

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



**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA 100 EN  
LAS PROPIEDADES DEL MORTERO CON ADITIVO EXPANSIVO”**

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

**ELABORADO POR**

**CIRO NIKOLÁI ALEGRÍA ZAMBRANO**

**ASESORA**

**Mg. ISABEL MOROMI NAKATA**

**Lima- Perú**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme dado salud a lo largo de mi vida, para poder cumplir con mis objetivos

A mi familia, por su apoyo y soporte a lo largo de mi formación académica y vida profesional.

A mis amigos, con los nos apoyamos en la universidad en diferentes desafíos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a las personas con las que compartí en mi etapa universitaria, a la Mag. Ing. Isabel Moromi por su apoyo y consejos con respecto a la realización de esta tesis. A mi familia, que me brindó su apoyo y soporte durante mi formación académica., a mis amigos de la universidad por su amistad.

## INDICE

<b>INDICE</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>5</b>
<b>PRÓLOGO</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b>	<b>7</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>13</b>
1.1 GENERALIDADES	14
1.2 PROBLEMÁTICA	15
1.3 OBJETIVOS	15
1.3.1 Objetivo General	15
1.3.2 Objetivos Específicos	15
1.4 HIPÓTESIS	15
<b>CAPÍTULO II : FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	<b>16</b>
2.1 EL MORTERO	16
2.2 PROPIEDADES DEL MORTERO	17
2.2.1 Propiedades del mortero	17
2.2.1.1 Trabajabilidad	17
2.2.1.2 Fluidez	17
2.2.1.3 Retención de agua	18
2.2.1.4 Resistencia a la compresión	18
2.2.1.5 Resistencia a la tracción	18
2.2.1.6 Retracción	19
<b>CAPÍTULO III : CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO, AGREGADO FINO Y ADITIVO</b>	<b>20</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGLOMERANTE	20
3.1.1 El cemento	20
3.1.1.1 Características físicas y químicas del cemento	21
3.1.1.2 Requisitos químicos del cemento	24
3.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO	25
3.2.1 Agregado fino	25
3.2.2 Ensayos con arena natural	25
3.2.2.1 Granulometría (N.T.P. 400.012)	25

3.2.2.2 Módulo de finura (N.T.P. 400.012)	26
3.2.2.3 Contenido de humedad (N.T.P. 400.022)	26
3.2.2.4 Peso unitario (N.T.P. 400.017)	26
3.2.2.5 Peso específico (N.T.P. 400.022)	27
3.2.2.6 Superficie específica	28
3.2.2.7 Material más fino que el tamiz N°200 (N.T.P. 400.018)	28
3.2.2.8 Porcentaje de absorción (N.T.P. 400.022)	29
3.3 MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE ARENA CON DIVERSOS PORCENTAJES QUE PASAN LA MALLA N°100 A PARTIR DEL AGREGADO FINO ORIGINAL.	29
3.3.1 Combinaciones para obtener arenas con diversos porcentajes que pasan la malla N°100.	29
3.3.2 Obtención del tipo de arena cuyo rango esta entre 0-2% en el porcentaje que pasa la malla N°100.	32
3.3.3 Análisis de la obtención de los demás tipos de arena por combinación de las arenas tamizadas A y B	32
3.4 AGUA	33
3.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS ADITIVOS	36
3.5.1 Generalidades	36
3.5.2 Concepto de un aditivo	37
3.5.3 Razones para usar aditivos	37
3.5.4 Aditivo expansivo	38
<b>CAPÍTULO IV: DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS</b>	<b>39</b>
4.6 GENERALIDADES	39
4.7 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	40
4.8 PROCEDIMIENTO SEGUIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS	41
4.8.1 Diseño de mezcla con mortero de cemento	42
4.8.2 Diseño de mezcla con mortero de cemento con aditivo expansivo	43
4.9 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS	44
4.9.1 Diseño de mezclas para producir morteros cemento: arena 1:3 sin aditivo	46
4.9.2 Diseño de mezclas para producir morteros cemento: arena 1:3 y aditivo 2% del peso del cemento	47
4.9.3 Diseño de mezclas para producir morteros cemento: arena 1:3 y aditivo 4% del peso del cemento	48

4.9.4	Diseño de mezclas para producir morteros cemento: arena 1:3 y aditivo 6% del peso del cemento	49
<b>CAPÍTULO V : PROCEDIMIENTO Y ENSAYOS DE LABORATORIO</b>		<b>50</b>
5.1	GENERALIDADES	50
5.2	ENSAYOS EN EL MORTERO FRESCO	50
5.2.1	Ensayo de fluidez (NTP 334-057)	50
5.2.2	Ensayo de peso unitario (ASTM C 138)	51
5.2.3	Ensayo de expansión	52
5.3	ENSAYOS EN EL MORTERO ENDURECIDO	53
5.3.1	Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 334.051)	53
5.3.2	Ensayo de resistencia a la tracción (ASTM C190)	54
5.3.3	Ensayo de retracción (ASTM C157)	55
<b>CAPÍTULO VI : ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>		<b>56</b>
6.1	ANÁLISIS DE LOS RESULTADO EN EL MORTERO FRESCO	56
6.1.1	Peso unitario del mortero	56
6.1.2	Ensayo de exudación	59
6.1.3	Análisis de los resultados del ensayo de expansión.	63
6.2	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN EL MORTERO ENDURECIDO.	66
6.2.1	Resistencia a la compresión del mortero	66
6.2.2	Resistencia a la tracción del mortero	71
6.2.3	Retracción del mortero	76
<b>CONCLUSIONES</b>		<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>		<b>79</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>		<b>80</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>82</b>

## RESUMEN

El presente trabajo muestra los resultados obtenidos en base a un trabajo de investigación sobre la influencia del material más fino que la malla N°100 en el comportamiento del mortero con aditivo expansivo. Se usaron materiales que se encuentran en el mercado, tales como Aditivo Expansivo Chema Expand, cemento Portland tipo I, y arena de la cantera Huachipa.

En esta tesis se utilizó tres dosificaciones de aditivo expansivo, las cuales fueron proporcionales al cemento en peso (2%, 4% y 6%). Se evaluaron las propiedades en estado fresco de fluidez, peso unitario, exudación, expansión, y en estado endurecido de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y retracción y se analizó la influencia del porcentaje del material más fino que la malla N°100 de la arena para cada una de las propiedades.

Los resultados para cada una de las dosificaciones de aditivo expansivo (2%, 4%, 6% del peso del cemento) y el porcentaje de finos en la arena que se utilizó en la mezcla (2%, 4%, 8%, 12% y 15% finos que pasa la malla N°100) fueron que a mayor contenido de finos, la exudación disminuía y el peso unitario y la expansión aumentaban. En morteros con hasta 2% de aditivo, la resistencia a la tracción y compresión aumentaban, luego un aumento en el porcentaje de aditivo provocaba bajas considerables en su resistencia.

Finalmente, de acuerdo a los resultados se recomienda utilizar morteros con 8% hasta 12% de finos con 2% de aditivo expansivo para obtener morteros con menos exudación, menor retracción y mayor expansión; pero se debe realizar ensayos para cada tipo de cantera o cemento a utilizar con el fin de asegurar un óptimo desempeño del mortero en obra.

## ABSTRACT

This investigation shows us the results obtained based on a research work on the influence of the material finer than the 100 mesh in the behavior of the mortar with expansive additive. Materials that are on the market were used, such as Chema Expand Expansive Additive, Portland Type I cement, and Huachipa quarry sand.

An expansive additive was used in three proportions proportional to cement by weight (2%, 4% and 6%). The properties of flowability, unit weight, exudation, expansion, compressive strength, tensile strength and shrinkage were evaluated and the influence of the percentage of the material finer than the No. 100 mesh of the sand was analyzed for each of the properties.

The results for each one of the expansive additive dosages (2%, 4%, 6% of the weight of the cement) and the percentage of fines in the sand that was used in the mixture (2%, 4%, 8%, 12 % and 15% fine that passes the mesh No. 100) were that the higher the fine content, the exudation decreased and the unit weight and expansion increased. In mortars with up to 2% additive, tensile strength and compression increased, then an increase in the percentage of additive caused considerable reductions in strength.

Finally, according to the results it is recommended to use mortars with 8% up to 12% fines with 2% expansive additive to obtain mortars with less exudation, less retraction and greater expansion. However, tests must be carried out for each type of quarry or cement to be used in order to ensure optimum performance of the mortar on site.

## PRÓLOGO

Las obras de construcción están expuestas a diversas condiciones de uso y de exposición que producen su deterioro a través del tiempo.

Este se manifiesta en muchos casos en fisuras para cuya reparación se utilizan los morteros de cemento, los cuales se han venido estudiando para mejorar su comportamiento y efectividad.

Algunas de las alternativas estudiadas han sido el contenido de finos y el uso de aditivos expansivos.

En el presente trabajo se ha analizado la influencia de ambos factores en las características del mortero tanto fresco como endurecido, especialmente en la resistencia y en la expansión, propiedades importantes en los casos de reparación de fisuras.

Mg. Ing. Isabel Moromi Nakata

Asesora

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Porcentaje de los compuestos del cemento.	22
Cuadro 2. Rango de valores que pasa la malla N°100.	30
Cuadro 3. Combinaciones teóricas para obtener los diferentes porcentajes de finos que pasan la malla N°100.	31
Cuadro 4. Combinaciones finales para obtener diferentes porcentajes de finos que pasan la malla N°100.	33
Cuadro 5. Cuadro resumen de las propiedades físicas de los diferentes tipos de arenas que pasan la malla N°100.	34
Cuadro 6. Porcentajes de finos que pasa la malla N°100.	39
Cuadro 7. Nomenclaturas utilizadas de los diferentes tipos de morteros.	40
Cuadro 8. Pesos Unitarios de los materiales.	41
Cuadro 9. Pesos Unitarios de la arena a utilizar.	42
Cuadro 10. Proporción en volumen y peso de mezcla sin aditivo.	43
Cuadro 11. Proporción en volumen y peso para mezclas con 2% de aditivo.	43
Cuadro 12. Proporción en volumen y peso para mezclas con 4% de aditivo.	44
Cuadro 13. Proporción en volumen y peso para mezclas con 6% de aditivo.	44
Cuadro 14. Cantidades de diseño de los elementos del mortero con 0% de aditivo.	46
Cuadro 15. Cantidades de diseño de los elementos del mortero con 2% de aditivo.	47
Cuadro 16. Cantidades de diseño de los elementos del morteros con 4% de aditivo.	48
Cuadro 17. Cantidades de diseño de los elementos del mortero con 6% de aditivo.	49
Cuadro 18. Resultados de los Pesos Unitarios (Kg/m <sup>3</sup> ).	56
Cuadro 19. Variación porcentual en los Pesos Unitarios, respecto al mortero de 2% de finos.	57
Cuadro 20. Resultados de los ensayos de exudación (%).	59
Cuadro 21. Variación porcentual de la exudación (%) según el porcentaje de aditivo.	60
Cuadro 22. Variación porcentual de la exudación (%) según el porcentaje de finos de la arena.	60

