

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**PROPIEDADES DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND  
TIPO I, DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA, VACIADO BAJO  
AGUA**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR  
JUAN MANUEL ENRIQUE DIAZ RODRIGUEZ**

**ASESOR  
Ing. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ**

**LIMA - PERÚ**

**2023**

© 2023, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la Tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”**

Diaz Rodriguez, Juan Manuel Enrique

jmedr7@gmail.com

962605716 – 2744970

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme dado las fortalezas y virtudes para realizar esta investigación y llegar a esta etapa de mi vida.

A mis padres Jorge y Rosyllen, por ser mi apoyo incondicional durante todo el desarrollo de la tesis y elaboración de los ensayos, por su apoyo emocional, gran comprensión y cariño que me permite seguir avanzando en la vida, por haberme brindado grandes consejos, una gran formación académica con valores y actitudes, ser un ejemplo para mi vida y motivarme a seguir adelante en mi carrera profesional.

A mi querida enamorada Bettina, quien me ha amado y apoyado incondicionalmente, por estar conmigo en los momentos más difíciles, y ser siempre la persona que me da la fortaleza necesaria para continuar en este largo camino.

A mis hermanos Yda, Jorge, Lupe y Mavi por estar siempre presentes en los momentos importantes de mi vida, saber que siempre puedo contar con ellos y darme siempre sus buenas energías y apoyo.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por brindarme las facilidades para poder desarrollar la presente investigación y darme una gran formación académica.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, por apoyarme en todos los sentidos para la realización de esta tesis, por brindarme su tiempo y energía en cada una de las etapas de este proceso.

A mi asesor de tesis, el Ing. Carlos Barzola Gastelú, quien me brindo su apoyo intelectual y me guio con mucha sabiduría y paciencia en la elaboración de esta investigación, siempre dispuesto a brindarme sus consejos.

A los ingenieros, técnicos, personal y compañeros del Laboratorio de Ensayos de Materiales de la UNI, quienes me ayudaron y guiaron para realizar mis ensayos de manera satisfactoria.

A la empresa Química Suiza y su personal, por las facilidades y colaboración brindada para la realización de esta tesis.

A mis familiares, que me apoyaron con su colaboraron en etapas tempranas y dieron las facilidades para continuar en esta investigación.

A todos: muchísimas gracias.

	<b>Pág.</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.1 GENERALIDADES .....	12
1.2 PROBLEMÁTICA .....	13
1.3 OBJETIVOS .....	14
1.3.1 <i>Objetivo General</i> .....	14
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i> .....	15
1.4 HIPÓTESIS .....	15
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
2.1 CONCRETO.....	16
2.2 CONCRETO VACIADO BAJO AGUA O SUMERGIDO .....	16
2.3 CEMENTO .....	16
2.4 AGREGADOS .....	17
2.4.1 <i>Agregado fino</i> .....	17
2.4.2 <i>Agregado grueso</i> .....	17
2.4.3 <i>Agua</i> .....	17
2.5 ADITIVOS.....	17
2.5.1 <i>Aditivo modificador de viscosidad (Awa)</i> .....	18

2.5.1.1	Clases.....	18
2.5.1.2	Awa basados en celulosa.....	19
2.5.2	<i>Aditivo superplastificante y reductores de agua</i> .....	20
2.5.2.1	Interacción química cemento/aditivo .....	21
<b>CAPÍTULO III: MATERIALES, PROPIEDADES Y ENSAYOS .....</b>		<b>23</b>
3.1	AGREGADOS .....	23
3.1.1	<i>Propiedades físicas</i> .....	23
3.1.1.1	Gravedad específica y absorción de agregados finos .....	23
3.1.1.2	Peso específico y absorción del agregado grueso .....	24
3.1.1.3	Peso unitario y contenido de vacíos .....	25
3.1.1.4	Contenido de humedad.....	25
3.1.1.5	Análisis granulométrico .....	26
3.1.2	<i>Resultados de las propiedades de los agregados</i> .....	30
3.1.3	<i>Agregado global</i> .....	32
3.1.3.1	Peso unitario compactado.....	32
3.1.3.2	Análisis granulométrico .....	34
3.2	CEMENTO .....	35
3.2.1	<i>Cemento usado</i> .....	35
3.3	ADITIVOS.....	36
3.3.1	<i>Aditivos usados</i> .....	36
3.4	COLOCACIÓN DE CONCRETO BAJO AGUA.....	36
3.4.1	<i>Método Tremie</i> .....	37
3.4.2	<i>Adaptación de método Tremie para elaboración de probetas</i> .....	42
3.4.2.1	Materiales .....	42
3.4.2.2	Procedimiento .....	44
<b>CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL CONCRETO .....</b>		<b>49</b>
4.1	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN .....	49
4.1.1	<i>Método para la obtención del agua</i> .....	49
4.1.2	<i>Determinación del porcentaje de agregados</i> .....	51

4.1.3	<i>Diseño de concreto patrón</i> .....	55
4.2	PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO .....	57
<b>CAPÍTULO V: ENSAYOS Y RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....</b>		
<b>62</b>		
5.1	PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO .....	62
5.1.1	<i>Asentamiento</i> .....	62
5.1.2	<i>Peso unitario</i> .....	63
5.1.3	<i>Exudación</i> .....	64
5.1.4	<i>Fluidez</i> .....	65
5.1.5	<i>Fluidez de asentamiento</i> .....	66
5.1.6	<i>Contenido de aire</i> .....	68
5.1.7	<i>Tiempo de fragua</i> .....	69
5.2	RESULTADOS .....	70
5.2.1	<i>Ensayo de asentamiento</i> .....	71
5.2.2	<i>Ensayo de peso unitario</i> .....	72
5.2.3	<i>Ensayo de exudación</i> .....	73
5.2.4	<i>Ensayo de fluidez</i> .....	74
5.2.5	<i>Ensayo de fluidez de asentamiento</i> .....	74
5.2.6	<i>Contenido de aire</i> .....	75
5.2.7	<i>Tiempo de fragua</i> .....	76
<b>CAPÍTULO VI: ENSAYOS Y RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO .....</b>		
<b>79</b>		
6.1	PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO .....	79
6.1.1	<i>Resistencia a la compresión axial</i> .....	79
6.1.2	<i>Resistencia a la tracción por compresión diametral</i> .....	79
6.2	RESULTADOS .....	80
6.2.1	<i>Ensayo de resistencia a la compresión axial</i> .....	80
6.2.2	<i>Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral</i> .....	82

<b>CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>84</b>
7.1 AGREGADOS .....	84
7.1.1 Agregado fino.....	84
7.1.2 Agregado grueso .....	84
7.1.3 Agregado global.....	84
7.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	85
7.2.1 Asentamiento.....	85
7.2.2 Peso Unitario .....	85
7.2.3 Exudación.....	86
7.2.4 Fluidéz .....	87
7.2.5 Fluidéz de asentamiento.....	87
7.2.6 Contenido de aire.....	88
7.2.7 Tiempo de fragua.....	89
7.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO .....	90
7.3.1 Resistencia a la compresión axial .....	90
7.3.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral.....	92
7.4 ESTADO DEL CONCRETO LUEGO DEL VACIADO BAJO AGUA.....	93
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>95</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>99</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>102</b>



## RESUMEN

En la actualidad el concreto vaciado o colocado bajo el agua con el uso de aditivos, es una práctica poco desarrollada en el Perú, así como también está poco difundida las características del mismo y sus propiedades. Sin embargo, si se tiene un conocimiento más profundo del mismo, el uso de este tipo de concreto en conjunto con métodos adecuados de vaciado, como el Tremie, se puede tener mayores beneficios y reducción de costos que un concreto colocado bajo el agua mediante otras técnicas como el bombeo de la zona del vaciado.

Se han desarrollado investigaciones respecto al uso de los aditivos modificadores de viscosidad y superplastificantes para este tipo de concretos, sin embargo, estos se han desarrollado en un recinto seco o en recipientes que pueden no simular adecuadamente un escenario real, ya que solo se basan en recomendaciones. En esta investigación utilizamos los aditivos, modificador de viscosidad Euco Awa y superplastificante Plastol 20+, Cemento Sol portland Tipo I, agregado fino y agregado grueso de huso 67 de la cantera Unicon. En la etapa de laboratorio se realizaron los ensayos de concreto en estado fresco y endurecido, así como los ensayos de las propiedades de los agregados. Así mismo, con el fin de analizar las propiedades en estado endurecido y evaluar cualitativamente las características de probetas concreto colocadas bajo agua se propuso una adaptación del método Tremie. Los diseños de mezcla para los análisis y comparación fueron un diseño de concreto patrón de relación  $a/c=0.60$ , asentamiento de 4" y cantidad de agua de  $325 \text{ l/m}^3$ , y un concreto con aditivo con la misma cantidad de agua y con porcentaje de 0.5% de Euco Awa y 0.5% de Plastol 20+ en peso de cemento.

Los principales resultados obtenidos son: el asentamiento y tiempo de fragua incrementan considerablemente, la exudación y resistencia a la compresión diametral, aumentan notablemente, el peso unitario y la resistencia a la compresión axial, incrementan ligeramente, el contenido de aire disminuye, la fluidez del concreto presenta un valor normal, la fluidez de asentamiento está dentro del rango recomendado, de esta forma mostrando tener una mejoría en estas propiedades, de igual forma la mezcla presenta una buena estabilidad. Así mismo las probetas vaciadas bajo agua mostraron tener un buen llenado sin presencia de segregación, y con valores satisfactorios de resistencia.

## ABSTRACT

In these days, concrete placed under water with the use of additives, is a little developed practice in Peru, as well as its characteristics and properties are little spread. However, if you have a deeper understanding of it, the use of this type of concrete in conjunction with adequate placing methods, such as Tremie, can have greater benefits and cost reduction than concrete placed underwater using other techniques such as pumping the placing area.

There have been researches about the use of viscosity modifier and superplasticizer additives for this type of concrete, however these have been developed in dry recipients or in containers that may not adequately simulate a real scenario since they are only based on recommendations. In this research we used the additives, Euco Awa viscosity modifier and Plastol 20+ superplasticizer, Type I Portland Sol Cement, fine aggregate and coarse aggregate of spindle 67 from the Unicon quarry. In the laboratory stage, the concrete tests were carried out in the fresh and hardened state, as well as tests of the properties of the aggregates. In order to analyze the properties in the hardened state of a concrete placed under water and to qualitatively evaluate the characteristics of the concrete specimens placed under water, an adaptation of the Tremie method was proposed. The mix designs to carry out the respective analyzes and comparisons were a standard concrete design with a  $w/c=0.60$  ratio, slump of 4" and a quantity of water of  $325 \text{ l/m}^3$ , and the concrete with an additive with the same quantity of water and with a percentage of 0.5% Euco Awa and 0.5% Plastol 20+ by weight of cement.

The main results obtained are: the slump and setting time increase considerably, exudation and the diametral compressive strength increase notably, unit weight and the axial compression strength increase slightly, air content decreases, the fluidity of the concrete shows a normal value, the slump flow is within the recommended range, in this way showing and improvement in these properties, in the same way the mixture shows a good stability. Likewise, the concrete specimens with additive that were placed under water with the proposed adaptation, showed a good filling without presence of segregation and with satisfactory values of strength.

## PRÓLOGO

La presente tesis de investigación titulada “PROPIEDADES DEL CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND TIPO I, DE MEDIANA A BAJA RESISTENCIA, VACIADO BAJO AGUA”, ha sido producto de la necesidad de conocer las características de un concreto colocado mediante esta modalidad la cual es una técnica poco difundida en el Perú.

Por tal motivo es de suma importancia generar más información para que este tipo de vaciados sea cada vez más común en nuestro país y se pueda aprovechar las bondades que ofrece este tipo de concretos.

Esta tesis está dirigida hacia los ingenieros y constructores en general que se vean en la necesidad de trabajar en zonas con presencia de agua y puedan tener una mejor alternativa para realizar este tipo de construcciones, para que tengan una idea más clara de las propiedades y beneficios de un concreto colocado bajo agua mediante métodos más adecuados con el uso de aditivos.

Ing. Carlos Barzola Gastelú  
Asesor

## LISTA DE CUADROS

CUADRO N° 1 Límites de la granulometría del agregado grueso 1 .....	28
CUADRO N° 2 Límites de la granulometría del agregado grueso 2 .....	29
CUADRO N° 3 Límites de la granulometría del agregado fino .....	29
CUADRO N° 4 Propiedades de los agregados .....	30
CUADRO N° 5 Granulometría del agregado fino .....	30
CUADRO N° 6 Granulometría del agregado grueso .....	31
CUADRO N° 7 Peso unitario compactado del agregado global .....	33
CUADRO N° 8 Análisis Granulométrico del agregado global .....	34
CUADRO N° 9 Límites granulométricos del agregado global .....	34
CUADRO N° 10 Características del cemento portland tipo I .....	36
CUADRO N° 11 Dosificaciones de concreto para hallar cantidad de agua .....	50
CUADRO N° 12 Dosificaciones de mezcla con variación de 3% de agregados .....	52
CUADRO N° 13 Resistencia a la compresión axial de las probetas a los 7 días .....	52
CUADRO N° 14 Características de los agregados .....	55
CUADRO N° 15 Dosificación del concreto patrón .....	57
CUADRO N° 16 Densidad de los aditivos .....	59
CUADRO N° 17 Dosificación del concreto con aditivo .....	61
CUADRO N° 18 Índice de estabilidad visual .....	68
CUADRO N° 19 Asentamiento del concreto .....	71
CUADRO N° 20 Peso unitario del concreto .....	72
CUADRO N° 21 Exudación del concreto .....	73
CUADRO N° 22 Fluidez del concreto .....	74
CUADRO N° 23 Fluidez de asentamiento del concreto .....	74
CUADRO N° 24 Índice de estabilidad visual del concreto con aditivo .....	75
CUADRO N° 25 Contenido de aire del concreto .....	75
CUADRO N° 26 Tiempo de Fragua del concreto .....	76
CUADRO N° 27 Resistencia a la compresión del concreto .....	81
CUADRO N° 28 Resistencia a la tracción por compresión diametral .....	83

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA N° 1 Curva Granulométrica del agregado fino .....	31
FIGURA N° 2 Curva Granulométrica del agregado grueso .....	32
FIGURA N° 3 P.U.C. del agregado global vs % de Arena.....	33
FIGURA N° 4 Curva Granulométrica del agregado global.....	35
FIGURA N° 5 Sistema Tremie .....	41
FIGURA N° 6 Esquema general del vaciado bajo agua .....	43
FIGURA N° 7 Diagrama de vaciado 1 .....	44
FIGURA N° 8 Diagrama de vaciado 2.....	45
FIGURA N° 9 Diagrama de vaciado 3.....	46
FIGURA N° 10 Diagrama de vaciado 4.....	46
FIGURA N° 11 Diagrama de vaciado 5.....	47
FIGURA N° 12 Diagrama de vaciado 6.....	47
FIGURA N° 13 Agua requerida vs Asentamiento.....	51
FIGURA N° 14 Resistencia a la compresión axial vs % Arena.....	53
FIGURA N° 15 %Arena vs F'c vs P.U.C. ....	53
FIGURA N° 16 Variación del asentamiento .....	71
FIGURA N° 17 Variación del peso unitario .....	72
FIGURA N° 18 Variación de la Exudación .....	73
FIGURA N° 19 Fluidez de asentamiento del concreto con aditivo.....	75
FIGURA N° 20 Variación del contenido de aire.....	76
FIGURA N° 21 Variación del tiempo de fragua inicial .....	77
FIGURA N° 22 Variación del tiempo de fragua final.....	77
FIGURA N° 23 Resistencia a la penetración vs Tiempo.....	78
FIGURA N° 24 Resistencia a la compresión vs Tiempo.....	81
FIGURA N° 25 Variación de la resistencia a la compresión axial.....	82
FIGURA N° 26 Variación de la resistencia a la tracción .....	83
FIGURA N° 27 Asentamiento del concreto .....	85
FIGURA N° 28 Peso unitario del concreto .....	86
FIGURA N° 29 Exudación del concreto .....	87
FIGURA N° 30 Exudación del concreto .....	88
FIGURA N° 31 Tiempo de Fragua inicial del concreto .....	89
FIGURA N° 32 Tiempo de Fragua final del concreto.....	90

FIGURA N° 33 Resistencia a la compresión a los 8 días .....	91
FIGURA N° 34 Resistencia a la compresión a los 28 días .....	92
FIGURA N° 35 Resistencia a la tracción a los 28 días .....	93
FIGURA N° 36 Estado de las probetas luego de ser ensayadas.....	94

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- ASTM: American Society for Testing and Materials.
- ACI: American Concrete Institute.
- NTP: Norma Técnica Peruana.
- $P_{e_m}$ : Peso específico de masa.
- $P_{e_{sss}}$ : Peso específico de masa saturado superficialmente seco.
- $P_{e_a}$ : Peso específico aparente.
- Ab: Absorción.
- P.U.S.: Peso unitario suelto.
- P.U.C.: Peso unitario compactado.
- T.M.: Tamaño máximo.
- T.M.N.: Tamaño máximo nominal.
- M.F.: Módulo de finura.
- a/c: agua/cemento.
- $f'_c$ : Esfuerzo máximo de compresión en el concreto.
- D.S.: Diseño seco.
- D.U.S.: Diseño unitario seco.
- D.O.: Diseño húmedo o diseño de obra.
- D.U.O.: Diseño unitario de obra.
- V.S.I.: Índice de estabilidad visual.
- $T_{50}$ : Tiempo en el que el concreto alcanza un diámetro de 50cm.
- T.F.I.: Tiempo de fragua inicial.
- T.F.F.: Tiempo de fragua final.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 GENERALIDADES

A lo largo de los años se ha visto la necesidad de realizar estructuras que estén en contacto directo y continuo con el agua, como sucede en la construcción de las bases de puentes sobre ríos o mares, la construcción de presas, construcciones con presencia de nivel freático alto, entre otras.

El concreto que se usa en este tipo de construcciones es el llamado concreto vaciado bajo agua o sumergido, el cual se ha utilizado desde la antigüedad cuando no ha sido posible o ha habido inconveniencia de conseguir un recinto seco para su puesta en obra. Sin embargo, el concreto al ser vaciado directamente al contacto con el agua puede sufrir de diversos fenómenos que son perjudiciales para el concreto como lo son la segregación y el lavado de finos, esto finalmente genera un deterioro de sus propiedades como la pérdida de resistencias finales y baja adherencia del concreto con el acero. (Bernardo, Vicente, Gonzales y Martínez, 2015)

En general el diseño de este tipo de concretos ha considerado las pérdidas de resistencia derivadas de lavado de finos (cementantes y agregados de finos) durante el contacto con el agua. Siendo así, las mezclas suelen sobre diseñarse; por consiguiente, aumentan costo y la incertidumbre sobre el comportamiento final del concreto. (Zanelli y Fernández, 2014).

En la actualidad existen algunos métodos para realizar construcciones bajo el agua, uno de ellos el bombeo del agua de la zona en la que será colocado el concreto para generar un recinto seco, con este tipo de métodos se evitaría las complicaciones que conlleva vaciar el concreto directamente en el agua.

Sin embargo, desde las últimas décadas del siglo pasado se ha venido utilizando aditivos superplastificantes y modificadores de viscosidad, los cuales eliminan la necesidad de bombear el agua en la zona y mitigan los efectos negativos de realizar una colocación directa. Estos aditivos brindan al concreto características necesarias para poder realizar la colocación bajo agua como son la resistencia a la segregación por parte del modificador de viscosidad y la autocompactación por parte del aditivo superplastificante.



Para realizar este tipo de vaciado con aditivos es necesario el uso de métodos adecuados, uno de ellos es el método Tremie, el cual consiste en llenar el encofrado que se encuentra sumergido con concreto mediante un tubo llamado tubo de Tremie.

Alrededor del mundo se ha utilizado concreto sumergido en grandes obras de ingeniería como las bases del Puente Akashi Kaikyo (Japón, 1988-1998), las fundaciones de los puentes de conexión al nuevo aeropuerto internacional de Kansai (Japón, 1991), el puente de conexión a Ciudad del Carmen en Campeche (México, 1994) y las reparaciones de la presa Braddock sobre el río Monongahela en Pittsburgh, Pennsylvania (Estados Unidos, 1999-2004), entre otros. Son muchas las estructuras en que este material puede ser útil: diques, malecones, plataformas costeras, puertos, estructuras de puentes, estructuras hidráulicas, construcción de ataguías, cajones de cimentación, etc. (Zanelli y Fernández, 2014)

Este tipo de concretos se puede colocar en cualquier zona con presencia de agua o nivel freático, también en estructuras ya realizadas como canales, zapatas o represas. Por ejemplo, para realizar reparaciones, se puede colocar un encofrado alrededor de la zona a reparar y verter el concreto mediante bombeo desde la parte inferior del encofrado, también pueden realizarse mediante otro tipo de encofrados según se vea la necesidad, como encofrados flexibles, o utilizarse otros métodos según se requiera para la reparación, como es el caso de la inyección de concreto.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Hoy en día existen alternativas para realizar construcciones de concreto bajo el agua, como lo es el bombeo del agua en la zona de vaciado, sin embargo, realizar una colocación directa podría ser de mayor ventaja si es que se minimizan los efectos negativos derivados del contacto del agua con el concreto.

Macedo y Miranda (2016), investigaron el uso de aditivos para el concreto como el Sika Fume, así como la combinación de Euco Awa con Euco 37, para diseñar concretos para vaciar en zonas de nivel freático alto, buscando menguar el efecto producido por la exposición del agua, mostrando una mejora en el concreto debido a estos aditivos.

Díaz y Soberón (2019), proponen el uso de Sika Fume para vaciar concreto en estructuras en terrenos con nivel freático alto, logrando reducir la pérdida de finos y mayores resistencias finales.

Sin embargo, estos trabajos basan sus conclusiones en concretos los cuales no han sido probados en el laboratorio bajo un vaciado bajo agua o se han realizado mediante probetas que buscan simular una puesta en obra real, pero que estas pueden distar significativamente de este escenario, ya que solo se basan en recomendaciones. (Bernardo, Vicente, Gonzales y Martínez, 2015)

En el Perú actualmente realizar un vaciado bajo agua es una tarea poco desarrollada y vista por los constructores, por este motivo se pierden muchas oportunidades de reducir costos de producción. El uso de aditivos en conjunto con métodos adecuados de colocación, proponen una mejor alternativa en cuanto a costos y resistencias finales que una colocación directa sin aditivos o el bombeo.

Aun esta poco estudiado cuales son las características que posee este tipo de concreto con aditivo y los ensayos que se le deberían realizar, así como tampoco existe un método específico por el cual se puedan realizar probetas de concreto vaciadas bajo el agua, que son necesarias para los ensayos de resistencia a la compresión y a la tracción, las cuales puedan simular una colocación en un escenario real permitiendo tener una mejor idea del verdadero comportamiento del concreto.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo General

Estudiar las propiedades del concreto de cemento portland tipo I de mediana a baja resistencia, vaciado bajo agua, con los aditivos modificador de viscosidad Euco Awa y superplastificante Plastol 20+, así como proponer una adaptación del método Tremie que permita simular un vaciado de probetas bajo agua en el laboratorio, para poder obtener una mejor idea del comportamiento de este tipo de concreto en un escenario real.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener información en cuanto a las propiedades en estado fresco del concreto con los aditivos Euco Awa y Plastol 20+ y compararlas con las propiedades de un concreto patrón.
- Proponer una adaptación del método Tremie que permita simular un vaciado de probetas bajo agua en el laboratorio que den resultados satisfactorios para poder ser ensayadas.
- Obtener información en cuanto a la resistencia a la compresión y tracción de las probetas vaciadas bajo agua en el laboratorio y compararlas con la resistencia de un concreto patrón.

### 1.4 HIPÓTESIS

La adición del aditivo Euco Awa junto con Plastol 20+ proporcionará al concreto características autonivelantes y autocompactantes, así como también evitará el lavado de finos, la penetración del agua dentro de la masa de concreto y aumentará la resistencia a la segregación. Estas características permitirán un vaciado directo mediante una adaptación del método Tremie para probetas vaciadas bajo agua en el laboratorio.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 CONCRETO

El concreto es un material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena, agua y agua opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes. (Varas, 2018).

### 2.2 CONCRETO VACIADO BAJO AGUA O SUMERGIDO

Se suelen definir así a los concretos capaces de ser puestos bajo el agua cumpliendo al menos dos premisas: ser capaces de fluir adecuadamente hasta rellenar el molde o área objetivo, sin dejar huecos y autonivelándose en ausencia de vibración externa, así como sin mostrar signos de segregación o lavado; ser capaces de mantener intactas o escasamente alteradas las propiedades mecánicas mostradas cuando son ejecutados en condiciones no sumergidas una vez han sido vertidos bajo el agua, proceso durante el cual entra en contacto con ella a lo largo de una cierta distancia y a una determinada velocidad relativa. Normalmente este contacto con el agua produce un efecto de lavado en el concreto, durante el cual hay una pérdida de finos y de cemento, así como una infiltración de agua en la estructura de la masa, efectos que provocan una reducción en las capacidades mecánicas de la mezcla. (Bernardo, Vicente, Gonzales y Martínez, 2015)

### 2.3 CEMENTO

Es un material pulverizado obtenido artificialmente de una materia prima compuesta por caliza, arcilla y otros minerales, la cual es finamente molida y homogenizada para luego ser llevada a altas temperaturas en hornos rotativos o verticales en donde se forma el clinker. El clinker es un producto intermedio al cual se adiciona yeso (5% en proporción) para formar un producto hidráulico capaz de fraguar y endurecer al contacto con el agua, este producto se denomina cemento.

El Cemento portland es el tipo de cemento más utilizado en la construcción patentado por primera vez en 1824 por Joseph Aspdin, el cual presenta la siguiente distribución de compuestos principales. (Vásquez, 2019)

- Silicato Tricálcico:  $3\text{CaO SiO}_2$  30% al 50% ( $\text{C}_3\text{S}$ )
- Silicato Dicálcico:  $2\text{CaO SiO}_2$  15% al 30% ( $\text{C}_2\text{S}$ )
- Aluminato Tricálcico:  $3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$  4% al 12% ( $\text{C}_3\text{A}$ )
- Ferro Aluminato Tetracálcico:  $4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$  8% al 13% ( $\text{C}_4\text{AF}$ )

## 2.4 AGREGADOS

Los agregados constituyen una parte fundamental de la mezcla de concreto, su orden es de 65% de volumen de mezcla total aproximadamente, es por ello la relevancia predominante que tienen las propiedades de los agregados frente al resto de componentes de la mezcla de concreto. Los agregados empleados en la mezcla de concreto son el agregado fino y el agregado grueso, cada uno con características propias. (Zavala, 2019)

### 2.4.1 Agregado fino

Según la NTP 400.037 (2014), es el agregado proveniente de la disgregación natural o artificial de las rocas, que pasa el 100% por el tamiz normalizado 9.5mm (malla 3/8") y que cumple con los límites establecidos en la misma norma.

### 2.4.2 Agregado grueso

Según la NTP 400.037 (2014), es aquel agregado proveniente de la disgregación natural o artificial de las rocas, que queda retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (malla N°4) y que cumple con los límites establecidos en la misma norma.

### 2.4.3 Agua

El agua es un elemento necesario en la producción del concreto, en el proceso de hidratación del cemento y el desarrollo en las propiedades del concreto endurecido. (Abanto, 2009)

## 2.5 ADITIVOS

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto. (Pasquel, 1998)

### 2.5.1 Aditivo modificador de viscosidad (Awa)

El AWA es aquel material que por sus propias características inhibe los efectos producidos por la intervención del agua que proviene de afuera de la mezcla y deteriora la calidad del concreto, el AWA posee la capacidad de aumentar la cohesión y disminuye la capacidad de división de los materiales que lo componen, disminuye la permeabilidad del concreto, de tal forma que aísla a la mezcla de factores externos que deterioren y e impidan un correcto desempeño. (Macedo y Miranda, 2016)

#### 2.5.1.1 Clases

Según Ramachandran (1984) Categoriza los aditivos (AWA) en cinco tipos dependiendo las acciones que cree dentro del concreto. Las exponemos a continuación.

- Tipo A - Polímero orgánico soluble, sintético que aumenta la viscosidad al contacto con el agua en la mezcla. Tipo de materiales de esta clase incluyen celulosa - éteres, óxidos de polietileno, etc.
- Tipo B - floculantes, material químico que concentra materiales suspendidos, de tipo orgánico y solubles en agua, que son absorbidos por las partículas cementicias y aumentan la viscosidad debido al aumento de atracción entre los granos de cemento, una vez hidratados. Los materiales de clase B incluyen copolímeros de estireno con grupos carboxilo, polielectrolitos sintéticos, y gomas naturales.
- Tipo C - Emulsiones de diversos materiales orgánicos, que provocan una mejora en la atracción entre partículas y suministra adicionalmente partículas superfina a la pasta de cemento. Entre los materiales que pertenecen a la clase C son emulsiones acrílicas y dispersiones acuosas de arcilla.
- Tipo D - Material inorgánico de alta área superficial que aumenta la capacidad de retención de agua de la pasta de cemento, tales como bentonitas, humo de sílice, amianto y molido.
- Tipo E- Materiales inorgánicos que poseen gran área superficial y que aumentan el contenido de partículas finas en pasta, tales como cenizas volantes, cal hidratada, y la tierra de diatomeas.

Según Kawai (1987) Clasifica polímeros solubles en agua como sigue:

- Los polímeros naturales que incluyen almidón, gomas naturales y proteínas vegetales.
- Polímeros semisintéticos que incluyen almidón descompuesto y sus derivados; derivados de celulosa - éter, tal como hidroxipropil metil celulosa (HPMC), hidroxietilcelulosa (HEC) y carboxi metil celulosa (CMC); así como electrolitos, tales como alginato de sodio.
- Los polímeros sintéticos, incluyendo los basados en etileno, tal como óxido de polietileno; y los basados en vinilo, tal como alcohol de polivinilo.

#### 2.5.1.2 Awa basados en celulosa

Según Kamal (1995) Los aditivos Antiwashout más utilizados en la construcción y producción de concreto son derivados de celulosa y polisacáridos de fuentes microbianas, tales como velan gum. Polímeros basados en Acyclic, tales como productos de hidrólisis parcial de un copolímero de poliácridamida de acrilamida y acrilato de sodio. Este último tipo de AWA contiene acrilamida como su componente principal. Los derivados de celulosa a menudo contienen éter de celulosa no iónico como componente principal, en el que se utilizan diferentes materiales.

Los diversos polímeros solubles en agua forman soluciones viscosas que se unen una parte del agua de mezcla en hormigón fresco, mejorando así la viscosidad plástica y valor de rendimiento de la pasta.

El modo de acción de un AWA depende del tipo y la concentración del polímero en uso. Se cree que los derivados de velan gum y de celulosa aumentan la viscosidad en el agua de mezcla, ya que las moléculas de polímero de cadena larga se adhieren a la superficie de las moléculas de agua, por lo tanto, la absorción y la fijación de una parte del agua y por lo tanto su expansión. Por otra parte, las moléculas en cadenas de polímero adyacentes se entrelazan y desarrollar fuerzas de atracción, por lo tanto, bloquea aún más el movimiento del agua y haciendo que el gel muestre una mayor viscosidad.

Dependiendo de la concentración de un AWA, las cadenas de polímero en el hormigón pueden enredarse o asociarse, lo que resulta en un aumento de la viscosidad aparente a bajas tasas de corte. Con el aumento en la velocidad de corte inducida por el bombeo, o la consolidación del concreto AWA, las cadenas

enredadas pueden desagregarse y alinearse en la dirección del flujo. La viscosidad aparente a continuación, puede disminuir con mejora en la fluidez y la capacidad de extensión del hormigón.

La incorporación de una AWA refuerza la cohesión y reduce el riesgo de separación de los componentes del concreto. Esto es ventajoso en lechadas de cemento donde se utilizan para llenar los conductos de varillas post-tensadas. En las que diferentes presiones hidráulicas entre los huecos de la lechada y del aire atrapado entre los diferentes tendones, pueden conducir a la separación de una parte del agua de la lechada. El sangrado de agua puede ser forzado en los huecos

estrechos entre los tendones y los filamentos, estos que pueden ser demasiado pequeños para ser penetrados por granos de cemento. Después, el agua se puede movilizar hacia arriba por acción capilar y llegan a depositarse más arriba en los conductos de post-tensado.

Dado que parte del agua de mezcla se utiliza para hidratar el aditivo AWA, un concreto con AWA puede ser pegajoso y viscoso. Se necesita un aditivo reductor de agua o HRWRA para disminuir el valor de su propio rendimiento para mejorar la auto compactación sin aumentar la relación agua-cemento ( $a/c$ ). Incluso en la presencia de tales aditivos; la velocidad del flujo, producto de este concreto viscoso, es más lenta que la de un hormigón no AWA de un slump similar. Un flujo viscoso tal, es deseable en vaciados bajo el agua, ya que la reducción de la velocidad del flujo del concreto puede disminuir la mezcla del agua con el concreto fresco, lo que limita la expulsión de cemento y agregados finos en suspensión al agua circundante. Esta mejora en la resistencia de lavado puede mejorar significativamente la calidad in situ de concreto bajo el agua.

Los derivados de celulosa se utilizan a menudo en combinación con HRWRA a base de melamina debido a sus incompatibilidades con HRWRA a base de naftaleno. (Kamal, 1995)

### 2.5.2 Aditivo superplastificante y reductores de agua

Según Fabiane (2016), conocidos como plastificantes, los reductores de agua proporcionan reducción de la cantidad de agua de por lo menos 5%, siendo de esta forma, posible hacer concretos con menores cantidades de agua para un



mismo revenimiento, disminuyendo la relación agua cemento y contribuyendo para aumentar la durabilidad con menor costo aplicado. Los reductores de agua presentan en su composición compuestos como lignosulfonatos, sales de ácido hidroxicarboxílico y polisacáridos.

Los aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes, proporcionan reducción de la cantidad de agua en por menos 12% hasta 40%. Estos aditivos además de permitir una importante reducción de la relación agua/cemento, pueden también mejorar las propiedades reológicas del concreto. Las principales bases químicas de los aditivos superplastificantes son: Naftaleno, ya sean sales condensados de naftaleno sulfonato (NSFS) o melamina sulfonato (MSfC) y productos base de policarboxilato (PCE). De forma distinta a los aditivos NSFS y MSfC, la estructura del PCE presenta varias maneras de aplicación. Las propiedades de los PCEs son determinadas por parámetros moleculares dentro de su composición química. (Fabiane, 2016)

El uso de estos aditivos permite también incrementar la trabajabilidad del concreto, obteniéndose un concreto de alta fluidez, manteniendo la misma cantidad de agua o un porcentaje menor de esta.

#### *2.5.2.1 Interacción química cemento/aditivo*

De acuerdo a Fabiane (2016), cuando el cemento y agua son mezclados, las partículas finas del cemento en hidratación tienden a la floculación debido a la naturaleza en la polaridad de la molécula del agua y en consecuencia de las fuerzas de atracción de Van der Waals entre las partículas (fuerzas electrostáticas entre regiones de cargas eléctricas opuestas en la superficie del cemento, que resultan del proceso de molienda del clinker o adiciones minerales como escoria, puzolanas o calizas).

