



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Efectos del Plastiment® HE-98 en la resistencia a la compresión del
concreto estructural – Trujillo 2018”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA
CIVIL**

AUTOR:

May Rosalba León Vergaray

ASESOR:

Ing. Humberto Castillo Chávez

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño sísmico y estructural

Trujillo – Perú

2018

Ing. Alan Yordan Valdiviezo Velarde
Presidente

Ing. Marlon Gastón Farfán Córdova
Secretario

Ing. Humberto Castillo Chávez
Vocal

DEDICATORIA

A Dios por su infinito amor y verdadera fuente de sabiduría, por haberme bendecido, guiado y sobre todo por haberme dado la fortaleza para seguir adelante aun en los momentos de mayor exigencia.

A mis amados padres Alfonso y Doris, por todo lo que significan para mí, siempre estuvieron en el lugar y momento cuando más los necesité, brindándome su apoyo incondicional, su gran fuerza de lucha y valor para lograr las metas trazadas, siempre impulsándome a ser mejor persona y siempre llevando en alto el nombre de la familia con mucha humildad y sencillez.

A mis amados hermanos Diana, Walter y Francisco, quiénes me impulsaron a ser excelente hermana, amiga y mejor profesional, todos mis logros son por ellos y para ellos, porque me demostraron que siempre fui y sigo siendo el modelo de superación para ellos.

A mi hijo Leandro quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para él.

A mis abuelos Francisco, Matilde y Elvira, que gracias ellos tengo a la mejor madre, a mi motor y motivación para poder seguir luchando por mis sueños, a ellos les debo todo y cada uno de sus consejos.

May Rosalba León Vergaray

AGRADECIMIENTO

A mi querida alma mater Universidad César Vallejo, la que nos acogió durante este tiempo de estudio, permitió que día a día aprendamos muchas cosas nuevas y que vayamos creciendo profesionalmente.

A mi asesor, por sus aportes, orientación brindada, amistad y apoyo durante nuestros avances en los estudios y elaboración de esta tesis.

A mis docentes y amigos que en forma desinteresada y paciente nos apoyaron en la realización de nuestra carrera.

A mis padres y familiares, por su apoyo incondicional y por brindarnos las fuerzas y en apoyo de manera incondicional para el logro de nuestras metas.

A la Subgerencia de Obras de la MPT, por su apoyo y por sus aportes brindados para la realización de mis estudios y la elaboración de mi tesis, por su asesoría y las recomendaciones dadas para el cumplimiento de ésta.

Asimismo, agradezco infinitamente a las personas que contribuyeron de manera tácita para la realización de esta tesis.

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo, May Rosalba León Vergaray, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la facultad de Ingeniería de la Universidad César Vallejo, identificado con DNI N° 32986081; a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, declaro bajo juramento que la tesis es de mi autoría y que toda la documentación, datos e información que en ella se presenta es veraz y auténtica.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto del contenido de la presente tesis como de información adicional aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, diciembre de 2018

MAY ROSALBA LEÓN VERGARAY

DNI 32986081

PRESENTACIÓN

Señores miembros del jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos, de la Universidad César Vallejo de Trujillo, presento ante ustedes la tesis titulada: “Efectos del Plastiment® HE-98 en la resistencia a la compresión del concreto estructural – Trujillo 2018”, con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil.

Agradezco por los aportes y sugerencias brindadas a lo largo del desarrollo del presente estudio y de esta manera realizar una investigación más eficiente. El trabajo mencionado analiza los efectos del aditivo Plastiment® HE-98 en las propiedades frescas y endurecidas del concreto estructural, para mejorar sus características y trabajabilidad.

May Rosalba León Vergaray

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	v
PRESENTACIÓN	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	14
1.1. Realidad problemática.....	14
1.2. Trabajos previos	15
1.3. Teorías relacionadas al tema	18
1.4. Formulación del problema	24
1.5. Justificación del estudio	24
1.6. Hipótesis.....	25
1.7. Objetivos	25
1.7.1. Objetivo general	25
1.7.2. Objetivos específicos	25
II. MÉTODO.....	26
2.1. Diseño de investigación	26
2.2. Variables y Operacionalización	27
2.2.1. Variable	27
2.2.1.1. Variable independiente	27
2.2.1.2. Variable controlada.....	27
2.2.1.3. Variable dependiente	27
2.2.2. Operacionalización de variables	28
2.3. Población y muestra	29
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	30
2.4.1. Técnicas	30
2.4.2. Instrumentos	30
2.5. Métodos de análisis de datos.....	30
2.6. Aspectos éticos.....	30
III. RESULTADOS	31

3.1. Caracterización de agregados	31
3.1.1. Canteras	31
3.1.2. Agregado fino	31
3.1.2.1. Definición	31
3.1.2.2. Ensayos realizados	31
3.1.2.3. Resumen de resultados	39
3.1.3. Agregado grueso	40
3.1.3.1. Definición	40
3.1.3.2. Ensayos realizados	40
3.1.3.3. Resumen de resultados	46
3.2. Diseño de mezclas	47
3.2.1. Generalidades	47
3.2.2. Método de diseño	47
3.2.3. Procedimiento de diseño	47
3.2.4. Diseño de mezcla para concreto normal	48
3.2.4.1. Características de los agregados	48
3.2.4.2. Determinación de la resistencia requerida	48
3.2.4.3. Determinación de la resistencia promedio	48
3.2.4.4. Tamaño máximo nominal (TMN)	49
3.2.4.5. Determinación del asentamiento (Slump)	49
3.2.4.6. Determinación del volumen de agua para el diseño	49
3.2.4.7. Determinación del contenido de aire	49
3.2.4.8. Determinación de la relación agua/cemento	50
3.2.4.9. Determinación de la cantidad de cemento requerido	50
3.2.4.10. Determinación de volumen absoluto de mezcla	51
3.2.4.11. Corrección de la cantidad de agua y agregados	52
3.2.5. Diseño de mezcla para concreto con aditivo	56
3.3. Características del concreto en estado fresco	62
3.3.1. Generalidades	62
3.3.2. Ensayos realizados	62
3.3.3. Resumen de resultados	63
3.4. Características del concreto en estado endurecido	64
3.4.1. Generalidades	64
3.4.2. Ensayos realizados	64

3.4.3. Resumen de resultados	64
3.5. Cuadro de dosificaciones de concreto para diferentes canteras	66
IV. DISCUSIONES	67
4.1. Diseño de mezcla	67
4.1.1. Reducción de agua.....	67
4.2. Ensayos de concreto en estado fresco	69
4.2.1. Peso unitario	69
4.3. Ensayos de concreto endurecido	71
4.3.1. Ensayo de resistencia a la compresión	71
V. CONCLUSIONES	84
VI. RECOMENDACIONES	87
VII. REFERENCIAS	88
ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1 - Requerimientos aproximados de agua, según Slump y tamaño máximo de agregados	20
Cuadro 2 - Slump recomendado para los diferentes elementos estructurales	23
Cuadro 3 - Relación a/c según la resistencia a la compresión requerida	23
Cuadro 4 - Resistencia a la compresión promedio	24
Cuadro 5 - Grupos de investigación para la cantera "El Milagro"	26
Cuadro 6 - Grupo de investigación para la cantera "Cerro Chilco"	26
Cuadro 7 - Operacionalización de variables	28
Cuadro 8 - Resumen de los grupos control y grupos experimentales	29
Cuadro 9 - Resultados del ensayo granulométricos para el agregado fino de la cantera El Milagro	33
Cuadro 10 - Resultados del ensayo PUS para agregado fino de la cantera "El Milagro" ...	35
Cuadro 11 - Resultados del ensayo de PUC para agregado fino de la cantera "El Milagro"	36
Cuadro 12 - Resultados del ensayo de peso específico y % absorción para agregado fino cantera "El Milagro"	38
Cuadro 13 - Resultados del ensayo de contenido de humedad para agregado fino de la cantera "El Milagro"	39
Cuadro 14 - Características de los agregados finos	39
Cuadro 15 - Resultados del ensayo granulométrico para el agregado grueso de la cantera El Milagro	41
Cuadro 16 - Resultados del ensayo de PUS para agregado grueso de la cantera "El Milagro"	43
Cuadro 17 - Resultados del ensayo de PUC para agregado grueso de la cantera "El Milagro"	44
Cuadro 18 - Resultados del ensayo de peso específico y % absorción para agregado grueso cantera "El Milagro"	45
Cuadro 19 - Resultados del ensayo de contenido de humedad para agregado grueso de la cantera "El Milagro"	45
Cuadro 20 - Características de los agregados gruesos	46
Cuadro 21 - Resumen de la caracterización de materiales de la cantera "El Milagro"	48
Cuadro 22 - Cantidad de agua requerida	49
Cuadro 23 - Contenido de cemento según a/c	50
Cuadro 24 - Volumen absoluto de los componentes de la mezcla	51
Cuadro 25 - Cantidad de agregado fino y grueso en la mezcla	52
Cuadro 26 - Corrección de agua por agregado fino y grueso	53
Cuadro 27 - Diseño unitario de los elementos en obra	53
Cuadro 28 - Resultados de diseño de mezcla para cantera "El Milagro"	54
Cuadro 29 - Resultados de diseño de mezcla para cantera "Cerro Chilco"	55
Cuadro 30 - Resultados del diseño de mezcla con 0.3% de aditivo cantera "El Milagro" ..	56
Cuadro 31 - Resultados del diseño de mezcla con 0.5% de aditivo cantera "El Milagro" ..	57
Cuadro 32 - Resultados del diseño de mezcla con 0.7% de aditivo cantera "El Milagro" ..	58

Cuadro 33 - Resultados del diseño de mezcla con 0.3% de aditivo cantera "Cerro Chilco"	59
Cuadro 34 - Resultados del diseño de mezcla con 0.5% de aditivo cantera "Cerro Chilco"	60
Cuadro 35 - Resultados del diseño de mezcla con 0.7% de aditivo cantera "Cerro Chilco"	61
Cuadro 36 - Resultados de los ensayos en estado fresco cantera "El Milagro"	63
Cuadro 37 - Resultados de los ensayos en estado fresco cantera "Cerro Chilco"	63
Cuadro 38 - Resultados del ensayo en concreto endurecido para la mezcla de "El Milagro"	64
Cuadro 39 - Resultados del ensayo en concreto endurecido para la mezcla de "Cerro Chilco"	65
Cuadro 40 - Dosificaciones para la cantera "El Milagro"	66
Cuadro 41 - Dosificaciones para la cantera "Cerro Chilco"	66
Cuadro 42 - Pesos unitarios para relación a/c=0.45	69
Cuadro 43 - Pesos unitarios para relación a/c=0.50	70
Cuadro 44 - Pesos unitarios para relación a/c=0.55	70
Cuadro 45 - Resultados ANOVA a/c=0.45, El Milagro	72
Cuadro 46 - Resultados TUKEY a/c=0.45, El Milagro	73
Cuadro 47 - Resultados ANOVA a/c=0.50, El Milagro	74
Cuadro 48 - Resultados TUKEY a/c=0.50, El Milagro	75
Cuadro 49 - Resultados ANOVA a/c=0.55, El Milagro	76
Cuadro 50 - Resultados TUKEY a/c=0.55, El Milagro	77
Cuadro 51 - Resultados ANOVA a/c=0.45, Cerro Chilco	78
Cuadro 52 - Resultados TUKEY a/c=0.45, Cerro Chilco	79
Cuadro 53 - Resultados ANOVA a/c=0.50, Cerro Chilco	80
Cuadro 54 - Resultados TUKEY a/c=0.50, Cerro Chilco	81
Cuadro 55 - Resultados ANOVA a/c=0.55, Cerro Chilco	82
Cuadro 56 - Resultados TUKEY a/c=0.55, Cerro Chilco	83

RESUMEN

Es muy común usar en obras civiles aditivos para incrementar la resistencia a la compresión o mejorar la trabajabilidad del concreto; no obstante, debido al desconocimiento y la dosificación adecuada del uso de los mismos ocasiona construcciones inadecuadas. Por ello es necesario desarrollar el proyecto para analizar los efectos que tiene el aditivo Plastiment® HE-98 en una de las propiedades más importantes del concreto, la resistencia a la compresión. El aditivo Plastiment® HE-98 incrementa la fluidez del concreto e incrementa la resistencia a la compresión. Se diseñaron mezclas de concreto para las canteras El Milagro y Cerro Chilco, los agregados de las canteras fueron caracterizados inicialmente. El diseño de mezcla se realizó por el método de volumen absoluto del ACI, se utilizó aditivo Plastiment® HE-98 en cantidades 0.0%, 0.3%, 0.5% y 0.7% y a relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55. Se analizaron las propiedades del concreto en estado fresco como consistencia y peso unitario, y propiedades del concreto en estado endurecido como la resistencia a la compresión. La investigación concluyó que el aditivo Plastiment® HE-98 incrementa la consistencia o trabajabilidad de la mezcla, reduce la cantidad de agua, disminuye el peso unitario e incrementa la resistencia a la compresión con mayor incidencia cuando se usa 0.3% de aditivo según el análisis de varianza y la prueba de Tukey.

Palabras clave: Plastiment® HE-98, aditivo plastificante, diseño de mezcla, diseño de mezcla con aditivo.

ABSTRACT

It is very common to use additives in civil works to increase the resistance to compression or improve the workability of the concrete; However, due to the lack of knowledge and the proper dosage of the use thereof, it causes inadequate constructions. Therefore it is necessary to develop the project to analyze the effects of the Plastiment® HE-98 additive in one of the most important properties of concrete, the resistance to compression. The Plastiment® HE-98 additive increases the flowability of concrete and increases the resistance to compression. Concrete mixes were designed for the El Milagro and Cerro Chilco quarries, the aggregates of the quarries were initially characterized. The mixing design was performed by the absolute volume method of the ACI, Plastiment® HE-98 additive was used in 0.0%, 0.3%, 0.5% and 0.7% quantities and at a / c ratios of 0.45, 0.50 and 0.55. The properties of the fresh concrete were analyzed, such as consistency and unit weight, and concrete properties in a hardened state such as compressive strength. The research concluded that the additive Plastiment® HE-98 increases the consistency or workability of the mixture, reduces the amount of water, decreases the unit weight and increases the resistance to compression with higher incidence when 0.3% additive is used according to the analysis of variance and the Tukey test.

Keywords: Plastiment® HE-98, plasticizer additive, mix design, mix design with additive.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial, los aditivos representan un avance notable en la tecnología del concreto (Abanto, 2016). Estos productos permiten tener concretos de alta resistencia, así como la facilidad del colocado o vaciado del concreto fresco ante la presencia masiva de armadura donde se complique el vibrado (Palomares, 2009).

A nivel nacional, es escaso el conocimiento acerca de los aditivos, considerándolos no necesarios en el concreto y muchas veces ajenos en el proceso constructivo del mismo. Alguna otra creencia generalizada sostiene que el uso de aditivos incrementará el costo final del concreto, no existiendo justificación alguna para su uso. Esta creencia no tiene en cuenta, por supuesto, la economía de la mano de obra, la reducción en las horas de operación, una mayor vida útil de las estructuras y mejoras en las propiedades del concreto; evidentemente, el incremento de costo se verá bien justificada por los beneficios obtenidos (Tesillo, 2015).

Sin embargo, las ventajas, mejoras y atributos en el concreto que ofrecen, según catálogo, los fabricantes han sido refutados por diversos estudios realizados respecto al real efecto en las propiedades del concreto generadas por los aditivos. Así pues, resulta necesario conocer índices reales del aditivo en nuestro contexto: el Perú (Tesillo, 2015).

Además, los efectos del aditivo plastificante se verán afectados por el tipo de material (agregado fino y grueso) a usarse, es decir, según cantera de procedencia, por lo que, conocer la incidencia de la procedencia del material en las propiedades finales del concreto utilizando aditivo plastificante resultará de vital importancia. Así con la finalidad de llegar al sector construcción para aportar conocimiento en los procesos constructivos y las propiedades concreto se presenta la tesis titulada efectos del Plastiment® HE-98 en la resistencia a la compresión del concreto estructural – Trujillo 2018.