Cuadro 23. Resultados del ensayo de expansión.	63
Cuadro 24. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) a los 7 días.	66
Cuadro 25. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) a los 14 días.	67
Cuadro 26. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) a los 28 días.	67
Cuadro 27. Variación porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días, según el porcentaje de finos.	67
Cuadro 28. Variación porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días, según el porcentaje de aditivo.	68
Cuadro 29. Resultados del ensayo de resistencia a la tracción promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) a los 7 días.	71
Cuadro 30. Resultados del ensayo de resistencia a la tracción promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) a los 14 días.	72
Cuadro 31. Resultado del ensayo de resistencia a la tracción promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) a los 28 días.	72
Cuadro 32. Variación porcentual de la resistencia a la tracción a los 28 días, según el porcentaje de finos.	72
Cuadro 33. Variación porcentual de la resistencia a la tracción a los 28 días, según el porcentaje de aditivo.	73
Cuadro 34. Resultados del ensayo de retracción promedio.	76
Cuadro 36. Resultados del análisis granulométrico de arena normal.	82
Cuadro 37. Resultados del análisis granulométrico de arena que pasa malla N°50.	83
Cuadro 38. Resultados del análisis granulométrico de arena retenida en malla N°50.	84
Cuadro 39. Resultados del análisis granulométrico de arena con 2% de finos.	85
Cuadro 40. Resultados del análisis granulométrico de arena con 5% de finos.	86
Cuadro 41. Resultados del análisis granulométrico de arena con 8% de finos.	87
Cuadro 42. Resultados del análisis granulométrico de arena con 12% de finos.	88
Cuadro 43. Resultados del análisis granulométrico de arena con 15% de finos.	89
Cuadro 44. Resultados del análisis granulométrico de arena con 12% de finos tamizado.	90

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Peso unitario suelto y compactado para los diferentes porcentajes de finos estudiados.	35
Figura 2. Módulo de finura y Contenido de Humedad para los diferentes porcentajes de finos.	35
Figura 3. Pesos Unitarios según el porcentaje de finos.	57
Figura 4. Pesos Unitarios según el porcentaje de aditivo.	58
Figura 5. Pesos Unitarios en morteros con 12% de finos, tamizada y sin tamizar	58
Figura 6. Exudación según el porcentaje de aditivo.	61
Figura 7. Exudación en morteros con 12% de finos, tamizada y sin tamizar.	61
Figura 8. Exudación según el porcentaje de finos.	62
Figura 9. Variación del volumen (%) para mezclas con 2% de aditivo.	64
Figura 10. Variación del volumen (%) para mezclas con 4% de aditivo.	64
Figura 11. Variación del volumen (%) para mezclas con 6% de aditivo.	65
Figura 12. Variación del volumen (%) en morteros con 12% de finos, tamizado y sin tamizar.	65
Figura 13. Resistencia a la compresión a los 14 días según el porcentaje de aditivo.	68
Figura 14. Resistencia a la compresión a los 28 días según el porcentaje de aditivo.	69
Figura 15. Resistencia a la compresión promedio a los 14 días según el porcentaje de finos.	69
Figura 16. Resistencia a la compresión promedio a los 28 días según el porcentaje de finos.	70
Figura 17. Resistencia a la compresión a los 28 días para morteros con 12% de finos, tamizada y sin tamizar.	70
Figura 18. Resistencia a la tracción a los 14 días según el porcentaje de finos.	73
Figura 19. Resistencia a la tracción a los 28 días según el porcentaje de finos.	74
Figura 20. Resistencia a la tracción a los 14 días según el porcentaje de aditivo.	74
Figura 21. Resistencia a la tracción a los 28 días según el porcentaje de aditivo.	75

Figura 22. Resistencia a la tracción a los 28 días para morteros con 12% de finos, tamizada y sin tamizar.	75
Figura 23. Retracción promedio según el porcentaje de aditivo.	77
Figura 24. Curva Granulométrica de la arena normal	82
Figura 25. Curva Granulométrica de la arena que pasa la malla N°50	83
Figura 26. Curva Granulométrica de la arena retenida en malla N°50.	84
Figura 27. Curva Granulométrica de la arena con 2% de finos.	85
Figura 28. Curva Granulométrica de la arena con 5% de finos.	86
Figura 29. Curva Granulométrica de la arena con 8% de finos.	87
Figura 30. Curva Granulométrica de la arena con 12% de finos.	88
Figura 31. Curva Granulométrica de la arena con 15% de finos.	89
Figura 32. Curva Granulométrica de la arena con 12% de finos tamizada.	90
Figura 33. Tamizado de arena por la malla N°50.	91
Figura 34. Tamices estándares para análisis granulométrico.	91
Figura 35. Combinación de arenas para obtener el porcentaje de finos que pasa la malla N°100 requerido.	92
Figura 36. Máquina de ensayo uniaxial.	92
Figura 37. Ensayo a la compresión	93
Figura 38. Ensayo de fluidez	93
Figura 39. Armado de moldes a utilizar	94
Figura 40. Vaciado de mortero en moldes	94
Figura 41. Codificación de muestras a ensayar	95
Figura 42. Deformímetro utilizado para ensayo en retracción	95

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

+/-:	Más o menos.
%:	Porcentaje.

### SIGLAS

ACI:	Instituto del Concreto Americano
ASTM:	Sociedad Americana para ensayos y materiales.
A:	Área de la sección transversal.
Cm:	Centímetro.
Cm <sup>2</sup> :	Centímetro Cuadrado.
Df:	Diámetro final
Di:	Diámetro inicial
EEUU:	Estados Unidos.
g:	Gramo.
Kg:	Kilogramo.
Kg/cm <sup>2</sup> :	Kilógramo por centímetro cuadrado.
Kg/m <sup>3</sup> :	Kilógramo por metro cúbico.
LEM:	Laboratorio de Ensayo de Materiales.
l:	Libra.
Lts:	Litros.
Li:	Longitud inicial.
Lf:	Longitud final.
m:	Metro.
mm:	Milímetro.
mm <sup>2</sup> :	Milímetro cuadrado.
Min:	Minutos.
NTP:	Norma Técnica Peruana.
Pa:	Peso arena gruesa.
Pad:	Peso del aditivo Chema Expand.
Pc:	Peso de cemento.
PU:	Peso Unitario.
	Peso unitario de la arena gruesa.
	Peso unitario del cemento.

$f_c$ :	Resistencia a la compresión.
$V_e$ :	Variación de volumen de expansión
W:	Watt.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En estos días, se recurren a arenas de diferentes canteras, que presentan diferentes características y cantidades de finos que pasan la malla N°100. Además, se sabe que la calidad de la arena influye en las propiedades y en comportamiento de los morteros.

Existen varias investigaciones realizadas tanto en mortero como en concreto que demuestran que el porcentaje de finos que pasa la malla N°100 influye en sus propiedades, mejorándolas sustancialmente al usar un determinado rango de finos en la arena.

Varios autores recomiendan rangos de finos a utilizar en la arena. Por ejemplo:

Vargas (1994) recomendó utilizar arena que posean desde 8% hasta 12% de finos en morteros para albañilería, ya que obtuvo un mortero con mayor peso unitario, mayor resistencia a la compresión y a la tracción.

A. Steopoe (1998), concluyó que la arena ejerce una influencia mayor sobre las propiedades del hormigón que el cemento y la grava, ya que un aumento de la superficie total del árido produce una reducción en la resistencia mecánica y acentúa la retracción.

En base a estas investigaciones, se estudió la influencia del material más fino que la malla N°100 en el mortero con aditivo expansivo tanto en estado fresco como endurecido.

Trabajos previos demostraron que al utilizar aditivo expansivo en baja dosificación, se obtenía un mortero con expansión controlada, con menor retracción y exudación, sin afectar significativamente sus propiedades en estado endurecido, tales como la resistencia a la compresión y la tracción (Alanya, 2017, p.5).

Otro autor fabricó un mortero con aditivo expansivo y observó que la exudación y la retracción disminuían considerablemente, siendo este tipo de mortero muy recomendado para usarlo en resanes de obras de ingeniería ya que debido a sus propiedades expansivas, se aseguraba un completo llenado de la cavidad a reparar (Mercado, 1998).

Este tipo de mortero tiene un buen desempeño siempre en cuando se sigan ciertas recomendaciones para asegurar su calidad y su buen desempeño en obra.

En esta tesis se analizó el comportamiento del mortero con porcentaje de aditivo expansivo de 2%, 4%, 6% en peso del cemento y con una relación cemento: arena de 1:3. Se utilizó arena con 2%, 5%, 8%, 12% y 15% de finos que pasa la malla N°100 para cada tipo de porcentaje de aditivo expansivo.

## 1.1 GENERALIDADES

Con el pasar del tiempo y debido al gran crecimiento en el rubro de la construcción, se busca constantemente nuevas formas de poder reparar estructuras en vez de optar por reemplazo total o parcial de ellas.

Varios autores coinciden en que el aditivo expansivo disminuye la exudación y retracción del mortero. Esto hace que su uso sea muy recomendable al momento de realizar reparaciones en estructuras ya existentes, evitando optar por procedimientos más costosos e improductivos.

En la presente tesis se busca investigar sobre las propiedades del mortero con aditivo expansivo, así como también analizar su comportamiento frente al material más fino que pasa la malla N° 100 del agregado fino, ya que investigaciones previas en mortero simple demostraron que sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido eran mejoradas al variar el porcentaje de finos de la arena.

Vargas (1994) demostró que las propiedades mecánicas del mortero de cemento eran mejoradas al momento de realizar una variación en el porcentaje más fino que pasa la malla N°100 respecto al mortero patrón.

Santa (2001) estudió la influencia del material fino en el concreto de baja a mediana resistencia. En sus resultados observó que el concreto en estado endurecido mejoraba sus resistencias mecánicas conforme se incrementaba el porcentaje de finos en un cierto intervalo.

Mercado (1998), fabricó morteros con aditivos expansivos y concluyó que es mejorada la propiedad de retracción, aparte de la expansiva, siendo muy recomendadas para usarlas en reparaciones y resanes de obras de ingeniería civil.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Actualmente existen obras en distintos sectores de la construcción que con el tiempo sufren algún deterioro parcial de su infraestructura, en cuyos casos se busca aplicar algún tipo de solución óptima para su reparación respectiva, evitando así que éstos, acarreen problemas más grandes con el pasar del tiempo, si es que no es solucionado.

Una solución encontrada en el mercado, es el de aditivo expansivo, ya que varias fuentes mencionaban que se obtenía un mortero que aseguraba un completo llenado de la cavidad a reparar y se contrarrestaba la contracción debido a su propiedad expansiva.

Investigaciones previas en mortero simple demostraron que al variar el porcentaje de finos, se mejoraban las propiedades del mortero, por lo cual se analizó como el porcentaje de finos influía en el mortero con aditivo expansivo, enfocándonos en ciertas propiedades que ya se habían analizado en trabajos pasados referentes al mortero con aditivo expansivo (exudación, expansión, resistencia a la compresión y retracción).

## 1.3 OBJETIVOS

### 1.3.1 Objetivo General

- Determinar la influencia que tiene el material más fino que pasa la malla N°100 en las propiedades del mortero con aditivo expansivo en estado fresco y endurecido.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Comparar experimentalmente las propiedades físico-mecánicas del mortero con aditivo expansivo y un mortero convencional.
- Analizar las proporciones de mezclado y proponer las más convenientes según los resultados obtenidos de morteros con aditivo expansivo en estado fresco y endurecido.

## 1.4 HIPÓTESIS

Se obtendrá una mejora en las propiedades del mortero con aditivo expansivo, al variar el porcentaje de finos que pasa la malla 100 del agregado fino.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 EL MORTERO

Existen varias definiciones respecto al mortero sin embargo, se coincide en que el mortero es:

Una mezcla húmeda de agregado fino cementante y agua, el cual debe de gozar de ciertas propiedades tales como de ser durables y resistentes para el trabajo que tiene que hacer. Pero no debe ser fuerte en exceso, porque la excesiva resistencia puede causar problemas innecesarios afectando otras propiedades. (Meza, 2004, p.32).

Generalmente el mortero se usa en la albañilería, siendo su función permitir la sobre posición de las unidades de albañilería, formando un conjunto que sea fuerte y duradera. Otro de sus usos es con fines de realizar reparaciones en obras de ingeniería civil, por lo cual es necesario conocer el comportamiento de éste tipo de mortero al usarlo con diferentes porcentajes de finos en la arena y así tener un uso adecuado de acuerdo a las solicitudes.