Las fuerzas de atracción entre las moléculas de agua y los granos de cemento en hidratación presentan una adhesión fuerte, haciendo que la estructura floculada permanezca intacta durante el proceso de mezcla del concreto. De esta forma, el concreto tendrá un exceso de agua para una misma trabajabilidad, resultando en el aumento de la porosidad y reducción de la durabilidad. La estructura floculada también disminuye el área específica de las partículas del cemento disponible para las reacciones de hidratación. Las reacciones de hidratación empiezan

inmediatamente después del contacto entre el agua y cemento. Para que la distribución del agua en la mezcla sea homogénea, las partículas de cemento deben ser defloculadas y dispersas.

La función de los aditivos reductores de agua es dispersar las partículas de cemento en hidratación, liberando el agua retenida entre los granos de cemento aumentando la fluidez de la mezcla. Los reductores de agua se adsorben en la superficie de las partículas de cemento en hidratación, produciendo repulsión entre los granos adyacentes del cemento debido a una combinación de fuerzas electrostáticas, resultando en defloculación, consecuentemente, el agua retenida entre los granos es liberada, aumentando la plasticidad de la mezcla.

Algunos aditivos reductores de agua, como los lignosulfonatos, también pueden disminuir la tensión superficial del agua, aumentando el efecto de “lubricación” de las partículas de cemento.

En los aditivos superplastificantes base policarboxilatos, los efectos estéricos son las principales fuerzas de repulsión. La repulsión estérica resulta de la adsorción de la cadena de polímero en la superficie del cemento y del largo de las cadenas laterales del polímero a partir de la superficie del cemento. (Fabiane, 2016)

## CAPÍTULO III: MATERIALES, PROPIEDADES Y ENSAYOS

### 3.1 AGREGADOS

#### 3.1.1 Propiedades físicas

En esta sección describiremos las propiedades físicas de los agregados las cuales son fundamentales para poder determinar la dosificación adecuada del concreto, estas propiedades se obtendrán mediante los ensayos descritos a continuación.

##### 3.1.1.1 Gravedad específica y absorción de agregados finos

Según la NTP 400.022 se establecen los procedimientos para determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción (después de 24 horas) de agregado fino.

Las fórmulas que expresan los resultados después de los procedimientos son las siguientes:

- Peso específico de masa ( $Pe_m$ )

$$Pe_m = \frac{W_o}{(V - V_a)} \times 100$$

Donde:

$Pe_m$  = Peso específico de masa

$W_o$  = Peso en el aire de la muestra secada en el horno en gramos.

$V$  = Volumen del frasco en  $cm^3$

$V_a$  = Peso en gramos o volumen en  $cm^3$  de agua añadida en el frasco.

- Peso específico de masa saturado superficialmente seco ( $Pe_{sss}$ )

$$Pe_{sss} = \frac{500}{(V - V_a)} \times 100$$

- Peso específico aparente ( $Pe_a$ )

$$Pe_a = \frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \times 100$$

- Absorción (Ab)

$$Ab (\%) = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

### 3.1.1.2 Peso específico y absorción del agregado grueso

Según la NTP 400.021 se establecen los procedimientos para determinar el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción del agregado grueso. El peso específico saturado con superficie seca y la absorción están basados en agregados remojados en agua después de 24 horas. Este método de ensayo no es aplicable en agregados ligeros.

Las fórmulas que expresan los resultados después de los procedimientos son las siguientes:

Peso específico de masa ( $Pe_m$ )

- Peso específico de masa ( $Pe_m$ )

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

Donde:

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

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

C = Peso en el agua de la muestra saturada

- Peso específico de masa saturado superficialmente seco ( $Pe_{sss}$ )

$$Pe_{sss} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$$

- Peso específico aparente ( $Pe_a$ )

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

- Absorción (Ab)

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

### 3.1.1.3 Peso unitario y contenido de vacíos

Según la NTP 400.017 este método cubre la determinación del peso unitario suelto o compactado y el cálculo de vacíos en el agregado fino, grueso o en una mezcla de ambos, basados en la misma determinación. Este método se aplica a agregados de tamaño máximo nominal de 150mm.

Los cálculos que expresan los resultados luego de los procedimientos son los siguientes:

- Peso Unitario Suelto o Compactado:

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

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup>

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg

T = Peso del recipiente de medida en kg

V = Volumen del recipiente de medida en m<sup>3</sup>

- Contenido de Vacíos:

$$\% \text{ vacios} = \frac{100 * [(S * W) - M]}{(S * W)}$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m<sup>3</sup>

S = Peso específico de masa (base seca) determinado de acuerdo con la norma NTP 400.022

W = Densidad del agua, 998 kg/m<sup>3</sup>

### 3.1.1.4 Contenido de humedad

Según la NTP 339.185 se establece el procedimiento para determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por

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

La fórmula que expresa el resultado después de los procedimientos es la siguiente:

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

Donde:

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

W = Masa de la muestra húmeda original en gramos

D = Masa de la muestra seca en gramos

#### 3.1.1.5 Análisis granulométrico

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

De acuerdo con la NTP 400.012 una muestra de agregado seco, de masa conocida es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de partículas.

- Tamaño máximo

Según la NTP 400.037 la define como aquel menor tamiz por el que pasa toda la porción de agregado grueso utilizada.

- Tamaño nominal máximo

Según la NTP 400.037 la define como aquel menor tamiz de la serie usada que genera el primer retenido de la muestra entre 5% y 10%.

Según el ACI 304R, El tamaño máximo de los agregados utilizados en colocaciones reforzadas bajo agua suele ser de 3/4 pulg. Se pueden usar agregados más grandes, de 1 pulg según la disponibilidad, el espaciado de refuerzo y el mantenimiento de la trabajabilidad del concreto. El tamaño máximo de los agregados para colocaciones no reforzadas debe ser de 1-1/2.

También respecto al concreto bombeado se recomienda: El máximo tamaño de agregado grueso está limitado a 1/3 del diámetro más pequeño de la bomba o tubería. Para agregado redondeado debería ser limitado a 2/5 de estos diámetros.

Teniendo en cuenta que las reglas generales para el método tremie, son aplicables para un concreto bombeado salvo algunas diferencias, se pueden seguir las mismas recomendaciones.

- Módulo de Finura

Según la NTP 400.011 es un factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100. Según la NTP 400.037 el módulo de fineza del agregado fino no será menor de 2,3 ni mayor de 3,1.

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados retenidos } (1\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Donde:

MF = Módulo de finura

- Límites

De acuerdo a la NTP 400.037 la granulometría de los agregados debe estar dentro de los límites los cuales se muestran en el Cuadro N°1, Cuadro N°2 y Cuadro N°3.

**CUADRO N° 1** Límites de la granulometría del agregado grueso 1

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados						
		100 mm (4 pulg)	90mm ( 3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 1/2 pulg)	25.0 mm (1 pulg)
1	90mm a 37.5mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---
2	63mm a 37.5mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---
3	50mm a 25.0mm (2 pulg a 1 pulg)	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15
357	50mm a 4.75mm (2 pulg a No. 4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70
4	37.5mm a 19.0mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55
467	37.5mm a 4.75mm (1 1/2 pulg a No. 4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---
5	25.0mm a 12.5mm (1 pulg a 1/2 pulg)	---	---	---	---	---	100	90 a 100
56	25.0mm a 9.5mm (1 pulg a 3/8 pulg)	---	---	---	---	---	100	90 a 100
57	25.0mm a 4.75mm (1 pulg a 3/8 pulg)	---	---	---	---	---	100	95 a 100
6	19.0mm a 9.5mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)	---	---	---	---	---	---	100
67	19.0mm a 4mm (3/4 pulg a No. 4)	---	---	---	---	---	---	100
7	12.5mm a 4.75mm (1/2 pulg a No. 4)	---	---	---	---	---	---	---
8	9.5mm a 2.36mm (3/8 pulg a No. 8)	---	---	---	---	---	---	---
89	12.5mm a 9.5mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	---	---	---	---	---	---	---
9	4.75mm a 1.18mm (No. 4 a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---

Fuente: NTP 400.037



**CUADRO N° 2** Límites de la granulometría del agregado grueso 2

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados						
		19mm ( 3/4 pulg)	12.5 mm (1 /2 pulg)	9.5mm ( 3/8 pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No. 50)
1	90mm a 37.5mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	63mm a 37.5mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	50mm a 25.0mm (2 pulg a 1 pulg)	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	50mm a 4.75mm (2 pulg a No. 4)	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	37.5mm a 19.0mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)	0 a 5	---	0 a 5	---	---	---	---
467	37.5mm a 4.75mm (1 1/2 pulg a No. 4)	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	25.0mm a 12.5mm (1 pulg a 1/2 pulg)	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	25.0mm a 9.5mm (1 pulg a 3/8 pulg)	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	25.0mm a 4.75mm (1 pulg a 3/8 pulg)	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	19.0mm a 9.5mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)	90 a 100	25 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	19.0mm a 4mm (3/4 pulg a No. 4)	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	12.5mm a 4.75mm (1/2 pulg a No. 4)	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	9.5mm a 2.36mm (3/8 pulg a No. 8)	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	12.5mm a 9.5mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75mm a 1.18mm (No. 4 a No. 16)	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.037

**CUADRO N° 3** Límites de la granulometría del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8 pulg)	100
4,75 mm (No. 4)	95 a 100
2,36 mm (No. 8)	80 a 100
1,18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No. 30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	05 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: NTP 400.037

## 3.1.2 Resultados de las propiedades de los agregados

En el Cuadro N°4, se muestra un resumen de los valores que se obtuvieron para los ensayos realizados en el laboratorio, que han sido utilizados en el diseño del concreto. Estos agregados provienen de la cantera UNICON en Cajamarquilla.

CUADRO N° 4 Propiedades de los agregados

Propiedad	Agregado Fino	Agregado Grueso
Peso específico de masa	2.59 gr/cm <sup>3</sup>	2.66 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa superficialmente seco	2.64 gr/cm <sup>3</sup>	2.68 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.72 gr/cm <sup>3</sup>	2.72 gr/cm <sup>3</sup>
Porcentaje de absorción	1.79 %	0.81 %
Peso Unitario Suelto	1541.2 kg/m <sup>3</sup>	1384.69 kg/m <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1676.4 kg/m <sup>3</sup>	1509.7 kg/m <sup>3</sup>
Contenido de Humedad	3.16 %	0.44 %
Módulo de Finura	2.80	6.66
Tamaño Máximo	--	3/4"
Tamaño Nominal	--	1/2"

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N°5 se presentan los resultados para la granulometría del agregado fino, y en la Figura N° 1, la curva granulométrica generados por estos datos.

CUADRO N° 5 Granulometría del agregado fino

Malla		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Retenido que pasa
Tamiz N°	mm				
3/8"	9.525	0	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	12.3	2.05	2.05	97.95
N° 8	2.380	80.6	13.44	15.49	84.51
N° 16	1.190	119.8	19.97	35.46	64.54
N° 30	0.595	128.8	21.47	56.94	43.06
N° 50	0.297	128.9	21.49	78.43	21.57
N° 100	0.149	79.6	13.27	91.70	8.30
Fondo		49.8	8.30	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

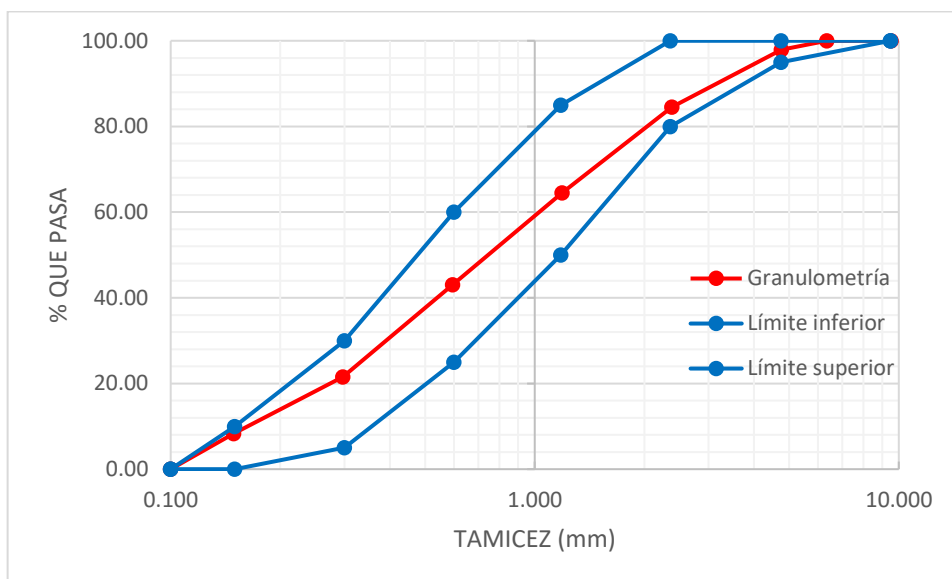


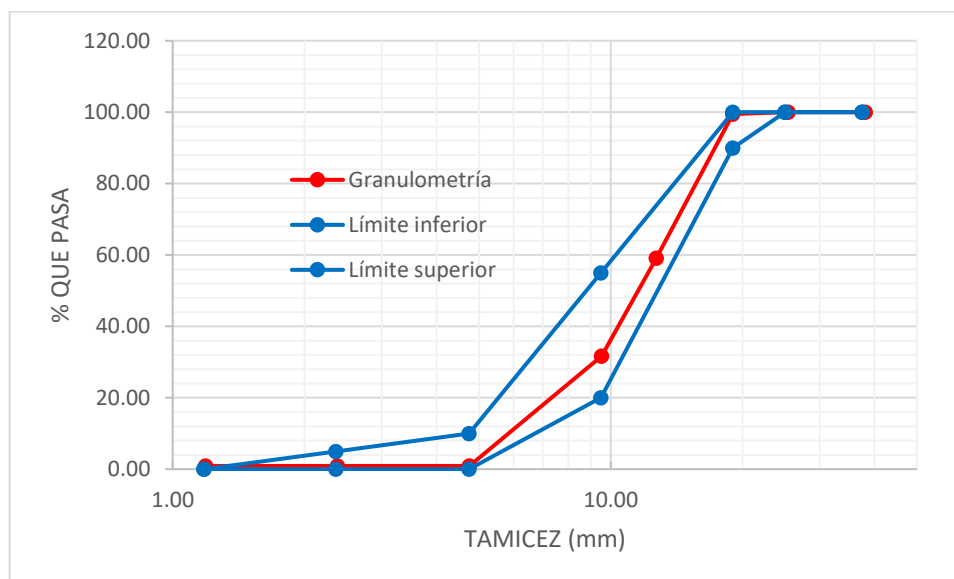
FIGURA N° 1 Curva Granulométrica del agregado fino

En el Cuadro N°6 se muestran los resultados obtenidos para la granulometría del agregado grueso y la Figura N°2 la curva generada a partir de estos datos.

CUADRO N° 6 Granulometría del agregado grueso

Malla		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Retenido que pasa
Tamiz N°	mm				
1 1/2"	38.10	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	50.0	0.50	0.50	99.50
1/2"	12.70	4010.0	40.38	40.89	59.11
3/8"	9.53	2720.0	27.39	68.28	31.72
N° 4	4.76	3060.0	30.82	99.09	0.91
N° 8	2.38	0.0	0.00	99.09	0.91
N° 16	1.19	0.0	0.00	99.09	0.91
<b>Fondo</b>		90.0	0.91	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia



**FIGURA N° 2** Curva Granulométrica del agregado grueso

### 3.1.3 Agregado global

Para encontrar el porcentaje adecuado de agregado es necesario comprender la influencia de cada uno de estos y como afecta las propiedades de la mezcla. El agregado global es la combinación del agregado fino y grueso y estudiar su comportamiento permite predecir las características que tendrá una mezcla con estas proporciones de agregados.

Es así que se utiliza el método del agregado global para encontrar la mejor combinación de agregados que brinde la mayor compacidad de mezcla.

#### 3.1.3.1 Peso unitario compactado

Este ensayo se realiza con el fin de encontrar la combinación de agregados que brinde la mayor compacidad según el resultado del peso unitario compactado.

Se realiza de igual manera que el ensayo de peso unitario compactado de los agregados, con la diferencia que se usa una mezcla de agregado global de la cual se varían los porcentajes de agregados.

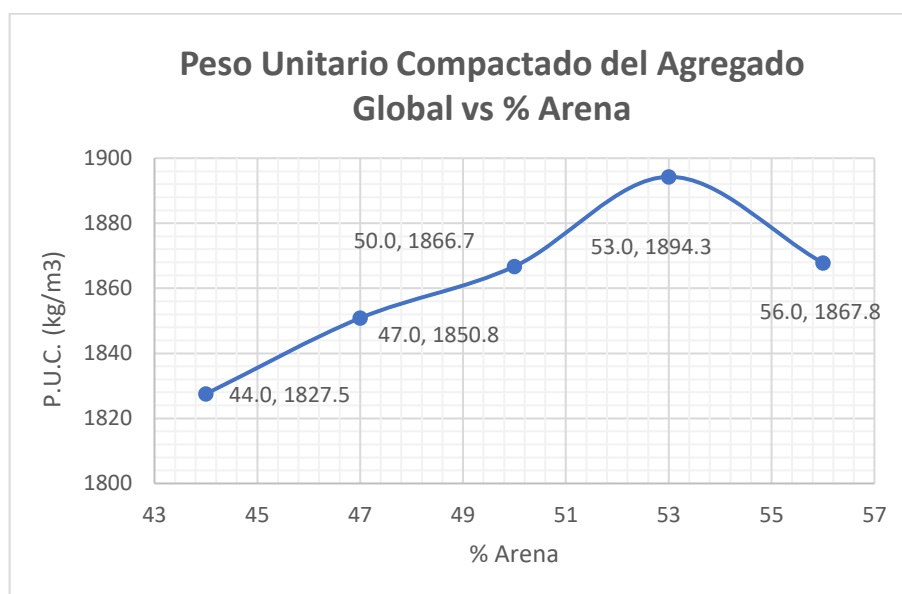
Los resultados para el peso unitario compactado del agregado global se muestran en el Cuadro N°7.

**CUADRO N° 7** Peso unitario compactado del agregado global

% Arena	% Piedra	P.U.C. Agregado Global (kg/m <sup>3</sup> )
44	56	1827.53
47	53	1850.84
50	50	1866.73
53	47	1894.28
56	44	1867.79

Fuente: Elaboración propia

Según la Figura N°3 podemos observar cómo varía el Peso unitario compactado vs el porcentaje de arena en el agregado global, se puede decir que el punto más alto de la curva nos dará la mayor compactación.

**FIGURA N° 3** P.U.C. del agregado global vs % de Arena

De la gráfica se tiene que:

Agregado fino = **53 %**

Agregado grueso = **47%**

### 3.1.3.2 Análisis granulométrico

Se realiza un análisis granulométrico para el agregado global haciendo uso de estos porcentajes de máxima compacidad. Así tenemos el Cuadro N°8.

**CUADRO N° 8** Análisis Granulométrico del agregado global

Malla		% 53 Arena	% 47 Piedra	% Acumulado global	
Tamiz N°	mm	% Ret Arena	% Ret Piedra	Retenido	Pasa
1 1/2 "	38.10	0	0	0.00	100.00
1"	25.40	0	0	0.00	100.00
3/4"	19.00	0	0.2	0.24	99.76
1/2"	12.70	0	19.0	19.22	80.78
3/8"	9.525	0	12.9	32.09	67.91
N° 4	4.760	1.09	14.5	47.66	52.34
N° 8	2.380	7.12	0.4	55.21	44.79
N° 16	1.190	10.59	0	65.79	34.21
N° 30	0.595	11.38	0	77.18	22.82
N° 50	0.297	11.39	0	88.57	11.43
N° 100	0.149	7.03	0	95.60	4.40
<b>Fondo</b>		4.40	0	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

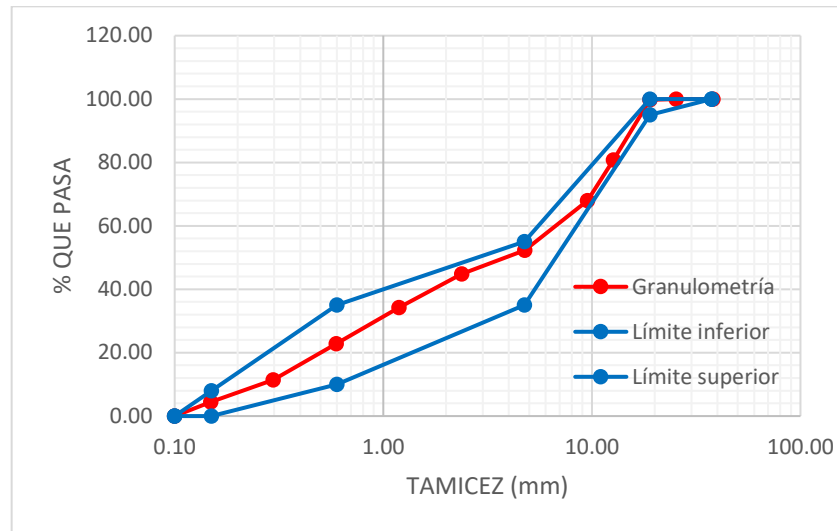
Los límites que se establecen para el agregado global según la NTP 400.037, se presentan en el Cuadro N°9.

**CUADRO N° 9** Límites granulométricos del agregado global

Tamiz	Tamaño máximo nominal		
	Tamaño máximo nominal 37.5 mm (1 1/2 pulg)	Tamaño máximo nominal 19.9 mm (3/4 pulg)	Tamaño máximo nominal 9.5 mm (3/8 pulg)
50 mm (2 pulg)	100		
37.5 mm (1 1/2 pulg)	95 a 100	100	
19.0 mm (3/4 pulg)	45 a 80	95 a 100	
12.5 mm (1/2 pulg)			100
9.5 mm (3/8 pulg)			95 a 100
4.75 mm (No. 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (No. 4)			20 a 50
1.18 mm (No. 4)			15 a 40
600 µm (No. 4)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 µm (No. 4)			5 a 15
150 µm (No. 4)	0 a 8	0 a 8	0 a 8

Fuente: NTP 400.037

En la Figura N°4 podemos observar la curva granulométrica para el agregado global.



**FIGURA N° 4** Curva Granulométrica del agregado global

Módulo de finura:

El módulo de finura se puede calcular haciendo una sumatoria de los porcentajes retenidos en los tamices 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N° 30, N°50 y N°100 divididos entre 100.

$$MF = \frac{0 + 0.24 + 32.09 + 47.66 + 55.21 + 65.79 + 77.18 + 88.57 + 95.60}{100}$$

$$MF = 4.62$$

## 3.2 CEMENTO

### 3.2.1 Cemento usado

El cemento utilizado es el Cemento Portland Tipo I – Sol de la fábrica de cementos Lima que cumple con la NTP 334.009 y la ASTM C-150. Las características físicas del cemento utilizado se presentan en el Cuadro N°10.

**CUADRO N° 10** Características del cemento portland tipo I

Características físicas	Tipo I - Sol	Requisito ASTM C-150 NTP 334.009
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	3.15	-
Fineza Malla 100 (%)	0.04	-
Fineza Malla 200 (%)	4.14	-
Superficie específica Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	3480	Mínimo 2800
Contenido de aire (%)	9.99	Máximo 12
Expansión autoclave (%)	0.18	Máximo 0.8
Fraguado inicial Vicat (horas:minutos)	1:49	Mínimo 0:45
Fraguado final Vicat (horas:minutos)	3:29	Máximo 6:15
f'c a 3 días (kg/cm <sup>2</sup> )	254	124 (12.3 Mpa)
f'c a 3 días (kg/cm <sup>2</sup> )	301	193 (19.3 Mpa)
f'c a 3 días (kg/cm <sup>2</sup> )	357	276 (27.6 Mpa)
Calor de hidratación 7 días (cal/g)	70.6	-
Calor de hidratación 7 días (cal/g)	84.3	-

Fuente: Información proporcionada por el fabricante

### 3.3 ADITIVOS

#### 3.3.1 Aditivos usados

Los aditivos usados en la presente tesis son el modificador de viscosidad Euco Awa (Antiwashout) y el superplastificante Plastol 20+. Estos aditivos han sido utilizados en estructuras a nivel mundial. Por ejemplo, en Perú, el aditivo Plastol 20 se ha utilizado en la mina Uchucchaua en Oyón y en las plantas de concreto Supermix, y el aditivo Euco awa en los pilotes para el puente Nanay en Loreto.

#### 3.4 COLOCACIÓN DE CONCRETO BAJO AGUA

El concreto vaciado bajo agua tendrá las características necesarias para poder ser colocado y llenado en esta condición, como lo son la autocompactación, autonivelación, resistencia a la segregación y lavado de finos. Para esto es necesario conocer cuáles son los métodos más utilizados en construcciones bajo agua. En la presente tesis nos basaremos en el método Tremie, para desarrollar una adaptación del mismo para la colocación de concreto en moldes de probetas que estén bajo agua en el laboratorio.



### 3.4.1 Método Tremie

Esta técnica es de las más utilizadas para la colocación de concreto bajo agua. Según el departamento de construcciones y estructuras de la universidad de Buenos aires (2009). El vaciado de concreto debajo del agua, es un proceso que requiere rigurosa planificación, y correcta metodología. El concreto deberá fluir de una muy simple manera al lugar de vaciado y compactarse debido al propio peso, sin provocar daños colaterales, que disminuyan la calidad del concreto, tal como la segregación o vibración, que provoque la fractura de la mezcla y permita la penetración de agua dentro de ella, perdiendo las partículas cementicias, provocando grumos de agregados y finos y gruesos con insuficientes fibras de cemento hidratado.

Ayudado por un procedimiento Tremie, el concreto es vaciado con un tubo en posición vertical, preferentemente de acero, y parte superior en forma de embudo. Se introduce el tubo dentro del agua, de tal manera que la parte inferior sea cubierta y no permita el ingreso de agua por este extremo, una vez que llega a la altura deseada se deja caer el concreto fresco por el tubo de tal forma, que se vaya llenando la zona de vaciado. (Ver Figura N°5)

Durante el procedimiento no es posible verificar el concreto colocado, por lo que la metodología de trabajo deberá ser cuidadosamente estudiada y controlando durante todo el proceso la cantidad de volumen de concreto colocado y la altura en la que estará en el tubo, de tal forma mantener constante la energía de caída.

#### Características

Según Melendrez (2002):

- El concreto se conduce por tuberías al sitio de colocación y por consiguiente evita la segregación e infiltración del agua
- La técnica hace que el concreto se coloque en el corazón del vaciado y así minimiza la superficie de contacto con el agua circundante.
- El tremie consiste en una tubería de acero montada verticalmente en el agua.
- En la cima de la tubería hay una tolva metálica en tronco de pirámide cuya relación de base mayor a la menor se recomienda de 3:1, generalmente encima de ella hay un depósito fijo de alimentación que recibe el material del suministro de concreto fresco.

- El tubo tremie debe ser impermeable y también deben serlo sus uniones.
- La integridad de los sellos en las juntas de las tuberías es esencial para asegurar que el agua no arrastre al concreto fresco durante el vaciado.
- El flujo debe ser continuo y no debe existir obstrucciones en la tubería en el vaciado, para el diámetro de la tubería debe ser conveniente. Como caso práctico en vaciados de grandes volúmenes y donde no existe dificultad con el acero de confinamiento, es común usar diámetros de tubería de 150mm a 300mm de diámetro, para cualquier otro caso particular se analizará el diámetro de tubería que se requiera, según condiciones.
- Para diámetros de tubería tremie de 150mm, el tamaño máximo de agregado es de  $\frac{3}{4}$ " y el diámetro de tubería de 200 para un tamaño máximo de agregado de  $1 \frac{1}{2}$ ".
- Existen juntas en la tubería para poder variar la longitud de la tubería tremie, lográndose mantener un buen sello.

### Equipo

El tubo tremie puede tener un diámetro que vaya en el rango de entre 20 y 30 cm, para evitar que se bloquee el tubo al momento de la caída del concreto fluido. Al hacerse vaciado a altas profundidades, se hace uso de un tubo removible, en el que las partes superiores se van desprendiendo conforme aumenta la altura de vaciado, altura a la cual se encuentra la parte inferior del tubo de tremie respecto al fondo del encofrado.

Se utilizan tapones u otra clase de cierre para iniciar el vaciado de tal forma que a conforme se desciende el tubo se cierra la parte inferior de este, debido a la presión del agua. El problema surge cuando la altura es considerable, y la fuerza de flotabilidad empieza a interactuar, dificultando la colocación; para solucionar este problema se suele usar tubos de mayor espesor o densidad, con el fin de aumentar el peso y darle solución a esta dificultad; también es válido el uso de un cierre movible en dirección vertical, de tal forma que evita la interacción del agua exterior con la mezcla de concreto en el primer contacto del concreto, este tapón deberá tener la suficiente presión en las paredes externas del tubo de tal forma que evite filtraciones pero que al mismo tiempo pueda ceder ante la presión de concreto cuando inicie el vaciado.

Muchas veces no sirve recuperar el tapón de la masa de concreto porque los esfuerzos al quitar el tapón causan más daño que dejarlo en el lugar. Por ello se han hecho papones móviles de plástico espumado, pelotas inflables, bolsas de concreto y sacos, etc.

Un globo de goma esférico, o pelotas han sido usados en diferentes casos, pero han producido fallas de funcionamiento al momento de vaciar alturas superiores de 8 metros; si este tapón cede la interacción con el agua dan una incertidumbre en la calidad resultante del primer vaciado, pudiendo provocar un concreto de baja calidad.

### Iniciación del proceso de vaciado usando método tipo Tremie

Según el departamento de construcciones y estructuras de la universidad de Buenos aires (2009).

El proceso inicia con el mencionado cierre extremo del tubo (tremie) con concreto; se puede disminuir la segregación que ocurre en el descenso del concreto colocando previamente una capa variable de mortero, o un concreto de menor calidad, de tal forma que, ante la segregación en la caída, de igual forma se mezclara con esta primera capa, minimizando su efecto.

Una vez llenado el tubo se levanta una pequeña altura, no mayor a los 15 cm sobre la superficie de fondo, de tal manera que escape el tapón y el concreto empiece a distribirse por peso propio en la base de la fundación; mientras cae el concreto crea un auto sello alrededor del tubo, impidiendo la penetración de agua. El tubo se baja para poner el punto de descarga en el centro del concreto puesto inmediatamente.

Se procede al izado del tubo una vez que el concreto haya superado una altura razonable, mayor a la altura de fondo de tubo, y de manera lenta de tal forma que conserve inalterada la descarga, es decir sin que pierda el sello de vaciado; de ocurrir el rompimiento del sello, se retira el tubo y se inicia de nuevo el procedimiento desde el principio.

### Vaciado de concreto haciendo uso del tubo Tremie

El vaciado de concreto con cada tubo tremie deberá ser de descarga continua, ya que intervalos entre vaciado causan endurecimiento del concreto, crean juntas y

dificultan el proceso, en caso de que no se pueda dar esta continuidad, deberá retirarse el tubo y proceder desde el principio con la operación, desde el sellado, colocación de primera base, y vaciado de concreto.

Se deberá hacer uso de más de un tubo en el mismo vaciado si es que la superficie a cubrir es considerable, para evitar largos desplazamiento del concreto dentro del agua, y someterlo a un vaciado en talud, lo vuelve más susceptible a segregación, además de provocar cada vez más superficie de concreto entre en contacto con el agua. Suele ocurrir en concretos de baja resistencia y con relación w/c alta. Se recomienda distribuir una distancia de entre dos a tres veces el espesor de concreto a vaciar. Es usual dejar espaciamiento de entre 4.5m y 10.5m, pero el concreto vaciado con método de tubo tremie puede dispersarse hasta 21 metros si es que la capa es de un gran espesor.

Para el óptimo desempeño del tubo tremie, se deberá evitar desplazamientos en direcciones horizontales o diagonales mientras se está depositando el concreto; estos movimientos crean una mala superficie de colocación, puede crear capas de agua adicionales e incluso puede provocar el rompimiento del sello. Para una colocación en dirección horizontal de concreto se oscila el tubo, se restablece el sello y se reanuda el vaciado. (Departamento de construcciones y estructuras de la universidad de Buenos aires, 2009).

#### Elevación de tubo tremie y su control

Se recomienda el extremo de descarga del tubo este a alturas de hasta 0.9 metros por debajo del nivel de colocación, este proceso puede ser controlado desde la superficie, debido a la presión ejercida en el extremo superior, debiendo mantenerse constante, pudiendo descender o subir el tubo conforme el concreto vaya adquiriendo mayor altura.

Para controlar la entrega de flujo del concreto a través de la tubería, se tiene que controlar la subida y bajada de la misma, considerando que la entrega de suministro debe ser tan regular como sea posible.

Al permitir que la entrega de suministro sea tan regular como sea posible, ocasiona que el peso propio del concreto supere a la fricción de la tubería y pueda presionar para dejar salir el concreto vaciado. Si la entrega de flujo se vuelve demasiado

rápido a medida que se sube el tremie, existe el peligro de dejar aire arrastrado en el concreto.

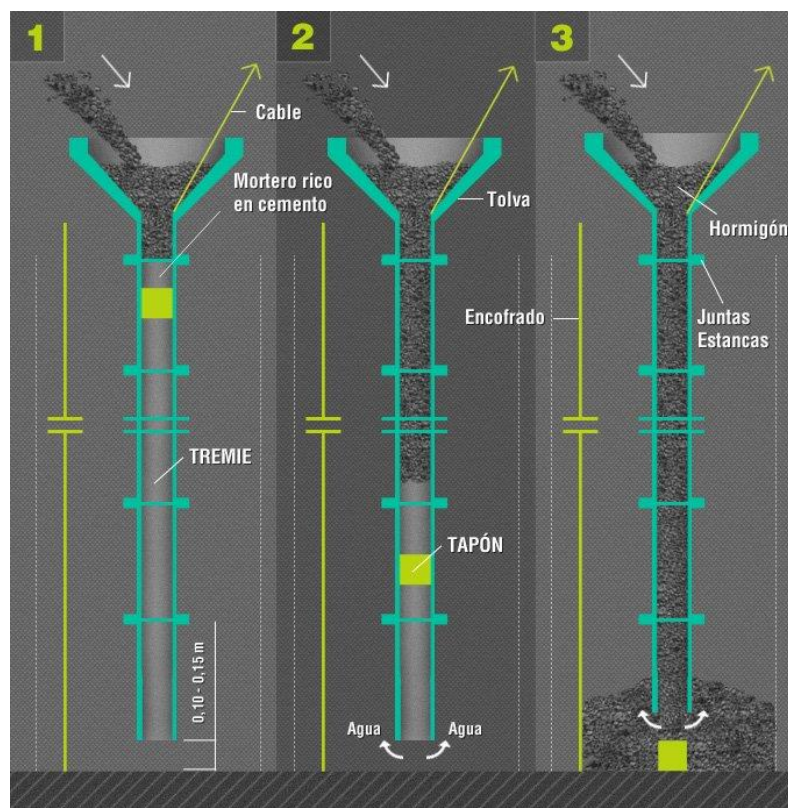
Se puede detectar una pérdida del sello del tubo cuando incrementa rápidamente el volumen de concreto en vez de ser constante.

Debe evitarse que el tubo quede embebido en concreto cuya fragua ya esté en proceso, ya que podría generar grietas. (Departamento de construcciones y estructuras de la universidad de Buenos aires, 2009).

### Bloqueo del tubo

Este bloqueo deberá ser solucionado de tal forma que no se pierda el sellado, levantando y descendiendo el tubo distancias de entre 15 y 60 cm. De poder lograrse deberá quitarse y empezar de nuevo el proceso. Esto puede evitarse con un concreto de alta fluidez y usando un vaciado continuo.