1.2. Trabajos previos

Según Montalván (2017), en su tesis “Propiedades del concreto de mediana a baja resistencia con aditivo plastificante y cal hidratada al 40%, 50% y 60%”; tuvo como finalidad estudiar los concretos de mediana y baja plasticidad con slump de 3 – 4”, utilizando Cemento Portland Tipo I, aditivo plastificante ULMEN y porcentajes de cal hidratada. Se determinó que la utilización de 1% de aditivo plastificante reduce hasta 11% la cantidad de agua necesaria; se incrementó el peso unitario de la mezcla hasta en un 0.76%; la resistencia a la compresión a los 28 días se incrementó en un 16.9%.

Según Tejada (2016), en su tesis “Influencia de la microsílíce y el aditivo superplastificante en el concreto de alta resistencia”, tuvo como objetivo relacionar los porcentajes de microsílíce, la cantidad de aditivo superplastificante, la relación agua cemento y la resistencia a la compresión a diversas edades de curado. Se utilizó cemento Sol tipo I; aditivo Superplastificante Sika® ViscoCrete® - 20 HE y PLASTOL 5000 en 1.6% y 2% del peso del cemento, respectivamente; microsílíce Sika® Fume y Microsílíce Z en 5, 7.5 y 10% del peso del cemento; se realizaron 9 grupos de diseño con relación agua/cemento de 0.25, 0.30 y 0.35; se ensayaron 1065 probetas a 7, 28, 56 y 91 días de edad; y se obtuvieron valores de resistencia a la compresión entre 557 – 919 kg/cm².

Según Garay y Quispe (2016), en su tesis “Estudio del concreto elaborado en los vaciados de techos de vivienda en Lima y evaluación de alternativa de mejora mediante el empleo de aditivo superplastificante (Reductor de agua de alto rango)”, tuvieron el objetivo de estudiar el comportamiento del concreto producido en la informalidad y modificarlo mediante la utilización de aditivos plastificantes. Se demostró la baja calidad de los concretos producidos en los conos de Lima; se logró reducir la cantidad de agua de 38.3 listo por bolsa de cemento a 31 litros sin afectar la trabajabilidad; se lograron Slump mayores a 8”; se incrementó la resistencia característica del concreto en 25%, obteniendo un promedio de 184 kg/cm².

Según Tesillo (2015), en su trabajo “Estudio de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido con cemento Pórtland tipo 1 y utilizando un aditivo plastificante”,

tuvo como finalidad analizar mediante ensayos en el laboratorio los efectos de adicionar aditivo plastificante y reductor de agua en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Se realizaron 12 diseños de mezcla con relaciones agua/cemento de 0.60, 0.65 y 0.70; sin aditivo, con 0.3%, 0.5% y 0.7% de aditivo; se redujo la cantidad de agua en 8%; se mejoró la trabajabilidad promedio en 11%, no se obtuvieron variaciones importantes en el peso unitario de la mezcla; se incrementó la resistencia a la compresión del concreto a los 7 días hasta en un 17%, a los 28 días hasta en un 10%.

Según Huincho (2015), en su investigación “Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento Portland tipo I”, tuvo como objetivo determinar las mejoras que produce en la resistencia a la compresión la utilización de aditivos superplastificantes, microsílíce y nanosílíce. Se desarrolló una muestra patrón cuya relación agua/cemento fue de 0.40; a la mezcla patrón se le adicionó 3% de aditivo superplastificante; 10, 15 y 20% de microsílíce; 1, 1.5 y 2% de nanosílíce; se logró obtener un concreto de 1423 kg/cm² de resistencia a la compresión a la edad de 90 días; la dosis óptima encontrada fue de 10% de microsílíce, 1% de nanosílíce; se redujo la cantidad de agua en más de 40%.

Según Nieto (2015), en su tesis “Análisis comparativo de concretos con aditivos reductores de agua: complementación utilizando el aditivo GLENIUM 3030 NS en concretos autonivelantes”, tuvo como finalidad realizar el análisis comparativo con los resultados de tesis anteriores y otros aditivos superplastificantes en la FIC-UNI. Se redujo el agua hasta en un 28.20%; se determinó la tendencia a aumentar el peso unitario del concreto fresco según se incrementa la dosis de aditivo; la resistencia a la compresión varía directamente proporcional a la relación de la dosis de aditivo.

Según Palomares (2015), en su trabajo “Estudio de las características del concreto utilizando aditivo reductor de agua de alto rango - superplastificante y cemento portland tipo I”, tuvo el objetivo de identificar factores de compatibilidad, dosis ideales y verificar el comportamiento del concreto con este tipo de aditivo. Se utilizó el aditivo EUCO-37; no se produjeron incrementos considerables en los pesos unitarios; se logró

la reducción de 13-24% de agua; un asentamiento promedio de 3 ½”; la resistencia a la compresión varía inversamente proporcional a la relación agua/cemento.

Jiménez (2015), en su investigación denominada “Efectos de la incorporación del aditivo superfluidificante sobre las propiedades del concreto utilizando el cemento portland tipo I”, tuvo la finalidad de encontrar las modificaciones que se producen en las propiedades del concreto cuando se emplean aditivos. Se determinó un incremento del asentamiento y fluidez conforme se aumentaba la cantidad de aditivo; el peso unitario de la mezcla se incrementó levemente; la resistencia a la compresión se incrementa cuando usó porcentajes de 0.50% a 0.75% de aditivo, sin embargo, disminuye cuando se usan porcentajes mayores a 0.75%.

Según Loayza (2015), en su trabajo titulado “Estudio de las propiedades del concreto y la variabilidad de su resistencia usando aditivo superplastificante y cemento portland tipo I”, donde tuvo el objetivo de analizar el comportamiento del concreto mediante ensayos de laboratorio en estado fresco y endurecido ante la adición de aditivos superplastificante Sika Visconcrete 3330. Se logró reducir la cantidad de agua en un 30% cuando se le agrego 2% de aditivo con un asentamiento de 3 a 4”; el peso unitario se incrementó en un 3% con respecto al concreto patrón; se incrementó la resistencia a la compresión en 22% y 33% a los 7 y 28 días, respectivamente.

Según Peredo (2015), en su tesis “Estudio del comportamiento del concreto con cemento portland tipo V y un aditivo retardador de fraguado y reductor de agua”, tuvo como base analizar las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido al emplear aditivo plastificante EUCON 537. Se logró una reducción de hasta 26.87% de agua con 1.40% de aditivo; se incrementaron los tiempos de fraguado inicial hasta en 275%; no se obtuvieron variaciones significativas en el peso unitario del concreto; la resistencia a la compresión se incrementó hasta en 206% a los 7 días de curado y hasta 143% a los 28 días de curado.

1.3. Teorías relacionadas al tema

El cemento Portland es el producto obtenido del Clinker Portland a través de su pulverización. Clinker Portland se les denomina a los productos compuestos por silicatos de calcio. El cemento tiene la característica de endurecer rápidamente y alcanzar resistencias altas. Los cementos Portland comunes están divididos en cinco tipos; el Tipo I puede ser utilizado cuando no se quiere tener un uso en especial, el tipo II se utiliza si se requiere una resistencia moderada a los sulfatos, el Tipo III es tomado en cuenta cuando se busca una resistencia inicial alta, el Tipo IV es usado para obtener un bajo calor de hidratación y, por último, el Tipo V es aquel cemento que tiene una alta resistencia a los sulfatos. (Niño, 2010)

Entre las propiedades de los cementos Portland tenemos a la finura, aquella que afecta la rapidez de la hidratación; la firmeza, cuando el cemento conserva su volumen luego del fraguado; el tiempo de fraguado, lapso de tiempo donde la mezcla está en estado plástico; el falso fraguado, la pérdida de plasticidad; el calor de hidratación, generado cuando el cemento y el agua reaccionan; el peso específico, relación entre peso del cemento y volumen; la superficie específica, relación entre área superficial de las partículas entre el peso del cemento; la consistencia normal, representa a la cantidad de agua óptima para conseguir un cemento con determinadas características; la expansión autoclave, es la variación volumétrica del cemento a una presión determinada; resistencia a la compresión, capacidad del cemento para resistir diferentes esfuerzos sin llegar a fallar. (Niño, 2010)

En la fabricación de cemento existe diferentes componentes químicos, tales como el silicato tricálcico, el cual determina la resistencia inicial del cemento y de alta influencia en el calor de hidratación; el silicato dicálcico, determina la resistencia a largo plazo y de menor influencia en el calor de hidratación; aluminato tricálcico, determina la resistencia del cemento contra los sulfatos; aluminato – ferrito – tetracálcico, alta influencia en la velocidad de hidratación; óxido de magnesio, evita la expansión de la pasta hidratada y endurecida; óxido de potasio y sodio, tiene influencia cuando existen reacciones químicas con algunos agregados; óxidos de manganeso, no tiene influencia en las propiedades del cemento, salvo en el color el cual se torna un

tono marrón si el contenido es mayor al 3%; el titanio, si el contenido es superior a 5% influye en la resistencia, caso contrario, no influye en las propiedades del cemento. (Niño, 2010)

Otros elementos importantes constitutivos de las mezclas del concreto son los agregados, los cuales se dividen en finos y gruesos. El agregado fino es aquel material que se encuentra pasando la malla 3/8" y retenido en la malla #200, las partículas del agregado fino deben estar limpias y libres de polvo, materia orgánica, álcalis, entre otras sustancias dañinas. Entre sus propiedades físicas se encuentra el análisis granulométrico, cuyo proceso es realizar el tamizado en una serie de mallas en las cuales se pesa el material retenido en cada malla y se determinan en porcentaje con respecto al peso total, los tamices utilizados para determinar los agregados finos son las mallas N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100, el material que supera la malla N° 200, son los denominados limos y arcillas, los cuales si se encuentran en cantidades elevadas pueden perjudicar al concreto; el módulo de finura representa el tamaño medio de las partículas del agregado, controla la uniformidad de los agregados; el peso específico, relación del peso del agregado y el peso de un volumen igual de agua; el porcentaje de absorción, propiedad de los agregados de almacenar agua en su interior, de suma importancia debido a que puede agregarle o quitarle agua a las mezclas; el contenido de humedad, es la cantidad de agua que tiene el agregado en su estado natural. Para determinar el peso unitario suelto, se llena un recipiente con el material fino, sin ejercer presión, luego se obtiene el peso y el volumen del recipiente para luego obtener el peso unitario suelto. El peso unitario compactado se realiza mediante un ensayo en el cual se utiliza un recipiente en tres capas, cada capa es compactada con 25 golpes de una varilla de 2 ft de longitud y de diámetro de 5/8", de esta manera teniendo el peso del agregado dentro del recipiente se tiene el peso unitario del agregado compactado. (Palomares, 2015)

El agregado grueso es aquel material retenido en el tamiz N° 4. Compuesto de grava natural o triturada, además debe tener partículas limpias con aspectos angulares, duras, compactas y libres de limos y arcillas, entre otras sustancias dañinas. Las propiedades físicas son las mismas que el agregado fino: el análisis granulométrico, los tamices que se utilizan para determinar la proporción de las partículas agregado grueso son 4", 3 1/2

“, 3”, 2 ½”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”. Este ensayo es muy importante para la estimación del agua de mezclado y contenido de aire, en función del asentamiento o slump y el tamaño máximo del agregado grueso como se observa en el Cuadro 1. (Palomares, 2015)

Cuadro 1 - Requerimientos aproximados de agua, según Slump y tamaño máximo de agregados

Slump (mm)	Agua en l/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados							
	3/8”	1/2”	3/4”	1”	1 1/2”	2”	3”	6”
Concretos sin aire incorporado								
30 – 50	205	200	185	180	160	155	145	125
80 – 100	225	215	200	195	175	170	160	140
150 - 180	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad aprox. de aire atrapado (%)	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

Fuente: Comité 211 del ACI

El módulo de finura representa el tamaño medio de las partículas del agregado, controla la uniformidad de los agregados; el tamaño máximo de las partículas se determina por el menor tamiz donde ha pasado el agregado, así como el tamaño máximo nominal que es la malla donde el agregado pasa 95 – 100 % ; el peso específico, relación de la masa a temperatura estable y la masa de un volumen de agua destilada libre de gas, porcentaje de absorción, se define como la cantidad de agua que absorbe el agregado luego de haber sido sumergido 24 horas en ésta, determinando un porcentaje respecto al peso inicial; el contenido de humedad, cantidad de agua que tiene el agregado en su estado natural. Para determinar el peso unitario suelto, se debe dejar caer el agregado grueso en un recipiente hasta llenarlo, obtener el peso y conforme al volumen del recipiente se obtiene el peso unitario suelto. Para el peso unitario compactado, al material vertido en el recipiente se tiene que compactar con una varilla de 2 ft de longitud y de diámetro de 5/8”, luego se obtiene el peso y el volumen de recipiente y tendremos el peso unitario compactado. (Palomares, 2015)

Los aditivos son los productos que se adicionan al cemento para lograr variar sus propiedades. Se comercializan en forma líquida, en pasta o en polvo. Existen diferencias causadas por la cual se toma la decisión de usar un aditivo como por ejemplo

para el concreto fresco utilizamos aditivos si se quiere obtener mayor trabajabilidad sin aumentar el agua, evitar los asentamiento de la mezcla, tener un tiempo de fraguado mayor o menor, retardar la velocidad de asentamiento o ayudar en el bombeo del concreto; para un concreto endurecido se utiliza aditivo para disminuir el desarrollo del calor de hidratación, intensificar las resistencias mecánicas, reducir la permeabilidad del agua, mayor adherencia entre concreto y acero, disminuir costos del concreto, mayor resistencia al impacto, mejorar la durabilidad del concreto, entre otras causas. (Tesillo, 2015)

Tenemos 7 tipos de aditivos (A-G), según ASTM C 494 los aditivos pueden ser de Tipo A, que sirven como reductor de agua; Tipo B, usado como retardante; Tipo C, usado como acelerante; Tipo D, es una combinación entre A y B, se utiliza como reductor de agua – retardante; Tipo E, es una combinación entre A y C, se utiliza como reductor de agua – acelerante; Tipo F, es un súper reductor de agua y, por último; Tipo G, combinación entre B y F, se utiliza como súper reductor de agua – retardante. Existen otros tipos de aditivos que se clasifican según el efecto que se requiera sobre el concreto, entre ellos tenemos a los aditivos acelerante, impermeables, inhibidores de corrosión, floculantes, colorantes, extractores e incorporadores de aire, productores de expansión, para inyecciones, reductores de agua (controladores de fraguado), funguicidas, germicidas e insecticidas, etc. (Tesillo, 2015)

Los aditivos plastificantes aumentan la trabajabilidad y reducen el agua en un 5 – 15 %. Se les conoce como dispersantes, debido a que dispersa las partículas del cemento del agua. Existen tres tipos de aditivos plastificantes clasificados por la norma ASTM 494-82, el Tipo A: reductores de agua, el Tipo D: reductores de agua y retardante de fraguado, el Tipo E: reductores de agua y aceleradores de fraguado. Las ventajas de estos tipos de aditivos son bastante satisfactorias debido a que mejora la trabajabilidad de las mezclas, lo cual disminuye el trabajo en la colocación y compactación, ahorrando tiempo y mano de obra; mejora la impermeabilidad; reducción de agua, lo cual ahorra el cemento e incrementa su resistencia; facilita el bombeo de las mezclas sin posibles atoros. (Tesillo, 2015)

Con la finalidad de poder variar las propiedades del concreto es que se usan los aditivos, los cuales, si se añaden en la preparación del concreto, pueden influenciar en su tiempo de fraguado, haciéndolos que endurezcan más rápido o más lento dependiendo del uso del aditivo. Existen algunas veces en la cual se decide no hacer uso del aditivo, debido a que se desconoce cuánto incrementa el costo total del concreto armado, por lo tanto, podemos deducir que el uso del aditivo reduce o aumenta el costo del concreto. Para saber si elegir o no un aditivo se debe hacer una comparación entre los costos y los beneficios que puede haber si los aditivos son utilizados. Si se quiere hacer una evaluación del costo del aditivo, éste debe estar basado sobre los resultados que se obtienen con el concreto particular. (Tesillo, 2015)

El Sika® Plastiment® HE-98 es un aditivo plastificante e impermeabilizante libre cloruros que afectan al acero de refuerzo. Incrementa la trabajabilidad del concreto y reduce la relación agua/cemento. Es un aditivo de uso universal recomendado para todo tipo de obras civiles sobretodo cuando se elaboren elementos esbeltos, cuando se necesite facilitar labores de colocación, etc. Este aditivo viene en presentación líquida, color pardo oscuro en paquetes de 4 envases PET por 4 litros y/o cilindro de 200 litros. Plastiment® HE-98 cumple con la norma ASTM C 494 tipo A y se recomienda usar entre 2.5 cm³ a 6 cm³ por kilogramo de cemento, es decir 0.30 a 0.70% por peso de cemento. (Sika, 2015)

El diseño de mezcla de concreto vendría a representar la aplicación de conocimiento científicos para lograr un productor que satisfaga los requerimientos del proyecto. Existen varios métodos de diseño de mezclas, los cuales brindan tablas de cantidad estimadas de agua según el tamaño máximo del agregado grueso (tabla 1), geometría del agregado o asentamiento, uno de los más utilizados es el denominado por el ACI como Volúmenes Absolutos, el cual se basa en optimizar los materiales (especialmente el cemento) para reducir el costo. Para lograr ese objetivo, se debe realizar una buena combinación entre los agregados, para obtener una mezcla con una cantidad mínima de cemento, pero con una máxima resistencia a la comprensión. (Tesillo, 2015)

Entre las características más importantes del concreto diseñado está el asentamiento o slump, este valor indica la trabajabilidad del concreto mientras mayor sea el concreto

es más trabajable y de fácil compactación. Además, un valor de slump elevado significa que el concreto puede acceder a zonas difíciles como entre las varillas de acero en una columna, evitando la aparición de cangrejas. El cuadro 2 recomienda valores de Slump según el elemento estructural a construir:

Cuadro 2 - Slump recomendado para los diferentes elementos estructurales

Asentamiento (mm)	Consistencia	Grado de trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
0 – 20	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia
20 – 35	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
35 – 50	Semiseca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Cimentaciones en concreto simple. Pavimento con vibradores normales.
50 – 100	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, cimentaciones y muros, con vibración.
100 – 150	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración.