Según Grullón (2004), las propiedades más importantes a evaluar en morteros para resane son la consistencia en estado fresco, la resistencia a la compresión, la retracción y la resistencia a la tracción.

Además Mercado (1998) menciona que los aditivos expansivos compensan la retracción y permiten rellenar los espacios vacíos, asegurando un completo llenado de las cavidades debido a sus propiedades expansivas.

En este trabajo se estudiará la influencia del material más fino que la malla N°100 en ciertas propiedades del mortero con aditivo expansivo tales como la retracción, fluidez, expansión, la resistencia a la compresión y a la tracción con el fin de recomendar proporciones de mezclado.

## 2.2 PROPIEDADES DEL MORTERO

### 2.2.1 Propiedades del mortero

#### 2.2.1.1 Trabajabilidad

Esta es una propiedad importante en estado fresco, la cual es difícil de precisar, sin embargo se entiende que es el grado de plasticidad que posee una mezcla cuando va ser colocada. La trabajabilidad del mortero influye ciertas propiedades tales como, en la resistencia a la compresión y la adherencia.

“La portland Cement association establece que un mortero es trabajable cuando se puede deslizar fácilmente sobre el ladrillo, adheriéndose a las superficies verticales y que permite el fácil acomodo de las juntas anteriormente formadas.” (Meza, 2004, p. 37).

“En esta propiedad del mortero influyen ciertas propiedades de la arena tales como: la granulometría, fineza del aglomerante empleado, el contenido de finos y la forma de la arena” (Meza, 2004, p. 37).

#### 2.2.1.2 Fluidez

Esta propiedad está vinculada con la cantidad de agua presente en el diseño de mezcla del mortero. Esta propiedad está en función con el trabajo que realizará el mortero. Comúnmente se le va agregando agua hasta que la consistencia se ajuste a las necesidades de obra.

La fluidez varía de acuerdo al tiempo transcurrido desde que es preparado. La consistencia o fluidez del mortero influye no solo en la trabajabilidad, sino también en su resistencia a la compresión (Alanya, 2017, p. 21).

La demanda de agua se incrementa cuando el material fino se incrementa sustancialmente (material más finos que la malla N°50) o cuando el material más grueso (malla N°8, N°16) es removido (Conway y Behie, 2006, p.4)

### 2.2.1.3 Retención de agua

Se sabe que la retención de agua:

“La trabajabilidad del mortero depende de esta propiedad y es la capacidad que posee el mortero para no ceder su agua, al momento de asentarlos. En un mortero que tiene baja retención de agua, la hidratación será parcial, se endurecerá y no permitirá en correcto asentado de los ladrillos”. (Meza, 2004, p. 11).

“Todo mortero bien dosificado tiene la capacidad de retener la suficiente cantidad de agua que necesita para hidratar las partículas de cemento y el árido que se encuentran presentes con sus respectivas burbujas de aire en el interior de la partícula” (Martínez y Torres, 2013, p.12).

### 2.2.1.4 Resistencia a la compresión

Es la resistencia a los esfuerzos de compresión que ofrece el mortero. Según cual sea su uso, el mortero debe poseer una buena resistencia a la compresión. En laboratorio ésta propiedad se puede predecir con una muy buena precisión, mientras que en obra debido al poco control que se tiene con respecto al mortero su predicción no es muy buena (Mercado, 1998, p.50).

Un aumento del contenido de finos del agregado fino significa más demanda de agua para una misma consistencia con la consiguiente disminución de la adherencia entre árido y pasta, y por tanto disminución principalmente en la resistencia a compresión (Martínez R, Torres L., 2013, p.62).

La resistencia a la compresión del mortero depende del tipo de aglomerante, de la relación de agua/cemento y la relación agregado/cemento.

### 2.2.1.5 Resistencia a la tracción

“Es la resistencia a los esfuerzos de tracción ofrecida por el mortero. En morteros para revestimientos y rellenos es una capacidad importante a considerar; sin embargo en muros albañilería en el caso que se produzcan esfuerzos, estos serán absorbidos por la capacidad de adherencia entre el mortero y el ladrillo. Así, si el muro falla será debido a las fallas de adherencia y no por el mortero en sí” (Vargas, 1994, p. 23).

### 2.2.1.6 Retracción

La retracción es una contracción que experimenta el mortero por disminución de volumen durante el proceso de fraguado y principio de endurecimiento. Dicha retracción es provocada por la pérdida de agua sobrante tras la hidratación del mortero. Se ha demostrado que las retracciones son más elevadas cuantos más ricos en cemento y elementos finos son los morteros. También se ha observado que la retracción aumenta cuanto mayor es la cantidad de agua de amasado (Morteros guía general, 2003, pág. 40).

La retracción de los morteros aumenta cuando la arena contiene mayor cantidad de finos, la cantidad de conglomerante (especialmente el cemento) es mayor o el mortero tiene baja retentividad de agua. Lo anterior, sumado a características propias de las unidades de albañilería, como su absorbencia y, en especial, una alta velocidad inicial de absorción (succión), aumentan en general la retracción del mortero para albañilería. (Barrera, Luna, Faúndez, pág. 12).

La retracción es una de las propiedades más significativas en la fisuración. Las variables pueden ser separadas en dos grupos: relacionado a la composición de la mezcla y en lo relacionado a la condición de exposición. Las variables más influyentes en relación a la composición de la mezcla son la relación a/c. Respecto a la condición de exposición se tiene el período de cura, la humedad relativa del ambiente, temperatura y el viento. (Grullón, 2004, p.30)

## **CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO, AGREGADO FINO Y ADITIVO**

### **3.1 CARACTERÍSTICAS DEL AGLOMERANTE**

Los componentes del mortero son el cemento, la cal, la arena y el agua. Cada uno de ellos cumple una función y son importantes para la obtención de morteros con propiedades adecuadas a su función.

#### **3.1.1 El cemento**

Se puede decir que:

Los cementos cuya utilización es aceptable en los morteros son normalmente, cementos Portland de los Tipos I y II y, excepcionalmente, del tipo III, además de los cementos adicionados y cementos de albañilería. Los cementos Portland son aglomerantes hidráulicos normalizados obtenidos pulverizando Clinker, que consiste, en silicatos cálcicos hidráulicos a los que se ha incorporado, como adición en la molienda, una o más formas de sulfatos cálcicos. El cemento Portland Tipo I es el de aplicación general, el de tipo II es ligeramente resistente a los sulfatos, y el tipo III es de resistencia temprana. Los cementos adicionados incluyen los cementos puzolánicos y los cementos de escorias. Ellos son aglomerantes hidráulicos normalizados obtenidos de la mezcla interna y uniforme, de cemento Portland y de puzolanas o escorias finamente molidas. Esta mezcla se logra generalmente por la molienda conjunta del Clinker y la sustancia adicionada. (Mercado, 1998, p. 28).

“Se define como un componente hidrófilo, y se obtiene producto de la calcinación ciertos materiales tales como arcillas, rocas calizas y areniscas. Es un polvo que en contacto con agua endurece y desarrolla ciertas propiedades tales como resistencia y adherencia. En 1845 se implementa la industrialización del cemento más importante, el CEMENTO PORTLAND MODERNO, que con algunas modificaciones sigue vigente hasta la actualidad; la cual consiste en moler rocas calcáreas con rocas arcillosas en cierta proporción, para luego exponer a este polvo, a temperaturas altas de 1300°C obteniéndose lo que se conoce como el CLINKER, el cual está formado por bolas endurecidas de diferentes tamaños, que

al último se muelen juntamente con yeso, para obtener como producto final un polvo sumamente fino” (Mercado, 1998, p.29).

### 3.1.1.1 Características físicas y químicas del cemento

#### **Propiedades físicas**

La norma solo considera como requisitos físicos del cemento Tipo I las siguientes propiedades:

##### A) Finura

En el cemento IP, se calcula típicamente en función de la superficie específica, es considerado también como válido, el ensayo por la malla N°325. La finura es índice de la rapidez de hidratación del cemento (Mercado, 1998, p.30).

##### B) Estabilidad de volumen

“Mediante el AUTOCLAVE, en el que se mide los cambios de longitud de probetas de pasta de cemento, se puede determinar la presencia de agentes expansivos en el cemento, como por ejemplo: la cal libre, la cual no es identificada en el análisis químico” (Meza, 2004, p.6).

##### C) Tiempo de fraguado

Es el tiempo necesario para que la pasta de cemento tome una consistencia determinada (Meza, 2004, p.5).

##### D) Resistencia a la compresión

“Es la capacidad que tiene el cemento para soportar esfuerzos sin fallar. La velocidad con la que el cemento gana resistencia es mayor durante el período inicial, haciéndose más lenta a través del tiempo. El valor de la resistencia a los 28 días es tomado como la resistencia del cemento. Las resistencias mecánicas del cemento están en función de la finura, de la composición química, del grado de hidratación y del contenido de agua en la pasta.

Actualmente, el ensayo se realiza utilizando cubos de mortero de proporciones prefijadas de arena Estándar” (Mercado, 1998, p.30).

### E) Calor de hidratación

Es la medida de calor que desarrolla el cemento en hidratarse

### Propiedades químicas

Mercado (p.31) plantea que para fabricar el cemento, los principales ingredientes de las materias primas son:

Cuadro 1. Porcentaje de los compuestos del cemento.

COMPUESTO	PORCENTAJE (%)	ABREVIATURA
CaO	61-67	C
SiO <sub>2</sub>	20-27	S
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4-7	A
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2-4	F
SO <sub>3</sub>	1-3	
MgO	1-5	
K <sub>2</sub> O y NaO	0.25-1.5	

Fuente: Adaptado de la tesis de Mercado, 1998.

Después de que las bolas de Clinker se formen y de su conversión en fino polvo, se obtienen varias materias que son los que definen el desempeño del cemento hidratado y que se definirá con su fórmula química, abreviatura y nombre corriente.

#### A) Silicato tricálcico

“(3CaO SiO<sub>2</sub>---C3S-ALITA) determina la resistencia inicial (en primera semana) y tiene mucha relevancia en el calor de hidratación” (Mercado, 1998, p.32).

#### B) Silicatos dicálcico

“(2CaO, SiO<sub>2</sub>--- C2S-BELITA) determina la resistencia a largo plazo y tiene menor relevancia en el calor de hidratación” (Mercado, 1998, p.32).

#### C) Aluminato tricálcico

( $3\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ---  $\text{C}_3\text{A}$ ) Solo, no contribuye en la resistencia, pero con los silicatos actúa como catalizador y condiciona el fraguado violento, por lo que es importante agregar yeso en el proceso para poder controlarlo.

“Contribuye a la resistencia del cemento a los sulfatos, ya que al interactuar con estos produce sulfo-aluminatos con propiedades expansivas” (Mercado, 1998, p.32).

#### D) Aluminio-ferrito tetracálcico

( $4\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ --- $\text{C}_4\text{Af}$ -CELITA) Posee influencia en la velocidad de hidratación y también en el calor de hidratación” (Mercado, 1998, p.32).

#### E) Óxido de magnesio

( $\text{MgO}$ ) Pese a existir en menor proporción, tiene mucha importancia debido que si posee un contenido mayor del 5%, ocasiona problemas de expansión en la pasta de cemento hidratada y endurecida” (Mercado, 1998, p.32).

#### F) Óxidos de potasio y sodio

( $\text{K}_2\text{O}$ . $\text{Na}_2\text{O}$ —ALCALIS) Posee relevancia para ciertos tipos de reacciones químicas con determinados agregados y los que se disuelven en agua, favorecen la producción de eflorescencias al combinarlos con agregados calcáreos” (Mercado, 1998, p.33).

#### G) Óxidos de magnesio y titanio

( $\text{Mn}_2\text{O}_3$ . $\text{TiO}_2$ ) El primer elemento no posee un rol importante en las propiedades del cemento, excepto en su coloración, la cual es marrón; si se tienen porcentajes que superan el 5% se obtiene una reducción de resistencia a largo plazo.