FIGURA N° 5 Sistema Tremie



Fuente: (Zambrano, s.f.)

### 3.4.2 Adaptación de método Tremie para elaboración de probetas

Esta adaptación ha sido elaborada tratando de recrear un vaciado Tremie en una construcción bajo agua, de tal manera que se puedan obtener condiciones similares a las que caracterizan este método. Entre ellas tenemos que el concreto debe fluir desde la parte inferior de la tubería desplazando al agua, que el contacto entre el agua y la masa de concreto debe ser mínima, que se coloque el concreto desde el corazón del vaciado y que el agua no entre en contacto con el concreto dentro de la tubería.

Para realizar este procedimiento fue necesario de distintas pruebas cambiando las variables para probar la eficacia de las mismas, sin embargo, las condiciones anteriormente escritas deben cumplirse para poder tener una colocación exitosa de la mezcla del concreto con aditivo.

Así mismo es necesario contar con una mezcla de concreto con aditivo que tenga la consistencia adecuada, la cual tiene que ser suficientemente fluida para rellenar los vacíos y lo suficientemente cohesiva para evitar la segregación, estos parámetros pueden ser medidos a partir de la prueba de fluidez de asentamientos u otras.

#### 3.4.2.1 Materiales

Para desarrollar la adaptación de vaciado propuesta se eligieron materiales que puedan ser similares a los del método Tremie, en una escala proporcional a un molde para probetas de ensayo a resistencia a la compresión. Así mismo también se emplearon materiales que permitan ayudar a simular condiciones parecidas a una colocación bajo agua en un método Tremie. De esta forma tenemos los siguientes materiales utilizados en esta adaptación, los cuales también se trataron de ser materiales encontrados de forma sencilla en cualquier ferretería.

##### Tubo de PVC de 2" de 60cm de longitud

Servirá como conducto para echar el concreto, similar a un tubo de Tremie.

##### Reducción de PVC de 2"

Irá en un extremo del tubo de PVC a manera de embudo para facilitar la colocación del concreto.

### Balde de 20L

Se utilizará como recipiente donde se colocará el molde metálico y contendrá el agua, para realizar el vaciado bajo agua.

### Recipiente de 1.6L aproximadamente

Servirá para medir y controlar la cantidad de concreto que se está colocando en el tubo de Tremie hacia el molde metálico.

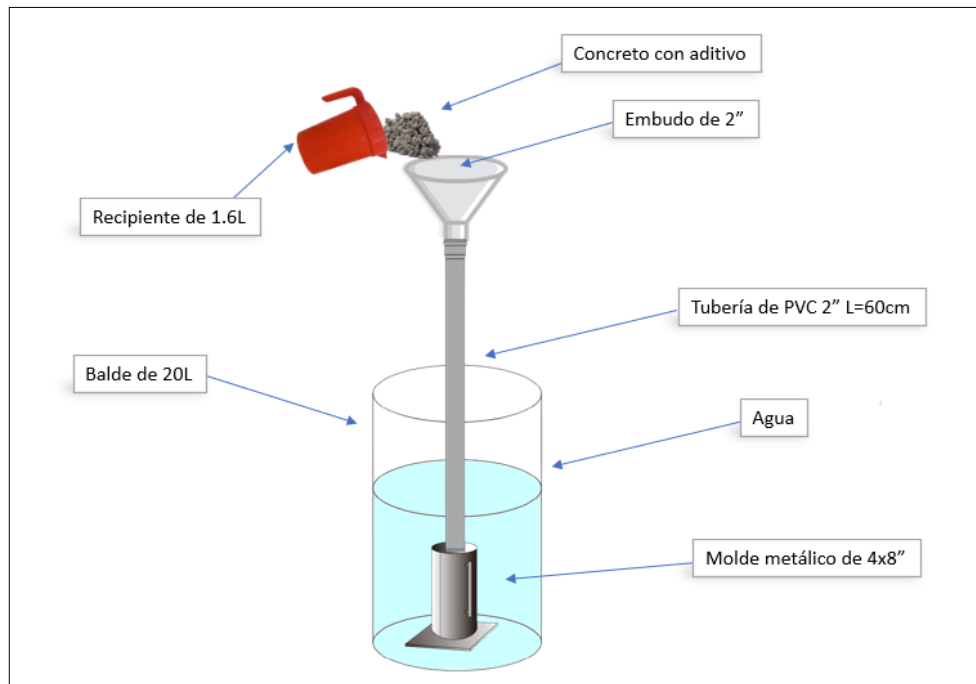
### Molde metálico de 4x8"

Molde de uso común para probetas de concreto, en este caso metálico para tener mayor estabilidad en todo el proceso de colocación. Se le colocará un trozo de corrospum de 4x4" entre la base y el cuerpo.

### Lámina gruesa de Corrospum de 4x4"

Se usará únicamente como apoyo para poder mantener el tubo de PVC vacío, al momento de echar agua dentro del balde y el molde metálico, hasta que sea llenado por la mezcla de concreto.

El esquema general se puede apreciar en el siguiente gráfico, Figura N°6.



**FIGURA N° 6** Esquema general del vaciado bajo agua

### 3.4.2.2 Procedimiento

Luego de tener la mezcla preparada y con los materiales listos para ser utilizados, se procede con los siguientes pasos para realizar el vaciado.

1. Colocar el molde metálico dentro del balde de 20L, previamente haber colocado la lámina de corrospum entre la base y el cuerpo del molde metálico y ajustado con los tornillos.
2. Llenar totalmente el recipiente de 1.6L con la mezcla.
3. Colocar el extremo libre del tubo de PVC dentro del molde metálico y ejercer presión con el mismo contra la lámina de corrospum, dejando la parte unida con la reducción en la parte superior. El tubo debe estar debidamente centrado y vertical. (Ver Figura N°7)

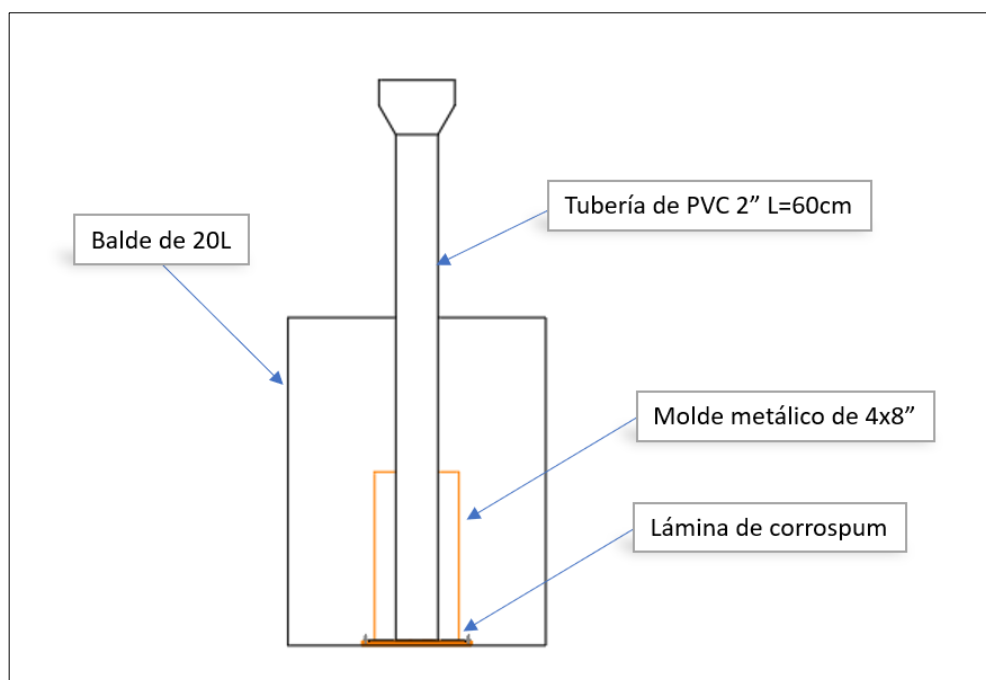
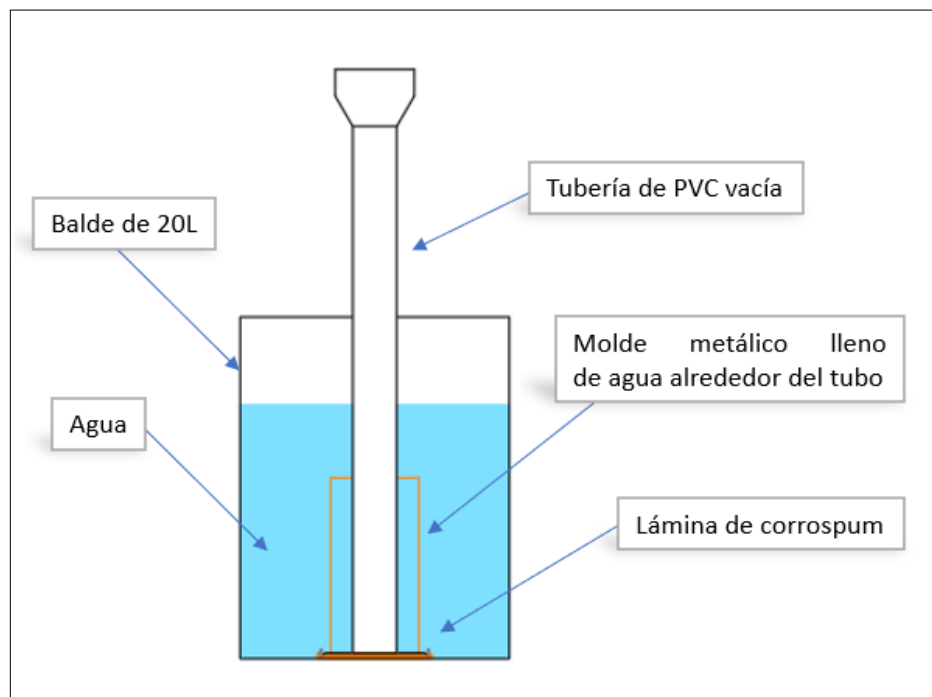


FIGURA N° 7 Diagrama de vaciado 1

4. Echar agua dentro del balde de 20L, llenando los espacios entre el balde y el molde, y entre el molde y el tubo, hasta que el nivel del agua este unos 10cm, o según sea previsto, por encima de la parte superior del molde (verificar que no haya ingresado agua al interior del tubo de PVC. (Ver Figura N° 8)





**FIGURA N° 8** Diagrama de vaciado 2

5. Echar la mezcla que se encuentra dentro del recipiente de 1.6L dentro del tubo de PVC, de tal forma que la reducción funcione como un embudo (usar una cuchara si es necesario para ayudar a verter el concreto). Se deberá llenar hasta que el tubo se encuentre totalmente lleno de la mezcla. (Ver Figura N°9)
6. Levantar el tubo cuidadosamente y desde la parte inferior, tratando de no realizar movimientos laterales y a poca velocidad, de tal manera que el concreto pueda fluir por gravedad hacia el exterior del tubo por el extremo inferior y se desplace por los laterales del tubo formando un cúmulo en la parte inferior del molde. (Ver Figura N°10)
7. Seguir levantando el tubo para que el concreto fluya por gravedad llenando el molde y retirando el agua, hasta que haya poca cantidad de mezcla dentro del tubo. No dejar que el tubo deje de estar embebido dentro del cúmulo de concreto formado. (Ver Figura N°11)
8. Llenar nuevamente el recipiente de 1.6L con una cantidad de mezcla de tal manera que esta cantidad y la cantidad echada en el paso 2 sumen 1.2 veces la cantidad necesaria para llenar un molde metálico. Llenar el tubo con esta cantidad de mezcla. (Ver Figura N°11)

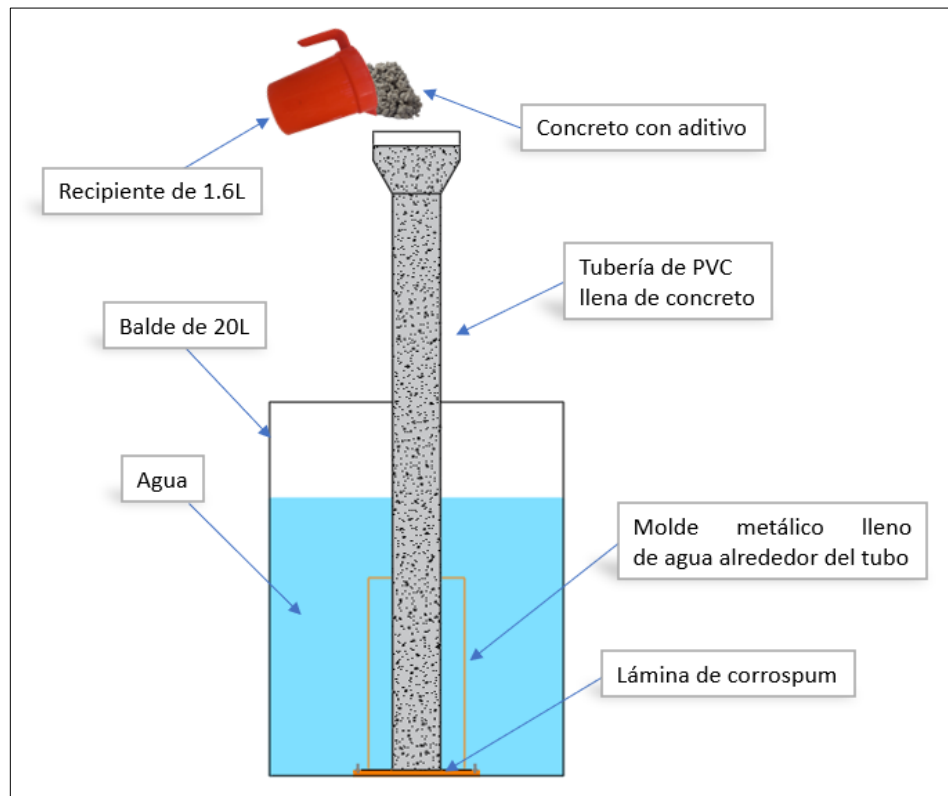


FIGURA N° 9 Diagrama de vaciado 3

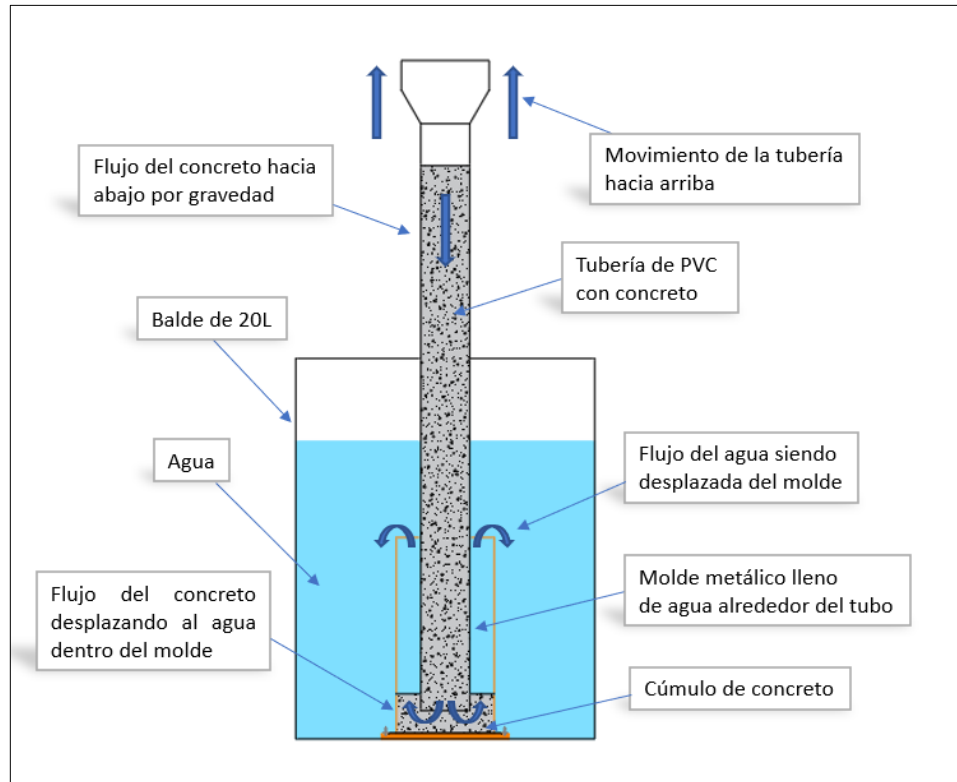


FIGURA N° 10 Diagrama de vaciado 4

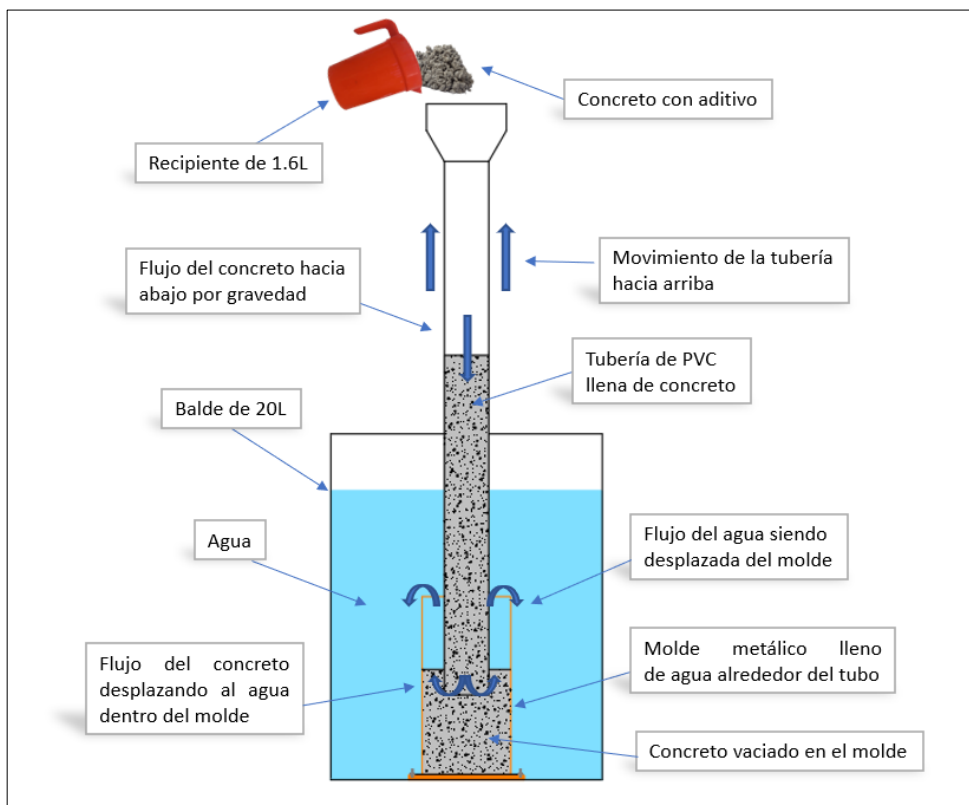


FIGURA N° 11 Diagrama de vaciado 5

9. Levantar el tubo nuevamente hasta que todo el concreto llene el molde metálico, y quede un cúmulo de concreto en la parte superior, la cual será un excedente de mezcla. (Ver Figura N°12)

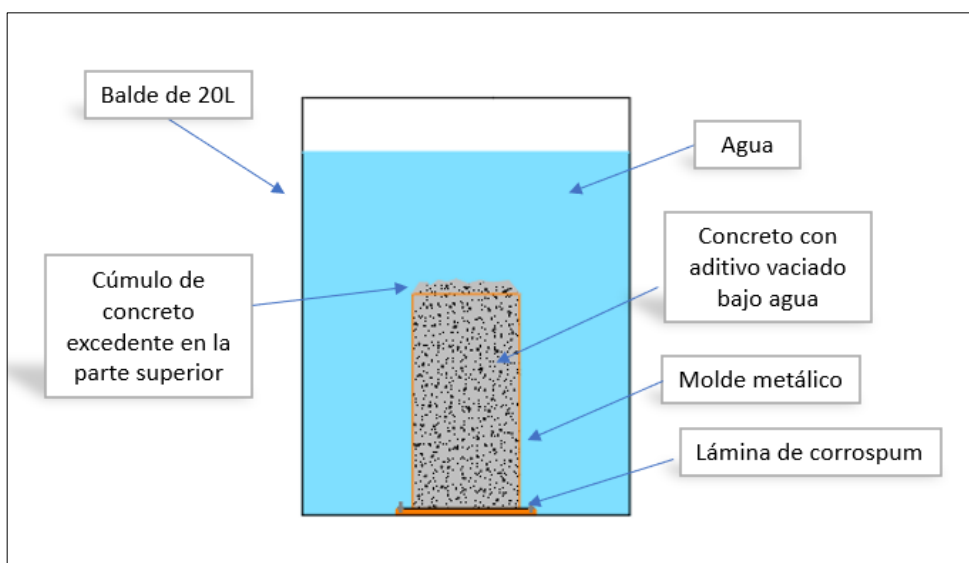


FIGURA N° 12 Diagrama de vaciado 6

10. Dejar endurecer la probeta hasta el día siguiente dentro del balde de 20L.
11. Al día siguiente desmoldar la probeta limpiando los restos sobrantes alrededor del molde propios del exceso dejado. Luego dejar curando la probeta la cual lucirá con un pequeño cumulo en el parte superior propio del exceso dejado.
12. Después de dejar la probeta curando un par de días, cortar la misma con una cizalla para tener una superficie uniforme y según las medidas de una probeta estándar. Volver a poner en la poza de curado hasta el día que vaya a ser ensayada.

## CAPÍTULO IV: DISEÑO DEL CONCRETO

En este capítulo se describirá la metodología usada para el diseño de mezclas de concreto tanto para el concreto patrón como para el concreto con aditivo.

Es fundamental analizar las proporciones necesarias que garanticen el correcto funcionamiento del concreto y este se comporte de acuerdo a las premisas propuestas. En este caso se busca diseñar un concreto de mediana a baja resistencia por lo que la relación agua cemento  $a/c$  propuesta es de 0.60. Esta proporción nos permitirá trabajar con un concreto que además de cumplir con ser de mediana a baja resistencia no distará mucho de la relación recomendada para concretos vaciados bajo agua la cual es de 0.45.

Para efectos prácticos la cantidad de agua será la misma para el concreto patrón como el concreto con aditivo. Por esta razón la cantidad de agua del concreto patrón no deberá ser muy alta ya que en el concreto con aditivo se hará uso de un superplastificante el cual incrementará considerablemente su fluidez, así como la cantidad de agua en general en la mezcla.

### 4.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN

Una vez propuesta la relación  $a/c$  de 0.60 entonces es necesario conocer que cantidad de agua se va a utilizar, la cual está directamente relacionada con el asentamiento deseado, para esta investigación se tomará como base un asentamiento de 4", ya que es un valor normal para los concretos de mediana a baja resistencia y no tiene mayor relevancia tener un asentamiento mayor ya que el concreto con aditivo tendrá un asentamiento mucho mayor por sus propias características. Así mismo este valor no brindará una cantidad de agua muy elevada.

Posteriormente se analizará el porcentaje de agregados que se propuesto inicialmente en el capítulo III, para así tener el diseño final del concreto patrón.

#### 4.1.1 Método para la obtención del agua

Para obtener la cantidad de agua se realizará un procedimiento experimental en el laboratorio en el cual a partir de una cantidad de agua base aumentaremos la cantidad en 10 litros hasta obtener la cantidad que nos permita obtener 4" de asentamiento.

La cantidad de cemento se obtiene a partir de la relación a/c, las proporciones de agregados, serán las halladas en el capítulo III por el ensayo de peso unitario compactado.

Así tenemos las siguientes cantidades para cada diseño variando el agua en 10 litros, empezamos con 310 litros y seguimos con 320 y 330 litros, estos son valores que por ensayos previos se determinó que se acercaron al asentamiento requerido.

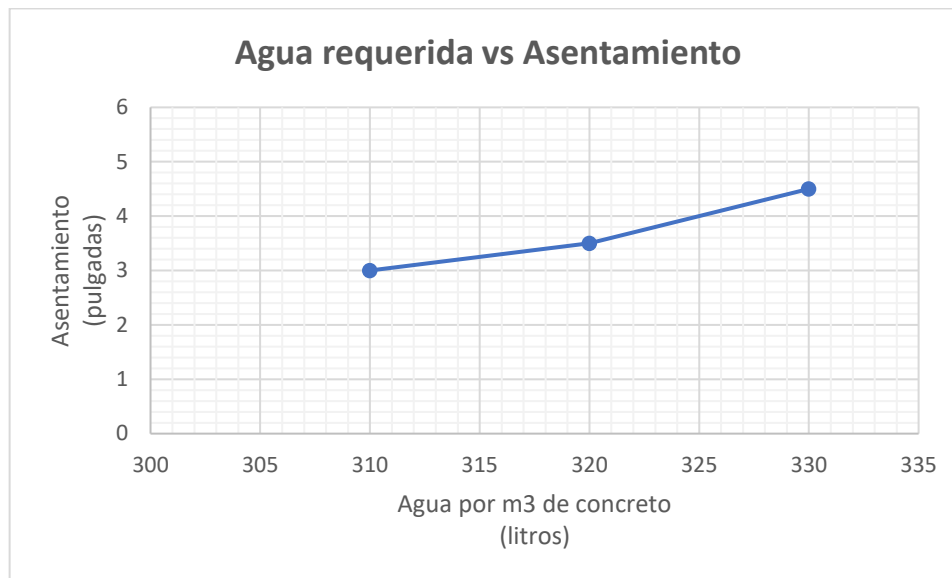
En el Cuadro N°11 se puede apreciar las cantidades de agregados, agua y cemento para cada diseño de cada cantidad de agua y su asentamiento.

**CUADRO N° 11** Dosificaciones de concreto para hallar cantidad de agua

a/c	Materiales	Diseño seco (kg)	Diseño húmedo (kg)
<b>0.6</b>	Cemento	516.67	516.67
	<b>Agua</b>	<b>310.00</b>	302.52
	Arena	722.21	745.01
	Piedra	656.97	659.88
	<b>Asentamiento = 3"</b>		
a/c	Materiales	Diseño seco (kg)	Diseño húmedo (kg)
<b>0.6</b>	Cemento	533.33	533.33
	<b>Agua</b>	<b>320.00</b>	312.74
	Arena	701.22	723.35
	Piedra	637.87	640.70
	<b>Asentamiento = 3.5"</b>		
a/c	Materiales	Diseño seco (kg)	Diseño húmedo (kg)
<b>0.6</b>	Cemento	550.00	550.00
	<b>Agua</b>	<b>330.00</b>	322.96
	Arena	680.22	701.69
	Piedra	618.77	621.52
	<b>Asentamiento = 4.5"</b>		

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la Figura N°13 de cantidad de agua vs asentamiento de la cual se podrá obtener la cantidad requerida.

**FIGURA N° 13** Agua requerida vs Asentamiento

A partir del gráfico se puede obtener:

$$\text{Agua patrón} = \mathbf{325 \text{ litros/m}^3}$$

#### 4.1.2 Determinación del porcentaje de agregados

Nos basaremos en el porcentaje de agregados encontrados en el capítulo III según el ensayo de peso unitario compactado para el agregado global, y a partir de esa proporción variaremos los porcentajes para analizar que combinación de agregados nos ofrece una buena resistencia a la compresión axial y a su vez la máxima compacidad.

Así tenemos según lo hallado en el capítulo III el siguiente porcentaje de agregados:

$$\text{Agregado fino} = \mathbf{53\%}$$

$$\text{Agregado grueso} = \mathbf{47\%}$$

Usando el agua patrón obtenida anteriormente se tiene las siguientes dosificaciones de mezclas para las variaciones correspondientes, en la presente tesis se realizará una variación porcentual de 3% para cada dosificación, las dosificaciones realizadas se pueden observar en el Cuadro N°12.

**CUADRO N° 12** Dosificaciones de mezcla con variación de 3% de agregados

<b>a/c</b>	<b>Materiales</b>	<b>Diseño seco (kg)</b>	<b>Diseño húmedo (kg)</b>
<b>0.6</b> <b>arena = 50%</b> <b>piedra = 50%</b>	Cemento	541.67	541.67
	Agua	325.00	317.85
	Arena	690.72	712.52
	Piedra	628.32	631.11
<b>a/c</b>	<b>Materiales</b>	<b>Diseño seco (kg)</b>	<b>Diseño húmedo (kg)</b>
<b>0.6</b> <b>arena = 53%</b> <b>piedra = 47%</b>	Cemento	541.67	541.67
	Agua	325.00	318.53
	Arena	651.62	672.19
	Piedra	668.43	671.39
<b>a/c</b>	<b>Materiales</b>	<b>Diseño seco (kg)</b>	<b>Diseño húmedo (kg)</b>
<b>0.6</b> <b>arena = 56%</b> <b>piedra = 44%</b>	Cemento	541.67	541.67
	Agua	325.00	317.17
	Arena	729.81	752.85
	Piedra	588.22	590.82

Fuente: Elaboración propia

Para cada una de estas dosificaciones de mezcla se realizaron 3 probetas las cuales fueron ensayadas a los 7 días de curado. Obteniendo los siguientes resultados en el Cuadro N°13.

**CUADRO N° 13** Resistencia a la compresión axial de las probetas a los 7 días

<b>% Arena</b>	<b>%Piedra</b>	<b>f'c (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
50	50	<b>288.94</b>
53	47	<b>266.78</b>
56	44	<b>234.77</b>

Fuente: Elaboración propia

A partir del cuadro anterior podemos obtener la siguiente gráfica, Figura N°14:



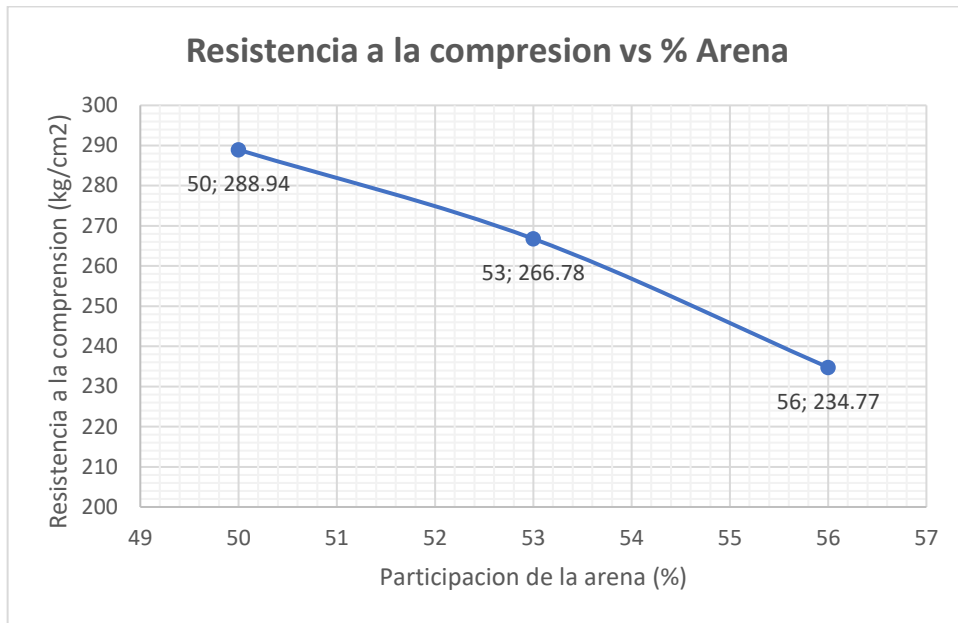


FIGURA N° 14 Resistencia a la compresión axial vs % Arena

Una vez obtenida esta gráfica se realiza una superposición con la gráfica obtenida en el capítulo III de Peso unitario compactado vs % Arena y se analiza cual es el porcentaje de agregado más conveniente. Así tenemos la siguiente superposición de gráficas en la Figura N°15.

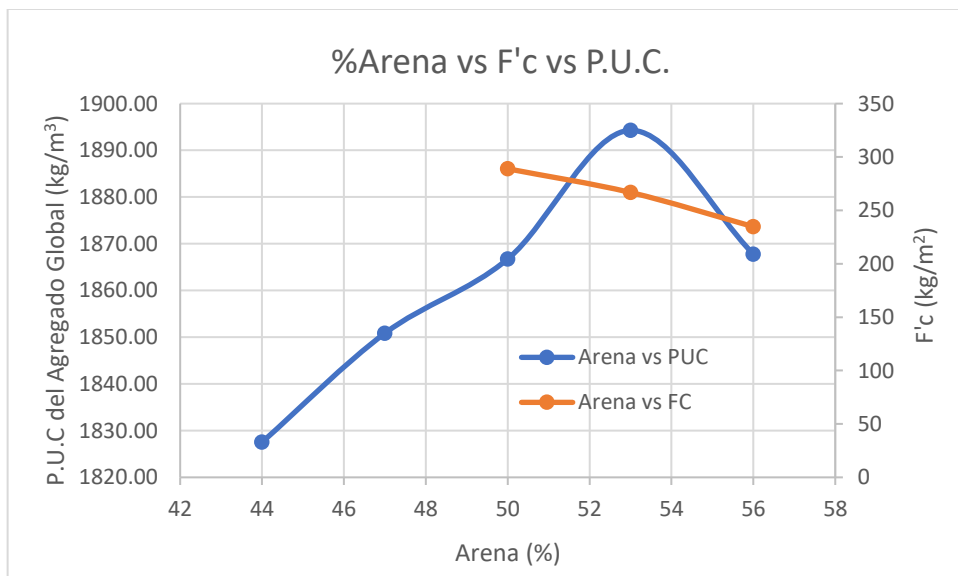


FIGURA N° 15 %Arena vs F'c vs P.U.C.

De la gráfica anterior podemos observar que el porcentaje de arena que nos brinda mayor compactación es 53% así mismo la mayor resistencia a la compresión se obtiene con un valor de 50%.

En los concretos bajo el agua suelen diseñarse mezclas con poca cantidad de vacíos, una razón para elegir relaciones a/c menores a 0.45. Así mismo, según el ACI 304R, para concretos bombeables, para los cuales se pueden seguir las mismas recomendaciones que concretos bajo agua, el agregado fino tiene un rol más prominente en la trabajabilidad del concreto, y es este el cual junto con el cemento y el agua transportan el agregado grueso en un concreto bombeable. Entonces es recomendable que su cantidad sea un poco mayor al agregado grueso, generalmente la cantidad de agregado grueso se disminuye en un 10% de lo calculado.

Por otro lado, la fluidez del concreto patrón no debería ser muy alta (asentamiento de 4") ya que al diseñar el concreto con aditivo y mantener la misma cantidad de agua, al hacer uso de superplastificante, la fluidez aumentaría considerablemente. Si la fluidez del concreto con aditivo resultara muy alta, entonces sería más propensa a la segregación y al lavado de finos, y por consecuencia se tendría que hacer uso de una mayor cantidad de aditivo modificador de viscosidad. La mezcla de concreto con menor cantidad de arena si bien es cierto muestra una mayor resistencia, esta no es considerable y muestra ser más propensa a la segregación.

También, de acuerdo con el ACI 304R, para un concreto bombeable, se recomienda que el porcentaje de agregado fino que pase la malla N°100 sea de 5 a 10%. Además, es recomendable que la cantidad de agregado fino sea mayor para compensar el posible lavado de partículas al momento de entrar en contacto con el agua. Se puede verificar en el Cuadro N°5 que se cumplen con estas condiciones.

Teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, si bien es cierto hay un incremento de la resistencia al utilizar menos cantidad de arena, este incremento no es considerable, entonces se buscó priorizar una menor cantidad de vacíos, una mayor consistencia en la mezcla y una menor propensión a la segregación.