Fuente: Niño (2010)

Otra característica importante de las mezclas de concreto es la resistencia a la compresión, la resistencia a la compresión está íntimamente ligada a la relación agua/cemento. Para mezclas de concreto con cemento Portland tipo 1 pueden tomarse los siguientes valores para la relación a/c:

Cuadro 3 - Relación a/c según la resistencia a la compresión requerida

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'cr) (kg/cm²)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61

150	0.80	0.71
-----	------	------

Fuente: Comité 211 del ACI

El cuadro 3 muestra los valores para la relación a/c en función de la resistencia a la compresión promedio (f'_{cr}) la misma que se obtiene con las siguientes expresiones según la norma ACI 318S-11, resumidas en el cuadro 4:

Cuadro 4 - Resistencia a la compresión promedio

$f'c$	$f'cr$
$< 210 \text{ kg/cm}^2$	$f'c + 70$
$210 - 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'c + 84$
$> 350 \text{ kg/cm}^2$	$f'c + 98$

Fuente: ACI 318S-11

1.4. Formulación del problema

¿Cuáles son los efectos del Plastiment® HE-98 en la resistencia a la compresión del concreto estructural – Trujillo 2018?

1.5. Justificación del estudio

La realización de este proyecto permitirá conocer los efectos del aditivo Plastiment ® HE-98 en el concreto estructural, con la finalidad de mejorar su trabajabilidad (Slump) sin afectar la relación a/c del diseño. Además de determinar la dosificación que nos permita obtener el mejor rango de costo-beneficio.

Es necesario también la generar investigación acerca de la aplicación uso y propiedades del aditivo Plastiment ® HE-98 y sus efectos en las propiedades del concreto. Además de contrastar los resultados obtenidos con las dosificaciones recomendadas por Sika, fabricantes del producto.

La elaboración y aplicación de las fichas técnicas elaboradas con la finalidad de utilizar el método científico en esta investigación, una vez demostrada su validez y confiabilidad podrán ser utilizados en posteriores trabajos de esta línea de investigación.

Finalmente, esta investigación se realiza por la necesidad de mejorar el conocimiento, calidad y optimizar los costos en la elaboración de diseños de mezcla de concreto con la utilización del aditivo Plastiment® HE-98, generando tablas de dosificación para las canteras “El Milagro” y “Cerro Chilco” que pueden ser utilizadas para investigaciones posteriores y construcción de obras civiles.

1.6. Hipótesis

La utilización del aditivo plastificante Plastiment® HE-98 aumenta la resistencia a la compresión disminuyendo la relación agua/cemento e incrementa el Slump mejorando la trabajabilidad del concreto.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Analizar los efectos del Plastiment® HE-98 en la resistencia a la compresión del concreto estructural – Trujillo 2018.

1.7.2. Objetivos específicos

- Realizar los ensayos de caracterización de los agregados de las canteras.
- Determinar la dosificación de cada componente del diseño de mezcla de un concreto normal y un concreto con aditivos.
- Determinar las características del concreto en estado fresco.
- Determinar las características del concreto en estado endurecido.
- Establecer la dosificación más adecuada para cada cantera garantizando un concreto con mejor trabajabilidad sin afectar la relación agua-cemento.

II. MÉTODO

2.1. Diseño de investigación

1° Cantera

El cuadro 5 muestra los grupos de investigación para la cantera El Milagro, teniendo en cuenta la variación de relación agua-cemento (X) y los porcentajes del aditivo Plastiment ® HE-98 en el concreto.

Cuadro 5 - Grupos de investigación para la cantera "El Milagro"

El Milagro		Porcentaje de aditivo Plastiment ® HE-98			
		Y ₁ = 0.0%	Y ₂ = 0.3%	Y ₃ = 0.5%	Y ₄ = 0.7%
Relación	X ₁ = 0.45	X ₁ Y ₁	X ₁ Y ₂	X ₁ Y ₃	X ₁ Y ₄
	X ₂ = 0.50	X ₂ Y ₁	X ₂ Y ₂	X ₂ Y ₃	X ₂ Y ₄
	X ₃ = 0.55	X ₃ Y ₁	X ₃ Y ₂	X ₃ Y ₃	X ₃ Y ₄
N° de grupos		3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia

2° Cantera

El cuadro 6 muestra los grupos de investigación para la cantera El Milagro, teniendo en cuenta la variación de relación agua-cemento (X) y los porcentajes del aditivo Plastiment ® HE-98 en el concreto.

Cuadro 6 - Grupo de investigación para la cantera "Cerro Chilco"

Cerro Chilco		Porcentaje de aditivo Plastiment ® HE-98			
		Y ₁ = 0.0%	Y ₂ = 0.3%	Y ₃ = 0.5%	Y ₄ = 0.7%
Relación	X ₁ = 0.45	X ₁ Y ₁	X ₁ Y ₂	X ₁ Y ₃	X ₁ Y ₄
	X ₂ = 0.50	X ₂ Y ₁	X ₂ Y ₂	X ₂ Y ₃	X ₂ Y ₄
	X ₃ = 0.55	X ₃ Y ₁	X ₃ Y ₂	X ₃ Y ₃	X ₃ Y ₄
N° de grupos		3	3	3	3

Fuente: Elaboración propia

El diseño de la investigación fue experimental pura de posttest con grupo de control, los grupos corresponden a las mezclas de concreto iguales cuyo estímulo es la

utilización del aditivo; además fue, transversal y explicativa, cuyo esquema fue el siguiente:

RGn : Mezcla de concreto utilizando las canteras El Milagro y Cerro Chilco.
On : Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

2.2. Variables y Operacionalización

2.2.1. Variable

2.2.1.1. Variable independiente

Aditivo plastificante empleado en la mezcla.

2.2.1.2. Variable controlada

Características de los agregados de las canteras El Milagro y Cerro Chilco.

2.2.1.3. Variable dependiente

Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

2.2.2. Operacionalización de variables

Cuadro 7 - Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Aditivo plastificante empleado en la mezcla	Plastiment® HE-98 es un aditivo de uso universal y su empleo es recomendable en todos los concretos de obras civiles, edificaciones, prefabricados y en general. (Sika, 2015)	Se usa los porcentajes sugeridos según las especificaciones técnicas del aditivo.	Aditivo	Porcentaje de aditivo (%)	Cuantitativa de razón
Características de los agregados de las canteras El Milagro y Cerro Chilco	Propiedades físicas tales como granulometría, peso específico, contenido de humedad y capacidad de absorción. (Palomares, 2015)	Granulometría (NTP 400.012), Peso específico (NTP 400.022), Capacidad de Absorción (NTP 400.022), Contenido de Humedad (ASTM C-566).	Agregado Fino	Peso específico (kg/m ³)	Cuantitativa de razón
				Contenido de humedad (%)	Cuantitativa de razón
				Capacidad de absorción (%)	Cuantitativa de razón
			Agregado Grueso	Peso específico (kg/m ³)	Cuantitativa de razón
				Contenido de humedad (%)	Cuantitativa de razón
				Capacidad de absorción (%)	Cuantitativa de razón
				Tamaño máximo nominal (")	Cuantitativa de razón
Propiedades del concreto en estado fresco y endurecido	Características físicas que determinan la calidad y uso del concreto. (Niño, 2010)	Consistencia (NTP 339.035), Fluidez (NTP 339.085), Peso unitario (NTP 339.046)	Estado Fresco	Asentamiento (mm)	Cuantitativa de razón
				Peso unitario (kg/m ³)	Cuantitativa de razón
				Reducción del agua (%)	Cuantitativa de intervalo
			Estado endurecido	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Cuantitativa de razón

2.3. Población y muestra

La población de esta investigación serán las mezclas de concreto de agregado grueso, agregado fino, cemento Pacasmayo Tipo I (Ver Anexo 02), agua y el aditivo plastificante Plastiment® HE-98 (Ver Anexo 03). Teniendo en cuenta la Norma Técnica Peruana NTP 339.034 considerando como muestra la elaboración, para cada de diseño, de 3 testigos para determinar la resistencia a compresión a los 28 días. Por lo tanto, se elaborarán 72 testigos de concreto como se puede observar en el siguiente cuadro:

Cuadro 8 - Resumen de los grupos control y grupos experimentales

Grupo	Relación a/c	Slump (mm)	Aditivo plastificante (%)	Cantera
RG1	0.45	50 - 100	-	El Milagro
RG2	0.50	50 - 100	-	El Milagro
RG3	0.55	50 - 100	-	El Milagro
RG4	0.45	50 - 100	0.3 %	El Milagro
RG5	0.45	50 - 100	0.5 %	El Milagro
RG6	0.45	50 - 100	0.7 %	El Milagro
RG7	0.50	50 - 100	0.3 %	El Milagro
RG8	0.50	50 - 100	0.5 %	El Milagro
RG9	0.50	50 - 100	0.7 %	El Milagro
RG10	0.55	50 - 100	0.3 %	El Milagro
RG11	0.55	50 - 100	0.5 %	El Milagro
RG12	0.55	50 - 100	0.7 %	El Milagro
RG13	0.45	50 - 100	-	Cerro Chilco
RG14	0.50	50 - 100	-	Cerro Chilco
RG15	0.55	50 - 100	-	Cerro Chilco
RG16	0.45	50 - 100	0.3 %	Cerro Chilco
RG17	0.45	50 - 100	0.5 %	Cerro Chilco
RG18	0.45	50 - 100	0.7 %	Cerro Chilco
RG19	0.50	50 - 100	0.3 %	Cerro Chilco
RG20	0.50	50 - 100	0.5 %	Cerro Chilco
RG21	0.50	50 - 100	0.7 %	Cerro Chilco
RG22	0.55	50 - 100	0.3 %	Cerro Chilco
RG23	0.55	50 - 100	0.5 %	Cerro Chilco
RG24	0.55	50 - 100	0.7 %	Cerro Chilco

La relación a/c 0.45, 0.50 y 0.55 fueron seleccionados del cuadro 3, en función a la resistencia promedio de 294 ($f_c=210$ kg/cm²) y 364 ($f_c=280$ kg/cm²). El slump de 50 -100 mm es recomendable para la construcción de losas, columnas, vigas y cimentaciones medianamente reforzadas (cuadro 2). Los porcentajes de aditivos

plastificantes 0.3, 0.5 y 0.7% son recomendados por el fabricante para el Sika ® Plastiment ® HE-98.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

2.4.1. Técnicas

La técnica que se utilizará será la observación experimental.

2.4.2. Instrumentos

Como instrumento de recolección de datos se utilizará la ficha de registro (Anexo 1).

2.5. Métodos de análisis de datos

La elaboración de las probetas se realizará en los laboratorios del Centro de Innovación Tecnológica de la Universidad César Vallejo, donde también se realizarán los ensayos de concreto en estado fresco y en estado endurecido para determinar la resistencia a la compresión mediante la rotura de los testigos. Con los datos registrados en las fichas se generará un base de datos, tablas y cuadros que nos ayudarán a comprender la incidencia de los aditivos plastificantes en el comportamiento del concreto. Además, analizaremos las diferencias de medias entre las muestras utilizando análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente la prueba de post hoc Tukey, para comparaciones múltiples.

2.6. Aspectos éticos

El investigador se compromete a realizar el siguiente proyecto haciendo uso de datos reales, sin perjudicar al medio ambiente y fomentando el desarrollo sostenible de país. Del mismo modo, el investigador contará con los permisos de la Universidad César Vallejo para el uso de sus laboratorios.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de agregados

3.1.1. Canteras

Los materiales utilizados en el proyecto proceden de las canteras “El Milagro” y “Cerro Chilco”.

La cantera “El Milagro” está ubicada en el Km 586 de la Panamericana Norte. El material está compuesto de depósitos aluviales de gravas y arenas redondeadas color marrón claro. Además, tiene bajo contenido de humedad.

La cantera “Cerro Chilco” se ubica en el Km 630 de la Panamericana Norte. Esta cantera contiene materiales gravosos redondeados y arenas mal graduadas. Son de color beige claro y contenido de humedad bajo.

3.1.2. Agregado fino

3.1.2.1. Definición

Proviene de la pulverización natural y/o artificial de rocas, los agregados finos pasan por la malla o tamiz 3/8” y queda retenido en el tamiz N° 200 (NTP 400.011). Es importante que esté libre de polvo, materia orgánica, pizarras u otras sustancias dañinas.

3.1.2.2. Ensayos realizados

Para establecer características mínimas de calidad y determinar características necesarias para el diseño de mezclas, se realizaron los siguientes ensayos de laboratorio:

3.1.2.2.1. Granulometría (NTP 400.012)

Es el valor de la distribución de los tamaños de las partículas, tiene un efecto en el consumo de agua para el diseño de mezcla. Además, influye en la trabajabilidad y acabado del concreto en estado fresco.

A. Procedimiento

- El material procedente de las canteras se removió con un badilejo en una bandeja, garantizando su homogeneidad. Posteriormente se pesaron 900 gr.
- Se revisó y limpió los tamices ordenándolos de la siguiente manera: N°4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y el plato; para el agregado fino.
- Luego se procedió a realizar el tamizado mecánico manual durante 3 minutos. Posteriormente se anotaron los pesos retenidos por cada tamiz y se calcularon los porcentajes que estos representan del total.
- Se considera que el trabajo es aceptable si y solo si el error por las sumas de los pesos es menor a 1%.

Cuadro 9 . Resultados de los ensayos granulométricos para el agregado fino de la cantera El Milagro

GRANULOMETRIA AGREGADO FINO "EL MILAGRO"							
TAMICES	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	LIM. SUPERIOR NTP 400.037	LIM. INFERIOR NTP 400.037
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.700	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.525	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
4	4.178	5.7	0.6	0.6	99.4	100.0	95.0
8	2.360	206.3	22.9	23.6	76.5	100.0	75.0
16	1.180	204.7	22.7	46.3	53.7	85.0	50.0
30	0.600	147.7	16.4	62.7	37.3	60.0	25.0
50	0.300	140.3	15.6	78.3	21.7	30.0	10.0
100	0.150	117.8	13.1	91.4	8.6	10.0	2.0
PLATO		77.7	8.6	100.0	0.0	5.0	0.0
TOTAL		900.0					

Figura 1. Curva granulométrica para el agregado fino cantera El Milagro

3.1.2.2.2. **Peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017)**

También conocido como peso aparente, es la relación o cociente entre el peso por volumen. Este peso aumenta directamente proporcional al grado de compactación y contenido de humedad. Esta medida se ve afectada en función del tamaño y forma del agregado.

$$\text{Peso unitario (kg/m}^3\text{)} = \frac{W}{V}$$

A. Peso unitario suelto (kg/m³): se produce el llenado del frasco de volumen estándar en una sola tanda y sin ninguna presión o varillado.

a. Procedimiento

- Se pesó y se midió el volumen de un tarro, se determinó que el peso fue de 2.75 kg y el volumen de 3 litros o 0.003 m³.
- Se llenó el tarro hasta el borde arrojando el agregado desde una altura no mayor a 5 cm.
- Finalmente se pesó el tarro lleno y se procedió a los cálculos correspondientes.