El segundo tiene un rol en la resistencia, la cual disminuye, si el contenido existente es superior al 5%, si se presentan en menor cantidad, estos no poseen mayor importancia.

“De los ingredientes listados, los silicatos y aluminatos constituyen los ingredientes mayores habiendo sido establecido por Le Chatelier en 1987” (Mercado, 1998, p. 33).

### 3.1.1.2 Requisitos químicos del cemento

#### A) Pérdidas de calcinación

Es la disminución de peso de una muestra de cemento calentada a 1000 grados centígrados. Esta pérdida se debe a la evaporación del agua. Esta agua es absorbida durante la fabricación y almacenamiento. Este componente nos indica el grado de hidratación que tiene el cemento y está limitado por las normas de cemento a 3%; si supera este valor el cemento no podrá utilizarse en nuestras estructuras (Meza, 2004, p.3)

#### B) Residuos solubles

“Indica el grado de combinación dentro de los hornos, no es requisito para el cemento IP” (Mercado, p.35).

#### C) Anhídrido sulfúrico

Proviene del yeso incorporado durante la molienda (control de fragua), en grandes cantidades, este podría reaccionar con el C3A y producir expansión de volúmenes y/o generar en el cemento una “falsa fragua” (Meza, 2004, p.4).

#### D) Óxido de magnesio

“Este componente es problemático si se presenta en forma de penclasa, pudiendo producir expansiones a largo plazo” (Mercado, 1998, p.35).

#### E) Álcalis (requisito opcional)

“Si la cantidad del álcalis es superior al 0.6%, estos podrían interactuar con los agregados que son reactivos, en presencia de un ambiente con un alto contenido de humedad. En países de Europa, este problema es muy grave, sin embargo en el Perú, no se ha llegado a dar este problema” (Mercado, 1998, p.35).

## 3.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO

### 3.2.1 Agregado fino

Las arenas están constituidas por granos sueltos, incoherentes y de estructura cristalina; pudiendo ser naturales o fabricadas.

Las naturales son siempre producidas por la acción erosiva de los ríos sobre las rocas, y pueden encontrarse en depósitos ribereños, lacustres, marinos o eólicos. Dependiendo del tipo de depósito, los granos de la arena pueden ser angulosos o redondeados.

La arena fabricada, ya sea específicamente o como sub-producción se obtiene de la trituración de rocas, piedras o escorias y es por naturaleza angulosa (Vargas, 1994).

“Los fines con los cuales se emplearán la arena dependen del tamaño de los granos de la arena. De acuerdo a su tamaño pueden ser usados en la construcción, concreto de cemento Portland, mecánica de suelos, etc.

Las arenas deben estar libres de ciertas sustancias tales como el humus ya que pueden contener ácidos orgánicos y causar inconvenientes. La presencia de estas sustancias puede impedir la hidratación del cemento, reduciendo la resistencia” (Vargas, 1994).

### 3.2.2 Ensayos con arena natural

#### 3.2.2.1 Granulometría (N.T.P. 400.012)

La granulometría se refiere a la distribución de las partículas de arena, lo cual tiene una gran importancia en los requerimientos del agua de la mezcla y en consecuencia de la trabajabilidad y acabado del mortero (Mercado, 1998, p. 37).

El análisis granulométrico se realiza mediante un ensayo de mallas, donde una muestra bien cuarteada se coloca en la parte superior de las mallas, para luego ser movidas por un medio mecánico o manual y así las partículas pasarán de malla en malla hasta quedarse retenidas en una de ellas.

Las mallas estándar usadas para realizar el análisis granulométrico son: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 Y N°100.

El control de la granulometría se presenta a través de un gráfico en la que el porcentaje acumulado que pasa se representa en las ordenadas, y las aberturas en las abscisas.

### 3.2.2.2 Módulo de finura (N.T.P. 400.012)

El módulo de Finura representa un tamaño promedio ponderado de la arena, pero no representa la distribución de las partículas; es decir, cuando el módulo de finura es alto se quiere decir que el agregado es grueso y, cuando es bajo es señal de lo contrario (Mercado, 1998, p.37).

La norma E-070 nos dice que el módulo de Finura del agregado para mortero debe estar entre 1.6-2.5 sin embargo, las arenas de Lima poseen un módulo de finura que se escapa de estos límites.

El módulo de finura se calcula de la siguiente manera:

$$M.F = \sum \frac{\text{Peso ret. acumulado}(N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

### 3.2.2.3 Contenido de humedad (N.T.P. 400.022)

Es el contenido de agua que hay en el agregado, expresado en porcentaje respecto al peso de la muestra inalterada, la cual depende de las condiciones del ambiente en que se encuentra la zona de trabajo. Este valor es importante tanto para el concreto como para el mortero, ya que influye en varias de sus propiedades como fluidez, resistencia, contracción, exudación, etc (Meza, 2004, p.70).

La humedad se expresa de la siguiente manera:

$$\% \text{Humedad} = \left( \frac{\text{Peso original muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \right) * 100\%$$

### 3.2.2.4 Peso unitario (N.T.P. 400.017)

Se denomina peso unitario del agregado al peso de material necesario para llenar un determinado volumen unitario, generalmente se expresa en kilos por

metro cúbico. El valor del peso unitario es el que se emplea para realizar el diseño de mezcla del mortero en función al volumen.

Existe el peso unitario suelto y compactado.

Se debe considerar que los Pesos Unitario calculados en obra difieren de los calculados en el laboratorio, ya que los factores externos tales como la consolidación impuesta, la forma de colocación, entre otros, son diferentes.

“El peso unitario suelto se obtiene con un recipiente de dimensiones estandarizadas, el cual se llena con arena suavemente, sin ejercer presión alguna; el Peso unitario compactado se obtiene cuando en el mismo recipiente normalizado, se llena la arena en 3 capas, compactando cada capa con 25 golpes con una varilla de metal de 5/8” de diámetro y extremo redondeado, se siguió el procedimiento descrito en la norma. El peso unitario se expresa generalmente en  $\text{kg/m}^3$  (Mercado, p.38).

#### 3.2.2.5 Peso específico (N.T.P. 400.022)

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario del material, a la masa del mismo volumen de agua destilada, libre de gas.

Es expresado además como densidad en el Sistema Internacional de Unidades. Además de ser importante en la determinación del peso global del mortero, es un rápido indicador de la calidad del agregado, valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que valores bajos generalmente corresponden a agregados porosos y débiles, caso en el que es recomendable realizar pruebas adicionales (Meza, 2004, p.67).

#### Definiciones

- 1) Peso Específico de Masa. “Es la relación entre el peso de la masa del agregado, y el volumen ocupado por la misma masa incluyendo todos los poros, permeables e impermeables, propias del material” (Meza, 2004, p.67).
- 2) Peso específico superficialmente seco. “Es la relación entre el peso del agregado saturado superficialmente seco y el volumen del mismo” (Meza, 2004, p.67).

- 3) **Peso Específico Aparente.**- “Es la relación entre el peso de la masa del agregado y el volumen impermeable de masa del mismo” (Meza, 2004, p.67).

### 3.2.2.6 Superficie específica

La superficie específica, es un indicador de la cantidad de cemento que es necesario para cubrir el área total del agregado en uso. Al usar un agregado fino se incrementa la superficie específica, aumentando la cantidad de cemento que se utilizará para cubrir las partículas finas.

Según Mercado (1998), se debe de sumar las áreas superficiales de las partículas del agregado y dividir las por su peso. Para determinar este valor, se debe de partir de dos supuestos:

- Que las partículas del agregado son esféricas
- El tamaño medio de las partículas que pasa un tamiz y quedan retenidas en otro, es igual al promedio de las dos aberturas.

Se utilizará la siguiente fórmula:

$$S_e = \frac{0.06}{P_e} \left( \frac{P_1}{d_1} + \frac{P_2}{d_2} + \dots + \frac{P_n}{d_n} \right)$$

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  = % retenidos en cada tamiz

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  = Diámetro promedio de las partículas de la arena

$P_e$  = Peso específico de masa de la arena.

### 3.2.2.7 Material más fino que el tamiz N°200 (N.T.P. 400.018)

Son los materiales más finos que hay en el agregado. La malla N°200 retiene materias con aspecto de polvo fino, las menores de 0.075 mm, ya que pueden ser perjudiciales para los concretos y morteros si existen en cantidades excesivas, especialmente cuando se adhieren a los granos del agregado y no se desprenden con facilidad (Mercado, 1998, p.40).

El procedimiento para llevar a cabo este ensayo consiste en lavar la muestra a través del tamiz N°200, luego se calcula el porcentaje de material perdido resultante del lavado.

#### 3.2.2.8 Porcentaje de absorción (N.T.P. 400.022)

La absorción de un agregado es la capacidad para adquirir y conservar agua en sus poros. Esta propiedad influye en la trabajabilidad, en la resistencia y en la densidad del mortero. También nos indica el grado de porosidad del agregado y su valor es necesario calcularlo para realizar el diseño de mezclas del concreto y mortero, ya que permite saber el agua que tomará la arena de la mezcla de mortero. Este valor es expresado en porcentaje (Meza, 2004, p.68).

### 3.3 MÉTODO PARA LA OBTENCIÓN DE ARENA CON DIVERSOS PORCENTAJES QUE PASAN LA MALLA N°100 A PARTIR DEL AGREGADO FINO ORIGINAL.

El objetivo es analizar las propiedades del mortero con aditivo expansivo cuando se hace variar el porcentaje de material que pasa la malla N°100 del agregado fino original, obteniendo 5 tipos de arena y por ende 5 tipos de morteros.

Estas arenas estarán agrupadas de la siguiente manera, según los rangos: 0-2%, 2-5%, 5-8%, 8-12%, 12-15%. También se obtuvo un tipo de arena con 12% de finos previamente tamizada por la malla N°8 (Ver Cuadro 2), con el fin de comparar sus propiedades con la arena de 12% de finos sin tamizar.

#### 3.3.1 Combinaciones para obtener arenas con diversos porcentajes que pasan la malla N°100.

Para obtener los diversos tipos de arena se siguió un procedimiento ya realizado anteriormente. En esta investigación se tamizó la arena original por la malla N°50 con el fin de separar la arena en dos tipos de arenas. La primera que tenga 0% de finos que pasa la malla N°100 y la segunda que posea 100% de finos que pasa la malla N°100. Luego a partir de combinaciones apropiadas se obtuvo

los diversos tipos de arenas que pasan la malla N°100 requeridos. Al realizar sus respectivas granulometrías se obtuvieron gráficos que cumplieran con lo requerido.

Los análisis granulométricos de estos dos tipos de arenas (la que pasa y la que se queda retenida en el tamiz N°50) se encuentran en el Anexo.

Así entonces las combinaciones que se realizarán con los materiales resultantes de la partición del agregado fino original por la malla N°50 son:

- Agregado fino mayor que la malla N°50
- Agregado fino menor que la malla N°50

Luego, con cada tipo de porcentaje de finos que pasan la malla N°100 del agregado, se realizarán las combinaciones respectivas. A continuación se muestran dichos valores:

Cuadro 2. Rango de valores que pasa la malla N°100.

Porcentaje de finos que pasa la malla N°100
2.0%
5.0%
8.0%
12.0%
15.0%
12% de finos tamizado

Para el planteo de las ecuaciones de la combinación de agregados se debe de tomar en cuenta los datos de % retenido en la malla N°100 de los dos tipos de arenas (las retenidas y las que pasan la malla N°50 del agregado original) las cuales se puede visualizar en el Anexo.

Para arenas mayores que la malla N°50:

% retenido acumulado en la malla N°100=99.38%

Para arenas menores que la malla N°50:

%retenido acumulado en la malla N°100=48.00%

Luego, plantearemos las siguientes ecuaciones:

$$\frac{A}{100} \times 99.38 + \frac{B}{100} \times 48 = 100 - F \dots (I)$$

$$A + B = 100 \dots \dots \dots (II)$$

Donde:

A = Porcentaje en peso de material mayor que la malla N°50 para la combinación requerida.

