC, además de su resistencia. En la siguiente figura Okamura (1999) presenta el método empleado para obtener autocompactabilidad



Figura 21: Método de obtención de Concreto Autocompactante

Fuente: (Correia Gomez & Rodrigues de Barros, 2009)

Los pasos propuestos para la mezcla descritos por (Correia Gomez & Rodrigues de Barros, 2009) son:

- Fijar volúmenes de agregados
- Asumir la relación agua/materiales finos (cemento, puzolanas, filler), en volumen, de 0.9 a 1.0, dependiendo de las propiedades de los materiales finos
- Determinar la dosificación de superplastificante e la relación agua/materiales finos, en mortero, que cumplan las propiedades de fluidez y viscosidad.
- Ensayar la autocompactabilidad del concreto, una vez definida la proporción de la mezcla en ensayos de capacidad de llenado, capacidad de paso y resistencia a la segregación.

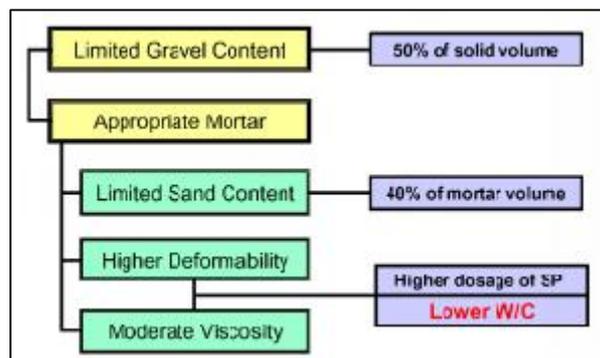


Figura 22: Procedimientos para la Obtención de Concreto Autocompactante

Fuente: (Okamura & Ouchi, Self Compacting Concrete, 2003)

2.2.8.2 Metodología Americana (ACI 237R-07, 2007)

El estándar estadounidense para Concreto Autocompactante (CAC) es el 237R-07 Self Compacting Concrete, creado por el Comité ACI 237, publicado en 2007. El documento aborda el conocimiento existente sobre CAC. La información contenida en el documento



informa a los productores, usuarios y especificadores las prácticas y procesos aplicados para obtener y usar el CAC. (de Araújo Calado, Camões, Jalali, & Barkokebas Júnior , 2015)

El comité es consciente de tres enfoques de proporcionamiento de mezcla: El primero es uso de Alto contenido de finos y Aditivo reductor de agua de alto rango (HRWRA), El segundo es uso de Bajo contenido de finos, Aditivo reductor de agua de alto rango (HRWRA) y aditivo modificador de viscosidad (VMA) y finalmente el tercero es uso moderado de contenido de finos, Aditivo reductor de agua de alto rango (HRWRA) y moderada dosis de aditivo modificador de viscosidad (VMA). (La estabilidad puede ser controlada a través de la mezcla de agregados, bajo contenido de agua o por el uso de aditivos modificadores de la viscosidad). Esta guía fue desarrollada por el Comité ACI 237 - Comité de Concreto Autocompactante. (ACI 237R-07, 2007)

Lanzado en 2007, la guía proporciona información sobre las propiedades de CAC. Esta información incluye un procedimiento para determinar la composición óptima del hormigón autocompactante. La dosificación por este método sigue una serie de pasos para obtener la autocompactabilidad del concreto, estos son descritos de la siguiente manera por (Pop, 2014); El procedimiento se basa en el logro de pasos sucesivos que cubren aspectos que se refieren a: la relación agua / aglutinante o la selección de agregados también para cumplir con las condiciones con respecto a la capacidad de paso, contenido de pasta.

1° Determinación de requisitos a ser tomados según flujo de asentamiento (Slump flow)

En la siguiente tabla se presentan los pasos necesarios para obtener una mezcla que cumpla con las condiciones impuestas por los detalles de cada aplicación. Las áreas sombreadas son áreas potencialmente problemáticas y deben evitarse aplicando un concreto con una clase de flujo de asentamiento más alto.

Tabla 18: *Objetivos de Slump Flow (Daczko and Container, 2001)*

Características de Elementos Estructurales		Slump Flow		
		<550 mm	550 a 650 mm	>650 mm
Nivel de Refuerzo	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Elementos de forma complicada	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Elementos Profundos	Bajo			



	Medio			
	Alto			
Excelentes acabados superficiales	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Elementos Largos	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Paredes delgadas	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Contenido de agregado grueso	Bajo			
	Medio			
	Alto			
Energía de colocación	Bajo			
	Medio			
	Alto			

Fuente: (ACI 237R-07, 2007) tomado de (León Parra & Eguez Alava, 2009)

2° Selección del tipo de agregado grueso y la cantidad de agregado utilizado

El objetivo principal al seleccionar el agregado es seleccionar el agregado con el diámetro más grande que proporcione al concreto una estabilidad adecuada, capacidad de llenado y capacidad de paso, además de ser clasificado como un concreto autocompactante. Los factores que influyen en el tamaño y la cantidad de agregado utilizado son el espacio entre los refuerzos y la textura de la superficie del agregado (artificial o natural). La guía clasifica los agregados en dos categorías según el diámetro máximo:

Categoría I: agregado con tamaños mayores o iguales a 12.5 mm. Para determinar el agregado necesario en esta categoría, se debe determinar inicialmente la densidad aparente (bulk density). La cantidad de agregado en la Categoría I debe representar el cincuenta por ciento del volumen total de concreto. Si nos referimos a la masa de contenido de agregado en Cat.I, la misma debe estar dentro del 28-32% de un metro cúbico de concreto.