Cuadro 10 . Resultados del ensayo PUS para agregado fino de la cantera "El Milagro"

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO FINO "EL MILAGRO"				
DESCRIPCION	ENSAYOS			PROMEDIO
	I	II	III	
PESO MUESTRA + TARRO	8.02	7.75	7.72	7.83
PESO TARRO	2.75	2.75	2.75	2.75
PESO MUESTRA	5.27	5.00	4.96	5.08
VOLUMEN TARRO	0.003	0.003	0.003	0.003
PU SUELTO				1691.7

B. Peso unitario compactado: se realiza el llenado del frasco de volumen estándar en tres tandas y se ejerce presión.

a. Procedimiento

- Se utilizó el mismo tarro del ensayo PUS, el cual fue pesado y determinado el volumen.
- Esta vez se llenó el tarro en tres partes, cada una de las cuales fueron compactados con una barra compactadora y 25 golpes uniformes.
- Finalmente se pesó el tarro lleno y se procedió a los cálculos correspondientes.

Cuadro 11 . Resultados del ensayo de PUC para agregado fino de la cantera "El Milagro"

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO FINO "EL MILAGRO"				
DESCRIPCION	ENSAYOS			PROMEDIO
	I	II	III	
PESO MUESTRA + TARRO	8.68	8.43	8.48	8.53
PESO TARRO	2.75	2.75	2.75	2.75
PESO MUESTRA	5.93	5.67	5.73	5.78
VOLUMEN TARRO	0.003	0.003	0.003	0.003
PU COMPACTADO				1925.4

3.1.2.2.3. Peso específico (NTP 400.022)

Este ensayo determina la calidad del agregado, siendo los valores considerados materiales buenos y mientras más bajos son los valores se consideran materiales absorbentes y débiles. El peso específico es la relación entre el volumen únicamente de sólidos (sin vacíos) y el peso de estos. El peso específico es importante para el diseño de mezclas y calcular los volúmenes absolutos de material.

$$Peso\ específico\ (g/cm^3) = \frac{A}{(V - W)}$$

A. Procedimiento

- Se separó de manera homogénea con el badilejo un kilogramo de material y se coloca en un tarro.
- Luego se procedió a saturar el material durante un día. Pasado este tiempo el material se extendió sobre una superficie plana removiendo para garantizar el secado de la muestra hasta que las partículas no se peguen entre sí.
- Posteriormente, para determinar que la muestra se encuentra superficialmente seca, ésta se introduce en un cono que es golpeado levemente 25 veces con una barra metálica. Si al levantar el cono el material permanece uniforme, es que aún está muy húmedo; pero si al levantar el cono se desmorona, el material se encuentra saturado superficialmente seco.
- En una probeta de 500 ml (tarro graduado resistente al calor), la cual fue pesada se introducen 250 ml de agua y 500 gr del material saturado superficialmente seco.
- El tarro con el material y agua hasta el borde fue pesado y secado al horno, para luego proceder a los cálculos correspondientes.

3.1.2.2.4. Porcentaje de absorción (NTP 400.022)

Es la relación entre el peso del material saturado con la superficie seca menos el peso del material seco y el peso del material seco.

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{(W_{sat} - W_{seco})}{W_{seco}}$$

A. Procedimiento

- Se realizan los cálculos con los datos del ensayo de peso específico, tomando el valor W_{sat} los 500 gr de material introducidos a la probeta; e el valor de W_{seco} el peso de la arena secada al horno.

Cuadro 12 . Resultados del ensayo de peso específico y % absorción para agregado fino cantera "El Milagro"

PESO ESPECIFICO Y % ABSORCIÓN AGREGADO FINO "EL MILAGRO"				
DESCRIPCION	ENSAYOS			PROMEDIO
	I	II	III	
PESO ARENAS SSS + TARRO + AGUA	962.0	956.8	957.8	958.9
PESO DEL AGUA	311.9	309.3	309.0	310.1
PESO DE ARENA SECADA AL HORNO + TARRO	650.1	647.5	648.8	648.8
PESO DEL TARRO	155	155	155	155
PESO DE ARENA SECADA AL HORNO	495.1	492.5	493.8	493.8
VOLUMEN DEL TARRO	500.0	500.0	500.0	500.0
PESO ESPECIFICO DE LA MASA				2.600
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN				1.25

3.1.2.2.5. Contenido de humedad (ASTM C-566)

Es el porcentaje de agua que contiene el agregado en estado natural, esta propiedad es importante porque afecta a la cantidad de agua de la mezcla.

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \frac{W_{agua}}{W_{as}}$$

A. Procedimiento

- Se tomó 500 gr del agregado y se colocó en un tarro pesado con anterioridad. El material se llevó al horno de secado por 24 horas.
- Posteriormente se pesó el tarro con el material seco y se hicieron los cálculos.

Cuadro 13 . Resultados del ensayo de contenido de humedad para agregado fino de la cantera "El Milagro"

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO "EL MILAGRO"				
DESCRIPCION	ENSAYOS			PROMEDIO
	I	II	III	
PESO MATERIAL	500.0	500.0	500.0	500.0
PESO MATERIAL SECO AL HORNO	496.5	493.4	493.9	494.6
PESO DEL AGUA CONTENIDO	3.5	6.6	6.1	5.4
CONTENIDO DE HUMEDAD				1.08

3.1.2.3. Resumen de resultados

Cuadro 14 . Características de los agregados finos

Resumen de resultados de los ensayos en los agregados finos		
Ensayos	Cantera "El Milagro"	Cantera "Cerro Chilco"
Peso unitario suelto	1691.7	1698.4
Peso unitario compactado	1925.4	1932.6
Peso específico	2600	2580
Porcentaje de absorción	1.25	1.22
Contenido de humedad	1.08	1.11

3.1.3. Agregado grueso

3.1.3.1. Definición

Se denomina agregado grueso al material que proviene de desintegración natural o trituración de roca que queda retenido en la malla N° 4. Es importante de igual manera que este material esté libre de polvo y otras sustancias dañinas.

3.1.3.2. Ensayos realizados

3.1.3.2.1. Granulometría

A. Procedimiento

- Se realizó de manera similar al agregado fino.
- En este caso se utilizaron 5 kilos de material y los tamices de 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8 y el plato.

Cuadro 15 . Resultados del ensayo granulométrico para el agregado grueso de la cantera El Milagro

GRANULOMETRIA AGREGADO GRUESO "EL MILAGRO"							
TAMICES	ABERTURA	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	LIM. SUPERIOR NTP 400.037	LIM. INFERIOR NTP 400.037
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	95.0
3/4"	19.050	685.5	13.7	13.7	86.3	100.0	70.0
1/2"	12.700	1853.7	37.1	50.8	49.2	70.0	35.0
3/8"	9.525	1045.9	20.9	71.7	28.3	50.0	15.0
4	4.178	946.5	18.9	90.6	9.4	10.0	0.0
8	2.360	445.5	8.9	99.5	0.5		
16	1.180	0.0	0.0	99.5	0.5		
30	0.600	0.0	0.0	99.5	0.5		
50	0.300	0.0	0.0	99.5	0.5		
100	0.150	0.0	0.0	99.5	0.5		
PLATO		22.9	0.5	100.0	0.0		
TOTAL		5000.0					

Figura 2. Curva granulométrica para el agregado grueso cantera El Milagro

3.1.3.2.2. Tamaño o diámetro máximo

Se considera el diámetro del tamiz inmediato superior al que retiene el 15% del material acumulado.

A. Procedimiento

- El valor en el caso del agregado grueso de la cantera "El Milagro" el 15% del material retenido acumulado se ubica entre los diámetros 3/4" y 1/2", el inmediato superior es 3/4".

3.1.3.2.3. Peso unitario suelto y compactado

A. Procedimiento

- Se realizaron de manera similar al agregado fino.
- En este caso se utilizó un tarro metálico que pesa 12.05 kg y tiene un volumen de 15 litros o 0.015 m³.

Cuadro 16. Resultados del ensayo de PUS para agregado grueso de la cantera "El Milagro"

PESO UNITARIO SUELTO AGREGADO GRUESO "EL MILAGRO"				
DESCRIPCION	ENSAYOS			PROMEDIO
	I	II	III	
PESO MUESTRA + TARRO	33.45	32.60	32.74	32.93
PESO TARRO	12.05	12.05	12.05	12.05
PESO MUESTRA	21.40	20.55	20.69	20.88
VOLUMEN TARRO	0.015	0.015	0.015	0.015
PU SUELTO				1391.7

Cuadro 17 . Resultados del ensayo de PUC para agregado grueso de la cantera "El Milagro"

PESO UNITARIO COMPACTADO AGREGADO GRUESO "EL MILAGRO"				
DESCRIPCION	ENSAYOS			PROMEDIO
	I	II	III	
PESO MUESTRA + TARRO	34.30	35.87	34.85	35.01
PESO TARRO	12.05	12.05	12.05	12.05
PESO MUESTRA	22.25	23.82	22.80	22.96
VOLUMEN TARRO	0.015	0.015	0.015	0.015
PU COMPACTADO				1530.4

3.1.3.2.4. Peso específico

A. Procedimiento

- Se seleccionan 5000 gramos de material lavado retenido en la malla N° 4 y fue puesto a saturar durante 24 horas.
- Posteriormente se colocó la muestra sobre una franela para secar las superficies que contengan agua visible. Se pesará la muestra para obtener el peso de la muestra saturada con superficie seca.
- Luego la muestra es colocada en una canastilla metálica y se obtiene su peso sumergida en agua.
- Esta muestra es secada en el horno durante 24 horas y pesada, para proceder con los cálculos correspondientes.

3.1.3.2.5. Porcentaje de absorción

A. Procedimiento

- Se realizaron de manera similar al agregado fino.

Cuadro 18 . Resultados del ensayo de peso específico y % absorción para agregado grueso cantera "El Milagro"

PESO ESPECIFICO AGREGADO GRUESO "EL MILAGRO"				
DESCRIPCION	ENSAYOS			PROMEDIO
	I	II	III	
PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	5003	4993	5005	5000
PESO DE LA CANASTILLA	1900	1900	1900	1900
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA + CANASTILLA	5096	5122	5111	5110
PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO	4993	4965	4978	4978
PESO DE LA MUESTRA SATURADA DENTRO DEL AGUA	3196	3222	3211	3210
PESO ESPECIFICO DE LA MASA				2.780
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN				0.440

3.1.3.2.6. Contenido de humedad

A. Procedimiento

- Se realizaron de manera similar al agregado fino.

Cuadro 19 . Resultados del ensayo de contenido de humedad para agregado grueso de la cantera "El Milagro"

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO "EL MILAGRO"				
DESCRIPCION	ENSAYOS			PROMEDIO
	I	II	III	
PESO MATERIAL	1000.0	1000.0	1000.0	1000.0
PESO MATERIAL SECO AL HORNO	997.4	995.3	997.7	996.8
PESO DEL AGUA CONTENIDO	2.6	4.7	2.3	3.2
CONTENIDO DE HUMEDAD				0.32

3.1.3.3. Resumen de resultados

Cuadro 20 . Características de los agregados gruesos

Resumen de resultados de los ensayos en los agregados gruesos		
Ensayos	Cantera "El Milagro"	Cantera "Cerro Chilco"
Peso unitario suelto	1391.7	1399.4
Peso unitario compactado	1530.4	1537.8
Peso específico	2780	2800
Porcentaje de absorción	0.44	0.45
Contenido de humedad	0.32	0.31
Tamaño máximo	3/4"	1"

3.2. Diseño de mezclas

3.2.1. Generalidades

Se refiere a la aplicación técnica y práctica de los conocimientos y saberes científicos empleados en los componentes, con la finalidad de obtener un producto eficiente que cumpla con los requerimientos del proyecto a realizar. Se diseñaron mezclas de concreto normal y con aditivo a relaciones a/c 0.45, 0.50 y 0.55 para lograr resistencias mayores a 210 kg/cm² y 280 kg/cm².

3.2.2. Método de diseño

El método a realizar será el de Volúmenes Absolutos, dado por el Comité 211 del ACI. Este método trata de optimizar el cemento de tal manera que la mezcla que se quiere diseñar sea de menor costo. Se basa en el cemento, debido a que es el producto más costoso.

La combinación de agregados debe ser realizada de forma eficiente, con el objetivo de tener una dosificación con la menor cantidad de cemento y/o máxima resistencia a la compresión del concreto en su estado endurecido.

3.2.3. Procedimiento de diseño

Para el procedimiento del diseño se utilizarán tres relaciones de agua/cemento, las cuales son: 0.45, 0.50 y 0.55. Se realizará un diseño de mezcla para concreto normal y luego el respectivo diseño de mezcla para concreto con aditivo; para cada relación de agua dada. En todos los casos se busca se busca diseños de asentamiento de 50 a 100 milímetros.

3.2.4. Diseño de mezcla para concreto normal

3.2.4.1. Características de los agregados

Fueron obtenidos de los ensayos realizados a los agregados finos y gruesos de cada cantera. A continuación, se muestra el cuadro correspondiente a la cantera "El Milagro".

Cuadro 21 . Resumen de la caracterización de materiales de la cantera "El Milagro"

	Agregado fino	Agregado grueso
Peso específico	2600	2780
Peso unitario suelto	1691.7	1391.7
Peso unitario compactado	1925.4	1530.4
% contenido de humedad	1.08	0.32
% de absorción	1.25	0.44
Tamaño máximo		3/4"

3.2.4.2. Determinación de la resistencia requerida

La investigación requirió resistencia de 210 y 280 Kg/cm², resistencias más comunes en la construcción de elementos estructurales.

3.2.4.3. Determinación de la resistencia promedio

La resistencia promedio permite diseñar un concreto con cierto margen de seguridad. La resistencia promedio lo obtuvimos con la siguiente fórmula del ACI (Cuadro 4):

$$f'_{cr} = f'_{c} + 84$$

$$f'_{cr_1} = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_{cr_2} = 280 + 84 = 364 \text{ kg/cm}^2$$

3.2.4.4. Tamaño máximo nominal (TMN)

Como se observa en Cuadro 21, para el agregado grueso de la cantera “El Milagro” es:

$$TMN = 3/4''$$

3.2.4.5. Determinación del asentamiento (Slump)

El Slump fue elegido en función del Cuadro 2, para los elementos estructurales siguientes: Columnas, vigas, cimentaciones, muros, losas medianamente reforzadas y pavimentos. Los cuales requieren una consistencia media y trabajabilidad media. Por lo tanto, el Slump elegido es de 50 a 100 mm o 2” a 4”.

3.2.4.6. Determinación del volumen de agua para el diseño

Escogido el Slump y determinado el TMN de nuestro agregado, utilizamos el Cuadro 1 (ACI) para la determinación del volumen de agua; no obstante, el Cuadro 1 no contiene Slump de 50 a 100 por ello se utilizó el Slump de 80 a 100. Determinándose para el caso que el volumen de agua es de 200 litros.

3.2.4.7. Determinación del contenido de aire

De modo similar al punto 3.2.4.6. del mismo Cuadro 1 se obtuvo el porcentaje de aire equivalente al 2%.

Cuadro 22 - Cantidad de agua requerida

Cálculo del volumen de agua requerido	
Tamaño máximo	3/4''
Slump	50-100 mm
Agua	200 L
% de aire	2 %

3.2.4.8. Determinación de la relación agua/cemento

El Cuadro 3 muestra la lista del ACI de relaciones a/c para diferentes resistencias promedio a los 28 días de curado. Las resistencias promedio del cuadro 3 no coinciden exactamente con las requeridas por el proyecto, por lo tanto se interpolaron los resultados para obtener las relaciones:

$$a/c_1 = \frac{(294 - 250)}{(300 - 250)} * (0.55 - 0.62) + 0.62 = 0.558$$

$$a/c_2 = \frac{(364 - 350)}{(400 - 350)} * (0.43 - 0.48) + 0.48 = 0.466$$

Por lo tanto y para facilitar los cálculos se utilizaron relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 las mismas que abarcan las relaciones necesarias.