B = Porcentaje en peso de material menor que la malla N°50 para la combinación requerida

F = Porcentaje que pasa la malla N°100 requerido.

Luego se reemplaza en la ecuación (I) el porcentaje que pasa la malla N°100 requerido, para los valores del Cuadro 2 y resolviendo en cada caso las ecuaciones simultaneas mostradas (Ecuación I y II).

Obtenemos las combinaciones respectivas que se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 3. Combinaciones teóricas para obtener los diferentes porcentajes de finos que pasan la malla N°100.

Porcentaje finos de agregado que pasa la malla N°100	A(%)	B(%)
2%	97.36	2.64
5%	91.53	8.47
8%	85.68	14.32
12%	77.89	22.11
15%	72.05	27.95

Se debe de considerar que los valores obtenidos anteriormente son teóricos, los cuales deben de ser verificados y ajustados si fuera necesario, en función del análisis granulométrico, hasta que esté dentro del intervalo requerido.

### 3.3.2 Obtención del tipo de arena cuyo rango está entre 0-2% en el porcentaje que pasa la malla N°100.

Para la obtención de este tipo de arena, primero se realizará el tanteo con la combinación teórica correspondiente al cuadro mostrado, luego se procederá a la respectiva verificación por medio del análisis granulométrico, el cual se verá si está dentro del rango del porcentaje de agregado que pasa la malla N°100 requerido; de no ser así, se ajustarán los valores A y B respectivamente hasta encontrar 2 valores que al combinarlos y al hacer su respectivo análisis granulométrico nos dan el valor requerido.

El análisis granulométrico para la combinación con los valores reales los cuales se obtuvieron por medio de tanteos de los valores A y B se encuentra en el Anexo.

### 3.3.3 Análisis de la obtención de los demás tipos de arena por combinación de las arenas tamizadas A y B

Como se ve en lo anterior, se realizó un análisis granulométrico de la primera combinación teórica de las arenas A y B. Luego, como al realizar el respectivo análisis granulométrico se obtuvo un valor mayor al requerido para el rango (0-2%) del material que pasa el tamiz N°100, se procedió a hacer tanteos con las arenas A y B de tal manera que al combinarlas y analizarlas nos arrojen un valor satisfactorio del material que pasa el tamiz N°100 que esté dentro del rango requerido, en este caso el de 0-2%.

Este mismo análisis se siguió para la obtención de las demás combinaciones requeridas según el Cuadro 2.

Las granulometrías de los otros tipos de arenas se muestran en el Anexo.

A continuación se presenta un resumen de los 5 tipos de arena con su respectiva combinación después de haber realizado el ajuste respectivo.

Cuadro 4. Combinaciones finales para obtener diferentes porcentajes de finos que pasan la malla N°100.

%Que pasa la malla N° 100	Combinación Final	
	A(%)	B(%)
2.0	98.06	1.94
5.0	92.06	7.94
8.0	86.78	13.22
12	78.45	21.55
15	73.25	26.75

A (%): Porcentaje en peso de material mayor que la malla N°50

B (%): Porcentaje en peso de material menor que la malla N°50

En el Cuadro 5 se muestra un resumen de las características del agregado fino por la variación del material que pasa el tamiza N°100.

### 3.4 AGUA

El agua es el componente principal para que el mortero posea su calidad fundamental en estado plástico, es decir la trabajabilidad. La cantidad de agua debe ser la máxima posible sin llegar a causar segregación de los componentes del mortero.

El agua en general debe ser limpia y estar libre de sustancias deletreas tales como aceite, ácido, álcalis o cualquier otra que resulte dañina (Vargas, 1994).

Cuadro 5. Cuadro resumen de las propiedades físicas de los diferentes tipos de arenas que pasan la malla N°100.

PROPIEDADES	ARENAS CON PORCENTAJE DE FINOS MENORES QUE LA MALLA N°100					
	2%	5%	8%	12%	15%	12% TAMIZADO
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.48	2.49	2.49	2.52	2.52	2.48
PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERF. SECO	2.56	2.56	2.56	2.58	2.58	2.54
PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.68	2.68	2.67	2.69	2.69	2.65
PESO UNITARIO SUELTO (kg/cm <sup>3</sup> )	1461	1503	1513	1534	1515	1430
PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/cm <sup>3</sup> )	1638	1689	1732	1758	1757	1672
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	1.03	1.34	1.48	1.63	1.66	1.80
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%)	2.99	2.97	2.63	2.60	2.56	2.61
MÓDULO DE FINURA (M.F.)	3.75	3.61	3.36	3.10	2.88	2.40
SUPERFICIE ESPECÍFICA	25.1	32.8	42.2	52.4	61.2	64.5
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°100 (%)	2	5	8	12	15	12
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ N°200 (%)	2.94	5.36	6.42	9.10	10.55	8.82

Se tomó como arena patrón a la arena con 2% de finos que pasa la malla N°100.

Fuente: Elaboración Propia

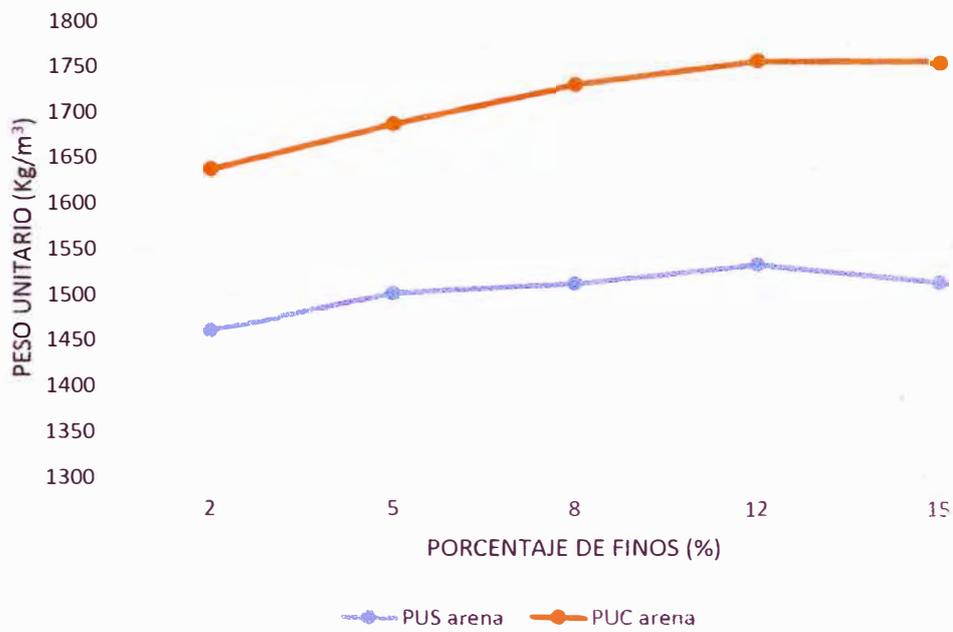


Figura 1. Peso unitario suelto y compactado para los diferentes porcentajes de finos estudiados.

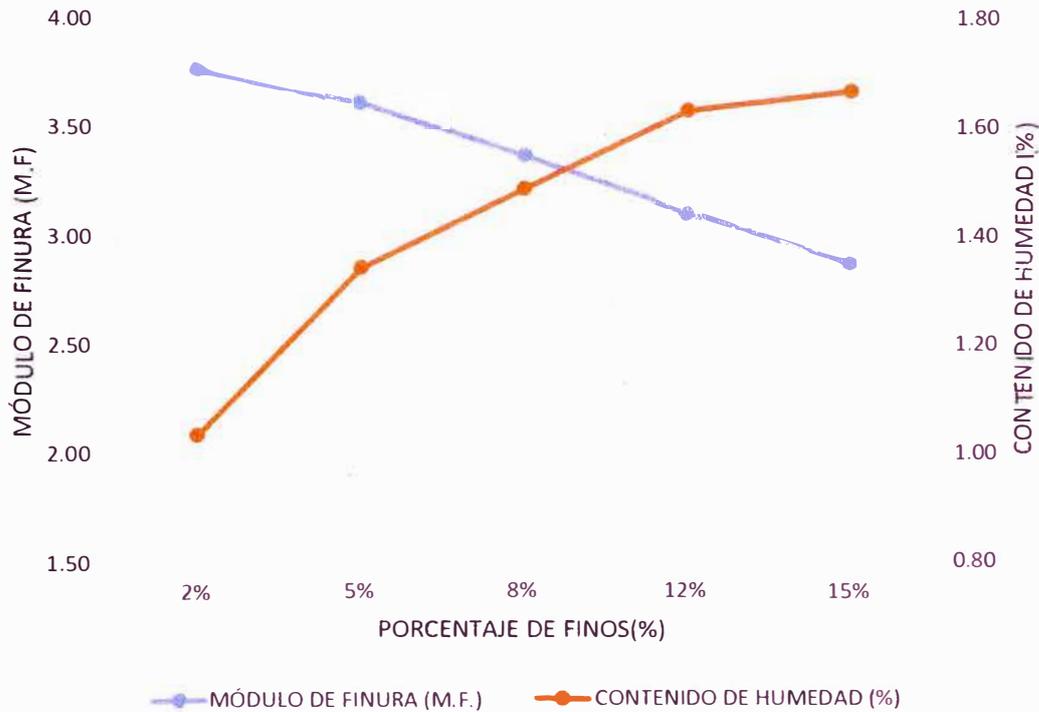


Figura 2. Módulo de finura y Contenido de Humedad para los diferentes porcentajes de finos.

### 3.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS ADITIVOS

#### 3.5.1 Generalidades

“Los aditivos que se encuentran en el mercado, normalmente constituyen un material pre-mezclado, conocido en el medio como fluidificante, por lo general consta de un agente suspensor, reductor de agua, polvo de aluminio, y un amortiguado químico para asegurar una regulación oportuna, de la reacción del polvo de aluminio con los álcalis del cemento” (Alanya, 2017, p.25).

Según Mercado (1998) como substitutos de un fluidificante premezclado, los diversos ingredientes contenidos en el fluidificante pueden agregarse de forma separada en la mezcla. El polvo de aluminio por ejemplo, da una expansión esencial de adherencia entre el mortero y la arena. Un agente reductor de agua, incrementará la fluidez sin aumentar la cantidad de agua presente en la mezcla. Un aditivo inductor de aire convencional debe agregarse también al mortero para proveer porcentajes apropiados de aire incluido, cuando el mortero o concreto estén expuestos a congelación y deshielo, un pequeño porcentaje de cloruro de calcio, no mayor del 2% del peso de cemento, también puede utilizarse para acelerar la resistencia.

“Antes de emplear aditivos en una obra, se debe determinar con cuidado su uso eficiente. En forma general, los aditivos son materiales que al ser mezclados con el mortero o concreto, generan modificaciones en las propiedades o en el desempeño tanto del mortero como del concreto” (Vargas, 1994).

“Por lo antes dicho, el aditivo es un material pre-mezclado distinto a los otros ingredientes utilizados para producir mortero o concreto, tales como el agua, los agregados y el cemento. El aditivo se añade inmediatamente antes o durante su mezclado y permite modificar ciertas características específicas el mortero tanto en estado fresco como endurecido” (Alanya, 2017, p.25).

### 3.5.2 Concepto de un aditivo

Un aditivo es una sustancia química, generalmente dosificada por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplea como ingrediente de la pasta, del mortero o del concreto, y se agrega al conjunto antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades físicas, de tal manera que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades del constructor (Rivera, 2011 p.231).