Categoría II - agregados con un tamaño que no exceda los 12.5 mm. Cuando se desea el uso de este tipo de agregado, es posible comenzar desde una proporción del 50% del agregado



Cat. I y del 50% Cat.II de agregados siguiendo la modificación de cantidades durante las pruebas.

3° Estimación del contenido de cemento y agua

La cantidad de material cementante que sale en un metro cúbico de hormigón autocompactante puede variar entre 380-480 kg. Inicialmente, esta guía recomienda el uso de una cantidad máxima, que se optimizará después de las pruebas para mejorar el rendimiento económico. Generalmente, si se requiere una mayor capacidad de llenado, el contenido de cementante en el concreto debe aumentarse. La relación agua/cemento y la resistencia a la compresión del concreto está documentado en el ACI 211.1

Tabla 19: Rangos de material cementante

Slump Flow			
mm	< 550	550 - 600	> 650
Contenido de material cementante (kg/m ³)	355 - 385	385 - 445	> 458

Fuente: (ACI 237R-07, 2007) tomado de (León Parra & Eguez Álava, 2009)

4° Determinación del volumen de pasta y mortero.

El volumen de pasta puede definirse como el volumen de material cementante, agua, aditivos químicos y aire. El volumen de mortero es el volumen de pasta más el volumen agregado fino. Ambos se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla de concreto. Se recomienda el uso de un porcentaje del 34-40% para el volumen de pasta y del 60-79% para el volumen del mortero.

5° Seleccionar el tipo de superplastificante

6° Realización de ensayos para hormigón fresco.

Las propiedades del concreto recién obtenido se verifican mediante la prueba de la capacidad de llenado, el paso y la estabilidad.

7° Modificación del contenido del aditivo:

Si no se cumplen las condiciones necesarias, el contenido del aditivo se modifica de acuerdo con los resultados de la prueba.

8° Las pruebas se resumen para determinar las propiedades frescas.

Establecido el peso de cada componente del Concreto Autocompactante (CAC), se procede a calcular el volumen de cada uno de ellos, para así determinar el volumen absoluto de agregado grueso, fracción de pasta y fracción de mortero, con el propósito de comprobar si el diseño previo cumple con los parámetros para CAC mostrados en la siguiente tabla. Los

valores sugeridos en la tabla son solo para empezar a probar las mezclas, estos variaran de acuerdo con los materiales locales Si el diseño no cumple con los parámetros para HAC, se hace un reajuste en la curva granulométrica hasta obtener los valores deseados. (León Parra & Eguez Álava, 2009)

Tabla 20: *Parámetros para proporcionamiento de CAC*

Volumen absoluto de agregado grueso	28 - 32 % (tamaño máximo nominal 12 mm)
Fracción de pasta	34 - 40 % (volumen total de la mezcla)
Fracción de mortero	68 - 72 % (volumen total de la mezcla)
Relación típica agua/material cementicio	0,32 - 0,45
Contenido de material cementicio	386 -475 kg/m ³ (contenido menor usar agentes modificadores de viscosidad)

Fuente: (ACI 237R-07, 2007) tomado de (León Parra & Eguez Álava, 2009)

2.2.9 Fibras

Las fibras se han usado como materiales de construcción por mucho tiempo. En concreto se usan principalmente en concreto pre-mezclado, concreto prefabricado, pavimentos y shotcrete. Pueden ser de acero, plástico, vidrio o materiales naturales como celulosa de madera. Sus longitudes usuales varían de 6 mm a 100 mm. Con espesores que varían de 0.005 a 0.75 mm. Se agregan al concreto en proporciones menores al 1% en volumen, en la mayoría de los casos. Impiden las pequeñas rajaduras debidas a la contracción de fragua y a la deformación plástica Dan muy buenos resultados en secciones delgadas. En algunos lugares se ha usado las fibras en lugar del refuerzo de varillas de acero, pero generalmente se usan en conjunto con éste. (Harmsen, 2005)



Figura 23: *Fibras de refuerzo*

Fuente: (SIKA , 2011)



2.2.9.1 Tipos de fibras

Las fibras son clasificadas de la siguiente manera en (Antillón, 2016):

2.2.9.1.1 Macrofibras

Generalmente son de materiales como acero, vidrio, materiales sintéticos o naturales, los cuales se utilizan como refuerzo distribuido en todo el espesor del elemento y orientado en cualquier dirección. Las fibras actúan como malla electrosoldada y varillas de refuerzo, incrementando la tenacidad del concreto y agregando al material capacidad de carga posterior al agrietamiento. Entre los beneficios del uso de concreto reforzado con fibras -CRF- se encuentran el incremento de la resistencia al impacto y a la fatiga. Su diámetro oscila entre los 0.25 mm y 1.5 mm con longitudes variables entre 13 mm y 70 mm.

En realidad, las macrofibras se incluyen en el concreto para aumentar la tenacidad del material, es decir para hacer que las estructuras, incluso después del agrietamiento de la matriz, puedan seguir siendo cargadas. La tenacidad es una propiedad que describe de una manera más completa la capacidad de un material para soportar cargas antes de colapsar. (SIKA , 2011)

2.2.9.1.2 Microfibras

Normalmente son fibras de plástico, polipropileno, polietileno nylon, que ayudan a reducir la segregación de la mezcla de concreto y previenen la formación de fisuras durante la construcción. Las longitudes de las fibras de multifilamento oscilan entre los 12 y los 75 mm.