3.2.4.9. Determinación de la cantidad de cemento requerido

Una vez obtenida la cantidad de agua requerida (200 litros) según el Slump que queremos determinar, procedemos a calcular la cantidad de cemento requerido teniendo en cuenta la relación a/c adoptada:

$$CC = \frac{200}{0.45} = 444.4$$

Cuadro 23 - Contenido de cemento según a/c

Cálculo del contenido de cemento		
a/c	Agua (l)	Cemento (kg)
0.45	200	444.4
0.50	200	400.0
0.55	200	363.6

3.2.4.10. Determinación de volumen absoluto de mezcla

Se determinó que la cantidad de cemento necesario para una relación a/c de 0.45 fue de 444.4 kg/m³. Con este dato se pudo obtener el peso seco de agregados, hallando en primer lugar el volumen absoluto de la mezcla. De manera similar se realizaron los procedimientos para las relaciones a/c de 0.50 y 0.55.

$$VA_{cemento} = \frac{444.4}{3140} = 0.142$$

$$VA_{agua} = \frac{200}{1000} = 0.200$$

$$VA_{agregados} = 1 - 0.142 - 0.200 - 0.020 = 0.638$$

Cuadro 24 - Volumen absoluto de los componentes de la mezcla

Volumen absoluto (m ³)			
	0.45	0.50	0.55
Cemento	0.142	0.127	0.116
Agua	0.200	0.200	0.200
% Aire	0.020	0.020	0.020
Agregados	0.638	0.653	0.664

El volumen absoluto se halla dividiendo la cantidad de agua o cemento entre el peso de los mismos por metro cúbico. El peso del agua pura es de 1000 kg/m³, mientras que el del cemento usado es de 3140 kg/m³ según las especificaciones del fabricante. El volumen de agregados se determinó en función del tamaño máximo de los agregados (2%). Finalmente, el volumen de los agregados resulta de la diferencia a la unidad. La relación de los agregados fino y grueso es igual a 1 y su peso seco se determinó multiplicando su volumen por el peso específico de cada uno.

$$W_{AF} = 0.319 * 2600 = 829.99$$

$$W_{AG} = 0.319 * 2780 = 887.46$$

Cuadro 25 - Cantidad de agregado fino y grueso en la mezcla

Pesos secos de agregados (kg)		
A. fino	0.319	829.99
A. grueso	0.319	887.46

3.2.4.11. Corrección de la cantidad de agua y agregados

La cantidad de agua y agregados tiene que ser corregida en función del contenido de agua y porcentaje de absorción de los mismos. Una corrección negativa significa que el agregado necesitará más agua y una corrección positiva significa que necesitará menos agua.

$$C = W * \left(\frac{\%CH - \%Ab}{100} \right)$$

$$CA = 829.99 * \left(\frac{1.08 - 1.25}{100} \right) = -1.41$$

$$CP = 887.46 * \left(\frac{0.32 - 0.44}{100} \right) = -1.06$$

$$CT = -1.41 - 1.06 = -2.48$$

$$W_{agua-correctada} = W_{agua} - CT = 200 - (-2.48) = 202.48$$

$$W_{agregado-correctado} = W_{agregado} * \left(1 + \% \frac{Ab}{100} \right)$$

$$W_{AF} = 829.99 * \left(1 + \frac{1.25}{100} \right) = 840.37 \text{ kg}$$

$$W_{AG} = 887.46 * \left(1 + \frac{0.44}{100} \right) = 891.36 \text{ kg}$$

Cuadro 26 - Corrección de agua por agregado fino y grueso

Corrección de agua (A. fino)	
Peso seco	829.99
% CH	1.08
% Ab	1.25
CA	-1.41

Corrección de agua (A. grueso)	
Peso seco	887.46
% CH	0.32
% Ab	0.44
CP	-1.06

Corrección de agua (Total)	
CA	-1.41
CP	-1.06
CT	-2.48

Corrección de los pesos	
Agua	202.48
Cemento	444.44
A. Fino	840.37
A. Grueso	891.36

Finalmente se obtienen los diseños unitarios para la obra, dividiendo los pesos corregidos entre el peso del concreto.

Cuadro 27 - Diseño unitario de los elementos en obra

Diseño unitario en obra	
Cemento	1.000
Agua	0.456
Arena	1.891
Piedra	2.006
Suma	5.352

Los resúmenes de resultados de todos los diseños realizados se muestran en los siguientes cuadros:

Cuadro 28 . Resultados de diseño de mezcla para cantera "El Milagro"

Diseño de mezclas de concreto normal cantera "El Milagro"							
Mezcla de prueba	Material	Dosificación por m ³ de concreto			Tanda de prueba		
		Pesos kg/m ³		Volumen m ³	Proporción húmeda		Tanda de 50 kg
		Seco	Húmedo				
a/c= 0.45 a= 200	Cemento	444	444	0.142	Cemento	1.00	9.34
	Agua	200	202	0.200	Agua	0.46	4.26
	Arena	830	840	0.319	Arena	1.89	17.66
	Piedra	887	891	0.319	Piedra	2.01	18.74
	% Aire			0.020	Suma	5.35	50.00
	Suma	2362	2379	1.000	Asentamiento=		81.75
a/c= 0.5 a= 200	Cemento	400	400	0.127	Cemento	1.00	9.34
	Agua	200	203	0.200	Agua	0.51	4.73
	Arena	848	859	0.326	Arena	2.15	20.06
	Piedra	907	911	0.326	Piedra	2.28	21.28
	% Aire			0.020	Suma	5.93	55.42
	Suma	2356	2373	1.000	Asentamiento=		82.00
a/c= 0.55 a= 200	Cemento	364	364	0.116	Cemento	1.00	9.34
	Agua	200	203	0.200	Agua	0.56	5.20
	Arena	863	874	0.332	Arena	2.40	22.46
	Piedra	923	927	0.332	Piedra	2.55	23.82
	% Aire			0.020	Suma	6.51	60.83
	Suma	2350	2368	1.000	Asentamiento=		82.50

Cuadro 29 - Resultados de diseño de mezcla para cantera "Cerro Chilco"

Diseño de mezclas de concreto normal cantera "Cerro Chilco"							
Mezcla de prueba	Material	Dosificación por m ³ de concreto			Tanda de prueba		
		Pesos kg/m ³		Volumen m ³	Proporción húmeda		Tanda de 50 kg
		Seco	Húmedo				
a/c= 0.45 a= 195	Cemento	433	433	0.138	Cemento	1.00	9.03
	Agua	195	197	0.195	Agua	0.46	4.11
	Arena	841	851	0.326	Arena	1.96	17.75
	Piedra	913	917	0.326	Piedra	2.12	19.11
	% Aire			0.015	Suma	5.54	50.00
	Suma	2382	2399	1.000	Asentamiento=		80.25
a/c= 0.5 a= 195	Cemento	390	390	0.124	Cemento	1.00	9.03
	Agua	195	197	0.195	Agua	0.51	4.57
	Arena	859	869	0.333	Arena	2.23	20.13
	Piedra	932	936	0.333	Piedra	2.40	21.68
	% Aire			0.015	Suma	6.14	55.42
	Suma	2376	2393	1.000	Asentamiento=		80.75
a/c= 0.55 a= 195	Cemento	355	355	0.113	Cemento	1.00	9.03
	Agua	195	197	0.195	Agua	0.56	5.03
	Arena	873	884	0.339	Arena	2.49	22.52
	Piedra	948	952	0.339	Piedra	2.69	24.26
	% Aire			0.015	Suma	6.74	60.84
	Suma	2371	2388	1.000	Asentamiento=		81.00

3.2.5. Diseño de mezcla para concreto con aditivo

El procedimiento para diseñar la mezcla con aditivos es similar al diseño de concreto normal. No obstante, el agua necesaria debe reducirse hasta lograr el Slump requerido (50 – 100 mm). A continuación, se muestran los resultados:

Cuadro 30 . Resultados del diseño de mezcla con 0.3% de aditivo cantera "El Milagro"

Diseño de mezclas de concreto con aditivo (0.30%)							
Mezcla de prueba	Material	Dosificación por m ³ de concreto			Tanda de prueba		
		Pesos kg/m ³		Volumen m ³	Proporción húmeda		Tanda de 50 kg
		Seco	Húmedo				
a/c= 0.45	Cemento	444	444	0.142	Cemento	1.00	9.35
a= 200	Agua	197	199	0.197	Agua	0.45	4.20
%ad= 0.30	Arena	830	840	0.321	Arena	1.89	17.69
peso= 1.33	Piedra	887	891	0.321	Piedra	2.01	18.76
%red= 2.06	% Aire			0.020	Suma	5.35	50.00
red= 4	Suma	2359	2376	1.000	Asentamiento=		83.75
a/c= 0.50	Cemento	400	400	0.127	Cemento	1.00	8.45
a= 200	Agua	195	197	0.195	Agua	0.49	4.17
%ad= 0.30	Arena	848	859	0.329	Arena	2.15	18.14
peso= 1.20	Piedra	907	911	0.329	Piedra	2.28	19.24
%red= 3.08	% Aire			0.020	Suma	5.92	50.00
red= 6	Suma	2350	2368	1.000	Asentamiento=		83.50
a/c= 0.55	Cemento	364	364	0.116	Cemento	1.00	7.70
a= 200	Agua	193	196	0.193	Agua	0.54	4.14
%ad= 0.30	Arena	866	874	0.336	Arena	2.40	18.52
peso= 1.09	Piedra	923	927	0.336	Piedra	2.55	19.64
%red= 3.91	% Aire			0.020	Suma	6.49	50.00
red= 8	Suma	2343	2361	1.000	Asentamiento=		83.50

Cuadro 31 . Resultados del diseño de mezcla con 0.5% de aditivo cantera "El Milagro"

Diseño de mezclas de concreto con aditivo (0.50%)							
Mezcla de prueba	Material	Dosificación por m ³ de concreto			Tanda de prueba		
		Pesos kg/m ³		Volumen m ³	Proporción húmeda		Tanda de 50 kg
		Seco	Húmedo				
a/c= 0.45	Cemento	444	444	0.142	Cemento	1.00	9.36
a= 200	Agua	196	199	0.196	Agua	0.45	4.19
%ad= 0.50	Arena	830	840	0.321	Arena	1.89	17.69
peso= 2.22	Piedra	887	891	0.321	Piedra	2.01	18.77
%red= 2.79	% Aire			0.020	Suma	5.34	50.00
red= 6	Suma	2358	2375	1.000	Asentamiento=		85.50
a/c= 0.50	Cemento	400	400	0.127	Cemento	1.00	8.45
a= 200	Agua	194	197	0.194	Agua	0.49	4.16
%ad= 0.50	Arena	848	859	0.329	Arena	2.15	18.15
peso= 2.00	Piedra	907	911	0.329	Piedra	2.28	19.25
%red= 3.74	% Aire			0.020	Suma	5.92	50.00
red= 7	Suma	2350	2367	1.000	Asentamiento=		85.25
a/c= 0.55	Cemento	364	364	0.116	Cemento	1.00	7.70
a= 200	Agua	193	195	0.193	Agua	0.54	4.13
%ad= 0.50	Arena	863	874	0.336	Arena	2.40	18.52
peso= 1.82	Piedra	923	927	0.336	Piedra	2.55	19.64
%red= 4.51	% Aire			0.020	Suma	6.49	50.00
red= 9	Suma	2339	2356	1.000	Asentamiento=		85.25

Cuadro 32 - Resultados del diseño de mezcla con 0.7% de aditivo cantera "El Milagro"

Diseño de mezclas de concreto con aditivo (0.70%)							
Mezcla de prueba	Material	Dosificación por m ³ de concreto			Tanda de prueba		
		Pesos kg/m ³		Volumen m ³	Proporción húmeda		Tanda de 50 kg
		Seco	Húmedo				
a/c= 0.45	Cemento	444	444	0.142	Cemento	1.00	9.36
a= 200	Agua	196	198	0.196	Agua	0.45	4.17
%ad= 0.70	Arena	830	840	0.321	Arena	1.89	17.70
peso= 3.11	Piedra	887	891	0.321	Piedra	2.01	18.77
%red= 3.52	% Aire			0.020	Suma	5.34	50.00
red= 7	Suma	2358	2374	1.000	Asentamiento=		87.25
a/c= 0.50	Cemento	400	400	0.127	Cemento	1.00	8.45
a= 200	Agua	194	196	0.194	Agua	0.49	4.14
%ad= 0.70	Arena	848	859	0.329	Arena	2.15	18.15
peso= 2.80	Piedra	907	911	0.329	Piedra	2.28	19.25
%red= 4.39	% Aire			0.020	Suma	5.92	50.00
red= 9	Suma	2349	2366	1.000	Asentamiento=		87.00
a/c= 0.55	Cemento	364	364	0.116	Cemento	1.00	7.71
a= 200	Agua	192	195	0.192	Agua	0.53	4.12
%ad= 0.70	Arena	863	874	0.336	Arena	2.40	18.52
peso= 2.55	Piedra	923	927	0.336	Piedra	2.55	19.65
%red= 5.10	% Aire			0.020	Suma	6.49	50.00
red= 10	Suma	2342	2360	1.000	Asentamiento=		87.00

Cuadro 33 . Resultados del diseño de mezcla con 0.3% de aditivo cantera "Cerro Chilco"

Diseño de mezclas de concreto con aditivo (0.30%)							
Mezcla de prueba	Material	Dosificación por m ³ de concreto			Tanda de prueba		
		Pesos kg/m ³		Volumen m ³	Proporción húmeda		Tanda de 50 kg
		Seco	Húmedo				
a/c= 0.45	Cemento	433	433	0.138	Cemento	1.00	9.04
a= 195	Agua	193	195	0.193	Agua	0.45	4.08
%ad= 0.30	Arena	841	851	0.327	Arena	1.96	17.76
peso= 1.30	Piedra	913	917	0.327	Piedra	2.12	19.13
%red= 1.46	% Aire			0.015	Suma	5.53	50.00
red= 3	Suma	2380	2397	1.000	Asentamiento=		82.75
a/c= 0.50	Cemento	390	390	0.124	Cemento	1.00	8.16
a= 195	Agua	191	193	0.191	Agua	0.50	4.05
%ad= 0.30	Arena	859	869	0.335	Arena	2.23	18.19
peso= 1.17	Piedra	932	936	0.335	Piedra	2.40	19.60
%red= 2.45	% Aire			0.015	Suma	6.13	50.00
red= 5	Suma	2372	2389	1.000	Asentamiento=		82.50
a/c= 0.55	Cemento	355	355	0.113	Cemento	1.00	7.44
a= 195	Agua	190	192	0.190	Agua	0.54	4.03
%ad= 0.30	Arena	873	884	0.341	Arena	2.49	18.55
peso= 1.06	Piedra	948	952	0.341	Piedra	2.69	19.98
%red= 3.26	% Aire			0.015	Suma	6.72	50.00
red= 6	Suma	2365	2383	1.000	Asentamiento=		82.50

Cuadro 34 . Resultados del diseño de mezcla con 0.5% de aditivo cantera "Cerro Chilco"

Diseño de mezclas de concreto con aditivo (0.50%)							
Mezcla de prueba	Material	Dosificación por m ³ de concreto			Tanda de prueba		
		Pesos kg/m ³		Volumen m ³	Proporción húmeda		Tanda de 50 kg
		Seco	Húmedo				
a/c= 0.45	Cemento	433	433	0.138	Cemento	1.00	9.04
a= 195	Agua	193	195	0.193	Agua	0.45	4.07
%ad= 0.50	Arena	841	851	0.327	Arena	1.96	17.76
peso= 2.17	Piedra	913	917	0.327	Piedra	2.12	19.13
%red= 2.17	% Aire			0.015	Suma	5.53	50.00
red= 4	Suma	2380	2396	1.000	Asentamiento=		84.50
a/c= 0.50	Cemento	390	390	0.124	Cemento	1.00	8.16
a= 195	Agua	191	193	0.191	Agua	0.49	4.04
%ad= 0.50	Arena	859	869	0.335	Arena	2.23	18.20
peso= 1.95	Piedra	932	936	0.335	Piedra	2.40	19.60
%red= 3.09	% Aire			0.015	Suma	6.12	50.00
red= 6	Suma	2372	2389	1.000	Asentamiento=		84.25
a/c= 0.55	Cemento	355	355	0.113	Cemento	1.00	7.44
a= 195	Agua	189	191	0.189	Agua	0.54	4.02
%ad= 0.50	Arena	873	884	0.342	Arena	2.49	18.56
peso= 1.77	Piedra	948	955	0.342	Piedra	2.69	19.99
%red= 3.84	% Aire			0.015	Suma	6.72	50.00
red= 7	Suma	2365	2382	1.000	Asentamiento=		84.25

Cuadro 35 . Resultados del diseño de mezcla con 0.7% de aditivo cantera "Cerro Chilco"

Diseño de mezclas de concreto con aditivo (0.70%)							
Mezcla de prueba	Material	Dosificación por m ³ de concreto			Tanda de prueba		
		Pesos kg/m ³		Volumen m ³	Proporción húmeda		Tanda de 50 kg
		Seco	Húmedo				
a/c= 0.45	Cemento	433	433	0.138	Cemento	1.00	9.04
a= 195	Agua	192	194	0.192	Agua	0.45	4.05
%ad= 0.70	Arena	841	851	0.328	Arena	1.96	17.77
peso= 3.03	Piedra	913	917	0.328	Piedra	2.12	19.14
%red= 2.87	% Aire			0.015	Suma	5.53	50.00
red= 6	Suma	2379	2396	1.000	Asentamiento=		86.25
a/c= 0.50	Cemento	390	390	0.124	Cemento	1.00	8.17
a= 195	Agua	190	192	0.190	Agua	0.49	4.03
%ad= 0.70	Arena	859	869	0.335	Arena	2.23	18.20
peso= 2.73	Piedra	932	936	0.335	Piedra	2.40	19.60
%red= 3.73	% Aire			0.015	Suma	6.12	50.00
red= 7	Suma	2371	2388	1.000	Asentamiento=		86.00
a/c= 0.55	Cemento	355	355	0.113	Cemento	1.00	7.44
a= 195	Agua	188	191	0.188	Agua	0.54	4.01
%ad= 0.70	Arena	873	884	0.342	Arena	2.49	18.56
peso= 2.48	Piedra	948	952	0.342	Piedra	2.69	19.99
%red= 4.42	% Aire			0.015	Suma	6.72	50.00
red= 9	Suma	2364	2382	1.000	Asentamiento=		86.00

3.3. Características del concreto en estado fresco

3.3.1. Generalidades

Un concreto está en estado fresco cuando aún no ha logrado su fragua inicial. El concreto fresco se encuentra en un estado donde aún es deformable, por lo tanto, la mezcla debe tener una consistencia, de tal manera que sea fácil de colocar y sin segregación.