### 3.5.3 Razones para usar aditivos

El empleo de aditivos varía de acuerdo a las necesidades específicas que se requiera según la obra en el que se está desempeñando. Se debe tener en cuenta las especificaciones del aditivo y las recomendaciones del fabricante. No se debe disminuir el contenido de cemento a usar en la mezcla.

El constructor deberá demostrar a la supervisión que con los aditivos a utilizar se pueden obtener el comportamiento que se necesite y que son capaces de conservar el mismo desempeño, calidad y composición del mortero en toda la obra.

El comité ACI 212, en la "Guía para el empleo de aditivos en el concreto" hace mención a 20 motivos para usar aditivos:

1. Incrementar la trabajabilidad del mortero o concreto sin agregar más agua o para disminuir la cantidad de agua, con la finalidad de obtener la misma trabajabilidad.
2. Aumentar la resistencia a la compresión del mortero o concreto a edades tempranas
3. Incrementar la resistencia final
4. Retardar o acelerar el fraguado final
5. Retardar o reducir el desarrollo del calor
6. Modificar la exudación del mortero o concreto
7. Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.
8. Controlar la expansión del mortero o concreto que es causada por la reacción álcali-agregado.
9. Reducir el flujo capilar del agua

10. Disminuir la permeabilidad
11. Para obtener concreto celular
12. Mejorar la penetración y bombeo
13. Disminuir el asentamiento, especialmente cuando se utilice para rellenos.
14. Disminuir el asentamiento o originar una leve expansión en el mortero o concreto con la finalidad de usarlos para rellenar vacíos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentaciones de maquinarias, columnas o para rellenar ductos de cables postensionado.
15. Incrementar la adherencia entre el acero y el concreto o mortero.
16. Incrementar la adherencia entre el concreto nuevo y antiguo.
17. Producir morteros o concretos de diferentes tonalidades.
18. Obtener concretos o morteros con propiedades fungicidas, germicidas e insecticidas.
19. Inhibir la corrosión de metales embebidos en el concreto
20. Disminuir el costo unitario del mortero o concreto.

“Existe una gran gama de aplicaciones para los aditivos y podría aumentar”  
(Alanya, 2017, p.26).

#### 3.5.4 Aditivo expansivo

Los aditivos expansores son utilizados para compensar la contracción que se produce por efecto del fraguado y endurecimiento del cemento Portland en morteros y hormigones. Esta propiedad expansiva induce a una disminución de la porosidad, con la consiguiente reducción de la permeabilidad, un incremento de la resistencia a la compresión, un incremento de la durabilidad y una mayor adherencia. (Norberto Mangin y Matías Molina, 2009).

Otro autor menciona que:

Hace muchos años se aprobaron algunas patentes relativas a la adición de cal viva CaO o de MgO calcinadas, de anhidrita de yeso crudo o de polvos metálicos oxidables. El papel de estos aditivos consiste en aumentar el volumen del concreto durante el fraguado y antes de producirse el endurecimiento de la pasta. Las sustancias más comunes que tiene esta propiedad son: la limadura de hierro y el aluminio en polvo. Las primeras producen la expansión por oxidación del hierro y el segundo porque reacciona con el cemento produciendo hidrógeno. (Rivera, 2011, p.247).

## CAPÍTULO IV: DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS

### 4.6 GENERALIDADES

En el presente trabajo se analiza el mortero para reparaciones, su función principal es de poseer una retracción controlada para evitar fisuras y poseer una buena resistencia mecánica.

El objetivo principal de este trabajo es analizar la influencia del material más fino que la malla N°100 en el mortero con aditivo expansivo. Se hizo un proporcionamiento en volumen de cemento: agregado para estudiar el comportamiento de las propiedades del mortero cuando aumenta la cantidad de finos en la arena. Se agregó aditivo expansivo en 3 proporciones (2%, 4% y 6% en peso del cemento). Para este estudio se seleccionó la proporción cemento: agregado fino de 1:3, las cuales se hicieron variar con distintos porcentajes de finos de la arena que son los siguientes:

Cuadro 6. Porcentajes de finos que pasa la malla N°100.

PORCENTAJE DE FINOS DE LA ARENA A ESTUDIAR				
0-2%	2-5%	5-8%	8-12%	12-15%

Se hace recordar que los finos son los componentes de la arena que pasan la malla N°100.

### NOMENCLATURAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MORTEROS A DISEÑAR

Se utilizó la siguiente nomenclatura:

FX\_AY

Donde:

F = Finos

A = Aditivo

X = Porcentaje de finos que pasa la malla N°100.

Y = Porcentaje de aditivo expansivo Chema Expand.

Por ejemplo:

Si tenemos la siguiente nomenclatura: F2\_A2

Significa que el mortero fue elaborado con 2% de finos que pasa la malla N°100 y 2% de aditivo expansivo.

A continuación, se muestra el cuadro donde se indica la nomenclatura de todos los morteros a diseñar en el presente trabajo.

Cuadro 7. Nomenclaturas utilizadas de los diferentes tipos de morteros.

PORCENTAJE DE ADITIVO (%)	PORCENTAJE DE FINOS (%)					
	0 - 2%	2 - 5%	5 - 8%	8 - 12%	12 - 15%	8 - 12% TAMIZADO
0	F2_A0	F5_A0	F8_A0	F12_A0	F15_A0	F12T_A0
2	F2_A2	F5_A2	F8_A2	F12_A2	F15_A2	F12T_A2
4	F2_A4	F5_A4	F8_A4	F12_A4	F15_A4	F12T_A4
6	F2_A6	F5_A6	F8_A6	F12_A6	F15_A6	F12T_A6

Se trabajó también con una arena con 8% a 12% de finos que pasa la malla N°100, la cual fue principalmente tamizada por la Malla N°8.

#### 4.7 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Como el objetivo de esta tesis es analizar la influencia de los finos en el comportamiento del mortero con aditivo expansivo se analizó un mortero sin aditivo y 3 morteros con diferentes proporciones de aditivo expansivo para luego ir variando el porcentaje de finos de la arena según lo planteado líneas arriba, de tal manera que así se pueda realizar una comparación en las propiedades de los demás morteros con el mortero patrón.

Para hacer el diseño de mezclas de los morteros, se obtuvo un material pastoso y trabajable. Las características anteriores se pueden materializar cuando el mortero tiene una fluidez que oscile entre 110+/-5% (Alanya, 2107).

#### 4.8 PROCEDIMIENTO SEGUIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

Se usó siguió el procedimiento de la norma ASTM C70 para realizar el diseño de mezclas.

Para tener diseños de mezcla más exactos, éstos primeros se hicieron en volumen según la proporción elegida, y luego se cambiaron a peso.

Donde:

A = Proporción en volumen del agregado, para un volumen unitario de cemento

B = Proporción en volumen de Aditivo Chema-Expand, para un volumen unitario de cemento.

PU = Peso unitario en estado suelto ( $\text{Kg}/\text{cm}^3$ ).

Pa = Peso de la arena gruesa, Kg.

Pc = Peso del cemento, Kg.

Pad = Peso del aditivo Chema-Expand, Kg.

Para el presente estudio como mortero sin aditivo, se utilizó cemento y arena en la proporción de 1:3 (en volumen).

Para morteros con aditivo Chema-Expand se utilizó en proporciones en volumen de 1:3 (cemento: arena) con 2%, 4%, 6% de aditivo respecto al peso del cemento. Se siguió el procedimiento según la norma ASTM C270. Se calcularon los pesos requeridos de cada uno de los ingredientes para tener un control más exacto de las proporciones.

Para el aglomerante, se consideró que no hubo cambio de humedad de los mismos debido a las condiciones de almacenamiento. La arena, se mantuvo en ambientes cerrados y frescos, y se trabajó con los datos promedios ya que no hubo grandes variaciones.

Se utilizaron los siguientes pesos sueltos:

Cuadro 8. Pesos Unitarios de los materiales.

Cemento Portland Tipo I .....	PU=1230 $\text{Kg}/\text{m}^3$
Aditivo Chema-Expand .....	PU= 2600 $\text{Kg}/\text{m}^3$

Fuentes: Tomado de la tesis, Mercado (1998) & Hoja técnica, Chema (2016).

Para la arena gruesa se trabajó con los siguientes PU:

Cuadro 9. Pesos Unitarios de la arena a utilizar.

PROPIEDADES	TIPO DE ARENA					
	2%	5%	8%	12%	15%	12% TAMIZADO
PESO UNITARIO SUELTO (Kg/m <sup>3</sup> )	1461	1503	1513	1535	1515	1430

Las proporciones son en volumen y peso para lo cual se convirtieron de la siguiente forma:

PU = Peso/Volumen, luego:

Volumen = Peso/PU.....(1)

#### 4.8.1 Diseño de mezcla con mortero de cemento

Muchos autores coinciden en usar el siguiente procedimiento:

Usaremos:

Cemento : Agregado

1 : A

Para un volumen de cemento  $V_c$ , el volumen de arena  $V_a$ , será:

$$V_a = A \times V_c$$

Luego de la ecuación (1):

$$P_a/P_{ua} = A \times P_c/P_{uc}$$

Entonces:

$$P_a = A \times P_c \times P_{ua}/P_{uc}$$

Después considerando los pesos unitarios ya mostrados, tenemos:

$$P_a = A \times \frac{P_{ua} \times P_c}{1230}$$

Donde:

A = Proporción en volumen del agregado, para volumen unitario de cemento.

$P_a$  = Peso de la arena gruesa, en Kg.

$P_{ua}$  = Peso unitario de la arena gruesa, Kg/m<sup>3</sup> (Alanya, p. 44).

Cuadro 10. Proporción en volumen y peso de mezcla sin aditivo.

Porcentaje de finos	proporción en volumen		Proporción en peso	
	Cemento	Arena	Cemento	Arena
2	1	3	1	3.562
5	1	3	1	3.665
8	1	3	1	3.691
12	1	3	1	3.742
15	1	3	1	3.694
12 TAMIZADO	1	3	1	3.487

#### 4.8.2 Diseño de mezcla con mortero de cemento con aditivo expansivo

Para este diseño se utilizó aditivo expansivo Chema-Expand en proporción al peso de cemento.

#### Aditivo expansivo al 2%

Cuadro 11. Proporción en volumen y peso para mezclas con 2% de aditivo.

Porcentaje de Finos	Proporción en volumen			Proporción en peso		
	Cemento	Arena	Aditivo	Cemento	Arena	Aditivo
2	1	3	0.0095	1	3.562	0.02
5	1	3	0.0095	1	3.665	0.02
8	1	3	0.0095	1	3.691	0.02
12	1	3	0.0095	1	3.742	0.02
15	1	3	0.0095	1	3.694	0.02
12 TAMIZADO	1	3	0.0095	1	3.487	0.02

### Aditivo expansivo al 4%

Cuadro 12. Proporción en volumen y peso para mezclas con 4% de aditivo.

Porcentaje de finos	Proporción en volumen			Proporción en peso		
	Cemento	Arena	Aditivo	Cemento	Arena	Aditivo
2	1	3	0.0189	1	3.562	0.04
5	1	3	0.0189	1	3.665	0.04
8	1	3	0.0189	1	3.691	0.04
12	1	3	0.0189	1	3.742	0.04
15	1	3	0.0189	1	3.694	0.04
12 TAMIZADO	1	3	0.0189	1	3.487	0.04

### Aditivo expansivo al 6%

Cuadro 13. Proporción en volumen y peso para mezclas con 6% de aditivo.

Porcentaje de finos	Proporción en volumen			Proporción en peso		
	Cemento	Arena	Aditivo	Cemento	Arena	Aditivo
2	1	3	0.0284	1	3.562	0.06
5	1	3	0.0284	1	3.665	0.06
8	1	3	0.0284	1	3.691	0.06
12	1	3	0.0284	1	3.742	0.06
15	1	3	0.0284	1	3.694	0.06
12 TAMIZADO	1	3	0.0284	1	3.487	0.06

#### 4.9 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Para el mezclado se utilizó una mezcladora de 140 W de potencia, de 3 velocidades de 10 lts aproximadamente de capacidad. El tiempo del mezclado debe prolongarse hasta obtener una mezcla homogénea.