En este caso conservaremos el valor de 53% para el agregado fino ya que es el valor que brindara mayor consistencia y fluidez a la mezcla conservando una resistencia a la compresión muy cercana a la máxima obtenida.

Entonces como porcentajes finales de agregados tenemos:

Agregado fino = **53%**

Agregado grueso = **47%**

#### 4.1.3 Diseño de concreto patrón

El diseño del concreto patrón ha sido elaborado con los datos obtenidos anteriormente de proporción de los agregados y cantidad de agua, conociendo estos valores y las características del cemento a utilizar, como las propiedades de los agregados obtenidas en el capítulo III se tiene el siguiente proceso de diseño.

Diseño para 1m<sup>3</sup> de concreto patrón:

El agua a utilizar es de 325 l/m<sup>3</sup> y se tiene la relación a/c de 0.60, entonces:

$$a/c = 0.60 = \frac{325}{c} \rightarrow c = 541.67 \text{ kg/m}^3$$

Nótese que la cantidad de cemento está dentro del rango de lo recomendado para concretos vaciados bajo agua el cual es de 400 a 600 kg/m<sup>3</sup>.

Una vez obtenida la cantidad de cemento se procede a calcular el volumen de agregados, sabiendo que el volumen de estos más el volumen de cemento y agua deben ser igual a 1 m<sup>3</sup>. Para esto usaremos el Cuadro N°14.

**CUADRO N° 14** Características de los agregados

	Agregado fino	Agregado grueso	Cemento
<b>Porcentaje</b>	53 %	47 %	-
<b>Peso Específico</b>	2.59 gr/cm <sup>3</sup>	2.66 gr/cm <sup>3</sup>	3.15 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>	1.79 %	0.81 %	-
<b>Humedad</b>	3.16 %	0.44 %	-

Fuente: Elaboración propia

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C = 1 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow A = \frac{325 \text{ lt}}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.325 \text{ m}^3; C = \frac{541.67 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0.172 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.503 \text{ m}^3; \rightarrow Ar = 53\% * 0.503 \text{ m}^3; P = 47\% * 0.503 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.266 \text{ m}^3; P = 0.236 \text{ m}^3$$

- Diseño seco

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$A = 325 \text{ lt}$$

$$Ar = 0.266 \text{ m}^3 * 2590 \text{ kg/m}^3 = 690.72 \text{ kg}$$

$$P = 0.236 \text{ m}^3 * 2660 \text{ kg/m}^3 = 628.32 \text{ kg}$$

- Diseño unitario suelto

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 325 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.600$$

$$Ar = 690.72 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.275$$

$$P = 628.32 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.160$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$\text{Corrección de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 690.72 = 9.43 \text{ kg}$$

$$\text{Corrección de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 628.32 = -2.28 \text{ kg}$$

$$A = 325 - (9.43 - 2.28) = 317.85 \text{ lt}$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 690.72 = 712.52 \text{ kg}$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 628.32 = 631.11 \text{ kg}$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 317.85 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.587$$

$$Ar = 690.72 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.315$$

$$P = 628.32 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.165$$

- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.587 + 1.315 + 1.165 = 4.067$$

$$n = \frac{40\text{kg}}{4.067} = 9.83\text{kg}$$

$$C = (D.U.O.c) * 9.83 = 1 * 9.83 = 9.83 \text{ kg}$$

$$A = (D.U.O.a) * 9.83 = 0.587 * 9.83 = 5.77 \text{ kg}$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 9.83 = 1.315 * 9.83 = 12.94 \text{ kg}$$

$$P = (D.U.O.p) * 9.83 = 1.165 * 9.83 = 11.46 \text{ kg}$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el Cuadro N°15:

**CUADRO N° 15 Dosificación del concreto patrón**

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
<b>0.60</b>	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.83
	Agua	0.325	325.00	0.600	317.85	0.587	5.77
	Arena	0.266	690.72	1.275	712.52	1.315	12.94
	Piedra	0.236	628.32	1.160	631.11	1.165	11.46

Fuente: Elaboración propia

#### 4.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DEL CONCRETO CON ADITIVO

El diseño del concreto con aditivo se realiza de manera similar al diseño del concreto patrón, pero además se tiene en consideración la cantidad de aditivos a utilizar.

Por otro lado, la cantidad recomendada de cemento es de 400 a 600 kg/m<sup>3</sup> para concretos vaciados bajo agua, esto para compensar el posible lavado de finos y

porque el porcentaje de aditivos está en función de la cantidad de cemento, los cuales influyen en la consistencia final de la mezcla. Para evaluar qué cantidad de cemento podría ser adecuada deben hacerse distintas pruebas con varios porcentajes de aditivos, esta cantidad de cemento y con el agua que se obtiene para el asentamiento requerido. También hay que considerar el uso que va a tener la estructura que se va realizar y su funcionalidad.

En este caso se va a utilizar 0.5% de aditivo Euco Awa y 0.5% de aditivo Plastol 20+, estas cantidades de aditivo se obtuvieron mediante ensayos previos en los cuales se elaboraron mezclas de concreto con diferentes proporciones de aditivo para ver qué porcentaje daba una consistencia adecuada para realizar un vaciado bajo agua.

La cantidad de agua a utilizar también es la misma que el concreto patrón, ya que no se hará uso de una reducción de agua por aditivo, por cuestiones prácticas y no plantearse un mismo asentamiento para ambos diseños.

Si bien es cierto se obtiene una cantidad elevada de agua y puede haber otras combinaciones que también den una consistencia adecuada para un vaciado bajo agua con mejores resultados, encontrar una combinación óptima es un proceso iterativo, para este tipo de concretos se tienen que hacer varias pruebas para determinar qué porcentaje de aditivos es el adecuado según los agregados, el cemento y sus proporciones. Los principales objetivos de la presente tesis fueron comparar un concreto patrón y una mezcla de concreto con aditivos la cual pueda ser vaciada bajo agua. La combinación óptima de agregados, cemento y aditivos podría ser materia de investigación de futuras tesis.

#### Diseño para 1m<sup>3</sup> de concreto con aditivo:

El agua a utilizar es de 325 l/m<sup>3</sup> y se tiene la relación a/c de 0.60, entonces:

$$a/c = 0.60 = \frac{325}{c} \rightarrow c = 541.67 \text{ kg/m}^3$$

Nótese que la cantidad de cemento está dentro del rango de lo recomendado para concretos vaciados bajo agua el cual es de 400 a 600 kg/m<sup>3</sup>.

Una vez obtenida la cantidad de cemento se procede a calcular la cantidad de aditivos, ya que estos están en porcentaje de cemento.

$$\rightarrow Ea = Pl = 0.5\% * c = 0.5\% * 541.67 = 2.708 \text{ kg}$$

Luego se procede a calcular el volumen de agregados, sabiendo que el volumen de estos más el volumen de cemento, agua y aditivos deben ser igual a  $1 \text{ m}^3$ . Utilizaremos el cuadro de la sección anterior para ver las propiedades de los agregados y el Cuadro N°16 para ver la densidad de los aditivos.

**CUADRO N° 16** Densidad de los aditivos

Aditivos	Densidad
Euco Awa	1.18 kg/l
Plastol 20+	1.12 kg/l

Fuente: Elaboración propia

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C + Ea + Pl = 1 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow A = \frac{325 \text{ lt}}{1000 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}} = 0.325 \text{ m}^3; \quad C = \frac{541.67 \text{ kg}}{3150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.172 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ea = \frac{2.708 \text{ kg}}{1.18 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 0.0023 \text{ m}^3; \quad P = \frac{2.708 \text{ kg}}{1.12 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 0.0024 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.498 \text{ m}^3; \quad \rightarrow Ar = 53\% * 0.498 \text{ m}^3; \quad P = 47\% * 0.498 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.264 \text{ m}^3; \quad P = 0.234 \text{ m}^3$$

- Diseño seco

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$A = 325 \text{ lt}$$

$$Ar = 0.264 \text{ m}^3 * 2590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 684.25 \text{ kg}$$

$$P = 0.234 \text{ m}^3 * 2660 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 622.44 \text{ kg}$$

$$Ea = Pl = 2.71 \text{ kg}$$

- Diseño unitario suelto

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 325 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.600$$

$$Ar = 680.25 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.263$$

$$P = 622.44 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.140$$

$$Ea = Pl = 2.71 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.005$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 680.25 = 9.34 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 622.44 = -2.26 \text{ kg}$$

$$A = 325 - (9.34 - 2.26) = 317.92 \text{ kg}$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 690.72 = 705.84 \text{ kg}$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 628.32 = 625.20 \text{ kg}$$

$$Ea = Pl = 2.71 \text{ kg}$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 317.85 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.587$$

$$Ar = 705.84 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.303$$

$$P = 625.20 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.154$$

$$Ea = Pl = 2.71 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.005$$

- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.587 + 1.303 + 1.154 + 0.005 + 0.005 = 4.054$$

$$n = \frac{40 \text{ kg}}{4.054} = 9.87 \text{ kg}$$



$$C = (D.U.O.c) * 9.87 = 1 * 9.87 = 9.87 \text{ kg}$$

$$A = (D.U.O.a) * 9.87 = 0.587 * 9.87 = 5.77 \text{ kg}$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 9.87 = 1.303 * 9.87 = 12.94 \text{ kg}$$

$$P = (D.U.O.p) * 9.87 = 1.154 * 9.87 = 11.46 \text{ kg}$$

$$Ea = Pl = (D.U.O.ea) * 9.87 = (D.U.O.pl) * 9.87 = 0.005 * 9.87 = 49.33 \text{ gr}$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el Cuadro N°17:

**CUADRO N° 17** Dosificación del concreto con aditivo

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.87
	Agua	0.325	325.00	0.600	317.92	0.586	5.79
	Arena	0.264	684.25	1.263	705.84	1.303	12.86
	Piedra	0.234	622.44	1.149	625.20	1.154	11.39
	Euco Awa	0.0023	2.71	0.005	2.71	0.005	49.33
	Plastol 20+	0.0024	2.71	0.005	2.71	0.005	49.33

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO V: ENSAYOS Y RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

### 5.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO

#### 5.1.1 Asentamiento

Según la NTP 339.035 este ensayo tiene como objeto determinar el asentamiento del concreto portland, tanto en el laboratorio como en el campo. Para esto una muestra de concreto fresco mezclado, se coloca en un molde con forma de cono trunco, y se compacta por varillado. El molde se retira hacia arriba permitiendo que el concreto se asiente. La distancia vertical entre la posición inicial y la desplazada, medida en el centro de la superficie superior del concreto, se informa como el asentamiento del concreto.

Para este ensayo es importante tener en cuenta que los concretos que tienen asentamientos menores a 15 mm pueden no ser adecuadamente plásticos y, los concretos que tienen asentamientos mayores a 230 mm, pueden no ser adecuadamente cohesivos para que este ensayo tenga relevancia. Se debe tener cuidado en la interpretación de los resultados.

#### Aparatos

- a) Cono de Abrams; molde de forma tronco cónica de 20 cm. de diámetro en la base inferior y 10 cm. de diámetro en la base superior; altura de 30 cm; provisto de agarraderas y aletas de pie.
- b) Barra compactadora de acero lisa de 5/8" de diámetro con punta semiesférica y de aproximadamente 60 cm. de longitud.

#### Procedimiento

- a) Colocar el molde humedecido superficialmente seco sobre una superficie plana no absorbente.
- b) Llenar el concreto en tres capas de aproximadamente 1/3 del volumen total cada capa.
- c) Compactar cada capa con la barra mediante 25 golpes uniformes en toda la sección.

- d) Enrasar el molde una vez terminada de compactar la última capa por exceso, esto se puede hacer utilizando una plancha de albañilería o la barra compactadora.
- e) Levantar el molde en dirección vertical, y medir inmediatamente la diferencia entre la altura del molde y la altura del concreto fresco. Esta operación debe hacerse entre 5 a 10 seg. máximo, evitar movimiento laterales o torsionales.
- f) De observarse un asentamiento tipo corte este ensayo deberá desecharse y realizarse uno nuevo con otra parte de la mezcla. Sí se vuelve a cortar, el concreto carece de plasticidad y cohesión y no es válido para este ensayo.
- g) Se golpea con la varilla en el centro del molde y se puede observar cómo es la cohesión de la mezcla.

### 5.1.2 Peso unitario

Según la NTP 339.046 se establece un método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario) del concreto fresco y da las fórmulas para calcular el rendimiento, contenido de cemento y el contenido de aire del concreto. El rendimiento se define como el volumen de concreto producido con una mezcla de cantidades conocidas de los materiales componentes.

#### Aparatos

- a) Balanza con aproximación de 50 gr.
- b) Barra compactadora de 5/8".
- c) Recipiente (según el tamaño máximo nominal del agregado).

#### Procedimiento

- a) Llenar el recipiente hasta un tercio de su capacidad.
- b) Compactar la primera capa evitando golpear el fondo y distribuyendo uniformemente sobre la superficie.
- c) Cuando se use el recipiente de  $\frac{1}{2}$  pie<sup>3</sup> se compactará con 25 golpes y cuando se utilice el recipiente de 1 pie<sup>3</sup> cada capa se compactará con 50 golpes.
- d) Golpear la superficie exterior del recipiente con cuidado 10 a 15 veces usando un martillo de goma esto es con la finalidad de eliminar burbujas atrapadas.
- e) Proceder a colocar la segunda y tercera capa siguiendo los pasos b, c y d.
- f) Enrasar la superficie superior con una plancha o barra compactadora teniendo cuidado de dejar lleno el recipiente justo hasta su nivel superior.

Se determina según la siguiente expresión:

$$D = \frac{(Mc - Mm)}{Vm}$$

Donde:

D = Densidad (peso unitario)

Mc = Masa del recipiente lleno de concreto

Mm = Masa del recipiente de medida

Vm = Volumen del recipiente de medida

### 5.1.3 Exudación

Según la NTP 339.077 se establece el procedimiento para determinar la cantidad relativa de agua de mezclado que puede ser exudada de una muestra de concreto fresco.

#### Aparatos

- a) Recipiente cilíndrico metálico de  $\frac{1}{2}$  pie<sup>3</sup> de capacidad.
- b) Balanza con aproximación del 0.5%.
- c) Pipeta para extraer el agua libre de la superficie
- d) Tubo graduado
- e) Barra compactadora de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud

#### Procedimiento

- a) Llenar y enrasar el recipiente con concreto fresco.
- b) Anotar la hora, peso y contenido.
- c) Colocar el recipiente sobre una superficie nivelada, libre de vibraciones y tapar.
- d) A los 10 minutos durante los primeros 40 minutos extraer el agua que se haya acumulado en la superficie (con la pipeta), de allí en adelante cada 30 minutos hasta que cese la exudación.
- e) Cada vez terminada la extracción del agua exudada se vuelve el recipiente a su posición inicial.
- f) Acumular el agua exudada en un tubo graduado

Las fórmulas de cálculo que expresan los resultados son:

$$C = \frac{w * S}{W}$$

Donde:

C = Agua acumulada de exudación

W = Peso total de agua en la mezcla en kg.

w = Peso neto de agua en la muestra kg.

S = Peso de la muestra en kg.

$$\%E = \frac{D}{C} x 100$$

Donde:

%E = Exudación en %

S = Peso de la muestra en kg.

#### 5.1.4 Fluidez

Según la NTP 339.085 se establece el método de ensayo para la determinación de un índice de consistencia de concreto fresco, mediante el uso de la mesa de sacudidas.

#### Aparatos

- a) Molde metálico en forma de cono con diámetro mayor de 250mm, base menor de 170mm y altura de 130mm
- b) Mesa de sacudidas
- c) Barra cilíndrica de acero liso, de 16mm de diámetro y longitud 60mm, los extremos deben ser redondeados con radio de 16mm

#### Procedimiento

- a) Se humedece la mesa de sacudidas y el molde cónico es colocado sobre ella.
- b) Luego se realiza el vaciado llenando la mitad del molde y aplicando 25 golpes con la barra compactadora, se termina de llenar el molde volviendo a compactar la mezcla con 25 golpes
- c) Se deja la muestra en el molde por 1 minuto y luego se retira el molde quedando la muestra sobre el plato de la mesa de sacudidas.

- d) Se inicia una secuencia de 25 golpes y se realizan 4 medidas del diámetro distribuidos simétricamente de la muestra expandida por los golpes.

La fórmula de cálculo que expresa los resultados según el procedimiento mencionado en la norma es la siguiente:

$$\%F = \frac{(D - 25)}{25} \times 100$$

Donde:

D = Diámetro promedio, en cm.

#### 5.1.5 Fluidez de asentamiento

Según la NTP 339.219 se establece el método para la determinación de la fluidez de asentamiento para concretos autocompactantes. Una muestra de concreto fresco es colocada en un molde de forma cónica. El concreto es colocado en una sola capa sin apisonamiento o vibración. El molde es levantado, así el concreto es libre de expandirse. Después de que la expansión cesa, se miden dos diámetros de la masa de concreto aproximadamente en direcciones ortogonales, el flujo es el promedio de los dos diámetros.

Aparatos:

- a) Molde: El molde utilizado en este método debe ser el mismo que el descrito en el ensayo de asentamiento de la norma NTP 339.035.
- b) Base: La base en donde se colocará el molde debe ser no absorbente, rígida, lisa y tener un diámetro mínimo de 915 mm.
- c) Barra de acero lisa como la descrita en el ensayo de asentamiento de la norma NTP 339.035.

Procedimiento:

- a) El ensayo de fluidez de asentamiento debe ser realizado en la base y sobre una superficie plana.
- b) Llenado del molde: se puede realizar el llenado del molde según el método A o el método B.

- Método A: Colocar el molde con la abertura mas grande estando en la parte inferior, en el centro de la base, sostener el molde firmemente y llenarlo en una sola capa.
  - Método B: Colocar el molde con la abertura más pequeña estando en la parte inferior, en el centro de la base, sostener el molde firmemente y llenarlo en una sola capa.
- c) Nivelar la superficie del concreto en la parte superior del molde con la barra de acero.
- d) Remover el concreto de los alrededores de la base del molde para que no interfieran con el movimiento del concreto.
- e) Levantar el molde una distancia de  $225 \pm 75$  mm en  $3 \pm 1$  segundo, mediante un izado estable sin movimiento lateral o torsional
- f) Esperar a que el concreto termine de expandirse sobre la base y luego medir el diámetro más largo resultante, incluir los halos resultantes si son observados, medir un segundo diámetro aproximadamente perpendicular al primero.

La fórmula que expresa el resultado según el procedimiento de la norma es la siguiente:

$$F = \frac{(d1 + d2)}{2}$$

Donde:

F = Fluidez de asentamiento

d1 = El diámetro más largo del círculo de concreto expandido

d2 = El diámetro aproximadamente perpendicular a d1.

#### Velocidad relativa de flujo, viscosidad y estabilidad

La velocidad de flujo de un concreto autocompactante esta influenciada por su viscosidad. Por esta razón, con el propósito de desarrollar un concreto autocompactante en el laboratorio una medida de la viscosidad es de utilidad. Al momento de realizar el ensayo de fluidez de asentamiento, el tiempo que tarda la parte más extrema de la masa de concreto en alcanzar un diámetro de 50cm desde que el molde es levantado por primera vez, indica una medición relativa de la velocidad de flujo de la masa de concreto. Para materiales similares este

periodo de tiempo,  $T_{50}$ , brinda un indicador de la viscosidad relativa del concreto autocompactante.

La estabilidad del concreto autocompactante puede ser observada visualmente examinando la masa de concreto y así puede ser usada como un control de calidad del concreto autocompactante. La siguiente tabla contiene los índices de estabilidad visual (VSI), valores que corresponden con el criterio de cualitativamente evaluar la estabilidad del concreto. Sin embargo, estos valores no cuantifican una propiedad del concreto. En el Cuadro N°18 se puede observar el índice de valor visual según el criterio de estabilidad.

**CUADRO N° 18** Índice de estabilidad visual

Valor VSI	Criterio
0 = Altamente estable	No hay evidencia de segregación o sangrado
1 = Estable	No hay evidencia de segregación, hay un ligero sangrado observado como un brillo en la masa de concreto
2 = Inestable	Hay un ligero halo de mortero $\leq 10\text{mm}$ y/o una pila de agregado en el centro de la masa de concreto
3 = Altamente inestable	Clara segregación por evidencia de un halo de mortero $> 10\text{mm}$ y/o una pila de agregado en el centro de la masa de concreto

Fuente: NTP 339.219

Para determinar el valor  $T_{50}$ , utilizar un cronometro para medir el tiempo en segundos que tarda cualquier parte del extremo del concreto expandiéndose en alcanzar la marca en la plataforma base desde que el molde es levantado por primera vez.

Después de que la masa de concreto termina de expandirse, visualmente inspeccionar la mezcla observando la distribución del agregado grueso, dentro de la masa de concreto la distribución de la fracción de mortero particularmente a lo largo del perímetro y las características del sangrado. Asignar un índice de estabilidad visual (VSI).

#### 5.1.6 Contenido de aire

Según la NTP 339.083 se establece el método de ensayo para la determinación del contenido de aire del concreto fresco mezclado, a partir de la observación del cambio de volumen de concreto, con un cambio de presión.



### Aparatos

- a) Recipiente cilíndrico metálico (diámetro de 20.5 cm y altura de 21.5 cm)
- b) Barra de acero lisa de 5/8" de diámetro y 2 pies de largo.
- c) Una tapa metálica con un borde que impida filtración de aire, que lleva una adosada una cámara de aire.
- d) Un manómetro.
- e) Martillo de goma.
- f) Cucharón.

### Procedimiento

- a) Humedecer el recipiente y colocar en una superficie horizontal.
- b) Llenar el recipiente con el cucharón en tres capas y varillar cada una 25 veces con la barra de acero.
- c) Enrasar la superficie de concreto en el recipiente con la barra de acero.
- d) Colocar la tapa herméticamente cerrando el recipiente, asegurar la tapa e ingresar agua mediante válvulas presentes en la tapa hasta que no haya más espacio.
- e) Abrir la válvula de conexión permitiendo que el aire a presión ingrese en el recipiente.
- f) Leer el porcentaje de aire en el manómetro.

#### 5.1.7 Tiempo de fragua

Según la NTP 339.082 se establece el método de ensayo para la determinación del fraguado del concreto, con revenimiento mayor que cero, por medio de la medida de la resistencia a la penetración de un mortero tamizado del concreto.

Una muestra de mortero se obtendrá por tamizado de una muestra representativa del concreto fresco. El mortero será colocado en un recipiente y será almacenado a una temperatura ambiente especificada. A intervalos regulares de tiempo, se obtendrá la resistencia a la penetración del mortero utilizando agujas normalizadas. De una curva de resistencia a la penetración versus el tiempo transcurrido se determinarán los tiempos de fraguado inicial y final.

### Aparatos

- a) Tamiz con 4.76 mm de abertura.
- b) Recipiente para concreto de 15 cm de diámetro y 15 cm de altura.
- c) Equipo hidráulico provisto de medidor de presión.
- d) Juego de agujas cilíndricas con las siguientes áreas de contacto: 1.0, 0.50, 0.25, 0.10, 0.05 y 0.025 pulg<sup>2</sup>.

### Procedimiento

- a) Se tamiza la muestra de concreto recién mezclado hasta obtener el volumen requerido para llenar el recipiente.
- b) Humedecer el recipiente y llenar con la muestra tamizada dando pequeños golpes al borde externo del recipiente con la finalidad de eliminar las burbujas y nivelar la superficie.
- c) Retirar el agua exudada al momento de realizar cada penetración de las agujas al concreto.
- d) Se aplica una fuerza vertical uniforme hasta lograr una penetración de 2.5cm en 10 segundos. El cambio de aguja se realiza conforma la muestra va endureciendo.
- e) Se toman nota de la fuerza de resistencia, el área de la aguja y la hora de ensayo. El ensayo termina cuando la aguja de menor área alcance por lo menos una resistencia a la penetración de 4000 lb/pulg<sup>2</sup>.

## 5.2 RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos después de haber realizado los ensayos de laboratorio correspondientes tanto al concreto patrón como al concreto con aditivo.

Se presentan gráficos y cuadros comparativos para un mejor entendimiento de las propiedades de ambas mezclas, así como se brinda explicación en los casos en los que no se haya realizado ensayo a alguno de los diseños.

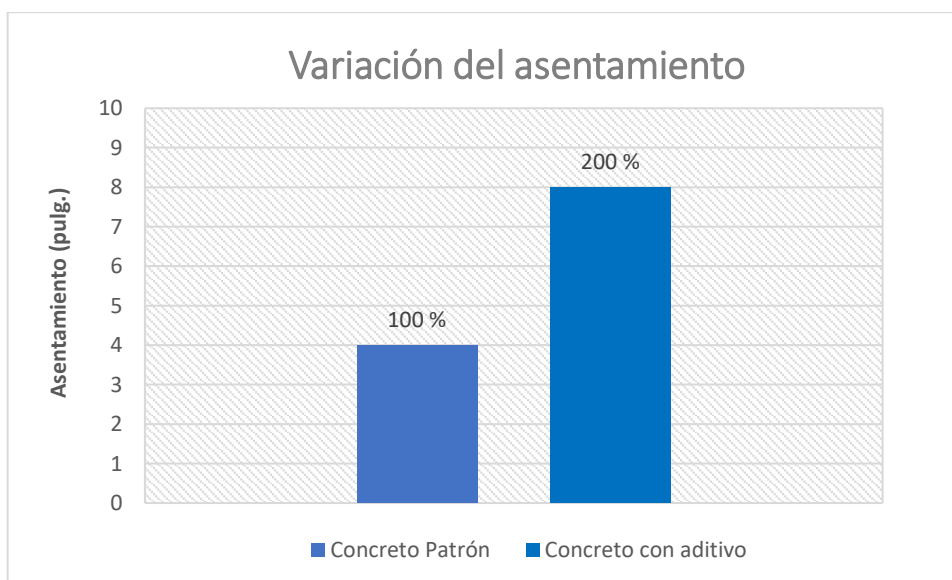
### 5.2.1 Ensayo de asentamiento

Se realizó el ensayo de asentamiento al concreto patrón de relación a/c = 0.60, obteniéndose un valor de 4", este valor fue el que se planteó en un inicio como condición para la trabajabilidad del concreto y es el valor que determina la cantidad de agua en la mezcla, la cual en este caso es la misma cantidad que se utilizó en el concreto con aditivo.

El valor de asentamiento para el concreto con aditivo resulto mayor a 8", propio de un concreto autocompactante. A continuación, se muestra el Cuadro N°19 con el resumen de estos 2 valores de asentamiento. Se establece un valor de 100% para el concreto patrón y con respecto a este valor se expresará una disminución o incremento porcentual del concreto con aditivo. En la Figura N°16 se puede observar la variación del asentamiento.

**CUADRO N° 19** Asentamiento del concreto

Diseño	Asentamiento (pulg)	Variación (%)
Concreto Patrón	4	100
Concreto con aditivo	8	200



**FIGURA N° 16** Variación del asentamiento

### 5.2.2 Ensayo de peso unitario

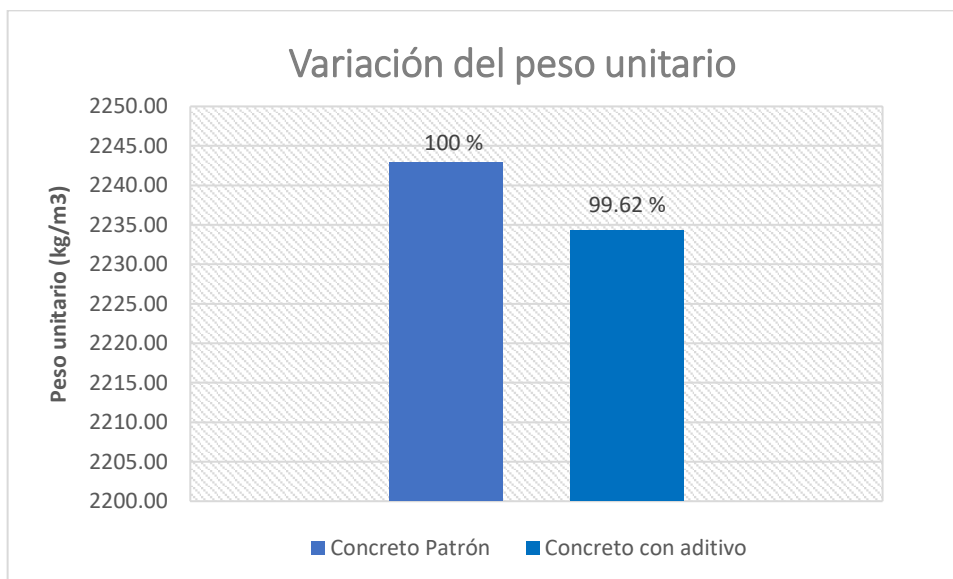
Este ensayo nos permite evaluar la densidad (peso unitario) en estado fresco tanto para el concreto patrón como para el concreto con aditivo.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de peso unitario en el Cuadro N°20 y en la Figura N°17. Se establece el 100% para el valor del concreto patrón y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto con aditivo.

**CUADRO N° 20** Peso unitario del concreto

Diseño	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	Variación (%)
Concreto Patrón	2242.86	100.00
Concreto con aditivo	2234.29	99.62

Fuente: Elaboración propia



**FIGURA N° 17** Variación del peso unitario

### 5.2.3 Ensayo de exudación

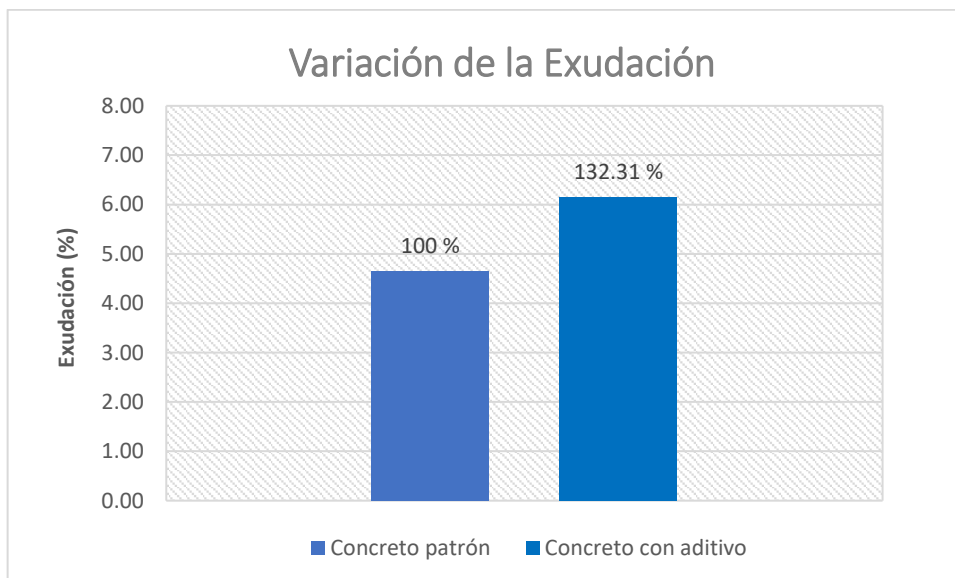
Este ensayo permite evaluar las características físicas del diseño del concreto patrón y el concreto con aditivo, que tanta agua liberan después de permanecer cierto tiempo al aire libre.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de exudación en el Cuadro N°21 y en la Figura N°18. Se establece el 100% para el valor del concreto patrón y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto con aditivo.

**CUADRO N° 21 Exudación del concreto**

Diseño	Exudación (%)	Variación (%)
Concreto patrón	4.65	100.00
Concreto con aditivo	6.15	132.31

Fuente: Elaboración propia



**FIGURA N° 18 Variación de la Exudación**

#### 5.2.4 Ensayo de fluidez

Este ensayo nos permite evaluar un índice de consistencia para el concreto patrón, a pesar de que no hay un valor comparable para el mismo ensayo con el concreto con aditivo, sirve para dar una idea de la consistencia base del concreto con el que se está trabajando. Un ensayo de fluidez como este al concreto con aditivo por sus características superfluidas no sería aplicable.

A continuación, en el Cuadro N°22 se muestra los resultados obtenidos.

**CUADRO N° 22** Fluidez del concreto

<b>Concreto Patrón</b>		
<b>D</b>	<b>34.55</b>	cm
<b>Fluidez</b>	<b>38.2</b>	%

Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.5 Ensayo de fluidez de asentamiento

Este ensayo nos permite evaluar la fluidez de asentamiento del concreto con aditivo, a pesar de que no hay un valor comparable para el mismo ensayo con el concreto patrón, sirve para dar una idea de la velocidad de flujo que alcanza el concreto con aditivo. Un ensayo de fluidez de asentamiento al concreto patrón no sería aplicable ya que este no cuenta con la consistencia adecuada para este ensayo.

A continuación, en el Cuadro N°23 se muestra los resultados obtenidos.

**CUADRO N° 23** Fluidez de asentamiento del concreto

<b>Concreto con aditivo</b>		
<b>D1</b>	<b>63</b>	cm
<b>D2</b>	<b>60</b>	cm
<b>D</b>	<b>61.5</b>	cm
<b>T<sub>50</sub></b>	<b>2</b>	seg

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el ensayo de fluidez de asentamiento también se evaluó el índice de estabilidad visual (VSI). (Ver Figura N°19) Según los criterios de la norma se obtuvo el siguiente resultado, el cual se puede observar en el Cuadro N°24.

**CUADRO N° 24** Índice de estabilidad visual del concreto con aditivo

Valor VSI	Criterio
1 = Estable	No hay evidencia de segregación, hay un ligero sangrado observado como un brillo en la masa de concreto

Fuente: Elaboración propia



**FIGURA N° 19** Fluidez de asentamiento del concreto con aditivo

### 5.2.6 Contenido de aire

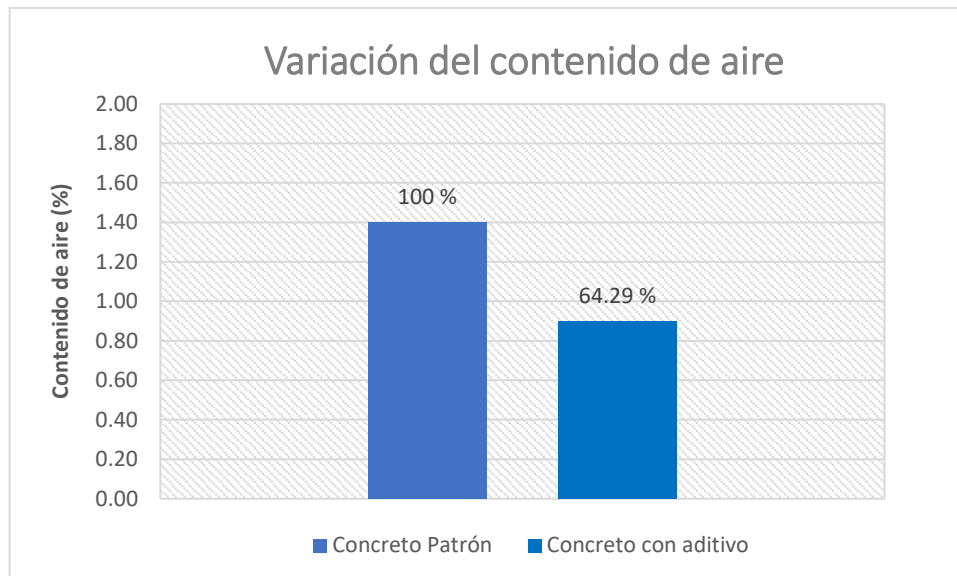
Este ensayo nos permite evaluar la cantidad de aire que queda atrapado dentro de la mezcla tanto para el concreto patrón como para el concreto con aditivo.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de exudación en el Cuadro N°25 y en la Figura N°20. Se establece el 100% para el valor del concreto patrón y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto con aditivo.