2.2.9.2 Fibras sintéticas

Las fibras sintéticas que son específicamente diseñadas para concreto (hormigón) se fabrican a partir de materiales sintéticos que pueden resistir el medio alcalino del concreto a largo plazo. Las fibras sintéticas son añadidas al concreto antes o durante la operación de mezclado. El uso de las fibras sintéticas en proporciones típicas no requiere de ningún cambio en el diseño de la mezcla. (National Ready Mixed Concrete Association, 1994)

Secciones discretas que se distribuyen aleatoriamente dentro del concreto que pueden estar compuestas por Acrílico, Aramid, Carbón, Polipropileno, Poliestileno, Nylon, Poliester etc (SIKA , 2011)

2.2.9.2.1 SIKACEM®-1 FIBER (SIKA®, 2019)

SikaCem®-1 Fiber, es un refuerzo de fibra sintética de alta tenacidad que evita el agrietamiento de concretos y morteros. SikaCem®-1 Fiber está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados. Durante la mezcla SikaCem®-1 Fiber se distribuye



aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme

- Usos:

Losas de concreto (placas, pavimentos, veredas, techos, pisos, etc)

Mortero y concreto proyectado (Shotcrete).

Paneles de fachada.

Elementos prefabricados.

Revestimientos de canales.

- Características / Ventajas:

La adición de SikaCem®-1 Fiber sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del concreto, aportando las siguientes ventajas:

Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.

Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.

Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.

En mayor cuantía, mejora la resistencia a la tracción y a la compresión.

La acción del SikaCem®-1 Fiber es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento.

- Certificados / Normas:

A los concretos a los que se agregado SikaCem®-1 Fiber cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C 1116

- Información:

Empaques: Caja con 18 bolsas x 100 g

Apariencia / Color Fibra: color crema

Densidad 1.17 kg/L

Absorción de Agua < 2%

Módulo de Elasticidad 15,000 kg/cm²

Elongación de Rotura 26%

- Instrucción de Aplicación:

Se agrega directamente a la mezcla de concreto o mortero. No disolver en el agua de amasado.

La dosificación de SikaCem®-1 Fiber se empleará para todo tipo de concretos según: 1 bolsa x 100 g por cada bolsa de cemento de 42.5 kg.



Figura 24: *Fibras SikaCem – 1 Fiber*

Fuente: Propia

2.2.10 Bases estadísticas

2.2.10.1 Fundamentos estadísticos

Está demostrado científicamente que los resultados de resistencia en compresión de un determinado concreto tienen una distribución de frecuencias que se ajusta a la denominada Distribución Normal, Distribución de Gauss o también llamada campana de Gauss. (Pasquel Carbajal, 1998)

Cuando evaluamos resultados de resistencia a la compresión, una distribución normal no siempre es asumida. La distribución normal es apropiada en la mayoría de casos cuando la resistencia a compresión del concreto no excede 10000 psi (70 Mpa). (ACI 214R-11, 2011)

Estando definida la de Desviación Estándar como:

$$\sigma \cong s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Siendo el coeficiente de variación:

$$C.V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\%$$

Siendo ambos valores importantes para el control de calidad del concreto, con parámetros establecidos como se indica en la siguiente tabla:



Tabla 21: *Valores de Dispersión en el control de concreto para ($f'c \leq 35MPa$)*

DISPERSIÓN TOTAL					
Clase de operación	Desviación standard para diferentes grados de control (kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6
DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes grados de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> a 5.0

Fuente: (ACI 214R-11, 2011) obtenido de (Pasquel Carbajal, 1998)

2.2.10.2 Valores Atípicos

2.2.10.2.1 Criterio de Chauvenet

El criterio de Chauvenet proporciona un medio para probar los datos y determinar si una medición en particular puede eliminarse de un conjunto de datos. Debe enfatizarse que este procedimiento permite que solo se elimine una medición. Para aplicar el criterio de Chauvenet, la media aritmética y la desviación estándar se calculan para el conjunto de datos de la manera habitual. Para conjuntos de datos pequeños, la desviación estándar (σ) puede ser aproximada mediante la desviación estándar de la muestra. En adición, la razón de la desviación, d_i , con la desviación estándar, σ , se calcula para cada medición utilizando la siguiente ecuación (Van Aken & Hosford, 2008)

$$\frac{d_i}{\sigma} = \frac{|x_i - \bar{x}|}{\sigma}$$

Donde

d_i : desviación

σ : Desviación estándar de la muestra

x_i : Valor de la Medición realizada

\bar{x} : Media aritmética del conjunto de datos

El valor obtenido de la razón calculada no debe exceder el valor definido en la siguiente tabla según el número de datos total (N).



Tabla 22: *Criterio de Chauvenet para rechazar una medición*

Numero de mediciones, N	Razón de máxima desviación y desviación estándar d_{\max}/σ
3	1.38
4	1.54
5	1.65
6	1.73
7	1.80
10	1.96
15	2.13
25	2.33
50	2.57
100	2.81
300	3.14
500	3.29
1000	3.48

Fuente: (Van Aken & Hosford, 2008)

El dato que excede dicho valor debe ser excluido del análisis estadístico, la media y desviación son recalculadas y N se disminuye en uno, volviendo así a recalcular los valores.