En el presente trabajo el mezclado se efectuó durante 2.5 minutos alternando las dos velocidades de la mezcladora; colocando en primer lugar al agua con el cemento durante .5 minutos a velocidad

lenta, luego se adicionó la arena y se mezcla 0.5 min. a velocidad lenta, se limpia las paredes del recipiente con la espátula y se mezcló durante .5 minutos a velocidad media y 1.0 minutos a velocidad media y al final se limpiaron de nuevo las paredes del recipiente donde estuvo colocado el mortero (Vargas,1994).

La cantidad de agua se determinó en función de la trabajabilidad, en éste caso de buscó para todos los diseños alcanzar una fluidez que este en  $110\pm 5\%$ .

En la presente investigación, se utilizó proporcionamiento en peso (después de convertir la proporción de volumen a pesos) para cada uno de los diseños de mezclas. Así, para el agregado fino de 2% de finos que pasa la malla N°100 en la relación de 1:3, para un peso de 500 gramos de cementos, el peso de la arena será:

$$\text{Peso de la arena} = 500 \times 3.56 = 1781.17 \text{ gr.}$$

Para hallar el peso del aditivo se multiplicará el porcentaje a usar al peso del cemento. Por ejemplo: para la proporción de 2% del peso del cemento, el peso del aditivo será:

$$\text{Peso del aditivo} = 500 \times 0.02 = 10 \text{ gr.}$$

También se calculó el rendimiento de la tanda, para luego hacer la dosificación por m<sup>3</sup>:

$$\text{Rendimiento} = \text{Peso Tanda} / \text{PU}$$

#### 4.9.1 Diseño de mezclas para producir morteros cemento: arena 1:3 sin aditivo

Relación en volumen (cemento: arena: aditivo) = 1:3:0

Cuadro 14. Cantidades de diseño de los elementos del mortero con 0% de aditivo.

<b>PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA LA MALLA N°100</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>DOSIFICACIÓN PARA 500 GR. DE CEMENTO</b>	<b>DOSIFICACIÓN POR M3 DE MORTERO (KG)</b>	<b>FLUIDEZ</b>
2	CEMENTO	500	393	110+/- 5%
	ARENA	1781	1400	
	AGUA	385	302	
	Suma	2666		
5	CEMENTO	500	385	110+/- 5%
	ARENA	1832	1411	
	AGUA	400	308	
	Suma	2732		
8	CEMENTO	500	384	110+/- 5%
	ARENA	1845	1418	
	AGUA	410	315	
	Suma	2755		
12	CEMENTO	500	380	110+/- 5%
	ARENA	1871	1423	
	AGUA	425	323	
	Suma	2796		
15	CEMENTO	500	376	110+/- 5%
	ARENA	1847	1389	
	AGUA	445	335	
	Suma	2792		
12 TAMIZADO	CEMENTO	500	385	110+/- 5%
	ARENA	1743	1342	
	AGUA	435	335	
	Suma	2678		

4.9.2 Diseño de mezclas para producir morteros cemento: arena 1:3 y aditivo 2% del peso del cemento

Relación en volumen (cemento: arena: aditivo) = 1:3:0.0095

Cuadro 15. Cantidades de diseño de los elementos del mortero con 2% de aditivo.

PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA LA MALLA N°100	MATERIALES	DOSIFICACIÓN PARA 500 GR. DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN POR M3 DE MORTERO (KG)	Fluidez
2	CEMENTO	500	396	110+/- 5%
	ARENA	1781	1409	
	AGUA	380	301	
	Suma	2661		
5	CEMENTO	500	386	110+/- 5%
	ARENA	1832	1413	
	AGUA	400	308	
	Suma	2732		
8	CEMENTO	500	385	110+/- 5%
	ARENA	1845	1423	
	AGUA	405	312	
	Suma	2750		
12	CEMENTO	500	382	110+/- 5%
	ARENA	1871	1431	
	AGUA	420	321	
	Suma	2791		
15	CEMENTO	500	376	110+/- 5%
	ARENA	1847	1389	
	AGUA	440	332	
	Suma	2787		
12 TAMIZADO	CEMENTO	500	385	110+/- 5%
	ARENA	1743	1342	
	AGUA	440	339	
	Suma	2683		

4.9.3 Diseño de mezclas para producir morteros cemento: arena 1:3 y aditivo 4% del peso del cemento

Relación en volumen (cemento: arena: aditivo) = 1:3:0.0189

Cuadro 16. Cantidades de diseño de los elementos del morteros con 4% de aditivo.

PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA LA MALLA N°100	MATERIALES	DOSIFICACIÓN PARA 500 GR. DE CEMENTO	DOSIFICACIÓN POR M3 DE MORTERO (KG)	Fluidez
2	CEMENTO	500	398	110+/- 5%
	ARENA	1781	1417	
	AGUA	375	298	
	Suma	2656		
5	CEMENTO	500	388	110+/- 5%
	ARENA	1832	1421	
	AGUA	395	306	
	Suma	2727		
8	CEMENTO	500	389	110+/- 5%
	ARENA	1845	1435	
	AGUA	405	315	
	Suma	2750		
12	CEMENTO	500	385	110+/- 5%
	ARENA	1871	1441	
	AGUA	415	320	
	Suma	2786		
15	CEMENTO	500	376	110+/- 5%
	ARENA	1847	1389	
	AGUA	445	335	
	Suma	2792		
12 TAMIZADO	CEMENTO	500	389	110+/- 5%
	ARENA	1743	1358	
	AGUA	440	343	
	Suma	2683		

4.9.4 Diseño de mezclas para producir morteros cemento: arena 1:3 y aditivo 6% del peso del cemento

Relación en volumen (cemento: arena: aditivo) = 1:3:0.0284

Cuadro 17. Cantidades de diseño de los elementos del mortero con 6% de aditivo.

<b>PORCENTAJE DE FINOS QUE PASA LA MALLA N°100</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>DOSIFICACIÓN PARA 500 GR. DE CEMENTO</b>	<b>DOSIFICACIÓN POR M3 DE MORTERO (KG)</b>	<b>Fluidez</b>
2	CEMENTO	500	397	110+/- 5%
	ARENA	1781	1414	
	AGUA	375	298	
	Suma	2656		
5	CEMENTO	500	385	110+/- 5%
	ARENA	1832	1411	
	AGUA	395	304	
	Suma	2727		
8	CEMENTO	500	384	110+/- 5%
	ARENA	1845	1418	
	AGUA	410	315	
	Suma	2755		
12	CEMENTO	500	380	110+/- 5%
	ARENA	1871	1423	
	AGUA	420	319	
	Suma	2791		
15	CEMENTO	500	376	110+/- 5%
	ARENA	1847	1389	
	AGUA	450	338	
	Suma	2797		
12 TAMIZADO	CEMENTO	500	385	110+/- 5%
	ARENA	1743	1342	
	AGUA	440	339	
	Suma	2683		

## CAPÍTULO V: PROCEDIMIENTO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

### 5.1 GENERALIDADES

En éste capítulo veremos los ensayos realizados para medir las propiedades de los morteros estudiados.

El capítulo se ha dividido en 2 secciones:

#### 5.2. Ensayos en el mortero fresco

#### 5.3 Ensayos en el mortero endurecido

Entre las propiedades del mortero en estado fresco veremos la fluidez, el peso unitario y la expansión. Para el mortero en estado endurecido se verán la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la retracción del mortero. Tanto para el estado fresco como para el endurecido, se describen los ensayos indicando sus respectivas características, así como el procedimiento, equipo empleado y la expresión de los resultados.

### 5.2 ENSAYOS EN EL MORTERO FRESCO

#### 5.2.1 Ensayo de fluidez (NTP 334-057)

La fluidez es el grado de humedecimiento que posee la mezcla. Es un valor importante para medir la trabajabilidad del mortero, la cual es esencial para asegurar la extensión de la adhesión.

La fluidez del mortero influye en su resistencia a la compresión y en la adherencia a otras superficies, la cual varía en función al tiempo transcurrido desde que se elabora la mezcla.

“La fluidez del mortero cambia en el tiempo, el cual varía desde su preparación hasta que es colocada sobre algún material tales como ladrillos de albañilería” (Alanya, 2017, p. 50).

Para nuestro caso se buscó llegar a una fluidez de  $110 \pm 5\%$  para todos los diseños.

## Procedimiento

La medición de la fluidez o consistencia consiste en el moldeo de un testigo tronco cónico de mortero, de 101.6mm de diámetro de flujo.

Este moldeo se realiza en 2 capas de 25mm aproximadamente, apisonando cada una con 20 golpes del compactador uniformemente distribuidos; la presión del compactador debe ser tal que se asegure el llenado total del molde. Después de realizada esta labor, se retira el molde por medio de un movimiento vertical y la mesa es dejada caer desde una altura de 12.7mm, 25 veces en 15 segundos, el movimiento se hace por medio de una leva giratoria en la base de la mesa de flujo. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra a lo largo de 4 diámetros uniformemente distribuidos y se calcula el diámetro promedio.

La fluidez o consistencia es el porcentaje de incremento de la base del tronco después de las 25 caídas.

## Equipo utilizado

- Mezcladora para mortero
- Mesa de flujo
- Molde Tronco-Cónico
- Compactador
- Vernier, para medir el diámetro final
- Espátula
- Cronómetro

Se muestra la fórmula correspondiente para el cálculo de la fluidez

$$\% \text{Fluidez} = \left( \frac{D_{\text{prom}} - 101.6\text{mm}}{101.6\text{mm}} \right) \times 100\%$$

Donde:

$D_{\text{prom}}$  = Diámetro Promedio (mm)

### 5.2.2 Ensayo de peso unitario (ASTM C 138)

Peso Unitario del mortero fresco es el peso del mortero fresco compactado por unidad de volumen. Se expresa en  $\text{Kg/m}^3$ .

## Procedimiento

Para medir el Peso Unitario del mortero fresco se utiliza un molde de 400ml de capacidad volumétrica y de peso medido en la balanza de precisión con aproximación a 0.5g, el cual debe ser llenado hasta el tope.

La mezcla se depositó en el recipiente en 3 capas, compactándolo cada capa con 25 golpes del compactador para luego enrasar el molde y pesarlo.

Para obtener el peso unitario del mortero fresco se tiene que dividir el peso del mortero compactado con el volumen del recipiente, y éste resultado expresarlo en  $\text{kg/m}^3$ .

## Equipo utilizado

- Mezcladora para mortero
- Molde de 400 ml de capacidad
- Compactador
- Espátula
- Balanza, con aprox. a décimo de gramo.

Utilizaremos la siguiente expresión:

$$\text{Peso Unitario} = \frac{\text{Peso}_1 - \text{Peso}_2}{V_{\text{recipiente}}}$$

Donde:

$\text{Peso}_1 = \text{Peso recipiente} + \text{Peso de la mezcla (g)}$

$\text{Peso}_2 = \text{Recipiente (g)}$

### 5.2.3 Ensayo de expansión

Es una propiedad del mortero en estado fresco que se lleva a cabo cuando está fraguando.

La expansión empieza minutos después de haber terminado de colocar el mortero sobre algún material. La longitud que se deforma el mortero se puede calcular con un deformómetro. Este valor se obtiene en milímetros.

“La probeta de ensayo posee dimensiones de 15cmx15cmx15cm. El mortero se vierte al molde en 3 capas con 25 golpes cada capa. Luego se coloca una placa de vidrio en la superficie del mortero; después se coloca la aguja del deformómetro en el centro de la placa aproximada y se toma registros cada 10” minutos. La

marca del deformómetro, cuando el incremento es nula el ensayo de expansión culmina” (Alanya, 2017, p. 53).