**CUADRO N° 25** Contenido de aire del concreto

Diseño	Contenido de aire (%)	Variación (%)
Concreto Patrón	1.40	100.00
Concreto con aditivo	0.90	64.29

Fuente: Elaboración propia



**FIGURA N° 20** Variación del contenido de aire

### 5.2.7 Tiempo de fragua

Este ensayo nos permite evaluar cuanto tiempo tarda el concreto en endurecer, se realiza para una muestra de mortero tanto para el concreto patrón como para el concreto con aditivo.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de tiempo de fragua en el Cuadro N°26 y en las siguientes gráficas, Figuras N°21 y N°22 se establece el 100% para el valor del concreto patrón y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto con aditivo.

**CUADRO N° 26** Tiempo de Fragua del concreto

Diseño	Tiempo de fragua inicial		Tiempo de fragua final	
	T.F.I. (h:min)	Variación (%)	T.F.F. (h:min)	Variación (%)
Concreto patrón	04:29	100.00	06:32	100.00
Concreto con aditivo	06:38	147.96	09:12	140.82

Fuente: Elaboración propia



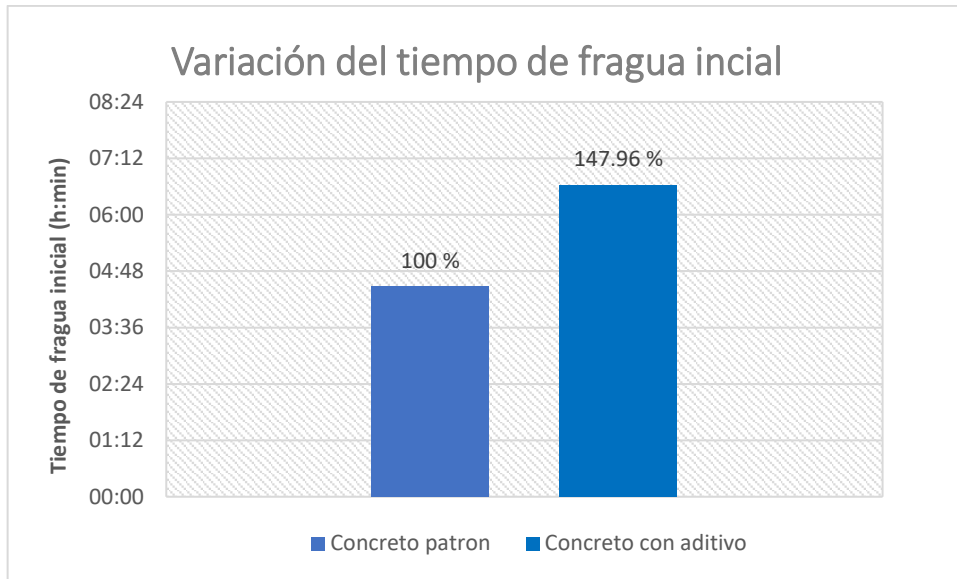


FIGURA N° 21 Variación del tiempo de fragua inicial

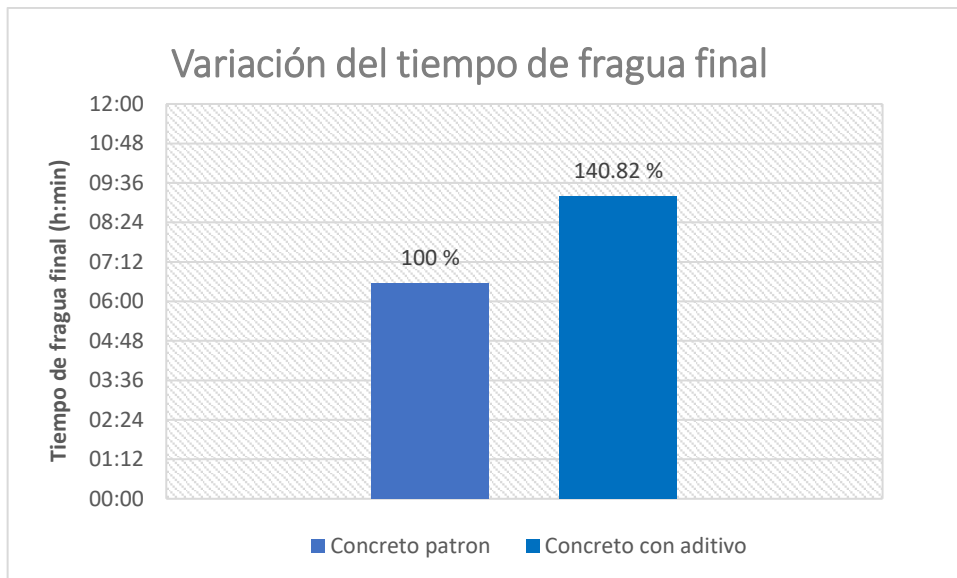


FIGURA N° 22 Variación del tiempo de fragua final

En la siguiente gráfica, Figura N°23 se puede observar cómo aumenta la resistencia a la penetración en función del tiempo desde que se terminó la mezcla.

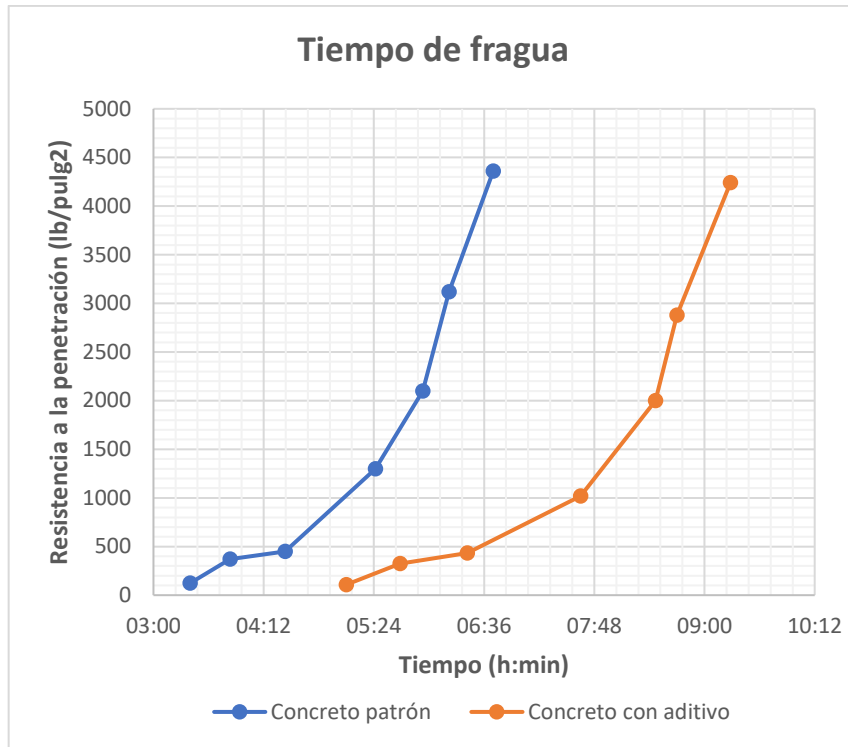


FIGURA N° 23 Resistencia a la penetración vs Tiempo

## CAPÍTULO VI: ENSAYOS Y RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

### 6.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO

#### 6.1.1 Resistencia a la compresión axial

Según la NTP 339.034 se establece la determinación de la resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto y extracciones diamantinas de concreto. Está limitado al concreto que tiene una masa unitaria mayor de 800 kg/m<sup>3</sup>. El método consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad que se encuentra en un rango prescrito hasta la falla. La resistencia a la compresión del espécimen es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección transversal del espécimen.

Se puede calcular la resistencia a la compresión axial mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{4 * P}{\pi * D^2}$$

Donde:

R = Resistencia a la compresión, en kg/cm<sup>2</sup>

P = Carga de rotura, en kg

D = Diámetro promedio de probeta, en cm.

#### 6.1.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral

Según la NTP 339.84 se establece el procedimiento para la determinación de la resistencia a la tracción indirecta de especímenes cilíndricos de concreto, tales como cilindros moldeados y testigos diamantinos. Este método de ensayo consiste en aplicar una fuerza de compresión diametral a toda la longitud de un espécimen cilíndrico de concreto, a una velocidad prescrita, hasta que ocurra la falla. Esta carga induce un esfuerzo de tracción en el plano bajo la carga y un relativamente elevado esfuerzo de compresión en el área inmediata alrededor de la carga aplicada. La falla por tracción ocurre antes que la de compresión porque las áreas de aplicación de la carga están en un estado de compresión triaxial, lo que permite

soportar esfuerzo de compresión mucho mayor que el resultado conseguido con un ensayo de compresión uniaxial.

Se puede calcular la resistencia a la compresión diametral mediante la siguiente fórmula:

$$R = \frac{2 * P}{\pi * D * L}$$

Donde:

R = Resistencia a la tracción, en kg/cm<sup>2</sup>

P = Carga de rotura, en kg

D = Diámetro promedio de probeta, en cm.

L = Longitud de probeta, en cm.

## 6.2 RESULTADOS

En esta sección se presentarán los resultados obtenidos después de haber realizado los ensayos de laboratorio correspondiente tanto al concreto patrón como al concreto con aditivo.

Se presentan gráficos y cuadros comparativos para un mejor entendimiento de las propiedades de ambas mezclas.

### 6.2.1 Ensayo de resistencia a la compresión axial

Este ensayo nos permite evaluar que tanto resiste una probeta de concreto frente a una carga axial, tanto para el concreto patrón como para el concreto con aditivo.

Se elaboraron 6 probetas de concreto para cada día de ensayo para ambos diseños, ya que las probetas del concreto con aditivo fueron hechas de manera experimental, la misma cantidad fue elaborada para el concreto patrón para tener una cantidad igual comparable.

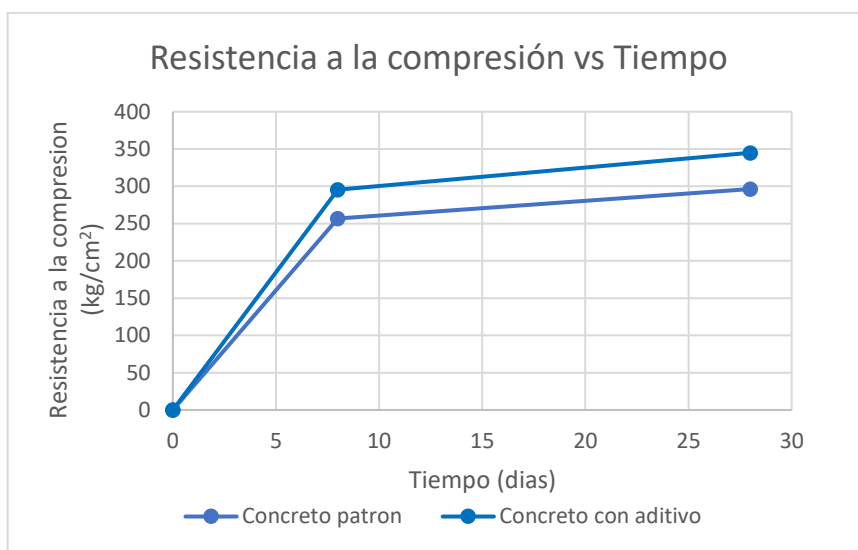
A continuación, se muestran los resultados del ensayo de peso unitario en el Cuadro N°27 y en la Figura N°23. Se establece el 100% para el valor del concreto patrón y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto con aditivo.

**CUADRO N° 27** Resistencia a la compresión del concreto

Diseño	8 días		28 días	
	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Variación (%)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Variación (%)
Concreto patrón	256.67	100.00	296.35	100.00
Concreto con aditivo	295.63	115.18	344.99	116.41

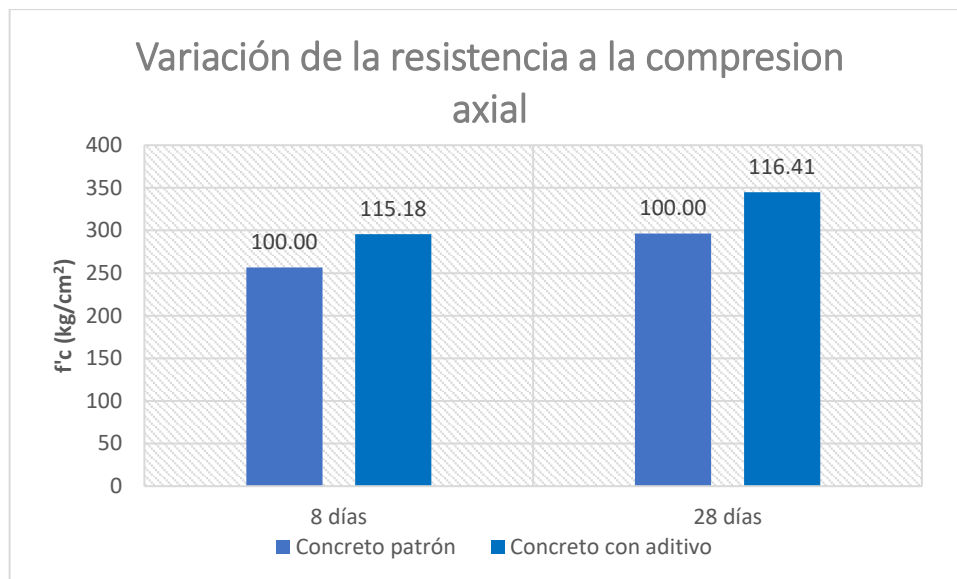
Fuente: Elaboración propia

En la siguiente gráfica, Figura N°24, se puede observar la resistencia a la compresión vs el tiempo de curado para ambas mezclas.



**FIGURA N° 24** Resistencia a la compresión vs Tiempo

En la siguiente gráfica, Figura N°25, se puede observar la variación de la resistencia a la compresión para ambas mezclas en función del tiempo de curado en días.



**FIGURA N° 25** Variación de la resistencia a la compresión axial

### 6.2.2 Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral

Este ensayo nos permite evaluar que tanto resiste una probeta de concreto a una carga en dirección diametral tanto para el concreto patrón como para el concreto con aditivo.

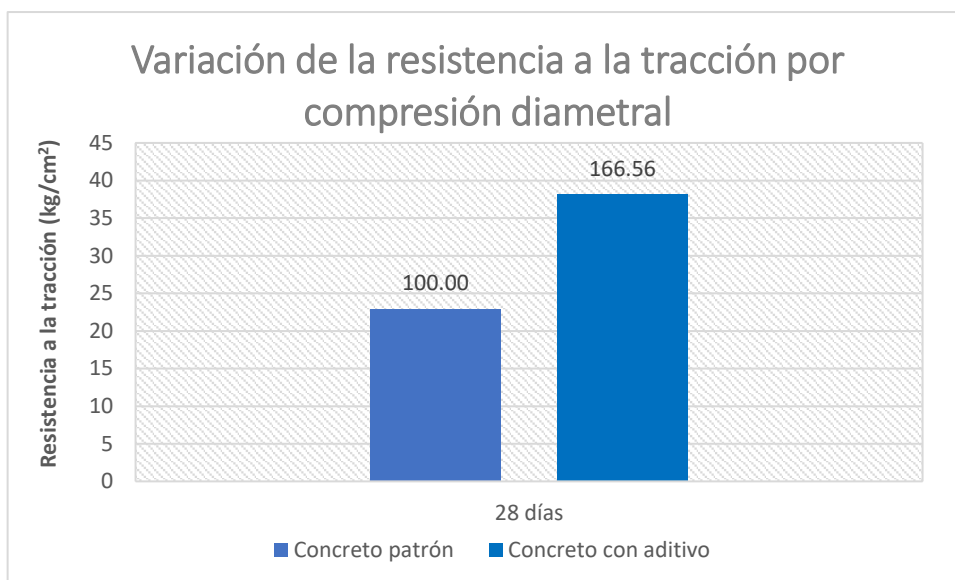
Se elaboraron 2 probetas tanto para el concreto con aditivo como para el concreto patrón ya que las probetas del concreto con aditivo fueron hechas de manera experimental, las probetas del concreto patrón fueron la misma cantidad para tener una cantidad igual comparable.

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de peso unitario en el Cuadro N°28 y en la Figura N°26. Se establece el 100% para el valor del concreto patrón y con respecto a este valor se expresará la disminución o incremento porcentual del concreto con aditivo.

**CUADRO N° 28** Resistencia a la tracción por compresión diametral

Diseño	28 días	
	Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	Variación (%)
Concreto patrón	22.94	100.00
Concreto con aditivo	38.21	166.56

Fuente: Elaboración propia



**FIGURA N° 26** Variación de la resistencia a la tracción

## CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se analizarán los resultados de los ensayos realizados a los agregados y a los diseños de mezcla de concreto. Se hará una descripción detallada de los resultados obtenidos haciendo una comparación entre el concreto patrón y el concreto con aditivo, de sus propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido. También se realizará un análisis del estado del concreto luego de haber sido vaciado bajo agua utilizando la adaptación del método Tremie para elaborar probetas propuesta de manera experimental, se hará una descripción cualitativa de como luce un concreto colocado con esta adaptación.

### 7.1 AGREGADOS

#### 7.1.1 Agregado fino

El agregado fino utilizado pertenece a la cantera de UNICON. Se le realizaron los ensayos respectivos y se observó que la granulometría se encontraba dentro del límite de huso indica en norma NTP 400.037 y con un módulo de finura de 2.80.

#### 7.1.2 Agregado grueso

El agregado utilizado pertenece a la cantera de UNICON. Se le realizaron los ensayos respectivos y se observó que la granulometría se encontraba dentro del límite de huso 67 según lo indica la norma NTP 400.037, el cual cumple con las recomendaciones para un diseño de un concreto vaciado bajo agua, y con un módulo de finura de 6.66.

#### 7.1.3 Agregado global

Se utilizó el ensayo de máxima compacidad para determinar cuál era la mejor proporción de agregados y se comparó con la resistencia que se obtuvo de cada uno, finalmente se utilizó el porcentaje que dio la máxima compacidad con una buena resistencia a la compresión axial, los porcentajes de agregado grueso y fino fueron 47% y 53% respectivamente.



## 7.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

### 7.2.1 Asentamiento

El asentamiento para el concreto patrón fue planteado como 4", esta condición de trabajabilidad determina la cantidad de agua en el concreto patrón, se planteó como una trabajabilidad normal para un concreto, para el concreto con aditivo por tener una característica muy fluida por la misma adición de aditivos no se realizó una reducción de agua para mantener el mismo asentamiento que el patrón, por el contrario, se propuso mantener la misma cantidad de agua por cuestiones prácticas, el principal propósito era obtener un concreto con aditivo que tenga las características necesarias para ser vaciado bajo agua. Así el concreto con aditivo tiene un asentamiento mayor a 8", propio de un concreto autocompactante para ser colocado bajo agua, en términos porcentuales presenta una variación de 100% respecto al concreto patrón. Este cambio fue el esperado y al ser parte del diseño no representa un mayor análisis. (Ver Figura N°27)

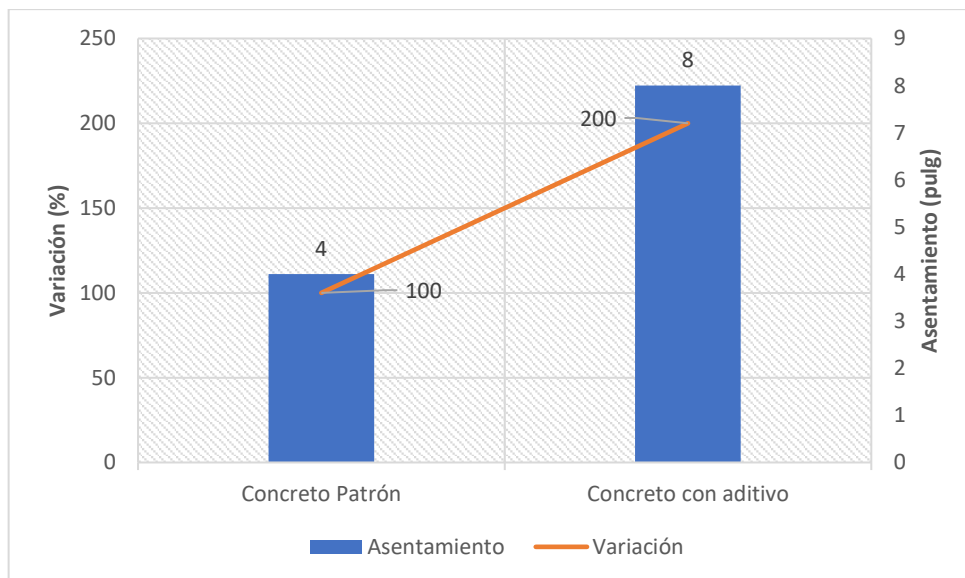


FIGURA N° 27 Asentamiento del concreto

### 7.2.2 Peso Unitario

El peso unitario de ambos diseños se encuentra dentro del rango de 1700 a 2500 kg/m<sup>3</sup> correspondientes a un concreto normal. El valor del peso unitario del concreto patrón fue de 2242.86 kg/m<sup>3</sup>, mientras que el concreto con aditivo tuvo

un valor de  $2234.29 \text{ kg/m}^3$ , representando una disminución porcentual del 0.38%, para efectos prácticos se puede decir que se tiene una variación mínima o se mantiene constante, se puede interpretar a partir de esto que la adición de aditivos si bien afecta las proporciones de los agregados disminuyendo la densidad total de la mezcla, lo hace de manera mínima, también porque los porcentajes de aditivos usados fueron de 0.5% del peso del cemento, valores mínimos de cada uno. Podría considerarse este resultado como favorable ya que pese a ser vaciado bajo agua el valor disminuye muy poco o se mantiene. (Ver Figura N°28)

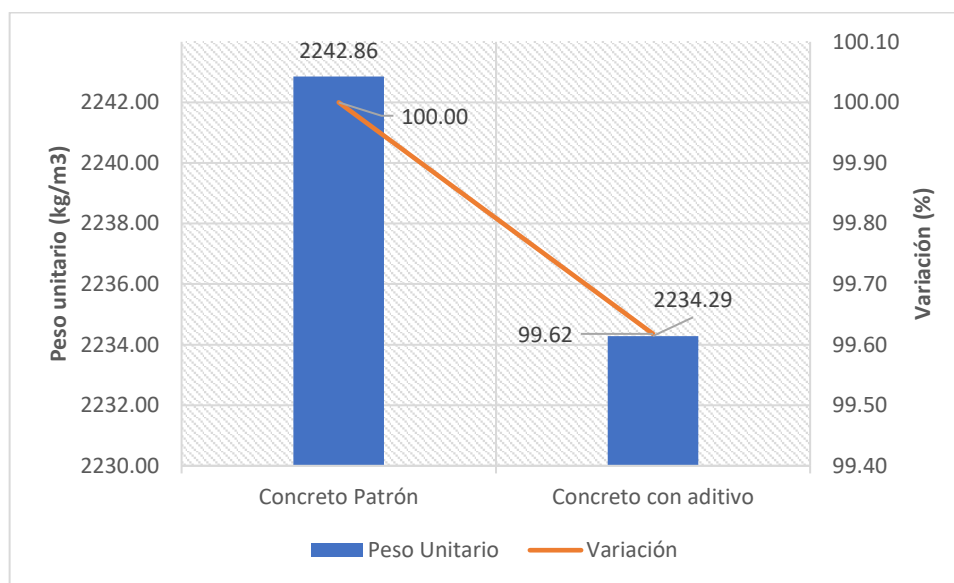


FIGURA N° 28 Peso unitario del concreto

### 7.2.3 Exudación

La exudación para el concreto patrón fue de 4.65% y del concreto con aditivo de 6.15%, esto representa un aumento porcentual del 32.31%, se puede explicar el aumento de la cantidad de agua exudada por el uso del aditivo superplastificante. Generalmente este tipo de aditivos por ser reductores de agua, disminuyen el valor de exudación (este caso se da cuando se utiliza una reducción de agua para mantener el mismo asentamiento que el concreto patrón, ya que este aditivo aumenta la cantidad de agua en la mezcla por sus propiedades y permite mayor fluidez), sin embargo como en esta investigación se mantuvo la misma cantidad de agua ya que no era prioritario mantener el mismo asentamiento, se obtuvo una mayor cantidad de agua en la mezcla en el concreto con aditivo, por este motivo la cantidad exudada en este diseño es mayor. Podría decirse que es un resultado levemente desfavorable ya que se busca que una mezcla vaciada bajo agua tenga

menor sangrado, sin embargo, resulta indiferente ya que el resultado fue esperado según las condiciones planteadas de cantidad de agua. (Ver Figura N°29)

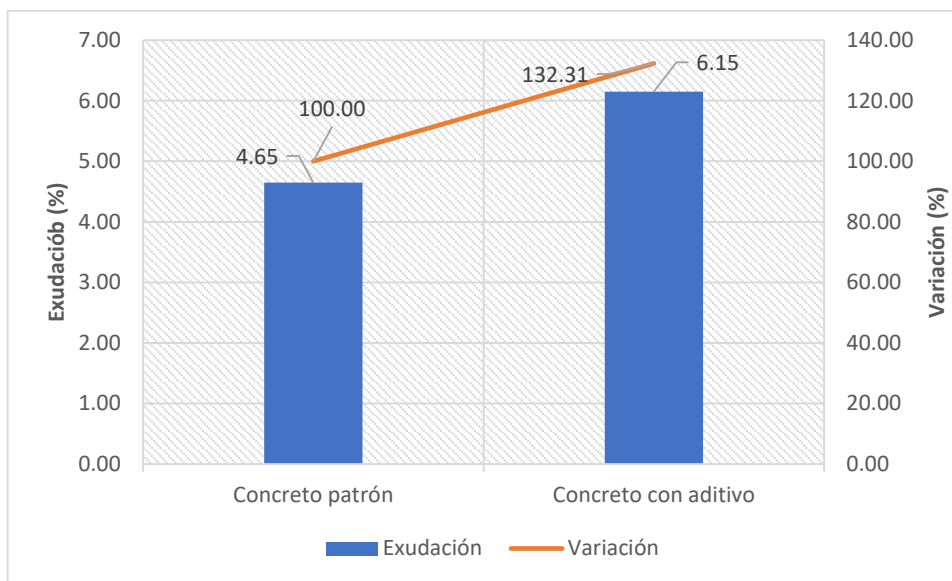


FIGURA N° 29 Exudación del concreto

#### 7.2.4 Fluidez

La fluidez para el concreto patrón fue de 38.2%, este valor está dentro del rango de los valores normales para un concreto de mediana a baja resistencia. No se realizó un ensayo de fluidez como este al concreto con aditivo ya que no sería aplicable por su consistencia muy fluida.

Se obtuvo un diámetro promedio de 34.55 cm, lo que se puede interpretar como una fluidez de media a baja para un concreto de 4" de asentamiento.

#### 7.2.5 Fluidez de asentamiento

La fluidez de asentamiento para el concreto con aditivo fue de 61.5 cm, este valor está dentro de las recomendaciones para un concreto vaciado bajo agua, según Ahmed, Songgui y Feng (2021) este valor debe variar entre 55 a 65 cm lo cual permite una mezcla cohesiva y a la vez lo suficientemente fluida. Este ensayo no se realizó al concreto patrón ya que este no cuenta con la fluidez necesaria para el ensayo.

Se obtuvo también la medición del tiempo "T<sub>50</sub>", el cual mide el tiempo que un extremo del concreto en expansión alcanza un diámetro de 50 cm, este valor fue

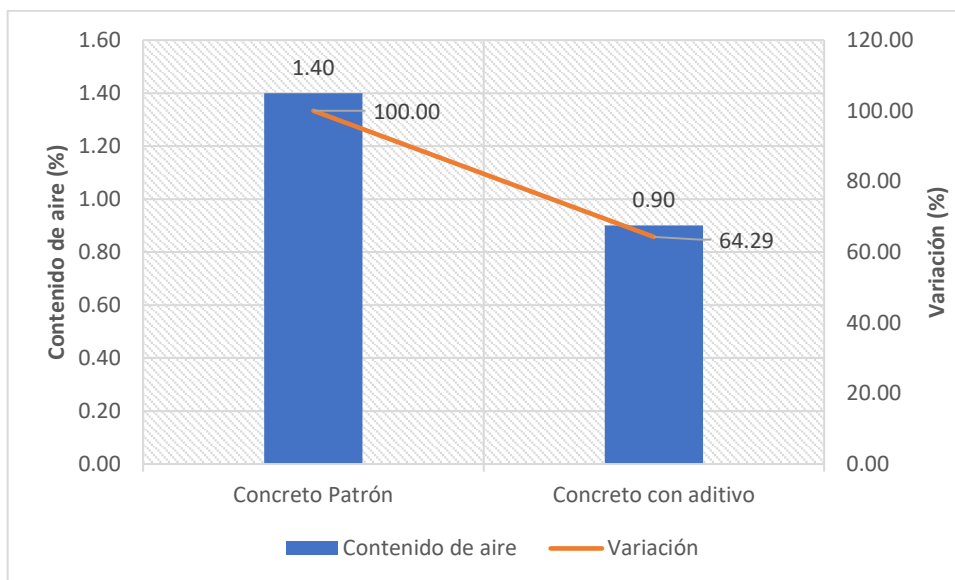
de 2 segundos, el cual puede interpretarse como un indicador de una mezcla medianamente viscosa.

El índice de estabilidad visual para esta mezcla fue de 1, el cual según el criterio se caracteriza como una mezcla estable, sin evidencia de segregación, pero con ligero sangrado observado como un brillo, este resultado se puede interpretar como un valor adecuado para una mezcla para ser vaciada bajo agua.

Puede decirse que este ensayo muestra que el concreto con aditivo cumple con las características necesarias para poder ser vaciado bajo agua.

### 7.2.6 Contenido de aire

El contenido de aire para el concreto patrón fue de 1.40% y del concreto con aditivo de 0.90%, esto representa una disminución porcentual de 35.71%, esta disminución se puede explicar por la reducción de vacíos por el uso del aditivo superplastificante Plastol 20+, al tener una mezcla más fluida se tiene también una mezcla que puede llenar los vacíos más fácilmente. Esta disminución vendría a ser un cambio positivo ya que muestra que el concreto con aditivo vaciado bajo agua tiene una consistencia mas compacta la cual es conveniente para este tipo de mezclas. (Ver Figura N°30)

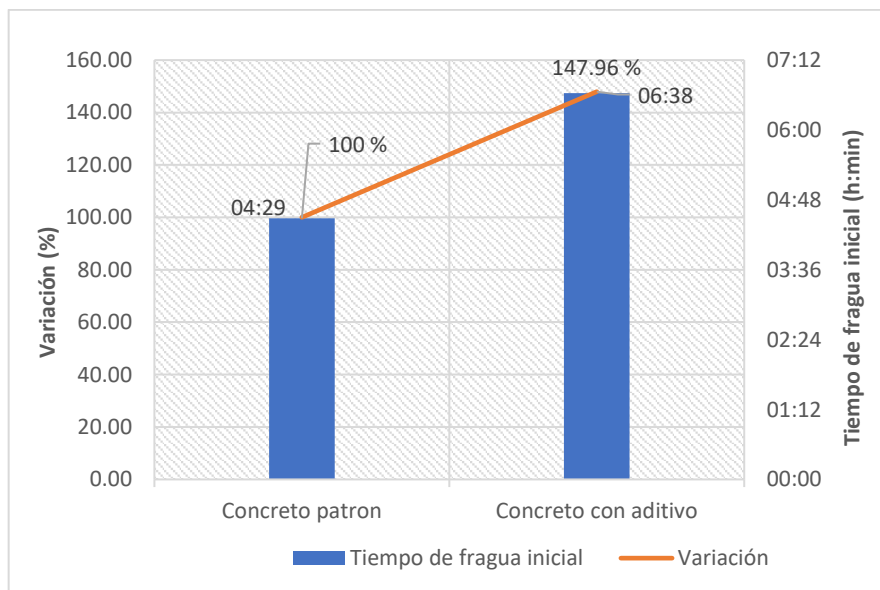


**FIGURA N° 30** Exudación del concreto

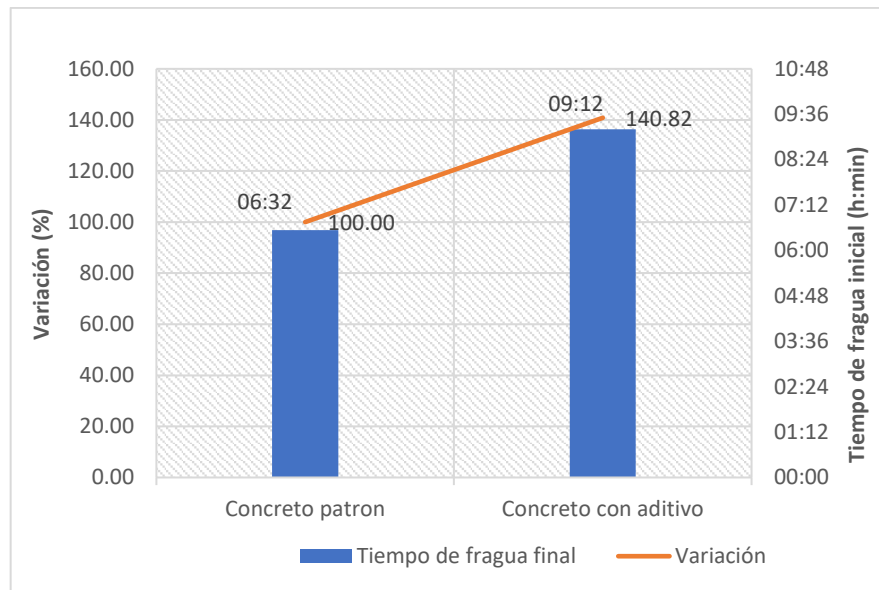
### 7.2.7 Tiempo de fragua

El tiempo de fragua inicial para el concreto patrón fue de 04h:29min, y para el concreto con aditivo de 06h:38min, esto representa un aumento porcentual de 47.96%, el cual se puede explicar por la mayor presencia de agua en el concreto con aditivo por el uso del aditivo superplastificante reductor de agua, lo cual se puede evidenciar en los resultados del ensayo de exudación. (Ver Figura N°31)

El tiempo de fragua final para el concreto patrón fue de 06h:32min y para el concreto con aditivo de 09h:12min, esto representa un aumento porcentual de 40.82%, el cual al igual que el tiempo de fragua inicial se puede explicar por la mayor presencia de agua en la mezcla. Podría considerarse este resultado como levemente negativo sin embargo el aumento del tiempo de fragua es un valor esperado para este tipo de mezclas vaciadas bajo agua, además de haber mantenido la misma cantidad de agua que el concreto patrón a pesar del uso del aditivo superplastificante. (Ver Figura N°32)



**FIGURA N° 31** Tiempo de Fragua inicial del concreto

**FIGURA N° 32** Tiempo de Fragua final del concreto

## 7.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

### 7.3.1 Resistencia a la compresión axial

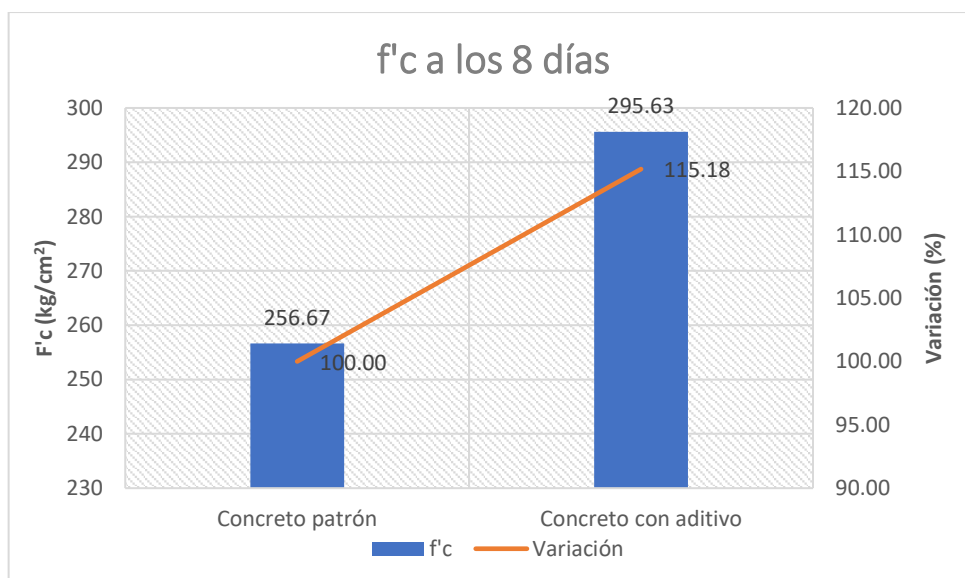
La resistencia a la compresión axial en el concreto patrón fue de  $256.67 \text{ kg/cm}^2$ , a los 8 días de curado, (se realizó a los 8 días en lugar de 7 por temas de calendario), mientras que en el concreto con aditivo se obtuvo una resistencia a la compresión axial de  $295.63 \text{ kg/cm}^2$ , representando un aumento porcentual de 15.18%. (Ver Figura N°33)

A los 28 días de curado se obtuvo una resistencia a la compresión axial en el concreto patrón de  $296.35 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que en el concreto con aditivo fue de  $344.99 \text{ kg/cm}^2$ , representando un aumento porcentual de 16.41%. (Ver Figura N°34)

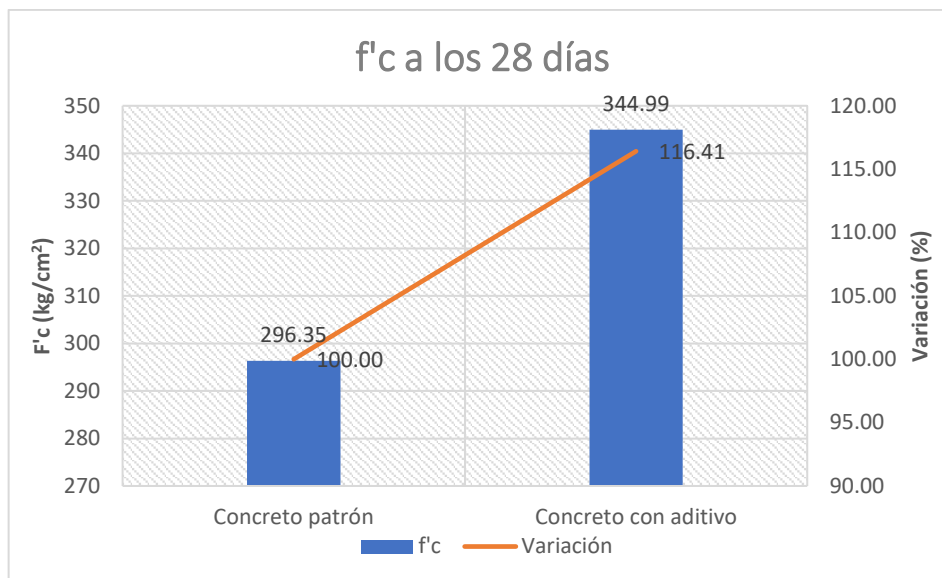
Se puede explicar este incremento porcentual en ambos tiempos de endurecimiento debido al uso del aditivo superplastificante y del aditivo modificador de viscosidad, los cuales ofrecen una mezcla más cohesiva, de rápido desarrollo de resistencias tempranas, con menor cantidad de vacíos. Estas características, las cuales son necesarias para un concreto colocado bajo agua, demuestran ser de utilidad para incrementar la resistencia a la compresión axial.