2.2.10.2.2 Criterios recomendados para una muestra según (ASTM E178-16, 2016)

a) Criterio para un dato atípico

Se determina de igual manera que el criterio de Chauvenet, siendo diferente las tablas utilizadas para determinar los valores atípicos. El criterio utilizado es el siguiente:

$$T_n = \frac{|x_n - \bar{x}|}{s}$$

Donde

s: Desviación estándar de la muestra

x_n : Valor de la Medición realizada

\bar{x} : Media aritmética del conjunto de datos

Comparando el valor crítico de T_n con la siguiente tabla:

Tabla 23: *Valores Críticos para T*

Numero de	Mayor al 10% de	Mayor al 5% de nivel	Mayor al 1% de nivel
-----------	-----------------	----------------------	----------------------



Observaciones, n	nivel de significancia	de significancia	de significancia
3	1.1484	1.1531	1.1546
4	1.425	1.4625	1.4925
5	1.602	1.672	1.749
6	1.729	1.822	1.944
7	1.828	1.938	2.097
8	1.909	2.032	2.221
9	1.977	2.11	2.323
10	2.036	2.176	2.41
11	2.088	2.234	2.485
12	2.134	2.285	2.55

Fuente: (ASTM E178-16, 2016)

b) Criterio de Dixon para un dato atípico

Este criterio se basa en la división de las diferencias de las mediciones obtenidas, no es necesario el cálculo de la desviación estándar y varía de acuerdo al tamaño de la muestra. El cálculo de los parámetros se realiza mediante la siguiente tabla:

Tabla 24: *Criterio de Dixon para datos atípicos*

n	Criterio	Nivel de Significancia			
		10%	5%	1%	
3	$f_{10} = (x_2 - x_1)/(x_n - x_1)$ si el valor es el menor $= (x_n - x_{n-1})/(x_n - x_1)$ si el valor es el mayor	0.886	0.941	0.988	
4		0.679	0.765	0.889	
5		0.557	0.642	0.78	
6		0.482	0.56	0.698	
7		0.434	0.507	0.637	
8		$f_{11} = (x_2 - x_1)/(x_{n-1} - x_1)$ si el valor es el menor $= (x_n - x_{n-1})/(x_n - x_2)$ si el valor es el mayor	0.479	0.554	0.683
9			0.441	0.512	0.635
10	0.409		0.477	0.597	
11	$f_{10} = (x_3 - x_1)/(x_{n-1} - x_1)$ si el valor es el menor $= (x_n - x_{n-2})/(x_n - x_2)$ si el valor es el mayor		0.517	0.576	0.679
12		0.490	0.546	0.642	
13		0.467	0.521	0.615	

Fuente: (ASTM E178-16, 2016)



2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general

Las propiedades mecánicas del concreto autocompactante mejoran significativamente al adicionar fibras Sikacem-1 Fiber.

2.3.2 Hipótesis específicas

- El uso de fibras sintéticas Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento permite desarrollar un aumento en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante.
- El módulo de elasticidad del concreto autocompactante con adición de fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento presenta un aumento por ser directamente proporcional a la resistencia a la compresión.
- El concreto autocompactante con adición de fibras sintéticas presenta un aumento en el módulo de ruptura al adicionar fibras Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento
- La variación del peso unitario del concreto autocompactante adicionando fibra sintética Sikacem-1 Fiber utilizando 100 g y 200 g. por bolsa de cemento no es significativa siendo semejante al concreto autocompactante patrón.

2.4 Variables e indicadores

2.4.1 Dependientes

- Propiedades Mecánicas: son las propiedades que permiten al concreto poder soportar las diferentes cargas que se le apliquen sin agrietarse o que pueda romperse como por ejemplo la resistencia la compresión, módulo de elasticidad, etc.

2.4.2 Indicadores de variables dependientes

- Valor de la resistencia a la compresión
- Valor del módulo de Elasticidad
- Valor del Módulo de Ruptura
- Valor del Flujo de Revenimiento y VSI del concreto fresco

2.4.3 Independientes

- Concreto Autocompactante: es un tipo de concreto diseñado para que pueda ser colocado sin necesidad de realizar el vibrado ya que se compacta por efecto de la gravedad, fluyendo entre los encofrados y las armaduras de acero gracias a su viscosidad,



conservando sus propiedades de homogeneidad y estabilidad de modo que no se producen sangrado ni bloqueo del agregado grueso.

2.4.4 Indicadores de Variables Independientes

- Cantidad de bolsas y peso en kilogramos de fibras
- Cantidad de bolsas y peso en kilos de cemento
- Granulometría, módulo de fineza y contenido de humedad de agregado fino
- Granulometría y contenido de humedad de agregado grueso
- Peso en litros de agua.
- Peso en litros de Superplastificante.