3.3.2. Ensayos realizados

3.3.2.1. Consistencia (NTP 339.035)

Se le conoce como consistencia a la resistencia que tiene la mezcla a la deformación. Se logra medir a través de ensayo en asentamiento o conocido como Slump en cual se desarrolla en el Cono de Abrahams.

A. Procedimiento

- Se colocó el cono de Abrahams sobre una superficie humedecida. Manteniendo fijo el cono se vierte en concreto en tres partes, apisonando cada vez con una varilla aplicando 25 golpes.
- Cuando estuvo lleno y enrasado se levantó suavemente el cono verticalmente. El asiento se mide desde la altura del cono metálico a la cara libre del cono deformado.

3.3.2.2. Peso Unitario (NTP 339.046)

Se entiende por peso unitario a la relación que existe entre el peso del concreto fresco y el volumen del recipiente en donde fue colocado. El resultado nos dará el peso del concreto por unidad de volumen.

A. Procedimiento

- Se utilizaron recipientes de 14 dm³ para la mezcla de “El Milagro” y 28 dm³ para la mezcla de “Cerro Chilco”. Los cuales fueron pesados.
- Posteriormente se llenó en tres partes los recipientes compactando con una varilla golpeándolo 25 veces.
- La superficie superior se alisó con una plancha y se procedió a pesar para realizar los cálculos.

3.3.3. Resumen de resultados

Cuadro 36 . Resultados de los ensayos en estado fresco cantera "El Milagro"

DISEÑO "EL MILAGRO"		SLUMP	PESO UNIT
A/C	%AD		
0.45	0.00	81.75	2466.16
0.45	0.30	83.75	2453.42
0.45	0.50	85.50	2441.95
0.45	0.70	87.25	2430.47
0.50	0.00	82.00	2454.38
0.50	0.30	83.50	2446.58
0.50	0.50	85.25	2434.95
0.50	0.70	87.00	2423.32
0.55	0.00	82.50	2442.60
0.55	0.30	83.50	2438.85
0.55	0.50	85.25	2427.09
0.55	0.70	87.00	2415.32

Cuadro 37 . Resultados de los ensayos en estado fresco cantera "Cerro Chilco"

DISEÑO "CERRO CHILCO"		SLUMP	PESO UNIT
A/C	%AD		
0.45	0.00	80.25	2477.65
0.45	0.30	82.75	2462.03
0.45	0.50	84.50	2450.43
0.45	0.70	86.25	2438.84
0.50	0.00	80.75	2465.87
0.50	0.30	82.50	2454.95
0.50	0.50	84.25	2443.21
0.50	0.70	86.00	2431.47
0.55	0.00	81.00	2454.09
0.55	0.30	82.50	2447.02
0.55	0.50	84.25	2435.16
0.55	0.70	86.00	2423.30

3.4. Características del concreto en estado endurecido

3.4.1. Generalidades

Se realizaron ensayos de rotura de probetas de concreto a los 28 días de curado. Las dimensiones de las probetas son de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, que fueron diseñadas en relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 para lograr resistencias entre de 294 ($f_c=210 \text{ kg/cm}^2$) y 364 ($f_c=280 \text{ kg/cm}^2$).

3.4.2. Ensayos realizados

3.4.2.1. Resistencia a la compresión (ASTM C 3961)

Representa al máximo esfuerzo que soporta el concreto sin agrietarse ni romperse. Propiedad más característica del concreto debido a que define la calidad. Su determinación se da mediante probetas de 15 cm x 30 cm, las cuales se colocan en máquinas de compresión y se obtiene su resistencia.

3.4.3. Resumen de resultados

Cuadro 38 - Resultados del ensayo en concreto endurecido para la mezcla de "El Milagro"

Resistencia a la compresión mezcla cantera "El Milagro"		
Relación a/c	Porcentaje de aditivo	Resistencia a la compresión
0.45	0.0	391.31
0.45	0.3	407.57
0.45	0.5	404.04
0.45	0.7	397.68
0.50	0.0	368.24
0.50	0.3	381.40
0.50	0.5	378.28
0.50	0.7	374.82
0.55	0.0	349.36
0.55	0.3	362.87
0.55	0.5	356.12
0.55	0.7	354.31

Cuadro 39 - Resultados del ensayo en concreto endurecido para la mezcla de "Cerro Chilco"

Resistencia a la compresión mezcla cantera "Cerro Chilco"		
Relación a/c	Porcentaje de aditivo	Resistencia a la compresión
0.45	0.0	396.12
0.45	0.3	416.58
0.45	0.5	409.17
0.45	0.7	402.65
0.50	0.0	373.52
0.50	0.3	388.04
0.50	0.5	386.96
0.50	0.7	380.24
0.55	0.0	355.02
0.55	0.3	368.79
0.55	0.5	364.70
0.55	0.7	361.91

3.5. Cuadro de dosificaciones de concreto para diferentes canteras

Luego de analizar los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión, y el costo beneficio de cada mezcla, se adoptaron las siguientes dosificaciones como las más adecuadas para cada cantera:

Cuadro 40 - Dosificaciones para la cantera "El Milagro"

TABLA DE DOSIFICACIONES PARA LA CANTERA "EL MILAGRO"					
CONCRETO	PESO				
	CEMENTO (kg)	AGUA (l)	ARENA (kg)	PIEDRA (kg)	ADITIVO (kg)
210	400	197	859	911	1.20
280	444	199	840	891	1.33

Cuadro 41 - Dosificaciones para la cantera "Cerro Chilco"

TABLA DE DOSIFICACIONES PARA LA CANTERA "CERRO CHILCO"					
CONCRETO	PESO				
	CEMENTO (kg)	AGUA (l)	ARENA (kg)	PIEDRA (kg)	ADITIVO (kg)
210	355	192	884	952	1.06
280	390	193	869	936	1.17

IV. DISCUSIONES

4.1. Diseño de mezcla

4.1.1. Reducción de agua

Se analizaron los resultados del diseño de mezcla para cada relación agua cemento. En cuanto a la cantera El Milagro para la relación $a/c=0.45$ con adición de 0.3% de aditivo se observa una reducción de agua de 2.06% que representa 4 litros con respecto al diseño de concreto normal y una relación a/c efectiva de 0.449 (Ver Cuadro 30). Para la mezcla con adición de 0.5% se observó una reducción de agua de 2.79% que implica la disminución de 6 litros con respecto al concreto normal, por lo tanto, la relación a/c efectiva es de 0.447 (Ver Cuadro 31). Finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo la reducción de agua fue de 3.52% o 7 litros con respecto al concreto normal resultando una relación efectiva a/c de 0.446 (Ver Cuadro 32). Además, para la cantera Cerro Chilco la relación $a/c=0.45$ con adición de 0.3% de aditivo se observa una reducción de agua de 1.46% que representa 3 litros con respecto al diseño de concreto normal y una relación a/c efectiva de 0.451 (Ver Cuadro 33). Para la mezcla con adición de 0.5% se observó una reducción de agua de 2.17% que implica la disminución de 4 litros con respecto al concreto normal, por lo tanto, la relación a/c efectiva es de 0.45 (Ver Cuadro 34). Finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo la reducción de agua fue de 2.87% o 6 litros con respecto al concreto normal resultando una relación efectiva a/c de 0.448 (Ver Cuadro 35).

Para la cantera El Milagro y la relación $a/c=0.50$ con adición de 0.3% de aditivo se observa una reducción de agua de 3.08% que representa 6 litros con respecto al diseño de concreto normal y una relación a/c efectiva de 0.493 (Ver Cuadro 30). Para la mezcla con adición de 0.5% se observó una reducción de agua de 3.74% que implica la disminución de 7 litros con respecto al concreto normal, por lo tanto, la relación a/c efectiva es de 0.492 (Ver Cuadro 31). Finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo la reducción de agua fue de 4.39% o 9 litros con respecto al concreto normal resultando una relación efectiva a/c de 0.49 (Ver Cuadro 32).

Además, para la cantera Cerro Chilco la relación $a/c=0.50$ con adición de 0.3% de aditivo se observa una reducción de agua de 2.45% que representa 5 litros con respecto al diseño de concreto normal y una relación a/c efectiva de 0.496 (Ver Cuadro 33). Para la mezcla con adición de 0.5% se observó una reducción de agua de 3.09% que implica la disminución de 6 litros con respecto al concreto normal, por lo tanto, la relación a/c efectiva es de 0.495 (Ver Cuadro 34). Finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo la reducción de agua fue de 3.73% o 7 litros con respecto al concreto normal resultando una relación efectiva a/c de 0.493 (Ver Cuadro 35).

Finalmente la cantera El Milagro para la relación $a/c=0.55$ con adición de 0.3% de aditivo se observa una reducción de agua de 3.91% que representa 8 litros con respecto al diseño de concreto normal y una relación a/c efectiva de 0.538 (Ver Cuadro 30). Para la mezcla con adición de 0.5% se observó una reducción de agua de 4.51% que implica la disminución de 9 litros con respecto al concreto normal, por lo tanto, la relación a/c efectiva es de 0.537 (Ver Cuadro 31). Finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo la reducción de agua fue de 5.1% o 10 litros con respecto al concreto normal resultando una relación efectiva a/c de 0.535 (Ver Cuadro 32). Además, para la cantera Cerro Chilco la relación $a/c=0.55$ con adición de 0.3% de aditivo se observa una reducción de agua de 3.26% que representa 6 litros con respecto al diseño de concreto normal y una relación a/c efectiva de 0.541 (Ver Cuadro 33). Para la mezcla con adición de 0.5% se observó una reducción de agua de 3.84% que implica la disminución de 7 litros con respecto al concreto normal, por lo tanto, la relación a/c efectiva es de 0.54 (Ver Cuadro 34). Finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo la reducción de agua fue de 4.42% o 9 litros con respecto al concreto normal resultando una relación efectiva a/c de 0.538 (Ver Cuadro 35).

Se obtuvo pequeñas reducciones de agua usando aditivos en cualquier proporción. Para la cantera El Milagro se produjeron mayores reducciones para relación $a/c=0.55$ siendo la mayor reducción cuando se utilizaron 0.7% de aditivo alcanzando una reducción de 5.10% o 10 litros; además, se produjeron menores reducciones para la relación $a/c=0.45$ y 0.3% de aditivo reduciendo el agua en

2.06% o 4 litros. Para la cantera Cerro Chilco se produjeron mayores reducciones para relación a/c=0.55 siendo la mayor reducción cuando se utilizaron 0.7% de aditivo alcanzando una reducción de 4.42% o 9 litros; además, se produjeron menores reducciones para la relación a/c=0.45 y 0.3% de aditivo reduciendo el agua en 1.46% o 3 litros.

4.2. Ensayos de concreto en estado fresco

4.2.1. Peso unitario

Se analizaron los resultados del ensayo de peso unitario para los distintos tratamientos, los resultados están resumidos en los siguientes cuadros:

Cuadro 42 . Pesos unitarios para relación a/c=0.45

TRATAMIENTO	PESO UNITARIO		VARIACIÓN	
	kg/m ³	%	kg/m ³	%
CANTERA "EL MILAGRO"				
T(0.45, 0.0%)	2466.16	100.00	0.00	0.00
T(0.45, 0.3%)	2453.42	99.48	-12.74	-0.52
T(0.45, 0.5%)	2441.95	99.02	-24.21	-0.98
T(0.45, 0.7%)	2430.47	98.55	-35.69	-1.45
CANTERA "CERRO CHILCO"				
T(0.45, 0.0%)	2477.65	100.00	0.00	0.00
T(0.45, 0.3%)	2462.03	99.37	-15.62	-0.63
T(0.45, 0.5%)	2450.43	98.9	-27.22	-1.10
T(0.45, 0.7%)	2438.84	98.43	-38.81	-1.57

En cuanto a la cantera El Milagro para la relación a/c=0.45 considerando el peso unitario del concreto normal como 100%; la mezcla con 0.3% de aditivo disminuyó su porcentaje de peso unitario a 99.48%, para la mezcla con 0.5% se obtuvo un valor porcentual de 99.02%, y finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo el peso unitario obtuvo 98.55% del peso unitario del concreto sin aditivo. Además, para la cantera Cerro Chilco con una relación a/c=0.45 la mezcla con 0.3% de aditivo disminuyó su porcentaje de peso unitario a 99.37%, para la mezcla con 0.5% se obtuvo un valor porcentual de 98.9%, y finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo el peso unitario obtuvo 98.43% del peso unitario del concreto sin aditivo.

Cuadro 43 . Pesos unitarios para relación a/c=0.50

TRATAMIENTO	PESO UNITARIO		VARIACIÓN	
	kg/m ³	%	kg/m ³	%
CANtera "EL MILAGRO"				
T(0.50, 0.0%)	2454.38	100.00	0.00	0.00
T(0.50, 0.3%)	2446.58	99.68	-7.80	-0.32
T(0.50, 0.5%)	2434.95	99.21	-19.43	-0.79
T(0.50, 0.7%)	2423.32	98.73	-31.06	-1.27
CANtera "CERRO CHILCO"				
T(0.50, 0.0%)	2465.87	100.00	0.00	0.00
T(0.50, 0.3%)	2454.95	99.56	-10.92	-0.44
T(0.50, 0.5%)	2443.21	99.08	-22.66	-0.92
T(0.50, 0.7%)	2431.47	98.6	-34.40	-1.40

En cuanto a la cantera El Milagro para la relación a/c=0.45 considerando el peso unitario del concreto normal como 100%; la mezcla con 0.3% de aditivo disminuyó su porcentaje de peso unitario a 99.68%, para la mezcla con 0.5% se obtuvo un valor porcentual de 99.21%, y finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo el peso unitario obtuvo 98.73% del peso unitario del concreto sin aditivo. Además, para la cantera Cerro Chilco con una relación a/c=0.45 la mezcla con 0.3% de aditivo disminuyó su porcentaje de peso unitario a 99.56%, para la mezcla con 0.5% se obtuvo un valor porcentual de 99.08%, y finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo el peso unitario obtuvo 98.6% del peso unitario del concreto sin aditivo.