Cabe mencionar también que las probetas de concreto con aditivo que fueron vaciadas bajo agua con la adaptación del método Tremie propuesta en la presente tesis no solo presentan una adecuada consistencia que permitieron ser ensayadas a compresión axial, sino que aumentaron su resistencia frente al concreto patrón, considerándose así un resultado positivo.

Para ambos tiempos de curado se utilizaron 6 probetas en ambos diseños, esto por ser las probetas de concreto con aditivo vaciadas de manera experimental. Cabe mencionar que para un mejor análisis estadístico se requieren 30 o más probetas.



**FIGURA N° 33** Resistencia a la compresión a los 8 días



**FIGURA N° 34** Resistencia a la compresión a los 28 días

### 7.3.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral

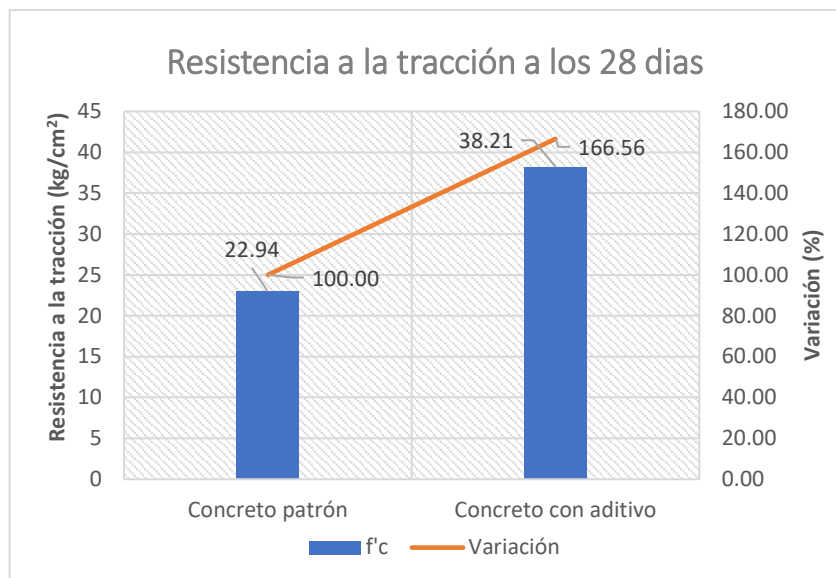
La resistencia a la compresión diametral para el concreto patrón fue de 22.94 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que para el concreto con aditivo fue de 38.21 kg/cm<sup>2</sup>, representando un aumento porcentual de 66.56%. (Ver Figura N°35)

Este incremento porcentual al igual que en la resistencia a la compresión axial se puede explicar por el uso de los aditivos superplastificante Plastol 20+ y modificador de viscosidad Euco Awa.

Este porcentaje de incremento sin embargo resulta considerablemente mayor que el incremento de la resistencia a la compresión axial, esto puede interpretarse por la reducción en la cantidad de vacíos en la mezcla lo cual tiene mayor efecto en la dirección diametral de la probeta. Podría considerarse entonces este un cambio positivo respecto al concreto patrón.

Se puede notar también que el vaciado realizado con la adaptación del método Tremie propuesta para las probetas de concreto con aditivo realizó un correcto llenado del molde.



**FIGURA N° 35** Resistencia a la tracción a los 28 días

#### 7.4 ESTADO DEL CONCRETO LUEGO DEL VACIADO BAJO AGUA

El concreto con aditivo fue preparado teniendo en cuenta las consideraciones de cohesión y fluidez características de este tipo de concretos. Para esto fueron añadidos los aditivos, superplastificante Plastol 20+ y modificador de viscosidad Euco Awa.

Una vez realizada la mezcla con las proporciones adecuadas de aditivos que garanticen su funcionamiento se procedió a colocar el concreto en los moldes con la adaptación propuesta del método Tremie en la presente tesis. Se pudo observar por simple inspección al momento de la colocación que el concreto fluía libremente y llenaba los vacíos en el molde.

Un buen vaciado bajo agua depende en gran medida de la eficacia que se tiene al momento de realizar la colocación con la adaptación propuesta, seguir las condiciones planteadas para el mismo y de la consistencia de la mezcla: lo suficientemente fluida para rellenar los vacíos y lo suficientemente cohesiva para evitar la segregación.

Luego de la colocación se dejó el concreto vaciado en el molde, dentro del balde que funcionaba como recipiente contenedor del agua. Se pudo observar cómo al finalizar el vaciado, el concreto llenó todos los espacios hasta llenar el molde, dejando finalmente un morro de concreto que se dejaría de manera práctica para

luego ser cortado al endurecer la mezcla (esto ante la dificultad de enrasar bajo el agua). Se pudo observar un ligero lavado de finos propio del exceso dejado, sin embargo, la mezcla dentro del molde quedó intacta.

Después de dejar endurecer la mezcla dentro del recipiente bajo agua, se desmoldó la probeta al día siguiente, encontrándose una masa de concreto dura, sin vacíos, y con un acabado sólido, por lo que se puede interpretar que se tuvo una correcta colocación del concreto y la adaptación propuesta de vaciado funciona correctamente.

Así mismo los resultados de los ensayos del concreto con aditivo vaciado bajo agua de resistencia a la compresión axial y resistencia a la compresión diametral mostraron valores mayores al concreto patrón, y a su vez mostraron que al romperse las probetas estas no contenían vacíos en su interior o evidencia de una mala colocación. Por lo planteado anteriormente puede considerarse un resultado favorable para la adaptación del método propuesto. (Ver Figura N°36)



**FIGURA N° 36** Estado de las probetas luego de ser ensayadas

## CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como objetivo estudiar las propiedades del concreto de cemento portland tipo I de mediana a baja resistencia, vaciado bajo agua con los aditivos modificador de viscosidad Euco Awa y superplastificante Plastol 20+, así como proponer un método de ensayo que permita simular un vaciado bajo agua en el laboratorio.

Para este fin se utilizaron agregados bien gradados con una cantidad de finos entre 5 y 10% y de TM 3/4", para la adaptación propuesta se utilizó un recipiente de 1.6l, un molde metálico de 4x8", una lámina de corrospum, una tubería de PVC de 2", una reducción de 2" y un balde de 20l.

A continuación, se muestran las conclusiones obtenidas en la presenta tesis:

1. Respecto a los ensayos de concretos fresco:
  - a. El concreto con los aditivos modificador de viscosidad Euco Awa y superplastificante Plastol 20+ presenta un considerable aumento en el asentamiento (Esto debido a que no se ajustó la cantidad de agua) y en Tiempo de fragua inicial y final.
  - b. La Exudación para el concreto con aditivo incrementa notablemente en un valor porcentual del 32.31% respecto al concreto patrón.
  - c. El Peso unitario del concreto con aditivo incrementa ligeramente, representado un decrecimiento de 0.38%.
  - d. El contenido de aire del concreto con aditivo presentó una disminución considerable, lo que indica una mezcla más compacta del concreto con aditivo.
  - e. El valor de fluidez de asentamiento para el concreto con aditivo fue de 61.5 cm el cual se encuentra dentro del rango recomendado para concretos vaciados bajo agua de 55 a 65 cm.
  - f. El valor del tiempo " $T_{50}$ ", representando un valor medio de viscosidad, adecuada para un concreto vaciado bajo agua.
  - g. El índice de estabilidad visual del concreto con aditivo representa una mezcla estable, adecuada para un concreto vaciado bajo agua.

2. Respecto a los ensayos de concreto endurecido:
  - a. La resistencia a la compresión axial del concreto con aditivo registro un aumento porcentual de 16.41% respecto al concreto patrón a los 28 días.  
A los 8 días el concreto con aditivo tuvo un aumento porcentual del 15.18% respecto al concreto patrón.
  - b. La resistencia a la tracción del concreto con aditivo registro un aumento del 66.56% respecto al concreto patrón a los 28 días.
  
3. Respecto a la adaptación del método Tremie propuesta:
  - a. La adaptación del método Tremie para elaborar probetas de concreto vaciado bajo agua propuesta en la presente tesis funciona eficientemente para la colocación de concreto con aditivo en moldes metálicos.
  - b. El cemento portland tipo I funciona eficientemente en un vaciado bajo agua.

## RECOMENDACIONES

A continuación, se muestran las recomendaciones establecidas para la presente tesis:

1. Respecto a los ensayos a los agregados:
  - a. Se recomienda hacer uso de un agregado fino bien gradado para una correcta distribución del concreto al momento del colocado bajo el agua con una cantidad de finos entre 5 a 10%.
  - b. Se recomienda hacer uso de una granulometría de agregado grueso bien gradada y de huso 67 para un fácil colocado y distribución del concreto vaciado bajo agua.
  
2. Respecto al diseño del concreto:
  - a. Se recomienda utilizar los aditivos, superplastificante y modificador de viscosidad para mezclas de concreto que serán colocadas bajo agua.
  - b. Se recomienda aumentar la fluidez del concreto principalmente con el superplastificante y tener menos cantidad de agua presente en la mezcla para así evitar incrementar los valores de tiempo de fraguado y exudación del concreto.
  - c. Se recomienda hacer estudios con diferentes tipos de agua como agua de mar o de río, para analizar la influencia de esta en el vaciado o la mezcla.
  - d. Se recomienda investigar dosificaciones con relaciones a/c menores a 0.60 y analizar cuál es la mejor relación para un concreto vaciado bajo agua.
  - e. Se recomienda tener una cantidad de cemento entre 400 y 600 kg/m<sup>3</sup>. en las dosificaciones para un concreto con aditivo vaciado bajo el agua.
  - f. Se recomienda realizar más estudios y análisis para encontrar la mejor proporción de aditivos para concretos vaciados bajo agua.
  
3. Respecto a los ensayos del concreto en estado fresco:
  - a. Se recomienda realizar más ensayos al concreto con aditivo, como el ensayo de embudo en V, extensión de flujo, caja en L, entre otros.
  - b. Se recomienda antes de realizar los ensayos del concreto con aditivo vaciado bajo agua, hacer ensayos previos para determinar a partir de

- qué porcentaje se obtiene una consistencia adecuada para vaciar bajo el agua y a partir de ahí encontrar la proporción de aditivos más óptima.
- c. Se recomienda proponer métodos de evaluación del tiempo de fraguado del concreto vaciado bajo el agua.
4. Respecto a los ensayos del concreto en estado endurecido:
- a. Se recomienda realizar más probetas para los ensayos de compresión axial y compresión diametral, en la presente tesis se realizaron cantidades pequeñas por ser una adaptación experimental, pero para un mejor análisis estadístico es recomendable más de 30 probetas de concreto.
5. Respecto a la adaptación del método Tremie propuesta:
- a. Se recomienda al momento de realizar el vaciado bajo agua levantar el tubo lentamente para evitar la segregación del concreto, así como evitar los movimientos horizontales que puedan generar lavado de finos.
  - b. Se recomienda de ser posible, preparar un tubo de tremie para vaciados bajo agua en laboratorio que no permita el ingreso del agua dentro de este, evitando así hacer uso de la lámina de corrospum.
  - c. Se recomienda realizar ensayos para este tipo de vaciado en los que se considere moldes de plástico y analizar su efectividad.
  - d. Se recomienda en lo posible utilizar un recipiente que tenga mayor capacidad de volumen de la que se requiere llenar en un molde concreto.
  - e. Se recomienda que la reducción en la parte superior del tubo sea lo suficientemente grande para un buen colocado de concreto o hacer uso de un embudo de iguales proporciones.
  - f. Se recomienda proponer un método de enrasado de probetas de concreto bajo el agua para así evitar dejar un exceso y tener que cortar las probetas posteriormente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ahmed, A., Songgui, C., y Feng, J. (2021) *Washout resistance of self-protected underwater concrete in freshwater and seawater*. Construction and Building Materials. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123186>
2. Abanto, T. (2009). *Tecnología del concreto*. Editorial San Marcos, Lima, Perú.
3. Bernardo, H., Vicente, M., Gonzales, D., y Martínez, J. (2015) *Efecto de las cargas cíclicas sobre la adherencia hormigón-acero en hormigones sumergidos*. Revista Hormigón y Acero. 66(277), 225-236.
4. Fabiane, D. (2016). *Aditivos reductores de agua para concreto premezclado*. Revista Construcción y tecnología en concreto, 6(2), 22-23. <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/mayo2016/mayo2016.pdf>
5. Macedo, E y Miranda, J (2016). *Diseño de concreto antideslave, para vaciados en zonas con presencia de nivel freático alto con uso de aditivos, en la ciudad de Arequipa*. Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
6. Melendrez, B. (2002). *Métodos de colocación de concreto bajo agua y aplicaciones en obras portuarias*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
7. Kamal, H. (1995). *Effects of antiwashout admixtures on fresh concrete properties*. Aci Materials Journal. V.92, No 2.
8. Kawai, T. (1987). *Non-Dispersible Underwater Concrete Using Polymers*. Marine concrete, International Congress on Polymers in Concrete. Brighton, England.
9. Norma técnica Peruana NTP 334.009 (2016). *CEMENTOS. Cemento Portland. Requisitos*. (3ª Edición) Lima, Perú.
10. Norma Técnica Peruana NTP 339.034 (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. (4ª Edición) Lima, Perú.
11. Norma Técnica Peruana NTP 339.035 (2009). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland*. (3ª Edición) Lima, Perú.
12. Norma Técnica Peruana NTP 339.046 (2008). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento*

- y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). (2ª Edición) Lima, Perú.*
13. Norma Técnica Peruana NTP 339.077 (2013). *CONCRETO. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto. (3ª Edición) Lima, Perú.*
  14. Norma Técnica Peruana NTP 339.082 (2011). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración. (3ª Edición) Lima, Perú.*
  15. Norma Técnica Peruana NTP 339.083 (2003). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de aire en el concreto fresco. Método de presión. (2ª Edición) Lima, Perú.*
  16. Norma Técnica Peruana NTP 339.084 (2017). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica. (3ª Edición) Lima, Perú.*
  17. Norma Técnica Peruana NTP 339.085 (2011). *Método de ensayo para la determinación de un índice de consistencia de hormigones frescos, por el método de la mesa de sacudidas. (1ª Edición) Lima, Perú.*
  18. Norma Técnica Peruana NTP 339.185 (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. (2ª Edición) Lima, Perú.*
  19. Norma Técnica Peruana NTP 339.219 (2008). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo estándar para determinar la fluidez de asentamiento del concreto autocompactado. (1ª Edición) Lima, Perú.*
  20. Norma Técnica Peruana NTP 400.011 (2008). *AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). (2ª Edición) Lima, Perú.*
  21. Norma Técnica Peruana NTP 400.012 (2018). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. (3ª Edición) Lima, Perú.*
  22. Pasquel, E. (1998). *Tópico de Tecnología del concreto en el Perú.* Colegio de Ingenieros del Perú, Lima, Perú.
  23. Norma Técnica Peruana NTP 400.017 (1999). *AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado. (3ª Edición) Lima, Perú.*



24. Norma Técnica Peruana NTP 400.021 (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso*. (3ª Edición) Lima, Perú.
25. Norma Técnica Peruana NTP 400.022 (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino*. (3ª Edición) Lima, Perú.
26. Norma Técnica Peruana NTP 400.037 (2014). *AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto*. (3ª Edición) Lima, Perú.
27. Química Suiza Industrial del Perú S.A. (2016). *EUCO AWA aditivo modificador de viscosidad para aplicaciones de concreto bajo agua*. [www.qsindustrial.biz](http://www.qsindustrial.biz).
28. Química Suiza Industrial del Perú S.A. (2019). *PLASTOL 20+ aditivo reductor de agua alto – hiperplastificante de alto desempeño* [www.qsindustrial.biz](http://www.qsindustrial.biz).
29. Ramachandran, V.S. (1984). *Concrete Admixtures Handbook*. Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
30. Universidad de Buenos Aires, F.d. (1991). *Colocación de hormigón bajo agua por el procedimiento Tremie en Cimentaciones*.
31. Vásquez, F. (2019). *Estudio del concreto de mediana a alta resistencia con microsílíce nacional y aditivo plastificante, utilizando cemento portland tipo I*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
32. Varas, J. (2018). *Concreto de mediana a baja resistencia con aditivo super plastificante y cemento Portland Tipo I*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
33. Zanelli, C y Fernández, L (2014). *Concreto Antideslave: retos de construcción bajo el agua*. Revista Civilizate PUCP, (4), 21-23. <http://revistas.pucp.edu>
34. Zavala, J. (2019). *Concreto de mediana a baja resistencia producido: en terreno natural, con equipo y con equipo y aditivo plastificante*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
35. Zambrano, K (s.f.). *El concreto Tremie, un sistema de colocación*. Recuperado el 13 de diciembre, 2022, de <https://360enconcreto.com>

# ANEXOS

**ANEXO A: Agregados**Agregado fino

## 1.- Peso Específico:

CUADRO A.1 Peso específico del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la arena superficialmente seca	gr	500
Peso de la arena superficialmente seca + Peso de balón + Peso de agua	gr	1003.5
Peso de balón	gr	193.1
Peso de agua (W)	gr	310.4
Peso de arena seca al horno (A)	gr	491.2
Volumen de balón (V)	cm <sup>3</sup>	500
Peso específico de masa A/(V-W)	gr/cm <sup>3</sup>	2.59
Peso específico de masa superficialmente seco 500/(V-W)	gr/cm <sup>3</sup>	2.64
Peso específico aparente A/(V-W) -(500-A)	gr/cm <sup>3</sup>	2.72

## 2.- Porcentaje de absorción:

CUADRO A.2 Porcentaje de absorción

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la arena superficialmente seca	gr	500
Peso de arena seca al horno (A)	gr	491.2
Porcentaje de absorción (500-A)*100/A	%	1.79

## 3.- Contenido de humedad:

CUADRO A.3 Contenido de humedad

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra en estado ambiental	gr	500
Peso de arena seca al horno	gr	484.7
Peso del agua perdida	gr	15.3
Contenido de humedad	%	3.16

## 4.- Peso unitario suelto

CUADRO A.4 Peso unitario suelto

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	gr	5937.30
Peso del recipiente	gr	1573.00
Peso de la muestra	gr	4364.30
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0028
Peso unitario suelto	kg/m <sup>3</sup>	1541.24

## 5.- Peso unitario compactado

CUADRO A.5 Peso unitario compactado

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	gr	6319.90
Peso del recipiente	gr	1573.00
Peso de la muestra	gr	4746.90
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0028
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1676.35

6.- Granulometría

CUADRO A.6 Granulometría del agregado fino

Malla		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Retenido que pasa
Tamiz N°	mm				
3/8"	9.525	0	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.350	0	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.760	12.3	2.05	2.05	97.95
N° 8	2.380	80.6	13.44	15.49	84.51
N° 16	1.190	119.8	19.97	35.46	64.54
N° 30	0.595	128.8	21.47	56.94	43.06
N° 50	0.297	128.9	21.49	78.43	21.57
N° 100	0.149	79.6	13.27	91.70	8.30
Fondo		49.8	8.30	100.00	0.00

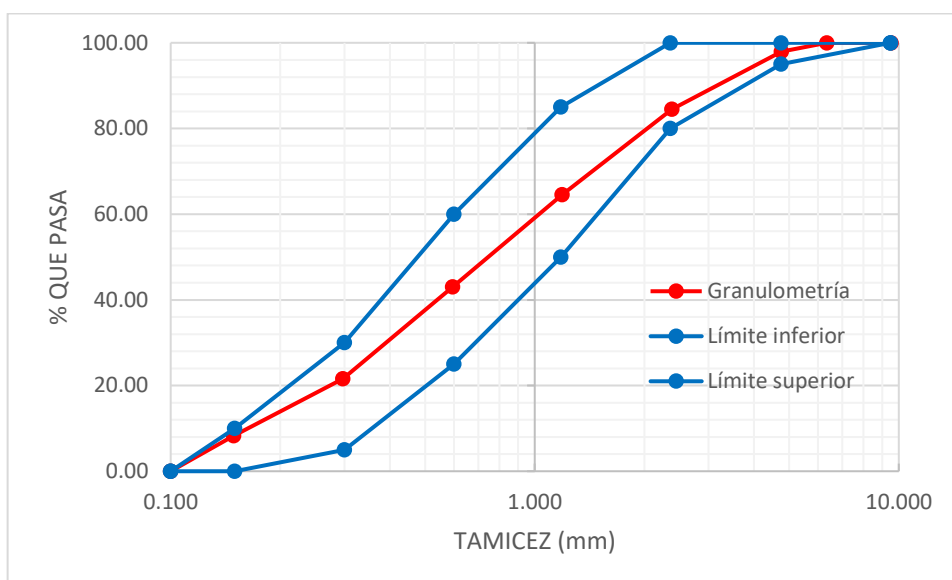


FIGURA A.1 Curva granulométrica del agregado fino

7.- Módulo de finura

$$MF = \frac{0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 2.05 + 15.49 + 35.46 + 56.94 + 78.43 + 91.70}{100}$$

$$MF = 2.80$$

## Agregado grueso

### 1.- Peso específico

**CUADRO A.7** Peso específico del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra secada al horno A	gr	4157.2
Peso de la muestra saturada superficialmente seca B	gr	4190.7
Peso de la muestra saturada en agua + peso de canastilla	gr	--
Peso de canastilla	gr	--
Peso de la muestra saturada en agua C	cm <sup>3</sup>	2626.4
Peso específico de masa A/(B-C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.66
Peso específico de masa superficialmente seco B/(B-C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.68
Peso específico aparente A/(A-C)	gr/cm <sup>3</sup>	2.72

### 2.- Porcentaje de absorción

**CUADRO A.8** Porcentaje de absorción del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra saturada superficialmente seca B	gr	4190.7
Peso de la muestra secada al horno A	gr	4157.2
Porcentaje de absorción (B-A) *100/A	%	0.81

### 3.- Contenido de humedad

**CUADRO A 9** Contenido de humedad del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra en estado ambiental	gr	4011
Peso de arena seca al horno	gr	3993.3
Peso del agua perdida	gr	17.7
Contenido de humedad	%	0.44

4.- Peso unitario suelto

CUADRO A.10 Peso unitario suelto del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	17.50
Peso del recipiente	kg	4.43
Peso de la muestra	kg	13.07
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094
Peso unitario suelto	kg/m <sup>3</sup>	1384.69

5.- Peso unitario compactado

CUADRO A.11 Peso unitario compactado del agregado grueso

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	18.68
Peso del recipiente	kg	4.43
Peso de la muestra	kg	14.25
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1509.70

6.- Granulometría

CUADRO A.12 Granulometría del agregado grueso

Malla		Peso retenido	% Retenido	% Retenido acumulado	% Retenido que pasa
Tamiz N°	mm				
1 1/2"	38.10	0.0	0.00	0.00	100.00
1"	25.40	0.0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	50.0	0.50	0.50	99.50
1/2"	12.70	4010.0	40.38	40.89	59.11
3/8"	9.53	2720.0	27.39	68.28	31.72
N° 4	4.76	3060.0	30.82	99.09	0.91
N° 8	2.38	0.0	0.00	99.09	0.91
N° 16	1.19	0.0	0.00	99.09	0.91
Fondo		90.0	0.91	100.00	0.00

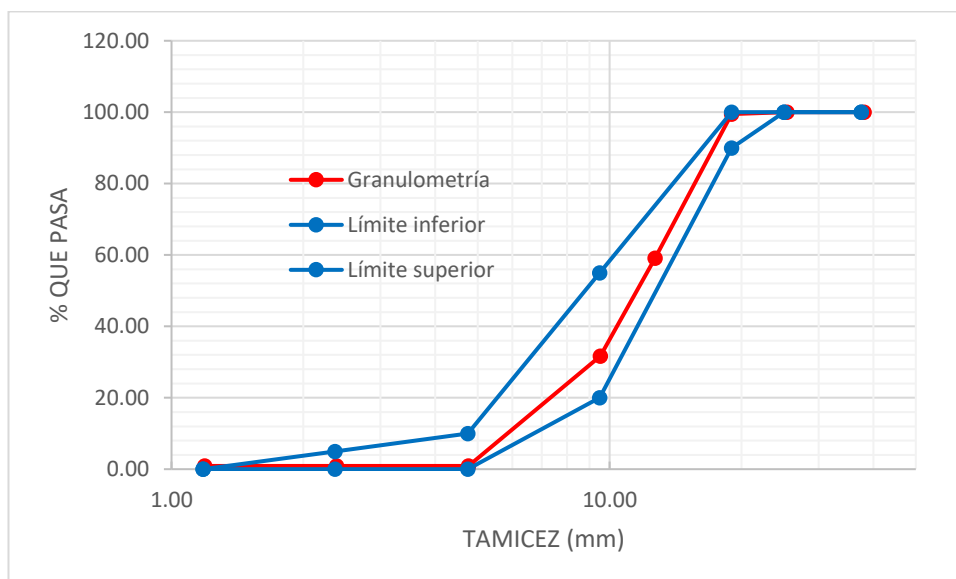


FIGURA A.2. Curva granulométrica del agregado grueso

7.- Módulo de finura

$$MF = \frac{0 + 0 + 0 + 0.50 + 68.28 + 99.09 + 99.09 + 99.00 + 100 + 100 + 100}{100}$$

$$MF = 6.66$$

Agregado global

1.- Peso unitario compactado

CUADRO A.13 P.U.C. del agregado global 44% Arena y 56% Piedra

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	21.60
Peso del recipiente	kg	4.35
Peso de la muestra	kg	17.25
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1827.53



CUADRO A.14 P.U.C. del agregado global 47% Arena y 53% Piedra

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	21.82
Peso del recipiente	kg	4.35
Peso de la muestra	kg	0.01
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1850.84

CUADRO A.15 P.U.C. del agregado global 50% Arena y 50% Piedra

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	21.97
Peso del recipiente	kg	4.35
Peso de la muestra	kg	17.62
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1866.73

CUADRO A.16 P.U.C. del agregado global 53% Arena y 47% Piedra

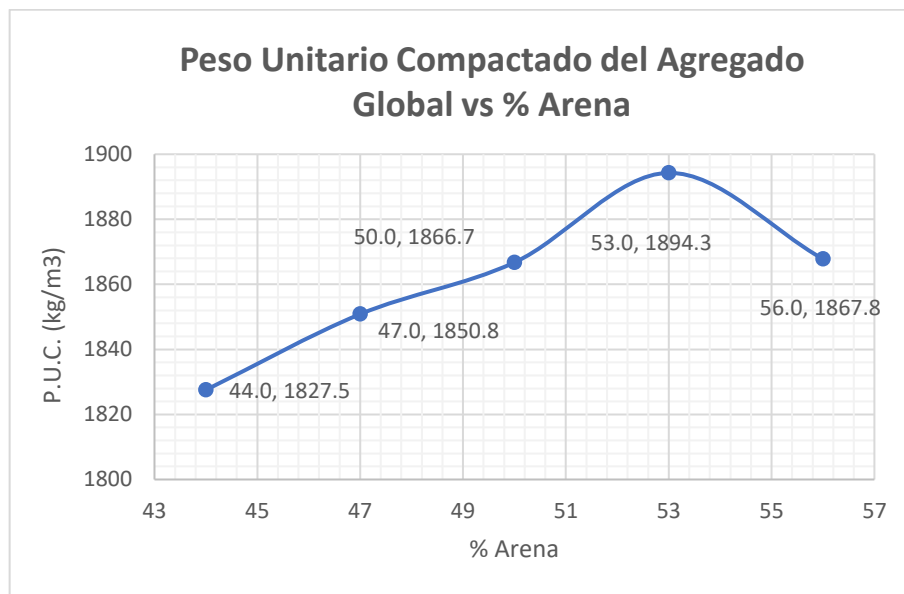
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	22.23
Peso del recipiente	kg	4.35
Peso de la muestra	kg	17.88
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1894.28

CUADRO A.17 P.U.C. del agregado global 56% Arena y 47% Piedra

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRA
Peso de la muestra + Recipiente	kg	21.98
Peso del recipiente	kg	4.35
Peso de la muestra	kg	17.63
Volumen del recipiente	m <sup>3</sup>	0.0094
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1867.79

**CUADRO A.18** P.U.C. del agregado global

% Arena	% Piedra	P.U.C. Agregado Global (kg/m <sup>3</sup> )
44	56	1827.53
47	53	1850.84
50	50	1866.73
53	47	1894.28
56	44	1867.79



**FIGURA A.3** P.U.C. del agregado global vs % Arena

De la gráfica se tiene que:

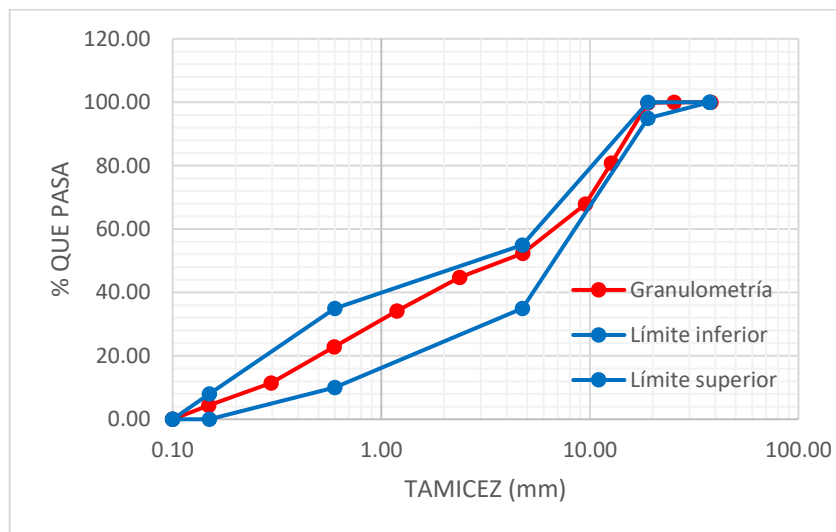
Agregado fino = **53 %**

Agregado grueso = **47%**

## 2.- Granulometría

**CUADRO A.19** Granulometría del agregado global

Malla		% 53 Arena	% 47 Piedra	% Acumulado global	
Tamiz N°	mm	% Ret Arena	% Ret Piedra	Retenido	Pasa
1 1/2 "	38.10	0	0	0.00	100.00
1"	25.40	0	0	0.00	100.00
3/4"	19.00	0	0.2	0.24	99.76
1/2"	12.70	0	19.0	19.22	80.78
3/8"	9.525	0	12.9	32.09	67.91
N° 4	4.760	1.09	14.5	47.66	52.34
N° 8	2.380	7.12	0.4	55.21	44.79
N° 16	1.190	10.59	0	65.79	34.21
N° 30	0.595	11.38	0	77.18	22.82
N° 50	0.297	11.39	0	88.57	11.43
N° 100	0.149	7.03	0	95.60	4.40
<b>Fondo</b>		4.40	0	100.00	0.00



**FIGURA A.4** Curva granulométrica del agregado global

## 3.- Módulo de finura

$$MF = \frac{0 + 0.24 + 32.09 + 47.66 + 55.21 + 65.79 + 77.18 + 88.57 + 95.60}{100}$$

$$MF = 4.62$$

## Aditivos

### 1.- Euco Awa

De acuerdo a la hoja técnica de Química Suiza (2016):

“Euco Awa (anti-washout) es un aditivo líquido desarrollado para aplicaciones y colocación de concretos bajo agua. La adición de este aditivo previene la pérdida del cemento y agregado fino durante el colocado del concreto bajo el agua.