2.5 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 25: Operacionalización de Variables

CUADRO DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES							
Variables	Definición	Nivel	Indicadores	UNIDAD	Escala	Metodología	
DEPENDIENTE	X1: Propiedades Mecánicas	Son propiedades del material relacionadas con su capacidad de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones	Resistencia a la compresión del concreto	Valor de la resistencia a la compresión $f'c$	kg/cm ²	Cuantitativa Razón y Continua	NTP 339.034
			Resistencia a la Flexión del concreto	Valor del Módulo de Ruptura	kg/cm ²	Cuantitativa Razón y Continua	NTP 339.078
			Módulo de Elasticidad	Valor del módulo de Elasticidad	kg/cm ²	Cuantitativa Razón y Continua	ACI 237R-07 RNE E.060
			Peso Unitario	Valor del Peso Unitario	kg/m ³	Cuantitativa Razón y Continua	NTP 339.046
INDEPENDIENTE	Y1: Concreto Autocompactante Reforzado con Fibras SikaCem-1 Fiber	Concreto diseñado con adición de fibras sintéticas, altamente fluido, sin segregación, que puede ser extendido en el sitio, llenando la formaleta y encapsulando el refuerzo, sin ningún tipo de consolidación mecánica.	Fibras Sikacem-1 Fiber	Cantidad de bolsas y peso en kilogramos de fibras	gr/bolsa de cemento	Cuantitativa Razón y Continua	Diseño de Mezcla
			Cemento tipo IP	Cantidad de bolsas y peso en kilos	%	Cuantitativa Razón y Continua	Diseño de Mezcla
			Agregados Finos	Granulometría, módulo de fineza y contenido de humedad	%	Cuantitativa Razón y Continua	Diseño de Mezcla
			Agregados Gruesos	Granulometría y contenido de humedad	%	Cuantitativa Razón y Continua	Diseño de Mezcla
			Agua	Peso en litros	Lt.	Cuantitativa Razón y Continua	Diseño de Mezcla
			Eucoplast 8500 HP	Cantidad de Aditivo	kg.	Cuantitativa Razón y Continua	Diseño de Mezcla

Fuente: Elaboración Propia



Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación presenta un enfoque cuantitativo, ya que se utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar” o eludir pasos. El orden es riguroso, aunque desde luego, podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos, y se extrae una serie de conclusiones respecto de la o las hipótesis. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, págs. 4-5)

Para poder determinar las propiedades mecánicas en la investigación, se medirán objetivamente las respectivas magnitudes, posteriormente se realizará un análisis estadístico de estas, para finalmente explicar los resultados.

3.1.2 Nivel de investigación

Será descriptivo, Se busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014, pág. 92)

3.1.3 Método de investigación

El método Hipotético-Deductivo es el camino lógico para buscar la solución a los problemas que nos planteamos. Consiste en emitir hipótesis acerca de las posibles soluciones al problema planteado y en comprobar con los datos disponibles si estos están de acuerdo con aquellas. Así en los ámbitos en los que se dispone de métodos observacionales adecuados con los cuales se pueden obtener magnitudes muy precisas, las hipótesis pueden verificarse con gran seguridad (Cegarra Sánchez, 2011, pág. 82)

Consiste en hacer observaciones manipulativas y análisis, a partir de las cuales se formulan hipótesis que serán comprobadas mediante experimentos controlados. (Pascual, Frías, & García, 1996)



El método utilizado en la investigación es el Hipotético-Deductivo. En la investigación se realizará una serie de pruebas que nos permitan obtener las magnitudes de las propiedades mecánicas del Concreto Autocompactante reforzado, pudiendo así verificar las hipótesis planteadas a los problemas.

3.2 Diseño de la investigación

3.2.1 Diseño metodológico

La presente investigación presenta un diseño cuasi-experimental, porque se quieren conocer los fenómenos que ocurren al adicionar porcentajes de fibra sintética, se manipula al menos una variable independiente y se observa cómo se relaciona con las dependientes.