Cuadro 44 . Pesos unitarios para relación a/c=0.55

TRATAMIENTO	PESO UNITARIO		VARIACIÓN	
	kg/m ³	%	kg/m ³	%
CANtera "EL MILAGRO"				
T(0.55, 0.0%)	2442.60	100.00	0.00	0.00
T(0.55, 0.3%)	2438.85	99.85	-3.75	-0.15
T(0.55, 0.5%)	2427.09	99.37	-15.51	-0.63
T(0.55, 0.7%)	2415.32	98.88	-27.28	-1.12
CANtera "CERRO CHILCO"				
T(0.55, 0.0%)	2454.09	100.00	0.00	0.00
T(0.55, 0.3%)	2447.02	99.71	-7.07	-0.29
T(0.55, 0.5%)	2435.16	99.23	-18.93	-0.77
T(0.55, 0.7%)	2423.30	98.75	-30.79	-1.25

En cuanto a la cantera El Milagro para la relación a/c=0.45 considerando el peso unitario del concreto normal como 100%; la mezcla con 0.3% de aditivo disminuyó su porcentaje de peso unitario a 99.85%, para la mezcla con 0.5% se obtuvo un

valor porcentual de 99.37%, y finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo el peso unitario obtuvo 98.88% del peso unitario del concreto sin aditivo. Además, para la cantera Cerro Chilco con una relación $a/c=0.45$ la mezcla con 0.3% de aditivo disminuyó su porcentaje de peso unitario a 99.71%, para la mezcla con 0.5% se obtuvo un valor porcentual de 99.23%, y finalmente, para la mezcla con 0.7% de aditivo el peso unitario obtuvo 98.75% del peso unitario del concreto sin aditivo.

Para la mezcla sin aditivo para la cantera El Milagro el mayor peso unitario se obtuvo para la relación $a/c=0.45$ (2466.16 kg/m³), y el menor peso unitario se dio en la relación $a/c=0.55$ (2442.60 kg/m³). En cuanto a la cantera Cerro Chilco el mayor peso unitario se dio para la relación $a/c=0.45$ (2477.65 kg/m³) y la menor para la relación $a/c=0.55$ (2454.09 kg/m³). Además, para la mezcla con aditivo se disminuciones ligeras en el peso unitario obteniéndose las mayores diferencias usando 0.7% de aditivos.

4.3. Ensayos de concreto endurecido

4.3.1. Ensayo de resistencia a la compresión

Se analizaron los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión que se realizaron para cada mezcla para las dos canteras, para cada mezcla se realizaron 3 probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto. Los siguientes gráficos resumen estos resultados:

4.3.1.1. Cantera El Milagro

4.3.1.1.1. Relación $a/c=0.45$

Para la relación $a/c=0.45$ a los 28 días obtenemos variaciones en la resistencia a la compresión del concreto normal 391.32 kg/m² (100%), para concreto con adición de 0.3% de aditivo 407.57 kg/cm² (104.15%), para concreto con adición de 0.5% de aditivo 404.04 kg/cm² (103.25%), para concreto con

adición de 0.7% de aditivo 397.68 kg/cm² (101.63%), véase Cuadro 38.

Además, se analizaron los resultados mediante el ANOVA unifactorial para determinar si hay diferencias en la resistencia a la compresión debido al porcentaje de aditivo utilizado.

Cuadro 45 . Resultados ANOVA a/c=0.45, El Milagro

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significancia
Entre grupos	463.001	3	154.334	4.478	0.040
Dentro de grupos	275.695	8	34.462		
Total	738.696	11			

El ANOVA unifactorial indica que SI hay diferencias significativas en los valores de resistencia a la compresión debido a la variación de la cantidad de aditivo utilizado (F:4.478; p<0.05). Por lo tanto, se realizó la prueba post hoc Tukey obteniendo el siguiente cuadro:

Cuadro 46 . Resultados TUKEY $\alpha/c=0.45$, El Milagro

Tratamientos (i)	Tratamientos (j)	Diferencia de medias (i-j)	HSE	Interpretación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T(0.45, 0.0%)	T(0.45, 0.3%)	-16.25333	15.353	SI hay diferencia	-31.6068	-0.8998
	T(0.45, 0.5%)	-12.72333	15.353	NO hay diferencia	-28.0768	2.6302
	T(0.45, 0.7%)	-6.36000	15.353	NO hay diferencia	-21.7135	8.9935
T(0.45, 0.3%)	T(0.45, 0.0%)	16.25333	15.353	SI hay diferencia	0.8998	31.6068
	T(0.45, 0.5%)	3.53000	15.353	NO hay diferencia	-11.8235	18.8835
	T(0.45, 0.7%)	9.89333	15.353	NO hay diferencia	-5.4602	25.2468
T(0.45, 0.5%)	T(0.45, 0.0%)	12.72333	15.353	NO hay diferencia	-2.6302	28.0768
	T(0.45, 0.3%)	-3.53000	15.353	NO hay diferencia	-18.8835	11.8235
	T(0.45, 0.7%)	6.36333	15.353	NO hay diferencia	-8.9902	21.7168
T(0.45, 0.7%)	T(0.45, 0.0%)	6.36000	15.353	NO hay diferencia	-8.9935	21.7135
	T(0.45, 0.3%)	-9.89333	15.353	NO hay diferencia	-25.2468	5.4602
	T(0.45, 0.5%)	-6.36333	15.353	NO hay diferencia	-21.7168	8.9902

La prueba de Tukey demostró que hay diferencias significativas entre los grupos de mezcla con diseño sin aditivo y mezcla con aditivo al 0.3%. El resultado es esperado porque la resistencia a la compresión usando este porcentaje varía en mayor porcentaje (104.15%) cuando es comparada con la mezcla sin aditivo; por lo tanto, es significativo el uso del aditivo en esta cantidad.

4.3.1.1.2. Relación a/c=0.50

Para la relación $a/c=0.50$ a los 28 días obtenemos variaciones en la resistencia a la compresión del concreto normal 368.24 kg/m^2 (100%), para concreto con adición de 0.3% de aditivo 381.4 kg/cm^2 (103.57%), para concreto con adición de 0.5% de aditivo 378.28 kg/cm^2 (102.73%), para concreto con adición de 0.7% de aditivo 374.82 kg/cm^2 (101.79%), Véase Cuadro 38.

Además, se analizaron los resultados mediante el ANOVA unifactorial para determinar si hay diferencias en la resistencia a la compresión debido al porcentaje de aditivo utilizado.

Cuadro 47 . Resultados ANOVA $a/c=0.50$, El Milagro

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significancia
Entre grupos	286.434	3	95.478	4.502	0.039
Dentro de grupos	169.658	8	21.207		
Total	456.092	11			

El ANOVA unifactorial indica que SI hay diferencias significativas en los valores de resistencia a la compresión debido a la variación de la cantidad de aditivo utilizado ($F: 4.502; p < 0.05$). Por lo tanto, se realizó la prueba post hoc Tukey obteniendo el siguiente cuadro:

Cuadro 48 . Resultados TUKEY $\alpha/c=0.50$, El Milagro

Tratamientos (i)	Tratamientos (j)	Diferencia de medias (i-j)	HSE	Interpretación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T(0.50, 0.0%)	T(0.50, 0.3%)	-13.15296	12.044	SI hay diferencia	-25.1972	-1.1087
	T(0.50, 0.5%)	-10.03635	12.044	NO hay diferencia	-22.0806	2.0079
	T(0.50, 0.7%)	-6.57648	12.044	NO hay diferencia	-18.6207	5.4678
T(0.50, 0.3%)	T(0.50, 0.0%)	13.15296	12.044	SI hay diferencia	1.1087	25.1972
	T(0.50, 0.5%)	3.11661	12.044	NO hay diferencia	-8.9276	15.1608
	T(0.50, 0.7%)	6.57648	12.044	NO hay diferencia	-5.4678	18.6207
T(0.50, 0.5%)	T(0.50, 0.0%)	10.03635	12.044	NO hay diferencia	-2.0079	22.0806
	T(0.50, 0.3%)	-3.11661	12.044	NO hay diferencia	-15.1608	8.9276
	T(0.50, 0.7%)	3.45987	12.044	NO hay diferencia	-8.5844	15.5041
T(0.50, 0.7%)	T(0.50, 0.0%)	6.57648	12.044	NO hay diferencia	-5.4678	18.6207
	T(0.50, 0.3%)	-6.57648	12.044	NO hay diferencia	-18.6207	5.4678
	T(0.50, 0.5%)	-3.45987	12.044	NO hay diferencia	-15.5041	8.5844

La prueba de Tukey demostró que hay diferencias significativas entre los grupos de mezcla con diseño sin aditivo y mezcla con aditivo al 0.3%. El resultado es esperado porque la resistencia a la compresión usando este porcentaje varía en mayor porcentaje (103.57%) cuando es comparada con la mezcla sin aditivo; por lo tanto, es significativo el uso del aditivo en esta cantidad.

4.3.1.1.3. Relación a/c=0.55

Para la relación a/c=0.55 a los 28 días obtenemos variaciones en la resistencia a la compresión del concreto normal 349.36 kg/m² (100%), para concreto con adición de 0.3% de aditivo 362.87 kg/cm² (103.87%), para concreto con adición de 0.5% de aditivo 356.12 kg/cm² (101.93%), para concreto con adición de 0.7% de aditivo 354.31 kg/cm² (101.42%), Véase Cuadro 38.

Además, se analizaron los resultados mediante el ANOVA unifactorial para determinar si hay diferencias en la resistencia a la compresión debido al porcentaje de aditivo utilizado.

Cuadro 49 . Resultados ANOVA a/c=0.55, El Milagro

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significancia
Entre grupos	280.832	3	93.611	5.264	0.027
Dentro de grupos	142.276	8	17.785		
Total	423.108	11			

El ANOVA unifactorial indica que SI hay diferencias significativas en los valores de resistencia a la compresión debido a la variación de la cantidad de aditivo utilizado (F: 4.502; p<0.05). Por lo tanto, se realizó la prueba post hoc Tukey obteniendo el siguiente cuadro:

Cuadro 50 . Resultados TUKEY $\alpha/c=0.55$, El Milagro

Tratamientos (i)	Tratamientos (j)	Diferencia de medias (i-j)	HSE	Interpretación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T(0.55, 0.0%)	T(0.55, 0.3%)	-13.50368	11.030	SI hay diferencia	-24.5333	-2.4741
	T(0.55, 0.5%)	-6.75184	11.030	NO hay diferencia	-17.7814	4.2777
	T(0.55, 0.7%)	-4.94964	11.030	NO hay diferencia	-15.9792	6.0799
T(0.55, 0.3%)	T(0.55, 0.0%)	13.50368	11.030	SI hay diferencia	2.4741	24.5333
	T(0.55, 0.5%)	6.75184	11.030	NO hay diferencia	-4.2777	17.7814
	T(0.55, 0.7%)	8.55404	11.030	NO hay diferencia	-2.4755	19.5836
T(0.55, 0.5%)	T(0.55, 0.0%)	6.75184	11.030	NO hay diferencia	-4.2777	17.7814
	T(0.55, 0.3%)	-6.75184	11.030	NO hay diferencia	-17.7814	4.2777
	T(0.55, 0.7%)	1.80220	11.030	NO hay diferencia	-9.2274	12.8318
T(0.55, 0.7%)	T(0.55, 0.0%)	4.94964	11.030	NO hay diferencia	-6.0799	15.9792
	T(0.55, 0.3%)	-8.55404	11.030	NO hay diferencia	-19.5836	2.4755
	T(0.55, 0.5%)	-1.80220	11.030	NO hay diferencia	-12.8318	9.2274

La prueba de Tukey demostró que hay diferencias significativas entre los grupos de mezcla con diseño sin aditivo y mezcla con aditivo al 0.3%. El resultado es esperado porque la resistencia a la compresión usando este porcentaje varía en mayor porcentaje (103.87%) cuando es comparada con la mezcla sin aditivo; por lo tanto, es significativo el uso del aditivo en esta cantidad.

4.3.1.2. Cantera Cerro Chilco

4.3.1.2.1. Relación a/c=0.45

Para la relación a/c=0.45 a los 28 días obtenemos variaciones en la resistencia a la compresión del concreto normal 396.12 kg/m² (100%), para concreto con adición de 0.3% de aditivo 416.58 kg/cm² (105.17%), para concreto con adición de 0.5% de aditivo 409.17 kg/cm² (103.29%), para concreto con adición de 0.7% de aditivo 402.65 kg/cm² (101.65%), Véase Cuadro 39.

Además, se analizaron los resultados mediante el ANOVA unifactorial para determinar si hay diferencias en la resistencia a la compresión debido al porcentaje de aditivo utilizado.

Cuadro 51 . Resultados ANOVA a/c=0.45, Cerro Chilco

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significancia
Entre grupos	692.333	3	230.778	5.086	0.029
Dentro de grupos	362.988	8	45.373		
Total	1055.321	11			

El ANOVA unifactorial indica que SI hay diferencias significativas en los valores de resistencia a la compresión debido a la variación de la cantidad de aditivo utilizado (F:5.086; p<0.05). Por lo tanto, se realizó la prueba post hoc Tukey obteniendo el siguiente cuadro:

Cuadro 52 . Resultados TUKEY a/c=0.45, Cerro Chilco

Tratamientos (i)	Tratamientos (j)	Diferencia de medias (i-j)	HSE	Interpretación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T(0.45, 0.0%)	T(0.45, 0.3%)	-20.46000	17.617	SI hay diferencia	-38.0773	-2.8427
	T(0.45, 0.5%)	-13.05000	17.617	NO hay diferencia	-30.6673	4.5673
	T(0.45, 0.7%)	-6.52667	17.617	NO hay diferencia	-24.1439	11.0906
T(0.45, 0.3%)	T(0.45, 0.0%)	20.46000	17.617	SI hay diferencia	2.8427	38.0773
	T(0.45, 0.5%)	7.41000	17.617	NO hay diferencia	-10.2073	25.0273
	T(0.45, 0.7%)	13.93333	17.617	NO hay diferencia	-3.6839	31.5506
T(0.45, 0.5%)	T(0.45, 0.0%)	13.05000	17.617	NO hay diferencia	-4.5673	30.6673
	T(0.45, 0.3%)	-7.41000	17.617	NO hay diferencia	-25.0273	10.2073
	T(0.45, 0.7%)	6.52333	17.617	NO hay diferencia	-11.0939	24.1406
T(0.45, 0.7%)	T(0.45, 0.0%)	6.52667	17.617	NO hay diferencia	-11.0906	24.1439
	T(0.45, 0.3%)	-13.93333	17.617	NO hay diferencia	-31.5506	3.6839
	T(0.45, 0.5%)	-6.52333	17.617	NO hay diferencia	-24.1406	11.0939

La prueba de Tukey demostró que hay diferencias significativas entre los grupos de mezcla con diseño sin aditivo y mezcla con aditivo al 0.3%. El resultado es esperado porque la resistencia a la compresión usando este porcentaje varía en mayor porcentaje (105.17%) cuando es comparada con la mezcla sin aditivo; por lo tanto, es significativo el uso del aditivo en esta cantidad.

4.3.1.2.2. Relación a/c=0.50

Para la relación a/c=0.45 a los 28 días obtenemos variaciones en la resistencia a la compresión del concreto normal 373.52 kg/m² (100%), para concreto con adición de 0.3% de aditivo 388.04 kg/cm² (103.89%), para concreto con adición de 0.5% de aditivo 386.96 kg/cm² (103.6%), para concreto con adición de 0.7% de aditivo 380.24 kg/cm² (101.8%), véase Cuadro 39.

Además, se analizaron los resultados mediante el ANOVA unifactorial para determinar si hay diferencias en la resistencia a la compresión debido al porcentaje de aditivo utilizado.