### Aplicaciones principales

- Vaciado y reparación de pilotes bajo agua.
- Construcción y reparación de diques y represas bajo la línea de agua.
- Aditivo anti-segregación para ser usados con agregados pesados y livianos.
- Preparación de morteros y grout para aplicaciones bajo agua.
- Para detener flujos subterráneos en operaciones mineras.
- Para preparar concretos en aplicaciones TREMIE en la construcción de pilotes.

### Características / Beneficios

- Menor impacto ambiental por reducción en el lavado de finos y cemento en aplicaciones bajo agua.
- Elimina la necesidad del bombeo de agua en la zona de vaciado, reduciendo costos de colocación.
- Mayor retención del asentamiento.
- Reduce o elimina la exudación del concreto.
- Elimina la segregación del concreto.
- No afecta la demanda de agua cuando el asentamiento es mantenido aplicaciones principales.

### Información Técnica

- Apariencia: Líquido viscoso
- Color: Marrón oscuro
- Densidad: 1.18 kg/l

### Dosificación

EUCO AWA se dosifica a razón de 0.2% a 1.8% del peso del cemento. Se recomienda realizar ensayos previos en la obra para determinar la dosificación adecuada, lo cual puede ser diferente a las dosificaciones recomendadas.

Dosificaciones mayores a 1.8% pueden producir retardo de fragua. Los resultados varían debido a las diversas condiciones de cada obra y tipo de materiales empleados. Cualquier consulta contacte al departamento de Construcción Química Suiza Industrial.

### Presentación

- Cilindro: 250kg 55.5 galones.
- Balde: 20kg 4.4 galones.

### Direcciones para su uso

Agregue EUCO AWA diluido con la última parte del agua de amasado a la preparación de la mezcla. No vierta directamente sobre el cemento o agregado secos.

Aplicaciones bajo agua:

- Para reducir el lavado de las partículas finas y cemento en las aplicaciones de concreto bajo agua se recomienda utilizar el EUCO AWA dosificado a razón del 0.3% -1.8% del peso del cemento.
- Para obtener el asentamiento requerido utilizar EUCO 37. No se recomienda incrementar la relación agua/cemento.
- Se recomienda seguir las instrucciones del manual ACI 304 R, capítulo 8 “concreto vaciado bajo agua”.

### Aplicaciones Anti Segregación / Anti Exudación:

- Para reducir la segregación y exudación en mezclas de concreto con agregados livianos o pesados, se recomienda usar dosis del 0.3% - 0.8% del peso del cemento.
- Para eliminar el sangrado en el concreto se recomienda adicionar el 0.2%-0.7% de EUCO AWA en función del cemento.”

## 2.- Plastol 20+

De acuerdo a la hoja técnica de Química Suiza (2016):

“PLASTOL 20+ es aditivo reductor de agua de alto rango, formulado con policarboxilatos de última generación que permite incrementar la plasticidad y mantención de mezclas de concreto de baja relación agua/cemento. Incrementa la resistencia a compresión a edades tempranas debido a la alta fuerza de dispersión de las partículas de cemento.

### Aplicaciones principales

PLASTOL 20+ está especialmente recomendado cuando se requiere:

- Concreto lanzado (Shotcrete)
- Concreto para la elaboración de elementos prefabricados
- Concreto de baja relación agua/cemento.
- Concreto autocompactados.
- Concreto de alta fluidez.
- Concreto bombeable.
- Concreto de resistencia a edades tempranas.
- Concreto de alto desempeño.

### Beneficios

- Rápido desarrollo de resistencia temprana.
- Incrementa la cohesividad del concreto fluido, así como también disminuye la segregación.
- Mejora la durabilidad en el concreto debido a que reduce la permeabilidad.
- Proporciona alta fluidez en mezclas secas.
- Facilita la colocación del concreto.
- Reduce riesgos de adición de agua por pérdida de asentamiento.
- No contiene cloruros ni agentes corrosivos.

### Información Técnica

- Apariencia: Líquido.
- Color: Marrón oscuro.

- Densidad: 1.12 kg/l.

### Dosificación

PLASTOL 20+ es usado a una dosificación de 0.5 – 2.0% por peso del cemento. Se recomienda hacer ensayos previos en la obra para precisar la dosis requerida las cuales podrían variar de las dosificaciones recomendadas debido a las diversas condiciones de cada obra y tipo de materiales empleados. Cualquier consulta contacte al Departamento de Química Suiza Industrial.

### Presentación

- Cilindro 180 kg.
- Baldes 20 kg.

### Direcciones para su uso

- El PLASTOL 20+ se presenta listo para su uso y debe incorporarse a la mezcla cuando ésta se encuentra húmeda dentro del mezclador, ya sea en planta o en la obra.
- PLASTOL 20+ se puede dosificar en obra o en planta dependiendo de las necesidades y condiciones particulares de cada vaciado.
- Se recomienda verificar la hermeticidad de los encofrados cuando se utilicen concretos de alta fluidez (>8 pulgadas) debido al incremento de presión en el encofrado por el comportamiento fluido del concreto
- Los resultados a obtener varían con los diversos tipos de cemento, la calidad de agregados y las características de diseño de mezcla. Se recomienda realizar ensayos previos en la obra para determinar la dosificación adecuada de acuerdo al tipo de obra o proyecto a realizar.
- PLASTOL 20+ se puede dosificar en obra o en planta dependiendo de las necesidades y comportamiento del diseño.
- La máxima cantidad de agua a reducir se logra cuando se llegue al mínimo asentamiento permitido.
- PLASTOL 20 + es compatible con otros aditivos, sin embargo, cada aditivo debe ser agregado por separado.
- PLASTOL 20+ no contiene cloruro de calcio u otros ingredientes potenciales de corrosión”

**ANEXO B: DISEÑO DEL CONCRETO**Obtención del agua patrón

1.- Diseño de mezcla con 310 l/m<sup>3</sup> de agua.

**CUADRO A.20** Características de los agregados

	Agregado fino	Agregado grueso	Cemento
<b>Porcentaje</b>	53 %	47 %	-
<b>Peso Específico</b>	2.59 gr/cm <sup>3</sup>	2.66 gr/cm <sup>3</sup>	3.15 gr/cm <sup>3</sup>
<b>Absorción</b>	1.79 %	0.81 %	-
<b>Humedad</b>	3.16 %	0.44 %	-

Utilizando la información del cuadro A.20 se procede a diseñar el concreto de relación a/c = 0.60, entonces se tiene:

$$a/c = 0.60 = \frac{310}{c} \rightarrow c = 516.67 \text{ kg/m}^3$$

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C = 1 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow A = \frac{310 \text{ lt}}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.310 \text{ m}^3; C = \frac{516.67 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0.164 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.526 \text{ m}^3; \rightarrow Ar = 53\% * 0.526 \text{ m}^3; P = 47\% * 0.526 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.278 \text{ m}^3; P = 0.247 \text{ m}^3$$

- Diseño seco

$$C = 516.67 \text{ kg}$$

$$A = 310 \text{ lt}$$

$$Ar = 0.278 \text{ m}^3 * 2590 \text{ kg/m}^3 = 722.21 \text{ kg}$$

$$P = 0.247 \text{ m}^3 * 2660 \text{ kg/m}^3 = 656.97 \text{ kg}$$



- Diseño unitario suelto

$$C = 516.67 \text{ kg} / 516.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 310 \text{ kg} / 516.67 \text{ kg} = 0.600$$

$$Ar = 722.21 \text{ kg} / 516.67 \text{ kg} = 1.397$$

$$P = 656.97 \text{ kg} / 516.67 \text{ kg} = 1.271$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 516.67 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 722.21 = 9.86 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 659.88 = -2.38 \text{ kg}$$

$$A = 310 - (9.86 - 2.38) = 302.52 \text{ lt}$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 722.21 = 745.01 \text{ kg}$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 659.88 = 659.88 \text{ kg}$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 516.67 \text{ kg} / 516.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 302.52 \text{ kg} / 516.67 \text{ kg} = 0.585$$

$$Ar = 745.01 \text{ kg} / 516.67 \text{ kg} = 1.442$$

$$P = 659.88 \text{ kg} / 516.67 \text{ kg} = 1.277$$

- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.585 + 1.442 + 1.277 = 4.304$$

$$n = \frac{40 \text{ kg}}{4.304} = 9.29 \text{ kg}$$

$$C = (D.U.O.c) * 9.29 = 1 * 9.29 = 9.29 \text{ kg}$$

$$A = (D.U.O.a) * 9.29 = 0.585 * 9.29 = 5.44 \text{ kg}$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 9.29 = 1.442 * 9.29 = 13.40 \text{ kg}$$

$$P = (D.U.O.p) * 9.29 = 1.277 * 9.29 = 11.87 \text{ kg}$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el cuadro A.21.

**CUADRO A.21** Diseño con 310 l/m<sup>3</sup> de agua

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.164	516.67	1.000	516.67	1.000	9.29
	Agua	0.310	310.00	0.600	317.85	0.585	5.44
	Arena	0.278	722.21	1.397	745.01	1.442	13.40
	Piedra	0.247	656.97	1.271	659.88	1.277	11.87

2.- Diseño de mezcla con 320 l/m<sup>3</sup> de agua.

Utilizando la información del cuadro A.20 se procede a diseñar el concreto de relación a/c = 0.60, entonces se tiene:

$$a/c = 0.60 = \frac{320}{c} \rightarrow c = 533.33 \text{ kg/m}^3$$

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C = 1 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow A = \frac{320 \text{ lt}}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.320 \text{ m}^3; C = \frac{533.33 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0.169 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.510 \text{ m}^3; \rightarrow Ar = 53\% * 0.510 \text{ m}^3; P = 47\% * 0.510 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.270 \text{ m}^3; P = 0.240 \text{ m}^3$$

- Diseño seco

$$C = 533.33 \text{ kg}$$

$$A = 320 \text{ lt}$$

$$Ar = 0.270 \text{ m}^3 * 2590 \text{ kg/m}^3 = 701.22 \text{ kg}$$

$$P = 0.240 \text{ m}^3 * 2660 \text{ kg/m}^3 = 637.87 \text{ kg}$$

- Diseño unitario suelto

$$C = 533.33 \text{ kg} / 533.33 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 320 \text{ kg} / 533.33 \text{ kg} = 0.600$$

$$Ar = 701.22 \text{ kg} / 533.33 \text{ kg} = 1.314$$

$$P = 637.87 \text{ kg} / 533.33 \text{ kg} = 1.196$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 533.33 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 701.22 = 9.57 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 637.87 = -2.31 \text{ kg}$$

$$A = 320 - (9.57 - 2.31) = 312.74 \text{ kg}$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 701.22 = 723.35 \text{ kg}$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 637.87 = 640.70 \text{ kg}$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 533.33 \text{ kg} / 533.33 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 312.74 \text{ kg} / 533.33 \text{ kg} = 0.586$$

$$Ar = 723.35 \text{ kg} / 533.33 \text{ kg} = 1.356$$

$$P = 640.70 \text{ kg} / 533.33 \text{ kg} = 1.201$$

- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.586 + 1.356 + 1.201 = 4.144$$

$$n = \frac{40 \text{ kg}}{4.144} = 9.65 \text{ kg}$$

$$C = (D.U.O.c) * 9.65 = 1 * 9.65 = 9.65 \text{ kg}$$

$$A = (D.U.O.a) * 9.65 = 0.586 * 9.65 = 5.66 \text{ kg}$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 9.65 = 1.356 * 9.65 = 13.09 \text{ kg}$$

$$P = (D.U.O.p) * 9.65 = 1.201 * 9.65 = 11.60 \text{ kg}$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el cuadro A.22.

**CUADRO A.22** Diseño con 320 l/m<sup>3</sup> de agua

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.163	533.33	1.000	533.33	1.000	9.65
	Agua	0.320	320.00	0.600	312.74	0.586	5.66
	Arena	0.270	701.22	1.314	723.35	1.356	13.09
	Piedra	0.240	637.87	1.196	640.70	1.201	11.60

3.- Diseño de mezcla con 330 l/m<sup>3</sup> de agua.

Utilizando la información del cuadro A.20 se procede a diseñar el concreto de relación a/c = 0.60, entonces se tiene:

$$a/c = 0.60 = \frac{330}{c} \rightarrow c = 550.00 \text{ kg/m}^3$$

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C = 1 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow A = \frac{330 \text{ lt}}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.330 \text{ m}^3; C = \frac{550.00 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0.174 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.495 \text{ m}^3; \rightarrow Ar = 53\% * 0.495 \text{ m}^3; P = 47\% * 0.495 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.262 \text{ m}^3; P = 0.232 \text{ m}^3$$

- Diseño seco

$$C = 550.00 \text{ kg}$$

$$A = 330 \text{ lt}$$

$$Ar = 0.262 \text{ m}^3 * 2590 \text{ kg/m}^3 = 680.22 \text{ kg}$$

$$P = 0.232 \text{ m}^3 * 2660 \text{ kg/m}^3 = 618.77 \text{ kg}$$

- Diseño unitario suelto

$$C = 550.00 \text{ kg} / 550.00 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 330 \text{ kg} / 550.00 \text{ kg} = 0.600$$

$$Ar = 680.22 \text{ kg} / 550.00 \text{ kg} = 1.236$$

$$P = 618.77 \text{ kg} / 550.00 \text{ kg} = 1.125$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 550.00 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 680.22 = 9.29 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 618.77 = -2.24 \text{ kg}$$

$$A = 330 - (9.29 - 2.24) = 322.96 \text{ kg}$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 680.22 = 701.69 \text{ kg}$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 618.77 = 621.52 \text{ kg}$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 550.00 \text{ kg} / 550.00 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 322.96 \text{ kg} / 550.00 \text{ kg} = 0.587$$

$$Ar = 701.69 \text{ kg} / 550.00 \text{ kg} = 1.275$$

$$P = 621.52 \text{ kg} / 550.00 \text{ kg} = 1.130$$

- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.587 + 1.275 + 1.130 = 3.993$$

$$n = \frac{40 \text{ kg}}{3.993} = 10.02 \text{ kg}$$

$$C = (D.U.O.c) * 10.02 = 1 * 10.02 = 10.02 \text{ kg}$$

$$A = (D.U.O.a) * 10.02 = 0.587 * 10.02 = 5.88 \text{ kg}$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 10.02 = 1.275 * 10.02 = 12.78 \text{ kg}$$

$$P = (D.U.O.p) * 10.02 = 1.130 * 10.02 = 11.32 \text{ kg}$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el cuadro A.23.

**CUADRO A.23** Diseño con 330 l/m<sup>3</sup> de agua

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.174	550.00	1.000	550.00	1.000	10.02
	Agua	0.330	330.00	0.600	322.96	0.587	5.88
	Arena	0.262	680.22	1.236	701.69	1.275	12.78
	Piedra	0.232	618.77	1.125	621.52	1.130	11.32

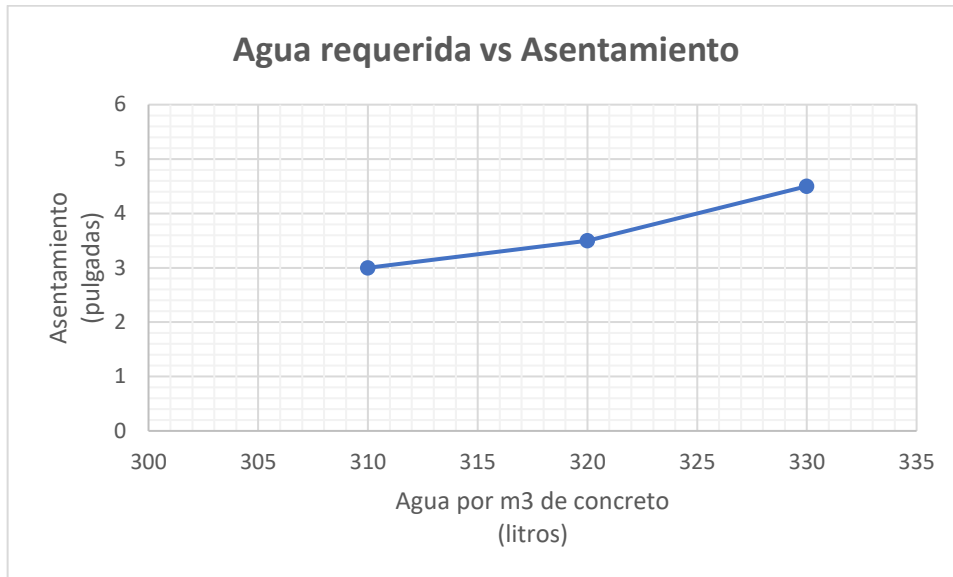
#### 4.- Resultados

A partir de los cuadros A.23, A.22 y A.21 se puede obtener el cuadro resumen A.24.

**CUADRO A.24** Diseños del concreto para hallar cantidad de agua

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.164	516.67	1.000	516.67	1.000	9.29
	Agua	0.310	310.00	0.600	317.85	0.585	5.44
	Arena	0.278	722.21	1.397	745.01	1.442	13.40
	Piedra	0.247	656.97	1.271	659.88	1.277	11.87
Asentamiento = 3"							
a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.163	533.33	1.000	533.33	1.000	9.65
	Agua	0.320	320.00	0.600	312.74	0.586	5.66
	Arena	0.270	701.22	1.314	723.35	1.356	13.09
	Piedra	0.240	637.87	1.196	640.70	1.201	11.60
Asentamiento = 3.5"							
a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.174	550.00	1.000	550.00	1.000	10.02
	Agua	0.330	330.00	0.600	322.96	0.587	5.88
	Arena	0.262	680.22	1.236	701.69	1.275	12.78
	Piedra	0.232	618.77	1.125	621.52	1.130	11.32
Asentamiento = 4.5"							

Del cuadro A.24 se puede obtener la siguiente gráfica, figura A.5.



**FIGURA A.5** Agua requerida vs Asentamiento

A partir del gráfico se puede obtener:

$$\text{Agua patrón} = 325 \text{ litros/m}^3$$

#### Obtención de la relación arena/piedra

1.- Diseño de mezcla con 50% arena y 50% de piedra.

Utilizando la información del cuadro A.20 se procede a diseñar el concreto de relación  $a/c = 0.60$ , entonces se tiene:

$$a/c = 0.60 = \frac{325}{c} \rightarrow c = 541.67 \text{ kg/m}^3$$

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C = 1 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow A = \frac{325 \text{ lt}}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.325 \text{ m}^3; C = \frac{541.67 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0.172 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.503 m^3; \rightarrow Ar = 50\% * 0.503m^3 ; P = 50\% * 0.503m^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.251 m^3 ; P = 0.251 m^3$$

- Diseño seco

$$C = 541.67 kg$$

$$A = 325 lt$$

$$Ar = 0.251 m^3 * 2590 kg/m^3 = 651.52 kg$$

$$P = 0.251 m^3 * 2660 kg/m^3 = 668.43 kg$$

- Diseño unitario suelto

$$C = 541.67 kg / 541.67 kg = 1.000$$

$$A = 325 kg / 541.67 kg = 0.600$$

$$Ar = 651.52 kg / 541.67 kg = 1.203$$

$$P = 668.43 kg / 541.67 kg = 1.234$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 541.67 kg$$

$$\text{Correccion de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 651.62 = 8.90kg$$

$$\text{Correccion de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 668.43 = -2.42kg$$

$$A = 325 - (8.90 - 2.42) = 318.53 lt$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 651.52 = 672.19 kg$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 668.43 = 671.39 kg$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 541.67 kg / 541.67 kg = 1.000$$

$$A = 318.53 kg / 541.67 kg = 0.588$$

$$Ar = 745.01 kg / 541.67 kg = 1.241$$

$$P = 659.88 kg / 541.67 kg = 1.239$$



- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.588 + 1.241 + 1.239 = 4.069$$

$$n = \frac{40kg}{4.069} = 9.83kg$$

$$C = (D.U.O.c) * 9.83 = 1 * 9.83 = 9.83 kg$$

$$A = (D.U.O.a) * 9.83 = 0.588 * 9.83 = 5.78 kg$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 9.83 = 1.241 * 9.83 = 12.20 kg$$

$$P = (D.U.O.p) * 9.83 = 1.239 * 9.83 = 12.19 kg$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el cuadro A.25.

**CUADRO A.25** Diseño con 50% arena y 50% de piedra

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.83
	Agua	0.325	325.00	0.600	318.53	0.588	5.78
	Arena	0.251	651.62	1.203	672.19	1.241	12.20
	Piedra	0.251	668.43	1.234	671.39	1.239	12.19

2.- Diseño de mezcla con 53% arena y 47% de piedra.

Utilizando la información del cuadro A.20 se procede a diseñar el concreto de relación a/c = 0.60, entonces se tiene:

$$a/c = 0.60 = \frac{325}{c} \rightarrow c = 541.67 kg/m^3$$

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C = 1 m^3$$

$$\rightarrow A = \frac{325 \text{ lt}}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.325 \text{ m}^3; C = \frac{541.67 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0.172 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.503 \text{ m}^3; \rightarrow Ar = 53\% * 0.503 \text{ m}^3; P = 47\% * 0.503 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.266 \text{ m}^3; P = 0.236 \text{ m}^3$$

- Diseño seco

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$A = 325 \text{ lt}$$

$$Ar = 0.266 \text{ m}^3 * 2590 \text{ kg/m}^3 = 690.72 \text{ kg}$$

$$P = 0.236 \text{ m}^3 * 2660 \text{ kg/m}^3 = 628.32 \text{ kg}$$

- Diseño unitario suelto

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 325 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.600$$

$$Ar = 690.72 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.275$$

$$P = 628.32 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.160$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 690.72 = 9.43 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 628.32 = -2.28 \text{ kg}$$

$$A = 325 - (9.43 - 2.28) = 317.85 \text{ lt}$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 690.72 = 712.52 \text{ kg}$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 628.32 = 631.11 \text{ kg}$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 317.85 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.587$$

$$Ar = 690.72 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.315$$

$$P = 628.32 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.165$$

- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.587 + 1.315 + 1.165 = 4.067$$

$$n = \frac{40kg}{4.067} = 9.83kg$$

$$C = (D.U.O.c) * 9.83 = 1 * 9.83 = 9.83 kg$$

$$A = (D.U.O.a) * 9.83 = 0.587 * 9.83 = 5.77 kg$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 9.83 = 1.315 * 9.83 = 12.94 kg$$

$$P = (D.U.O.p) * 9.83 = 1.165 * 9.83 = 11.46 kg$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el cuadro A.26:

**CUADRO A. 26** Diseño con 53% arena y 47% de piedra

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.83
	Agua	0.325	325.00	0.600	317.85	0.587	5.77
	Arena	0.266	690.72	1.275	712.52	1.315	12.94
	Piedra	0.236	628.32	1.160	631.11	1.165	11.46

3.- Diseño de mezcla con 56% arena y 44% de piedra.

Utilizando la información del cuadro A.20 se procede a diseñar el concreto de relación a/c = 0.60, entonces se tiene:

$$a/c = 0.60 = \frac{325}{c} \rightarrow c = 541.67 kg/m^3$$

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C = 1 m^3$$

$$\rightarrow A = \frac{325 \text{ lt}}{1000 \text{ lt/m}^3} = 0.325 \text{ m}^3; C = \frac{541.67 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0.172 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.503 \text{ m}^3; \rightarrow Ar = 56\% * 0.503 \text{ m}^3; P = 44\% * 0.503 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.281 \text{ m}^3; P = 0.221 \text{ m}^3$$

- Diseño seco

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$A = 325 \text{ lt}$$

$$Ar = 0.281 \text{ m}^3 * 2590 \text{ kg/m}^3 = 729.81 \text{ kg}$$

$$P = 0.221 \text{ m}^3 * 2660 \text{ kg/m}^3 = 588.22 \text{ kg}$$

- Diseño unitario suelto

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 325 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.600$$

$$Ar = 729.81 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.347$$

$$P = 588.22 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.085$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 729.81 = 9.96 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 588.22 = -2.13 \text{ kg}$$

$$A = 325 - (9.96 - 2.13) = 317.17 \text{ lt}$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 729.81 = 725.85 \text{ kg}$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 588.22 = 590.82 \text{ kg}$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 317.17 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.585$$

$$Ar = 725.85 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.389$$

$$P = 590.82 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.090$$

- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.585 + 1.389 + 1.090 = 4.066$$

$$n = \frac{40kg}{4.066} = 9.84kg$$

$$C = (D.U.O.c) * 9.84 = 1 * 9.84 = 9.84 kg$$

$$A = (D.U.O.a) * 9.84 = 0.585 * 9.84 = 5.76 kg$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 9.84 = 1.389 * 9.84 = 13.67 kg$$

$$P = (D.U.O.p) * 9.84 = 1.090 * 9.84 = 10.73 kg$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el cuadro A.27:

**CUADRO A. 27** Diseño con 56% arena y 44% de piedra

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.84
	Agua	0.325	325.00	0.600	317.17	0.585	5.76
	Arena	0.281	729.81	1.347	752.85	1.389	13.67
	Piedra	0.221	588.22	1.085	590.82	1.090	10.73

#### 4.- Resultados

A partir de los cuadros A.23, A.22 y A.21 se puede obtiene el cuadro resumen A.28.

**CUADRO A.28** Diseños del concreto para hallar porcentaje de agregados

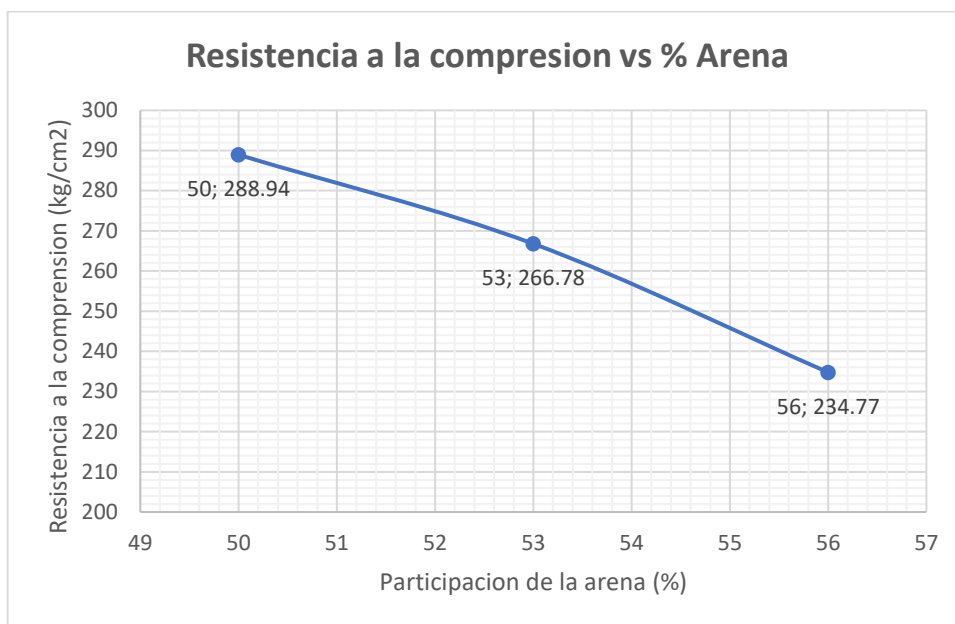
a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.83
	Agua	0.325	325.00	0.600	318.53	0.588	5.78
	Arena	0.251	651.62	1.203	672.19	1.241	12.20
	Piedra	0.251	668.43	1.234	671.39	1.239	12.19
Arena 50% y Piedra 50%							
a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.83
	Agua	0.325	325.00	0.600	317.85	0.587	5.77
	Arena	0.266	690.72	1.275	712.52	1.315	12.94
	Piedra	0.236	628.32	1.160	631.11	1.165	11.46
Arena 53% y Piedra 47%							
a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U. S	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.84
	Agua	0.325	325.00	0.600	317.17	0.585	5.76
	Arena	0.281	729.81	1.347	752.85	1.389	13.67
	Piedra	0.221	588.22	1.085	590.82	1.090	10.73
Arena 56% y Piedra 44%							

Las resistencias obtenidas para cada uno de las dosificaciones se muestran en el cuadro A.29.

**CUADRO A.29** Resistencia de concreto a los 7 días

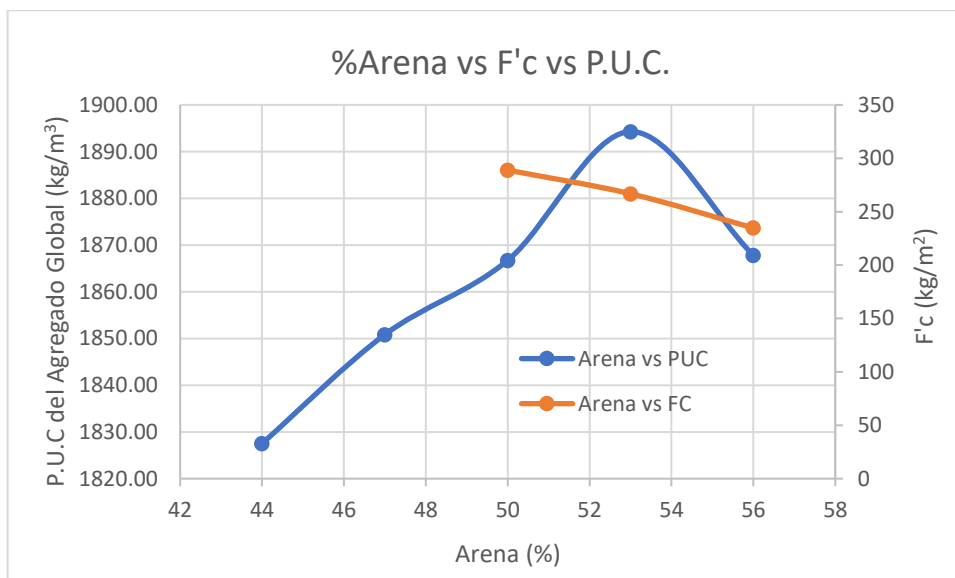
% Arena	%Piedra	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
50	50	<b>288.94</b>
53	47	<b>266.78</b>
56	44	<b>234.77</b>

A partir del cuadro A.29 se obtiene la gráfica, figura A.6



**FIGURA A.6** Resistencia a la compresión axial vs % Arena

Superponiendo las gráficas, Figura A.6 y A.3 se tiene la siguiente gráfica, figura A.7.



**FIGURA A.7** %Arena vs F'c vs P.U.C.

De la gráfica se obtiene que la máxima compacidad se obtiene con un porcentaje de arena de 53%, y la máxima resistencia con un porcentaje de 50%, en este caso

optaremos por escoger 53% ya que aun se conserva una buena resistencia a la compresión y al mismo tiempo se tiene la mayor compactación, la cual es más relevante para llenar los vacíos siendo más útil para posteriormente vaciar bajo agua con el concreto con aditivo. Entonces se tiene:

Agregado fino = **53%**

Agregado grueso = **47%**

### Diseño del concreto patrón

Debido a que se mantuvo el porcentaje de agregados de 53% de agregado fino y 47% de agregado grueso del ensayo de máxima compactación entonces, se tiene el diseño del concreto patrón planteado previamente para estos porcentajes, el cual se muestra en el cuadro A.30.