3.2.2 Diseño de ingeniería

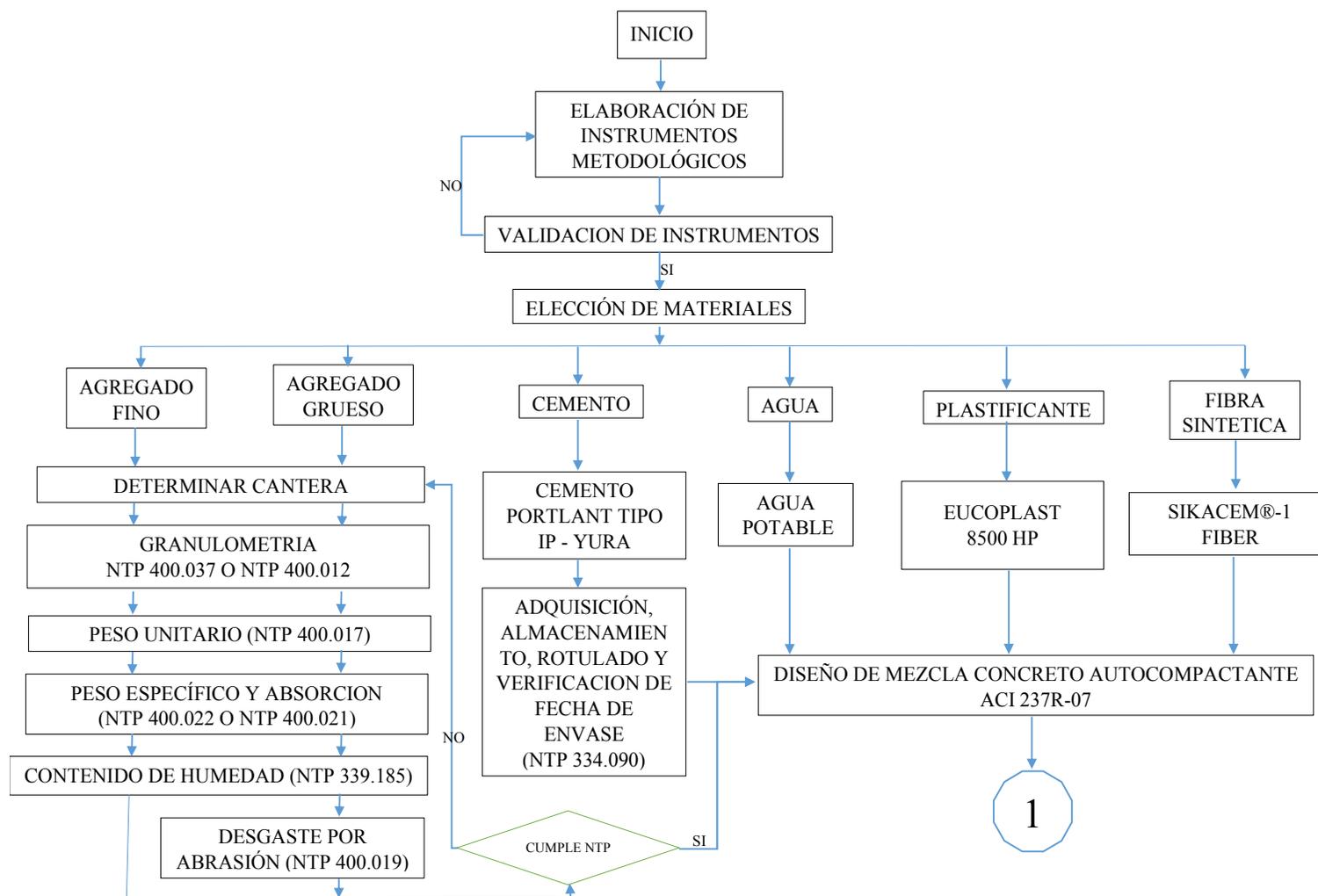


Figura 25: Diagrama de flujo de la investigación – parte 1

Fuente: Elaboración propia

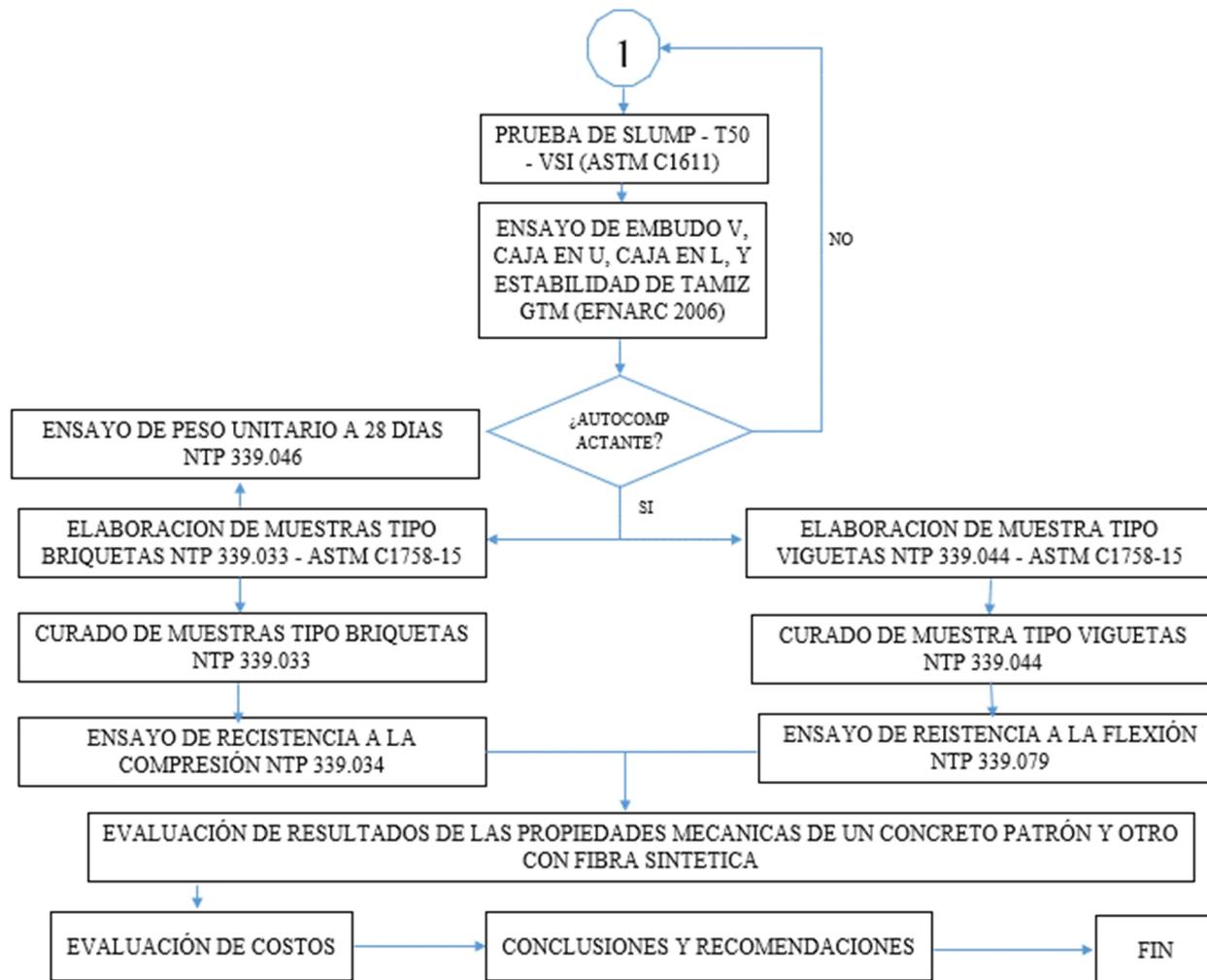


Figura 26: Diagrama de flujo de la investigación – parte 2

Fuente: Elaboración propia



3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción de la población

Población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

La población de estudio de la presente investigación está constituida por un grupo de especímenes de concreto autocompactante patrón y especímenes de concreto autocompactante adicionando fibras sintéticas en diferentes dosificaciones de SikaCem®-1 Fiber 100 gr. por bolsa de cemento y 200 gr. por bolsa de cemento, elaboradas y curadas en mismas condiciones.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