Cuadro 53 . Resultados ANOVA a/c=0.50, Cerro Chilco

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significancia
Entre grupos	408.226	3	136.075	4.576	0.038
Dentro de grupos	237.881	8	29.735		
Total	646.107	11			

El ANOVA unifactorial indica que SI hay diferencias significativas en los valores de resistencia a la compresión debido a la variación de la cantidad de aditivo utilizado (F:4.576; p<0.05). Por lo tanto, se realizó la prueba post hoc Tukey obteniendo el siguiente cuadro:

Cuadro 54 . Resultados TUKEY $\alpha/c=0.50$, Cerro Chilco

Tratamientos (i)	Tratamientos (j)	Diferencia de medias (i-j)	HSE	Interpretación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T(0.50, 0.0%)	T(0.50, 0.3%)	-14.52680	14.262	SI hay diferencia	-28.7885	-0.2651
	T(0.50, 0.5%)	-13.44644	14.262	NO hay diferencia	-27.7082	0.8153
	T(0.50, 0.7%)	-6.72322	14.262	NO hay diferencia	-20.9850	7.5385
T(0.50, 0.3%)	T(0.50, 0.0%)	14.52680	14.262	SI hay diferencia	0.2651	28.7885
	T(0.50, 0.5%)	1.08036	14.262	NO hay diferencia	-13.1814	15.3421
	T(0.50, 0.7%)	7.80358	14.262	NO hay diferencia	-6.4582	22.0653
T(0.50, 0.5%)	T(0.50, 0.0%)	13.44644	14.262	NO hay diferencia	-0.8153	27.7082
	T(0.50, 0.3%)	-1.08036	14.262	NO hay diferencia	-15.3421	13.1814
	T(0.50, 0.7%)	6.72322	14.262	NO hay diferencia	-7.5385	20.9850
T(0.50, 0.7%)	T(0.50, 0.0%)	6.72322	14.262	NO hay diferencia	-7.5385	20.9850
	T(0.50, 0.3%)	-7.80358	14.262	NO hay diferencia	-22.0653	6.4582
	T(0.50, 0.5%)	-6.72322	14.262	NO hay diferencia	-20.9850	7.5385

La prueba de Tukey demostró que hay diferencias significativas entre los grupos de mezcla con diseño sin aditivo y mezcla con aditivo al 0.3%. El resultado es esperado porque la resistencia a la compresión usando este porcentaje varía en mayor porcentaje (103.89%) cuando es comparada con la mezcla sin aditivo; por lo tanto, es significativo el uso del aditivo en esta cantidad.

4.3.1.2.3. Relación a/c=0.55

Para la relación $a/c=0.45$ a los 28 días obtenemos variaciones en la resistencia a la compresión del concreto normal 355.02 kg/m² (100%), para concreto con adición de 0.3% de aditivo 368.79 kg/cm² (103.88%), para concreto con adición de 0.5% de aditivo 364.7 kg/cm² (102.73%), para concreto con adición de 0.7% de aditivo 361.91 kg/cm² (101.94%), véase Cuadro 39.

Además, se analizaron los resultados mediante el ANOVA unifactorial para determinar si hay diferencias en la resistencia a la compresión debido al porcentaje de aditivo utilizado.

Cuadro 55 . Resultados ANOVA $a/c=0.55$, Cerro Chilco

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Significancia
Entre grupos	301.949	3	100.650	5.326	0.026
Dentro de grupos	151.190	8	18.899		
Total	453.138	11			

El ANOVA unifactorial indica que SI hay diferencias significativas en los valores de resistencia a la compresión debido a la variación de la cantidad de aditivo utilizado (F:5.326; $p<0.05$). Por lo tanto, se realizó la prueba post hoc Tukey obteniendo el siguiente cuadro:

Cuadro 56 . Resultados TUKEY $\alpha/c=0.55$, Cerro Chilco

Tratamientos (i)	Tratamientos (j)	Diferencia de medias (i-j)	HSE	Interpretación	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
T(0.55, 0.0%)	T(0.55, 0.3%)	-13.77048	11.370	SI hay diferencia	-25.1403	-2.4007
	T(0.55, 0.5%)	-9.67486	11.370	NO hay diferencia	-21.0447	1.6950
	T(0.55, 0.7%)	-6.88524	11.370	NO hay diferencia	-18.2551	4.4846
T(0.55, 0.3%)	T(0.55, 0.0%)	13.77048	11.370	SI hay diferencia	2.4007	25.1403
	T(0.55, 0.5%)	4.09562	11.370	NO hay diferencia	-7.2742	15.4654
	T(0.55, 0.7%)	6.88524	11.370	NO hay diferencia	-4.4846	18.2551
T(0.55, 0.5%)	T(0.55, 0.0%)	9.67486	11.370	NO hay diferencia	-1.6950	21.0447
	T(0.55, 0.3%)	-4.09562	11.370	NO hay diferencia	-15.4654	7.2742
	T(0.55, 0.7%)	2.78962	11.370	NO hay diferencia	-8.5802	14.1594
T(0.55, 0.7%)	T(0.55, 0.0%)	6.88524	11.370	NO hay diferencia	-4.4846	18.2551
	T(0.55, 0.3%)	-6.88524	11.370	NO hay diferencia	-18.2551	4.4846
	T(0.55, 0.5%)	-2.78962	11.370	NO hay diferencia	-14.1594	8.5802

La prueba de Tukey demostró que hay diferencias significativas entre los grupos de mezcla con diseño sin aditivo y mezcla con aditivo al 0.3%. El resultado es esperado porque la resistencia a la compresión usando este porcentaje varía en mayor porcentaje (103.88%) cuando es comparada con la mezcla sin aditivo; por lo tanto, es significativo el uso del aditivo en esta cantidad.

V. CONCLUSIONES

5.1. La caracterización de los agregados de la cantera El Milagro y Cerro Chilco concluyeron lo siguiente:

- El agregado fino procedente de la cantera El Milagro presenta un peso específico de 2600 kg/m³, peso unitario suelto de 1691.7 kg/m³, peso unitario compactado de 1925.4 kg/m³, humedad natural de 1.08% y porcentaje de absorción de 1.25%. Para el agregado grueso de la cantera El Milagro presenta un peso específico de 2780 kg/m³, peso unitario suelto de 1391.7 kg/m³, peso unitario compactado de 1530.4 kg/m³, humedad natural de 0.32%, porcentaje de absorción de 0.44% y tamaño máximo nominal de ¾”.
- El agregado fino procedente de la cantera Cerro Chilco presenta un peso específico de 2580 kg/m³, peso unitario suelto de 1698.4 kg/m³, peso unitario compactado de 1932.6 kg/m³, humedad natural de 1.11% y porcentaje de absorción de 1.22%. Para el agregado grueso de la cantera Cerro Chilco presenta un peso específico de 2800 kg/m³, peso unitario suelto de 1399.4 kg/m³, peso unitario compactado de 1537.8 kg/m³, humedad natural de 0.31%, porcentaje de absorción de 0.45% y tamaño máximo nominal de 1”.

5.2. El diseño de mezcla para las canteras El Milagro y Cerro Chilco utilizaron combinaciones de agregados 50-50, se realizaron para relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55, aditivo Plastiment® HE-98 en cantidades de 0.0%, 0.3%, 0.5% y 0.7%. Concluyendo que se necesita menos cantidad de agua cuando se incrementa la cantidad de aditivo.

- Cantera El Milagro
 - a/c:0.45, %ad:0.0% = 1:0.46:1.89:2.01
 - a/c:0.45, %ad:0.3% = 1:0.45:1.89:2.01
 - a/c:0.45, %ad:0.5% = 1:0.45:1.89:2.01
 - a/c:0.45, %ad:0.7% = 1:0.45:1.89:2.01
 - a/c:0.50, %ad:0.0% = 1:0.51:2.15:2.28
 - a/c:0.50, %ad:0.3% = 1:0.49:2.15:2.28
 - a/c:0.50, %ad:0.5% = 1:0.49:2.15:2.28
 - a/c:0.50, %ad:0.7% = 1:0.49:2.15:2.28
 - a/c:0.55, %ad:0.0% = 1:0.56:2.40:2.55

- a/c:0.55, %ad:0.3% = 1:0.54:2.40:2.55
- a/c:0.55, %ad:0.5% = 1:0.54:2.40:2.55
- a/c:0.55, %ad:0.7% = 1:0.53:2.40:2.55

- Cantera Cerro Chilco

- a/c:0.45, %ad:0.0% = 1:0.46:1.96:2.12
- a/c:0.45, %ad:0.3% = 1:0.45:1.96:2.12
- a/c:0.45, %ad:0.5% = 1:0.45:1.96:2.12
- a/c:0.45, %ad:0.7% = 1:0.45:1.96:2.12
- a/c:0.50, %ad:0.0% = 1:0.51:2.23:2.40
- a/c:0.50, %ad:0.3% = 1:0.50:2.23:2.40
- a/c:0.50, %ad:0.5% = 1:0.49:2.23:2.40
- a/c:0.50, %ad:0.7% = 1:0.49:2.23:2.40
- a/c:0.55, %ad:0.0% = 1:0.56:2.49:2.69
- a/c:0.55, %ad:0.3% = 1:0.54:2.49:2.69
- a/c:0.55, %ad:0.5% = 1:0.54:2.49:2.69
- a/c:0.55, %ad:0.7% = 1:0.54:2.49:2.69

5.3. Los ensayos de las mezclas de concreto en estado fresco concluyeron que a medida que se incrementa la cantidad de aditivo la consistencia aumenta y disminuye el peso unitario. Además, cuando se disminuye la cantidad de aditivo la consistencia disminuye y aumenta el peso unitario. Los rangos de consistencia están entre rangos de 80 – 90 mm y los pesos unitarios se pueden considerar dentro de los rangos de concreto normal (2400 – 2500 kg/m³).

5.4. Los ensayos de las mezclas de concreto en estado endurecido demostraron que la adición del aditivo incrementa la resistencia a la compresión; no obstante, el análisis de varianza (ANOVA) demostró que la utilización del aditivo tiene significancia en la resistencia a la compresión cuando se usa 0.3%, es decir, presenta mayor aumento (4.09%) de la resistencia a la compresión cuando se utiliza aditivo al 0.3% en peso.

5.5. El análisis de la significancia del aditivo en la resistencia a la compresión (costo-beneficio) permitió determinar las dosificaciones más adecuadas para las canteras:

- Cantera El Milagro

- Concreto f'c:210 kg/m² = 1:0.49:2.15:2.28
- Concreto f'c:280 kg/m² = 1:0.45:1.89:2.01
- Cantera Cerro Chilco
 - Concreto f'c:210 kg/m² = 1:0.54:2.49:2.69
 - Concreto f'c:280 kg/m² = 1:0.50:2.23:2.40

VI. RECOMENDACIONES

- Es recomendable utilizar el aditivo Plastiment® HE-98 para mejorar la consistencia de la mezcla, incrementando la cantidad de aditivo conforme se requiera aumentar la trabajabilidad de la muestra. Además, es recomendable cuando se quiera evitar la segregación de los materiales para el vaciado de estructuras con refuerzos muy densos.
- Es recomendable utilizar el aditivo al 0.3% del peso del cemento cuando se requiere un incremento en la resistencia a la compresión, no debiendo exceder esta cantidad porque la resistencia a la compresión empieza a disminuir.
- Se recomienda investigar las variaciones y los efectos del aditivo Plastiment® HE-98 en conjunto con otros aditivos que mejoren otras propiedades con la finalidad de cuantificar mejoras o variaciones en sus efectos.
- Es recomendable realizar más ensayos al concreto elaborado con aditivo Plastiment® HE-98 como exudación, tiempo de fraguado, resistencia a la tracción, módulo elástico, contenido de aire y fluidez.

VII. REFERENCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE(USA). ACI 318S-14: 14.3: Simple Concrete– Design limits. Michigan: ACI, 2014. 209 pp.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE(USA). ACI 318S-14: 19.2: Concrete: design requirements and durability– Concrete design properties. Michigan: ACI, 2014. 333 pp.

BENITES Bustamante, Juan Carlos. Características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera Río Jequetepeque y el Aditivo Chemaplast. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2014.

BERNAL Díaz, Daniel. Estudio de la influencia del aditivo Chema Plast en la resistencia a la comprensión del concreto usando cemento Pacasmayo tipo I y cemento Inka. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2014.

BUSTAMANTE Tirado, Marisol. Análisis de las propiedades mecánicas del concreto autocompactante, usando el aditivo superplastificante glenium C313. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2018.

FLORES Huamaní, Mauro. Estudio de las propiedades del concreto pesado de alta resistencia utilizando cemento portland tipo I y un aditivo superplastificante. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. 2005.

GALLO Sánchez, Freddy Edinson y MURGA Tirado, Christian Edinson. Evaluación de la resistencia a compresión y permeabilidad del concreto permeable $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, usando el aditivo sikament-290n con agregados de la cantera del Río Chonta de la ciudad de Cajamarca, 2017. Tesis (Ingeniero Civil). Trujillo, Perú. 2017.

GARAY Pichardo, Lisandra Yelina y QUISPE Cotrina, Carol Estefani. Estudio del concreto elaborado en los vaciados de techos de vivienda en Lima y evaluación de alternativa de mejora mediante el empleo de aditivo superplastificante (Reductor de agua

de alto rango). Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2016.

HUINCHO Salvatierra, Edher. Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento Portland tipo I. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.

INCIO Abanto, Paul. Influencia del aditivo chema 3 en la resistencia a la compresión, a diferentes edades, del concreto usando cemento Portland tipo 1 y agregados de río; en la ciudad de Cajamarca. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2015.

JIMENEZ Gómez, Rubén Dante. Efectos de la incorporación del aditivo superfluidificante sobre las propiedades del concreto utilizando el cemento portland tipo I. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.

LARA Sánchez, Will Diego Mauricio. Influencia de los aditivos tipo C según ASTM C494-17, dosificación y curado sobre la compresión, trabajabilidad y fraguado en un concreto convencional, Trujillo-2018. Tesis (Ingeniero Civil). Trujillo, Perú. Universidad Privada del Norte. 2018.

LOAYZA Moreano, Víctor Andrés. Estudio de las propiedades del concreto y la variabilidad de su resistencia usando aditivo superplastificante y cemento portland tipo I. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.

MONTALVÁN Girón, Pável Fernando. Propiedades del concreto de mediana a baja resistencia con aditivo plastificante y cal hidratada al 40%, 50% y 60%. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2017.

MOLINA Segura, Carlos Joel y SALDAÑA Pacheco, Saúl Omar. Influencia del aditivo hiperplastificante plastol 200 ext en las propiedades del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido. Tesis (Ingeniero civil). Trujillo, Perú. Universidad Privada Antenor Orrego. 2014.

NIETO Osorio, Roberto Carlos. Análisis comparativo de concretos con aditivos reductores de agua: complementación utilizando el aditivo GLENIUM 3030 NS en concretos autonivelantes. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.

NIÑO Hernández, Jairo René. Tecnología del concreto Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas. Tercera edición. Bogotá D.C: Asocreto. 2010. 228 p.

PALOMARES Carmona, Jaime Paul. Estudio de las características del concreto utilizando aditivo reductor de agua de alto rango - superplastificante y cemento portland tipo I. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.

PEREDO Romero, Marianella. Estudio del comportamiento del concreto con cemento portland tipo V y un aditivo retardador de fraguado y reductor de agua. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.

PÉREZ Villar, Carmen. Influencia del aditivo sika visco crete 3330 en la durabilidad del concreto autocompactante elaborado con cemento tipo II y V. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2015.

SÁNCHEZ Hidalgo, Leidy Ysis Yasodara. Efecto del aditivo superplastificante sika viscocrete en la resistencia mecánica del concreto autocompactante. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2014.

SANGAY Quiliche, Nielser Kelman. Influencia del aditivo eucon 1037 en la resistencia a la compresión de un concreto de $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ – Cajamarca. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2017.

SIKA Perú S.A. Hoja técnica Plastiment ® HE-98. Edición 9. (Enero, 2015). Disponible en <file:///C:/Users/Tadashi/Downloads/HT-PLASTIMENT%20HE%2098.pdf>

TEJADA Silva, Marco Antonio. Influencia de la microsíllice y el aditivo superplastificante en el concreto de alta resistencia. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2016.

TESILLO Ayala, Alberto. Estudio de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido con cemento Pórtland tipo 1 y utilizando un aditivo plastificante. Tesis (Ingeniero Civil). Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 2015.

YZQUIERDO Villanueva, Joaquín. Estudio de la influencia del aditivo chema estruct en la resistencia a la compresión del concreto con cemento Pacasmayo y cemento Inka. Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca, Perú. Universidad Nacional de Cajamarca. 2015.

ANEXOS

Anexo N°01: Resumen de fichas de observación.

Anexo N°02: Ficha técnica del cemento portland tipo I Pacasmayo

Anexo N°03: Ficha técnica del aditivo Plastiment® HE-98

Anexo N°04: Resultados del laboratorio de materiales y concreto

Anexo N°05: Informe técnico de rotura de probetas

Anexo N°06: Panel fotográfico