**CUADRO A.30** Diseño del concreto patrón

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
<b>0.60</b>	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.83
	Agua	0.325	325.00	0.600	317.85	0.587	5.77
	Arena	0.266	690.72	1.275	712.52	1.315	12.94
	Piedra	0.236	628.32	1.160	631.11	1.165	11.46

### Diseño del concreto con aditivo

El agua a utilizar es de 325 l/m<sup>3</sup> y se tiene la relación a/c de 0.60, entonces:

$$a/c = 0.60 = \frac{325}{c} \rightarrow c = 541.67 \text{ kg/m}^3$$

Una vez obtenida la cantidad de cemento se procede a calcular la cantidad de aditivos, ya que estos están en porcentaje de cemento.

$$\rightarrow Ea = Pl = 0.5\% * c = 0.5\% * 541.67 = 2.708 \text{ kg}$$

**CUADRO A.31** Densidad de los aditivos

Aditivos	Densidad
<b>Euco Awa</b>	1.18 kg/l
<b>Plastol 20+</b>	1.12 kg/l



Utilizando la información del cuadro A.31 y A.20 se tiene:

- Volumen absoluto

Se tiene la siguiente relación:

$$Ar + P + A + C + Ea + Pl = 1 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow A = \frac{325 \text{ lt}}{1000 \frac{\text{lt}}{\text{m}^3}} = 0.325 \text{ m}^3; C = \frac{541.67 \text{ kg}}{3150 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.172 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ea = \frac{2.708 \text{ kg}}{1.18 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 0.0023 \text{ m}^3; P = \frac{2.708 \text{ kg}}{1.12 \frac{\text{kg}}{\text{l}}} = 0.0024 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar + P = 0.498 \text{ m}^3; \rightarrow Ar = 53\% * 0.498 \text{ m}^3; P = 47\% * 0.498 \text{ m}^3$$

$$\rightarrow Ar = 0.264 \text{ m}^3; P = 0.234 \text{ m}^3$$

- Diseño seco

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$A = 325 \text{ lt}$$

$$Ar = 0.264 \text{ m}^3 * 2590 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 684.25 \text{ kg}$$

$$P = 0.234 \text{ m}^3 * 2660 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 622.44 \text{ kg}$$

$$Ea = Pl = 2.71 \text{ kg}$$

- Diseño unitario suelto

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 325 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.600$$

$$Ar = 680.25 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.263$$

$$P = 622.44 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.140$$

$$Ea = Pl = 2.71 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.005$$

- Diseño húmedo o diseño de obra

Se realiza la corrección a la cantidad de agua por humedad y absorción del agregado fino y grueso.

$$C = 541.67 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de arena} = (\%H - \%Abs) * Par = (3.16 - 1.79)\% * 680.25 = 9.34 \text{ kg}$$

$$\text{Correccion de piedra} = (\%H - \%Abs) * Pp = (0.44 - 0.81)\% * 622.44 = -2.26 \text{ kg}$$

$$A = 325 - (9.34 - 2.26) = 317.92 \text{ lt}$$

$$Ar = (100 + H)\% * Par = 103.16\% * 690.72 = 705.84 \text{ kg}$$

$$P = (100 + H)\% * Pp = 100.44\% * 628.32 = 625.20 \text{ kg}$$

$$Ea = Pl = 2.71 \text{ kg}$$

- Diseño unitario de obra

$$C = 541.67 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.000$$

$$A = 317.85 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.587$$

$$Ar = 705.84 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.303$$

$$P = 625.20 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 1.154$$

$$Ea = Pl = 2.71 \text{ kg} / 541.67 \text{ kg} = 0.005$$

- Diseño para laboratorio

Para una cantidad de mezcla de 40kg que es la usada para el ensayo de asentamiento en el laboratorio se tiene:

$$\sum D.U.O. = 1 + 0.587 + 1.303 + 1.154 + 0.005 + 0.005 = 4.054$$

$$n = \frac{40 \text{ kg}}{4.054} = 9.87 \text{ kg}$$

$$C = (D.U.O.c) * 9.87 = 1 * 9.87 = 9.87 \text{ kg}$$

$$A = (D.U.O.a) * 9.87 = 0.587 * 9.87 = 5.77 \text{ kg}$$

$$Ar = (D.U.O.ar) * 9.87 = 1.303 * 9.87 = 12.94 \text{ kg}$$

$$P = (D.U.O.p) * 9.87 = 1.154 * 9.87 = 11.46 \text{ kg}$$

$$Ea = Pl = (D.U.O.ea) * 9.87 = (D.U.O.pl) * 9.87 = 0.005 * 9.87 = 49.33 \text{ gr}$$

Entonces una vez teniendo los valores de diseño se muestra un resumen en el cuadro A°32:

**CUADRO A.32** Diseño del concreto con aditivo

a/c	Material	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	D.S (kg)	D.U.S.	D.O (kg)	D.U.O.	Diseño lab. (40 kg)
0.60	Cemento	0.172	541.67	1.000	541.67	1.000	9.87
	Agua	0.325	325.00	0.600	317.92	0.586	5.79
	Arena	0.264	684.25	1.263	705.84	1.303	12.86
	Piedra	0.234	622.44	1.149	625.20	1.154	11.39
	Euco Awa	0.0023	2.71	0.005	2.71	0.005	49.33
	Plastol 20+	0.0024	2.71	0.005	2.71	0.005	49.33

## ANEXO C: Concreto en estado fresco

### Asentamiento

CUADRO A.33 Asentamiento del concreto

Diseño	Asentamiento (pulg)	Variación (%)
Concreto Patrón	4	100
Concreto con aditivo	8	200

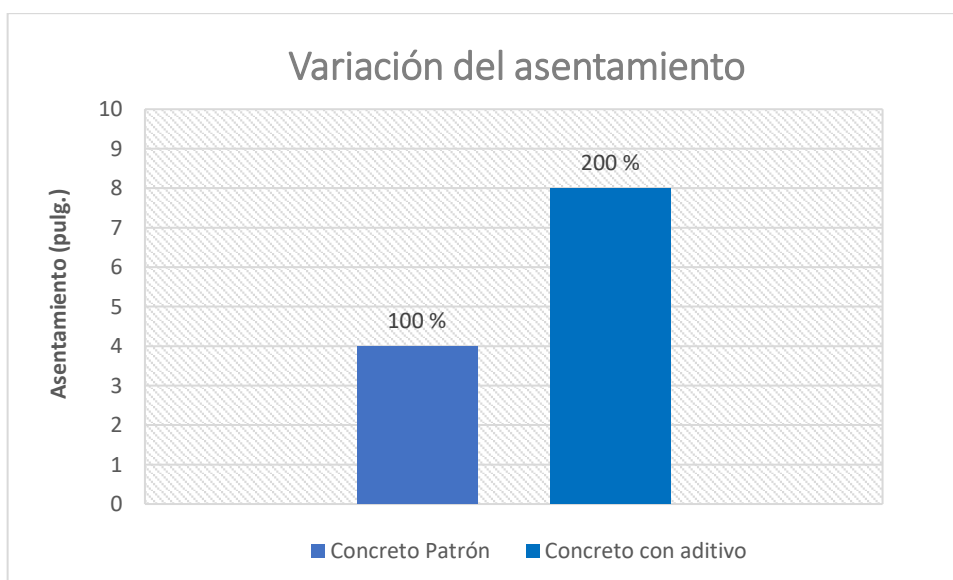


FIGURA A.8 Variación del asentamiento

### Peso unitario

CUADRO A.34 Peso unitario del concreto patrón

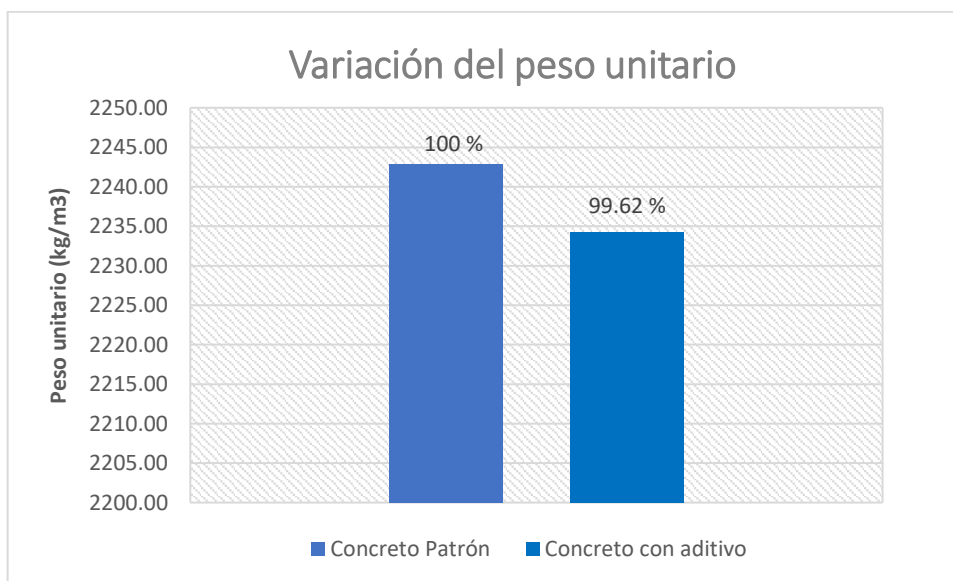
Concreto Patrón		
Peso total	18.18	kg
Peso del medidor	2.48	kg
Volumen del medidor	0.007	m <sup>3</sup>
Peso unitario	<b>2242.86</b>	kg/m <sup>3</sup>

**CUADRO A.35** Peso unitario del concreto con aditivo

Concreto con aditivo		
Peso total	18.08	kg
Peso del medidor	2.44	kg
Volumen del medidor	0.007	m <sup>3</sup>
Peso unitario	<b>2234.29</b>	kg/m <sup>3</sup>

**CUADRO A.36** Variación del peso unitario del concreto

Diseño	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )	Variación (%)
Concreto Patrón	2242.86	100.00
Concreto con aditivo	2234.29	99.62



**FIGURA A.9** Variación del peso unitario

## Exudación

**CUADRO A.37** Exudación del concreto patrón

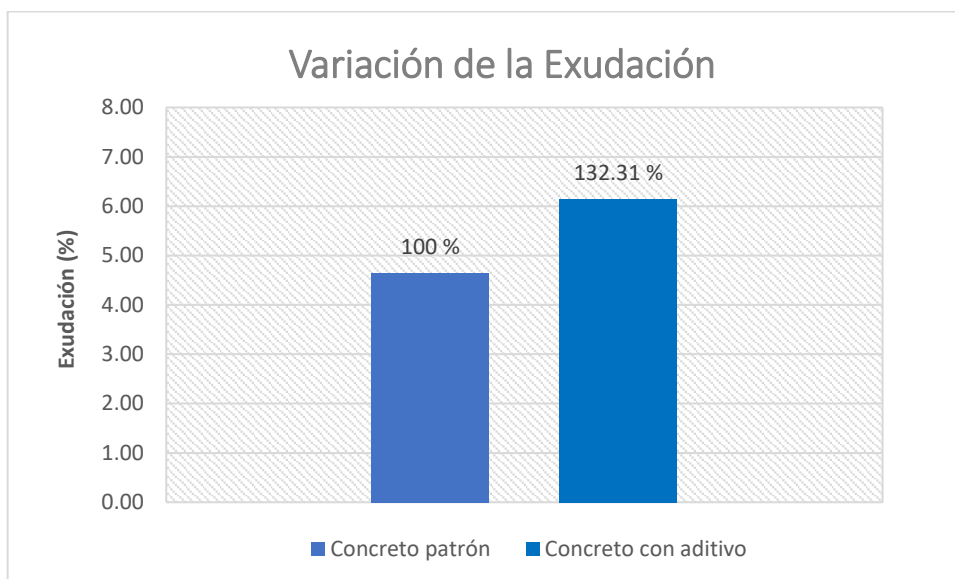
<b>Concreto patrón</b>		
Masa neta de agua en la mezcla	5.79	kg
Masa total de la mezcla	40	kg
Masa de la muestra	8100	gr
Masa de agua en la muestra de ensayo	1172.48	gr
Masa de agua exudada	54.5	gr
<b>Exudación</b>	<b>4.65</b>	<b>%</b>

**CUADRO A.38** Exudación del concreto con aditivo

<b>Concreto con aditivo</b>		
Masa neta de agua en la mezcla	5.79	kg
Masa total de la mezcla	40	kg
Masa de la muestra	8200	gr
Masa de agua en la muestra de ensayo	1187.0	gr
Masa de agua exudada	73	gr
<b>Exudación</b>	<b>6.15</b>	<b>%</b>

**CUADRO A.39** Variación de la exudación

<b>Diseño</b>	<b>Exudación (%)</b>	<b>Variación (%)</b>
Concreto patrón	4.65	100.00
Concreto con aditivo	6.15	132.31



**FIGURA A.10** Variación de la Exudación

### Fluidez

**CUADRO A.40** Fluidez del concreto

Concreto Patrón		
Diámetro 1	35	cm
Diámetro 2	34.5	cm
Diámetro 3	34.7	cm
Diámetro 4	34	cm
<b>Diámetro promedio</b>	34.55	cm
<b>Fluidez</b>	38.2	%

### Fluidez de asentamiento

**CUADRO A.41** Fluidez de asentamiento del concreto con aditivo

Concreto con aditivo		
Diámetro 1	63	cm
Diámetro 2	60	cm
<b>Fluidez de asentamiento</b>	61.5	cm
<b>t50</b>	2	seg

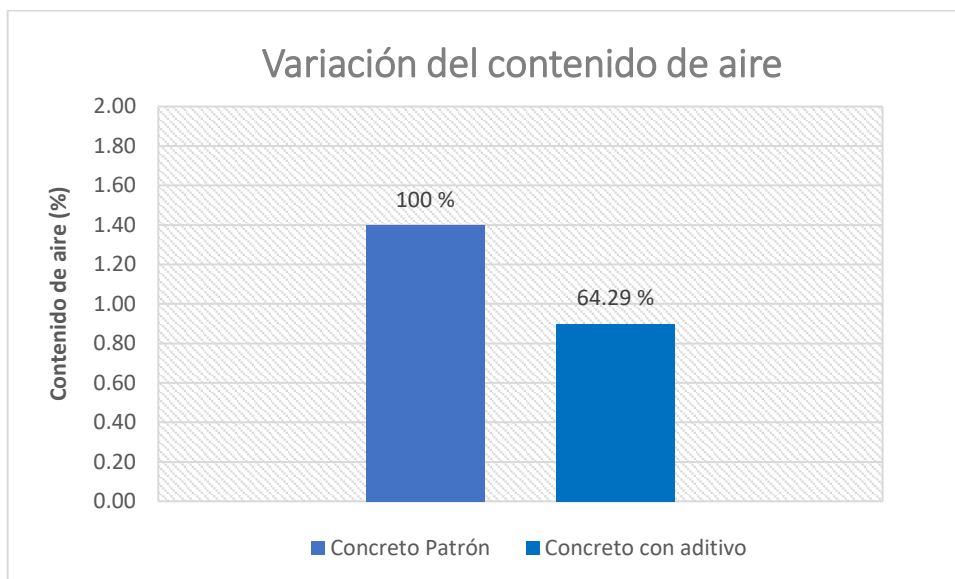
**CUADRO A.42** Índice de estabilidad visual

Índice de estabilidad visual	
1	Estable

Contenido de aire

**CUADRO A.43** Contenido de aire del concreto y variación

Diseño	Contenido de aire (%)	Variación (%)
Concreto Patrón	1.40	100.00
Concreto con aditivo	0.90	64.29



**FIGURA A.11** Variación del contenido de aire

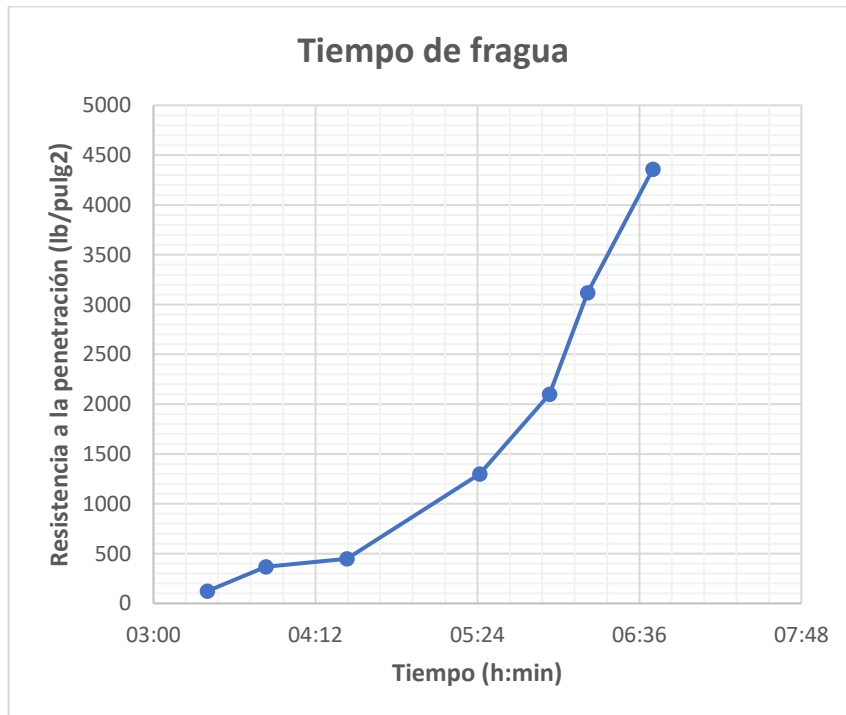


Tiempo de fragua

**CUADRO A.44** Tiempo de Fragua del concreto patrón

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg <sup>2</sup> )	Resistencia (lb/pulg <sup>2</sup> )
11:40	Inicio			
15:04	03:24	124	1	124
15:30	03:50	123	0.33	369
16:06	04:26	112	0.25	448
17:05	05:25	130	0.1	1300
17:36	05:56	105	0.05	2100
17:53	06:13	78	0.025	3120
18:22	06:42	109	0.025	4360

A partir del cuadro A.44 se realiza la siguiente gráfica, figura A.8:



**FIGURA A.12** Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua del concreto patrón

A partir de la figura A.8 se tiene:

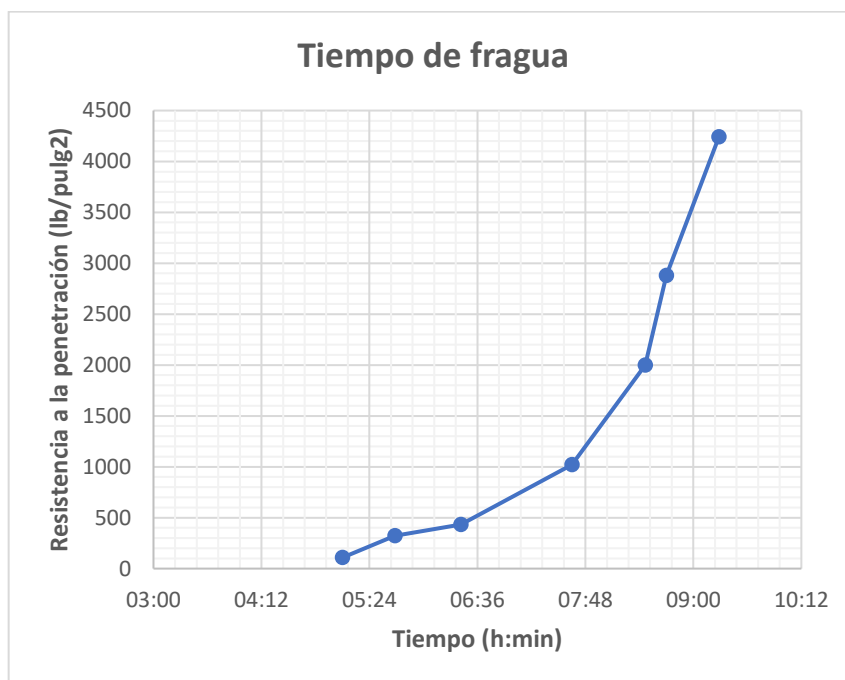
Tiempo de fragua inicial: **04h:29min**

Tiempo de fragua final: **06h:32min**

**CUADRO A. 45** Tiempo de fragua del concreto con aditivo

Hora (h:min)	Tiempo (h:min)	Fuerza (libras)	Aguja área (pulg <sup>2</sup> )	Resistencia (lb/pulg <sup>2</sup> )
10:09	Inicio			
16:26	05:06	108	1	108
17:01	05:41	108	0.33	324
17:45	06:25	108	0.25	432
18:59	07:39	102	0.1	1020
19:48	08:28	100	0.05	2000
20:02	08:42	72	0.025	2880
20:37	09:17	106	0.025	4240

A partir del cuadro A.45 se realiza la siguiente gráfica, figura A.9:



**FIGURA A.13** Resistencia a la penetración vs tiempo de fragua del concreto con aditivo

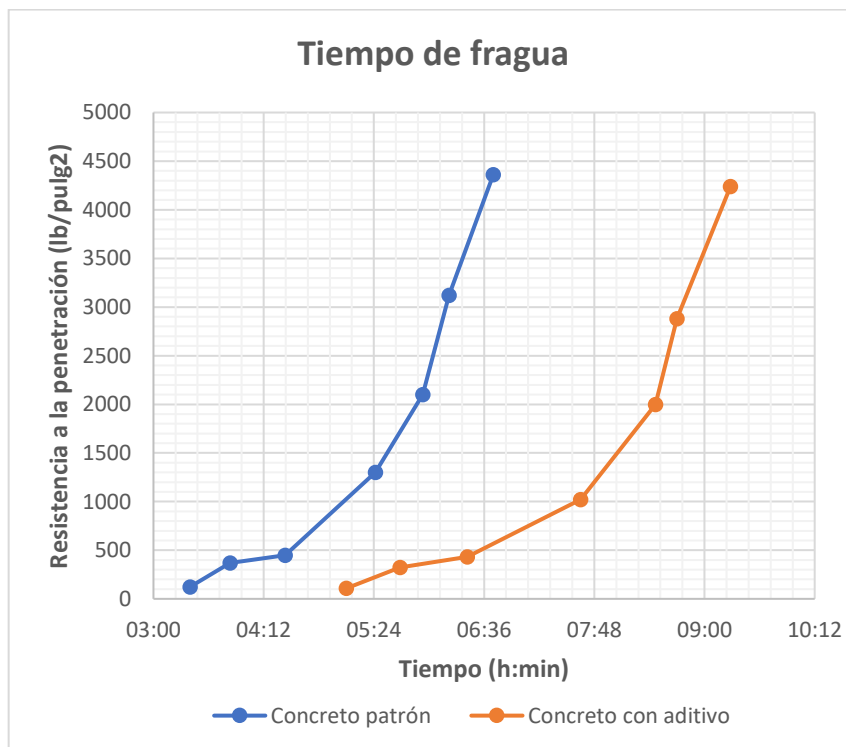
A partir de la figura A.8 se tiene:

Tiempo de fragua inicial: **06h:38min**

Tiempo de fragua final: **09h:12min**

**CUADRO A.46** Variación del tiempo de fragua

Diseño	Tiempo de fragua inicial		Tiempo de fragua final	
	T.F.I. (h:min)	Variación (%)	T.F.F. (h:min)	Variación (%)
Concreto patrón	04:29	100.00	06:32	100.00
Concreto con aditivo	06:38	147.96	09:12	140.82



**FIGURA A.14** Resistencia a la penetración vs Tiempo del concreto

## ANEXO D: Concreto en estado endurecido

### Resistencia a la compresión axial

**CUADRO A.47** Resistencia a la compresión axial de las probetas del concreto patrón

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
8	20763	10	9.98	78.38	264.89	256.67
	19568	10.05	10.08	79.56	245.94	
	18812	9.99	10.03	78.70	239.04	
	20895	10.05	10.04	79.25	263.66	
	19840	10.07	10.01	79.17	250.60	
	21732	10.01	10.02	78.78	275.87	
28	22682	10.07	10.05	79.49	285.36	296.35
	25730	10.11	10.04	79.72	322.75	
	24301	10.09	10.07	79.80	304.52	
	21058	10.03	10.07	79.33	265.46	
	24326	9.99	10.02	78.62	309.42	
	23029	10.07	10.02	79.25	290.59	

**CUADRO A.48** Resistencia a la compresión axial de las probetas del concreto con aditivo

Tiempo (días)	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
8	22713	10.19	10.23	81.87	277.42	295.63
	25211	10.21	10.21	81.87	307.93	
	23446	10.2	10.27	82.27	284.98	
	24415	10.26	10.15	81.79	298.51	
	25307	10.05	10.27	81.06	312.19	
	22354	9.83	9.89	76.36	292.76	
28	28695	10.3	10.15	82.11	349.47	344.99
	27261	10.18	10.28	82.19	331.67	
	29233	10.24	10.22	82.19	355.66	
	27981	10.23	10.21	82.03	341.09	
	26582	9.87	9.88	76.59	347.07	
	28188	10.17	10.23	81.71	344.97	

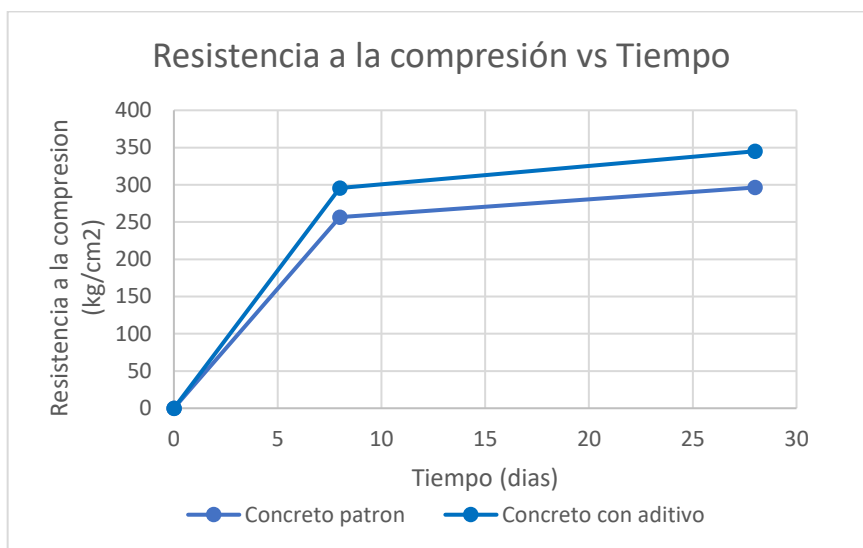


FIGURA A.15 Resistencia a la compresión vs Tiempo

CUADRO A.49 Variación de la Resistencia a la compresión axial del concreto

Diseño	8 días		28 días	
	f'c (kg/cm²)	Variación (%)	f'c (kg/cm²)	Variación (%)
Concreto patrón	256.67	100.00	296.35	100.00
Concreto con aditivo	295.63	115.18	344.99	116.41

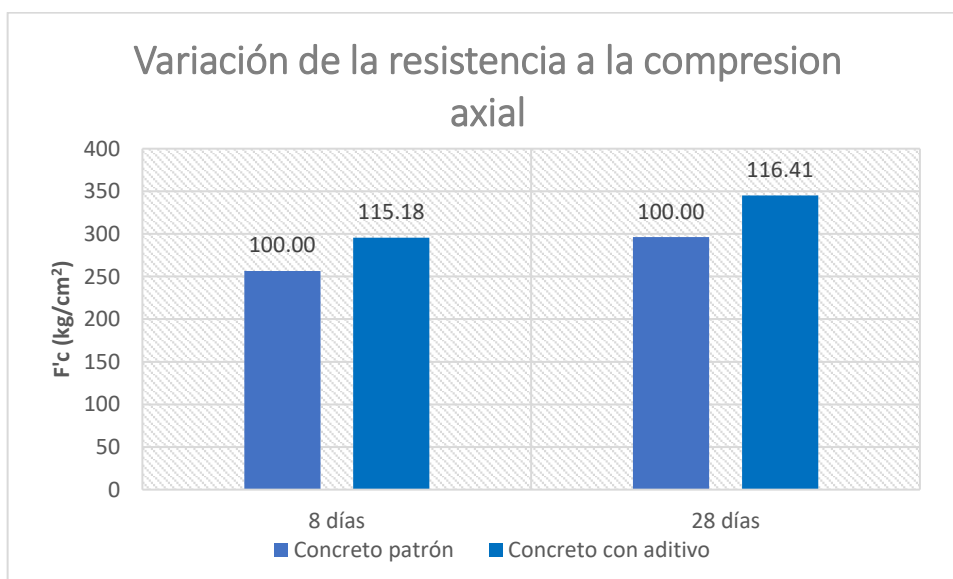


FIGURA A. 16 Variación de la Resistencia a la compresión axial del concreto

Resistencia a la tracción por compresión diametral

**CUADRO A.50** Resistencia a la tracción del concreto patrón

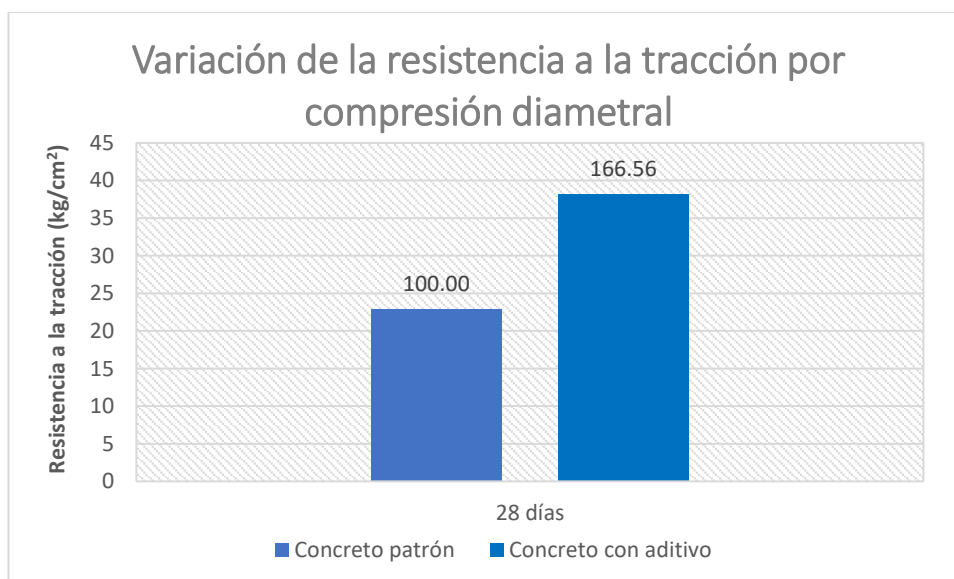
Tiempo	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Altura (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	6283	10.03	10.04	20.79	19.18	22.94
	8691	10.04	10.05	20.62	26.71	

**CUADRO A.51** Resistencia a la tracción del concreto con aditivo

Tiempo	Carga (kg)	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)	Altura (cm)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
28	12443	9.93	9.71	19.70	40.96	38.21
	10713	9.82	9.82	19.59	35.45	

**CUADRO A.52** Variación de la resistencia a la compresión tracción

Diseño	28 días	
	Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )	Variación (%)
Concreto patrón	22.94	100.00
Concreto con aditivo	38.21	166.56



**FIGURA A. 17** Variación de la resistencia a la tracción

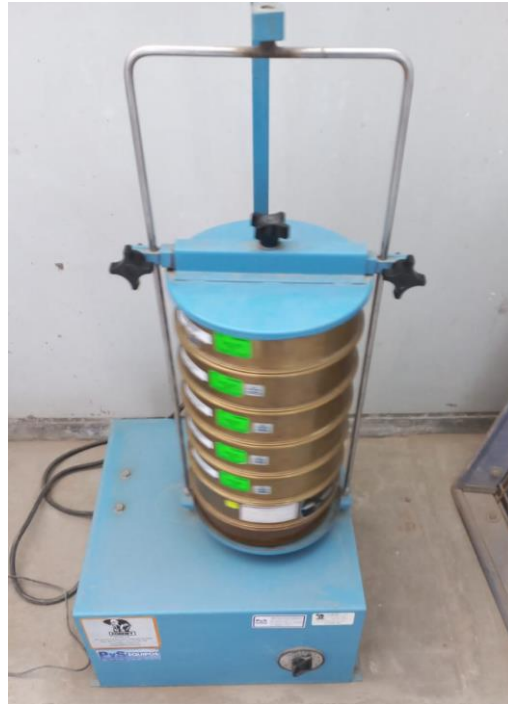
## ANEXO E: Panel Fotográfico



FIGURA A.18 Peso de la arena seca



FIGURA A.19 Peso de la piedra seca



**FIGURA A.20** Granulometría de la arena

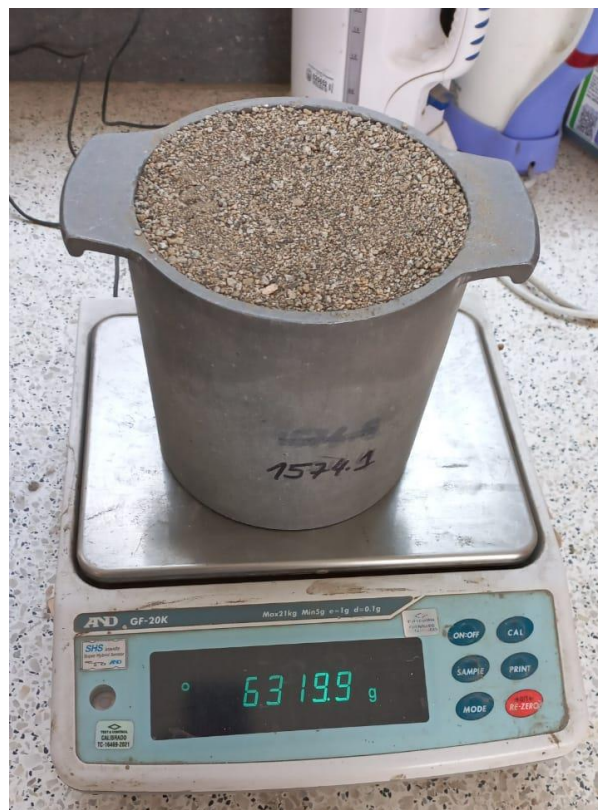


**FIGURA A.21** Arena superficialmente seca





**FIGURA A.22** Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón + peso del agua



**FIGURA A.23** Peso unitario compactado de la arena



**FIGURA A.24** Peso de la piedra saturada en agua



**FIGURA A.25** P.U.C. del agregado global



**FIGURA A.26** Asentamiento del concreto patrón



**FIGURA A.27** Peso unitario del concreto patrón



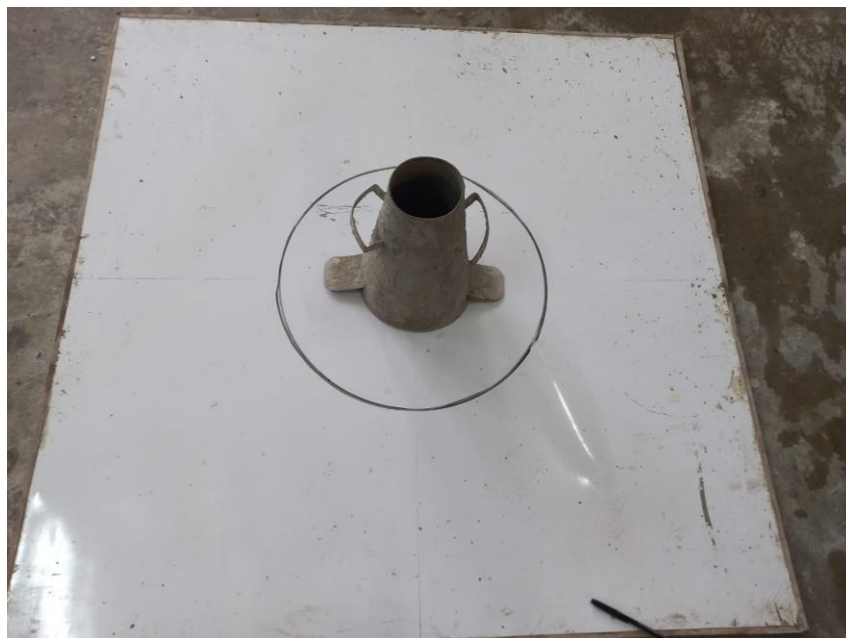
**FIGURA A.28** Ensayo de exudación del concreto



**FIGURA A.29** Ensayo de fluidez del concreto patrón



**FIGURA A.30** Fluidez del concreto patrón



**FIGURA A.31** Ensayo de fluidez de asentamiento



**FIGURA A.32** Fluidez de asentamiento del concreto con aditivo



**FIGURA A.33** Medición del diámetro del ensayo de fluidez de asentamiento



**FIGURA A.34** Ensayo de contenido de aire



**FIGURA A.35** Tubo para vaciado bajo agua



**FIGURA A.36** Molde metálico de 4x8" con base de corrospum



**FIGURA A.37** Recipiente para verter concreto





**FIGURA A.38** Probetas de concreto con aditivo vaciadas bajo agua



**FIGURA A.39** Probetas de concreto antes de ser desmoldadas



**FIGURA A.40** Probetas de concreto luego de ser desmoldadas



**FIGURA A.41** Probetas de concreto luego de ser cortadas



**FIGURA A.42** Ensayo de tracción por compresión diametral



**FIGURA A.43** Rotura de probetas de concreto con aditivo

## **ANEXO F: Colocación del concreto bajo el agua**

a) Elaboración de la mezcla:

### Materiales

- Agregado fino
- Agregado grueso TM  $\frac{3}{4}$ "
- Agua
- Cemento Portland Tipo I
- Modificador de Viscosidad Euco Awa
- Superplastificante Plastol 20+

### Procedimiento

1. Colocar la piedra y el 80% del agua en el trompo por 40 segundos
2. Colocar el cemento y mezclar por 20 segundos
3. Tener diluido el superplastificante y modificador de viscosidad, cada uno en una porción pequeña del agua total.
4. Colocar el superplastificante diluido y mezclar por 40 segundos
5. Colocar la arena y el resto del agua y mezclar durante 3 minutos
6. Dejar reposar la mezcla durante 3 minutos
7. Colocar el resto del agua, el modificador de viscosidad diluido y mezclar durante 3 minutos

b) Colocación del concreto en el molde metálico mediante la adaptación del método Tremie propuesta:

### Materiales

- Recipiente de 1.6L
- Molde metálico de 4x8"
- Lámina de corrospum
- Tubo de 2"
- Reducción de 2"
- Balde de 20L

### Procedimiento

1. Colocar el molde metálico dentro del balde y llenar el recipiente con la mezcla.
2. Colocar el tubo verticalmente y centrado ejerciendo presión sobre la lámina de corrospum en el fondo del molde.
3. Echar agua dentro del balde hasta que el nivel del agua este por encima de la parte superior del molde y verificar que no ingrese agua en la tubería
4. Echar la mezcla que se encuentra dentro del recipiente al tubo y llenar hasta que completamente lleno.
5. Levantar el tubo vertical y lentamente desde la parte inferior para que el concreto pueda fluir por gravedad hacia el exterior y se forme un cúmulo en la parte inferior del molde.

6. Seguir levantando el tubo para que el concreto fluya por gravedad llenando el molde y retirando el agua; y no dejar que el tubo deje de estar embebido dentro del cúmulo de concreto formado.
7. Levantar el tubo hasta que todo el concreto llene el molde metálico, y quede un cúmulo de concreto en la parte superior, la cual será un excedente de mezcla.
8. Dejar endurecer la probeta hasta el día siguiente dentro del balde.
9. Al día siguiente desmoldar la probeta limpiando los restos sobrantes alrededor. Luego dejar curando la probeta la cual lucirá con un pequeño cumulo en el parte superior propio del exceso dejado.
10. Después de dejar la probeta curando un par de días, cortar la misma con una cizalla para tener una superficie uniforme y según las medidas de una probeta estándar.