La población de la investigación consta de un total de 90 especímenes para los 3 tipos de concreto a elaborar. Distribuidos en 45 briquetas y 45 viguetas de concreto, siendo 30 para concreto autocompactante patrón, 30 para concreto con 100 gr. por bolsa de cemento y 30 para concreto con 200 gr. por bolsa de cemento. Elaboradas con cemento portland tipo IP, agregado fino de las canteras de Cunyac y Vicho, agregado grueso de la cantera de Vicho, Agua potable, Eucoplast 8500 HP como aditivo reductor de agua de alto rango y de ser el caso con SikaCem®-1 Fiber.

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra de la investigación está constituida por dos tipos de concreto, Concreto autocompactante (CAC) y concreto autocompactante adicionando fibras sintéticas en diferentes dosificaciones de fibra sintética SikaCem®-1 Fiber con 100 gr. por bolsa de cemento y 200 gr. por bolsa de cemento. Elaboradas con cemento portland tipo IP, agregado fino de las canteras de Cunyac y Vicho, agregado grueso de la cantera de Vicho, Agua potable, Eucoplast 8500 HP como aditivo reductor de agua de alto rango y de ser el caso con SikaCem®-1 Fiber.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

Para la presente investigación presenta una muestra de tipo censal debido a que es igual a la población, 90 especímenes entre probetas y viguetas de concreto autocompactante patrón y concreto autocompactante adicionando fibras sintéticas en diferente proporción.

Tabla 26: *Cuantificación de la muestra.*

Muestra				
Volumen m3.	0.00157	0.01125		
Días	7 días	28 días	7 días	28 días
CAC Patrón	6	9	6	9
CAC con 100 g. por bolsa	6	9	6	9
CAC con 200 g. por bolsa	6	9	6	9
Total	45		45	
Volumen m3.	0.07		0.51	

Fuente: Elaboración Propia

3.3.2.3 Método de muestreo

El método de muestreo de la investigación fue no probabilístico.

Las muestras no probabilísticas, también llamadas muestras dirigidas, suponen un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadístico de generalización. La mayor parte de las veces, las investigaciones experimentales utilizan muestras dirigidas, porque como se comentó, es difícil manejar grupos grandes o múltiples casos (debido a ello se ha insistido que, en los experimentos, la validez externa se consolida mediante la repetición o reproducción del estudio). (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014)

3.3.2.4 Criterios de evaluación de la muestra

Para la investigación se evaluó la muestra siguiendo:

- Resistencia a la compresión y módulo de elasticidad; con 45 unidades de probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro con 20 cm de altura, para concreto autocompactante patrón y concreto autocompactante adicionado con fibras SikaCem®-1 Fiber con 100 gr. por bolsa de cemento y 200 gr. por bolsa de cemento.
- Resistencia a la flexión; con 45 unidades de viguetas prismáticas de 15 cm de alto, 15 cm de ancho y 50 cm de largo, para concreto autocompactante patrón y concreto autocompactante adicionado con fibras SikaCem®-1 Fiber con 100 gr. por bolsa de cemento y 200 gr. por bolsa de cemento.



- Además, se verificó que los especímenes cumplan condiciones de calidad, como no presentar deformaciones, imperfecciones, vacíos, segregación, eflorescencia y poseer verticalidad de 90°

3.3.3 Criterios de inclusión

- Especímenes de Concreto Autocompactante y Especímenes de concreto Autocompactante adicionando fibras sintéticas SikaCem®-1 Fiber con 100 gr. por bolsa de cemento y 200 gr. por bolsa de cemento.
- La dosificación es realizada por el método ACI 237R-07 Self-Consolidating Concrete
- Los materiales para la elaboración de los especímenes fueron los siguientes: el cemento utilizado para la mezcla fue Yura tipo IP, el agregado grueso es de la cantera de Vicho con tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ ", agregado fino se utilizó en proporciones de 30% y 70% de las canteras de Vicho y Cunyac respectivamente, el aditivo para obtener propiedades plastificantes es SikaCem®-1 plastificante en polvo y para el caso de especímenes reforzados con fibras se utilizó SikaCem®-1 Fiber.
- Especímenes de concreto cilíndricos de medidas: 20 cm de altura x 10 cm de diámetro
- Especímenes de concreto prismático de medidas: 15 cm de alto x 15 cm de ancho x 50 cm de largo.
- Especímenes de concreto ensayados a 7 y 28 días de su elaboración.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos metodológicos o instrumentos de Recolección de Datos

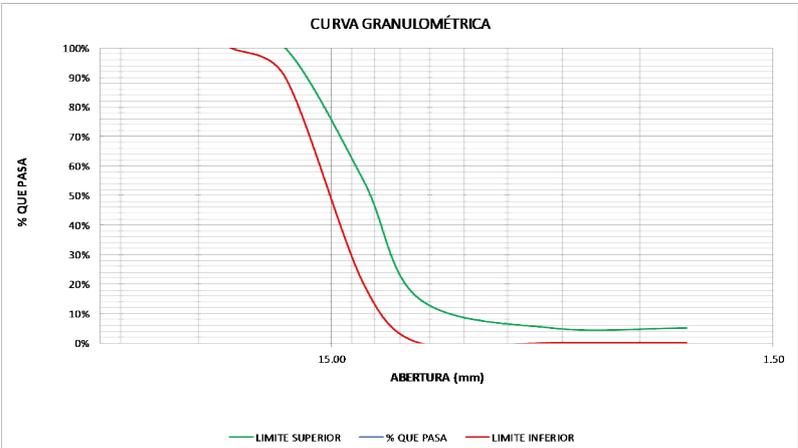
En la presente investigación se hizo uso de formatos de laboratorio, donde se recopila la información obtenida en los ensayos realizados, se hizo uso de hojas de cálculo para verificar los resultados en contraste con la normativa vigente. Mediante hojas de cálculo, y graficas desarrolladas se puede apreciar de mejor manera los resultados obtenidos. Además, se utilizaron libros y normativas para el desarrollo de los ensayos.



Tabla 28: Hoja de recolección de datos para Granulometría del Agregado Grueso

	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL									
TESIS:	"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE ADICIONANDO FIBRAS SINTÉTICAS SIKACEM®-1 FIBER - CUSCO 2019"									
TESISTA:	BACH. BACA USCAMAYTA CARLOS EDUARDO									
LUGAR:	BACH. VELA CACERES LUIS FERNANDO									
FECHA:	LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO									
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS NTP 400.037 - ASTM C 136										
AGREGADO GRUESO: VICHO										
CANTERA: VICHO										
HUSO 6	PESO INICIAL (gr.)									
mm.	TAMIZ	PESO RETENIDO M1 (gr.)	PESO RETENIDO M2 (gr.)	PESO RETENIDO M3 (gr.)	PESO RETENIDO PROMEDIO (gr.)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	LIMITE INFERIOR	% QUE PASA	LIMITE SUPERIOR
25.40	1"							100.00%		100.00%
19.10	3/4"							90.00%		100.00%
12.70	1/2"							20.00%		55.00%
9.52	3/8"							0.00%		15.00%
4.76	Nº4							0.00%		5.00%
2.36	Nº8							0.00%		5.00%
	FONDO									
	TOTAL									
	DIFERENCIA DE PESOS									
	ERROR DEL ENSAYO REPRESENTATIVO									
							MODULO DE FINURA			
							$MF = \frac{((\sum \% \text{ retenido en las mallas } 3", 1\frac{1}{2}", \frac{3}{4}", \frac{1}{2}", \frac{3}{8}", N^{\circ} 4) + 500)}{100}$			
							Modulo de Finura			

CURVA GRANULOMÉTRICA



— LIMITE SUPERIOR — % QUE PASA — LIMITE INFERIOR

Fuente: Elaboración Propia



Tabla 29: Hoja de recolección de datos para Peso específico y absorción del agregado fino.

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE ADICIONANDO FIBRAS SINTÉTICAS SIKACEM®-1 FIBER – CUSCO 2019”						
TESIS:						
TESISTA:	BACH. CARLOS EDUARDO BACA USCAMAYTA BACH. LUIS FERNANDO VELA CACERES					
LUGAR:	LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO					
FECHA:	10/12/2019					
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO NTP 400.022						
CANTERA:						
	Descripción	M1	M2	M3		
A	Masa de la muestra seca al horno (gr.)					
B	Masa del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración (gr.)					
C	Masa del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración (gr.)					
S	Masa de la muestra saturada superficialmente seca (gr.)				PROMEDIO	
	Densidad Relativa (Gravedad Especifica) (OD) = $A / (B + S - C)$					gr/cm ³
	Densidad Relativa (Gravedad Especifica) (SSD) = $S / (B + S - C)$					gr/cm ³
	Densidad Relativa Aparente (Gravedad Especifica Aparente) = $A / (B + A - C)$					gr/cm ³
	Absorción = $((S - A)/A)*100$					%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30: Hoja de recolección de datos para peso específico y absorción del agregado grueso

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL				
“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE ADICIONANDO FIBRAS SINTÉTICAS SIKACEM®-1 FIBER – CUSCO 2019”						
TESIS:						
TESISTA: BACH. BACA USCAMAYTA, CARLOS EDUARDO BACH. VELA CACERES, LUIS FERNANDO						
LUGAR: LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO DE LA UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO						
FECHA: 12/12/2019						
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO NTP 400.021						
CANTERA:						
	Descripción	M1	M2	M3		
A	Peso de la muestra seca en el aire (gr.)					
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (gr.)					
C	Peso en el agua de la muestra saturada. (gr.)				PROMEDIO	
	Peso Especifico de Masa (Pem) = $A / (B - C)$					gr/cm ³
	Peso Especifico de Masa Saturada con Superficie Seca (PeSSS) = $B / (B - C)$					gr/cm ³
	Densidad Relativa Aparente (Gravedad Especifica Aparente) = $A / (B + A - C)$					gr/cm ³
	Absorción = $((S - A)/A)*100$					%

Fuente: Elaboración Propia