### 5.3 ENSAYOS EN EL MORTERO ENDURECIDO

Se verán los ensayos de resistencia a la compresión, tracción y la retracción del mortero, propiedades que son importantes conocerlas para analizar el comportamiento del mortero en su totalidad.

#### 5.3.1 Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 334.051)

Aquí el objetivo de este ensayo es determinar la carga máxima que puede soportar el mortero en un determinado momento para edades distintas.

##### Procedimiento

Para la realización de este ensayo se utilizan moldes metálicos en forma de cubos de 2” de lado, tal como lo indica la norma.

El llenado de los moldes con el mortero fresco se realizó en dos capas apisonando cada una con 32 golpes del compactador en unos 10 segundos. Estos golpes se aplican en la superficie de la muestra, en 4 etapas 8 golpes adyacentes a cada una.

Luego de la compactación de la muestra, ésta se engrasa con la espátula. Los especímenes se desmoldaron al día siguiente de su preparación y fueron curados 7, 14, 28 días respectivamente. Cuando se cumplía el tiempo del curado, los moldes se extraían de la poza y se procedía a realizar el ensayo de resistencia a la compresión, sometiendo a la probeta a una carga normal a una de las caras incrementándola gradualmente hasta fallar.

El esfuerzo de resistencia a la compresión de la probeta de mortero está dado por la división de la carga de rotura y el área de contacto de la probeta (área de una cara del cubo de 2” de arista).

##### Equipo utilizado

- Mezcladora para mortero según norma
- Máquina de compresión con aprox. a los 5 kg.
- Molde para cubos de mortero de 2” de lado
- Compactador
- Espátula
- Recipiente para el curado del mortero

Utilizaremos la siguiente expresión:

$$F'_c = Q/\text{Área}$$

Donde:

Q = Carga máxima de rotura (Kg)

Área = Área de la cara en contacto (cm<sup>2</sup>)

F'<sub>c</sub> = Resistencia a la compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

### 5.3.2 Ensayo de resistencia a la tracción (ASTM C190)

Para el ensayo de resistencia a la tracción, se utilizan moldes, los cuales dan briquetas en forma de ocho y se considera como ancho, el punto más delgado (en el que ocurrirá la falla).

#### Procedimiento

El mortero recién mezclado se vierte en probetas, en una sola capa compactándola, seguidamente se enrasa con la espátula; luego de haber endurecido se colocan los especímenes en agua para el curado correspondiente. Transcurrido el tiempo necesario, se retiran los moldes de la poza de curado y se los coloca en la máquina de ensayo a la tracción, para que esta pueda jalar los moldes tipo ocho por la parte gruesa de ellas. La carga de tracción va aumentando hasta que el espécimen llega a falla, siendo la carga obtenida, la carga de rotura.

#### Equipo utilizado

- Mezcladora para mortero según norma
- Molde para briquetas tipo ocho
- Compactador
- Espátula
- Recipiente para el curado del mortero

La Resistencia a la Tracción se obtiene según la siguiente fórmula:

$$F'_c = Q/\text{Área}$$

Donde:

Q = Carga de rotura aplicada (Kg)

Área = Sección transversal del molde a ensayar (cm<sup>2</sup>)

F'<sub>c</sub> = Resistencia a la tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

### 5.3.3 Ensayo de retracción (ASTM C157)

“Es muy frecuente que en un mortero de cemento Portland-arena se produzcan fallas de adherencia en la unión del mortero con otra superficie; esta falla por lo general ocurre debido a la retracción del mortero por la fragua inicial y secado” (Mercado, 1998, p.62).

#### Procedimiento

Para medir los cambios volumétricos en el mortero en estado endurecido se mide el cambio de longitud de las probetas fabricadas, se utilizó un comparador de longitud para medir estos cambios volumétricos.

El control de las mediciones se hizo al 1 día y 28 días después de fabricados los moldes. Estas probetas cuyas dimensiones son 1"x1"x11" fueron curadas en agua saturada de cal.

La retracción del mortero se expresa en porcentaje y se calcula como la variación de la longitud.

Se utilizarán los siguientes materiales:

- Vernier
- Comparador de longitud
- Máquina mezcladora
- Espátula
- Moldes tipo ocho para elaborar las probetas

Se debe de medir la longitud de la probeta 2 veces. La primera al 1 y la segunda a los 28 días. La utilizará la siguiente fórmula para obtener el porcentaje de retracción del mortero:

$$\% \text{ Retracción} = \frac{(L_i - L_f)}{L_i} \times 100\%$$

Donde:

$L_f$  = Longitud final (mm)

$L_i$  = Longitud inicial (mm)

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo se ha dividido en 2 secciones

- 6.1. Resultado de los ensayos en el mortero Fresco
- 6.2. Resultado de los ensayos en el mortero Endurecido

Todos estos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.

### 6.1 ANÁLISIS DE LOS RESULTADO EN EL MORTERO FRESCO

En esta parte se hará una comparación y discusión de los resultados obtenidos respecto a los ensayos realizados al mortero fresco.

Como ya se explicó en el Capítulo III, el objetivo del presente trabajo, es analizar cómo varían las propiedades del mortero cuando se hace variar el porcentaje de finos de la arena; para lo cual se obtuvieron diferentes diseños, los que variaban según la proporción de aditivo y los porcentajes de finos de 2%, 5%, 8%, 12% y 15% que pasa la malla N°100 presentes en la arena, asegurándonos en todos los casos que se cumpla con la fluidez.

#### 6.1.1 Peso unitario del mortero

Cuadro 18. Resultados de los Pesos Unitarios (Kg/m<sup>3</sup>).

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO (%)			
	0	2	4	6
2	2096.3	2105.1	2112.9	2109.2
5	2104.2	2107.3	2115.3	2109.9
8	2117.8	2120.5	2142.8	2132.4
12	2126.3	2134.7	2145.5	2144.5
15	2100.3	2102.8	2120.2	2103.4
12 TAMIZADO	2061.2	2064.9	2089.9	2082.2

Cuadro 19. Variación porcentual en los Pesos Unitarios, respecto al mortero de 2% de finos.

PORCENTAJE DE ADITIVO	TIPO DE ARENA	2%	5%	8%	12%	15%
0	Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	2096.3	2104.2	2117.8	2126.3	2100.3
	Variación porcentual (%)	<b>100%</b>	<b>100.4%</b>	<b>101.0%</b>	<b>101.4%</b>	<b>100.2%</b>
2	Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	2105.1	2107.3	2120.5	2134.7	2102.8
	Variación porcentual (%)	<b>100%</b>	<b>100.1%</b>	<b>100.7%</b>	<b>101.4%</b>	<b>99.9%</b>
4	Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	2112.9	2115.3	2142.8	2145.5	2120.2
	Variación porcentual (%)	<b>100%</b>	<b>100.1%</b>	<b>101.4%</b>	<b>101.5%</b>	<b>100.3%</b>
6	Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	2109.2	2109.9	2132.4	2144.5	2103.4
	Variación porcentual (%)	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>101.1%</b>	<b>101.7%</b>	<b>99.7%</b>

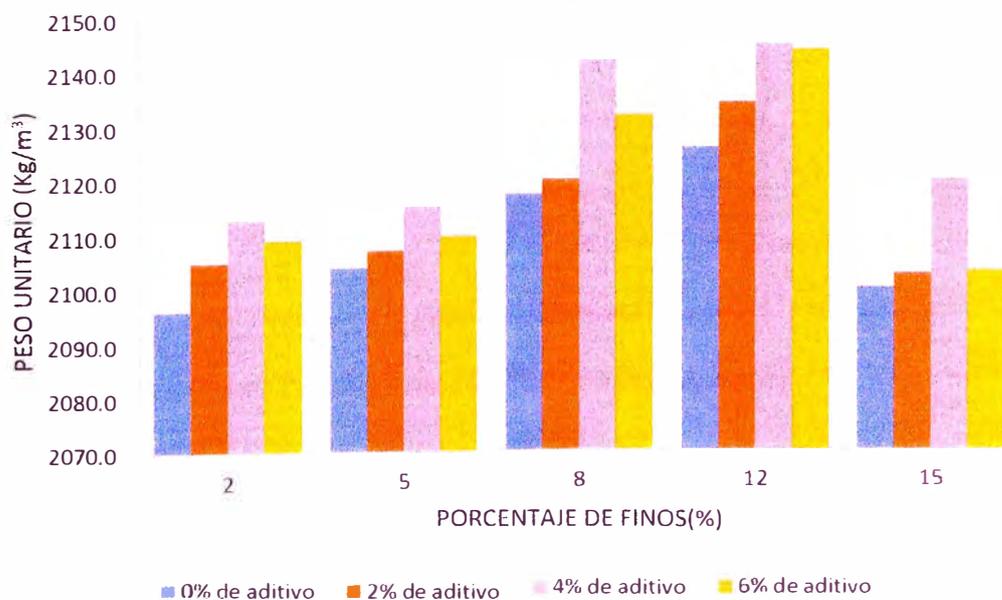


Figura 3. Pesos Unitarios según el porcentaje de finos.

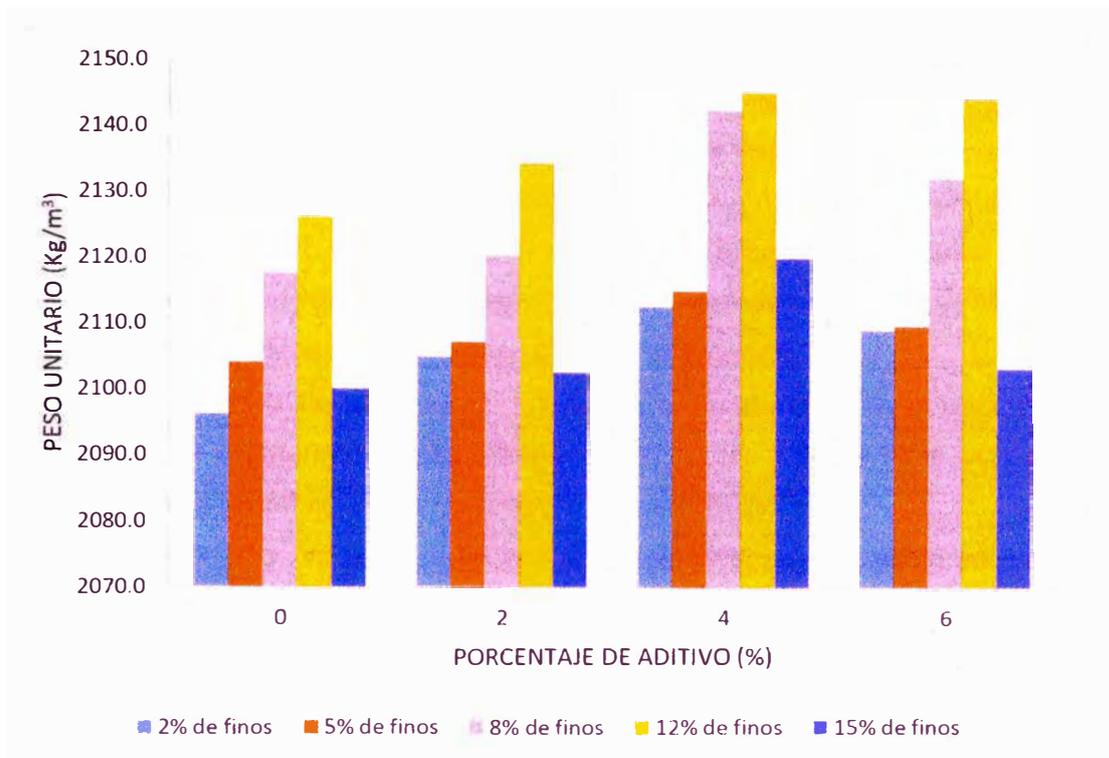


Figura 4. Pesos Unitarios según el porcentaje de aditivo.

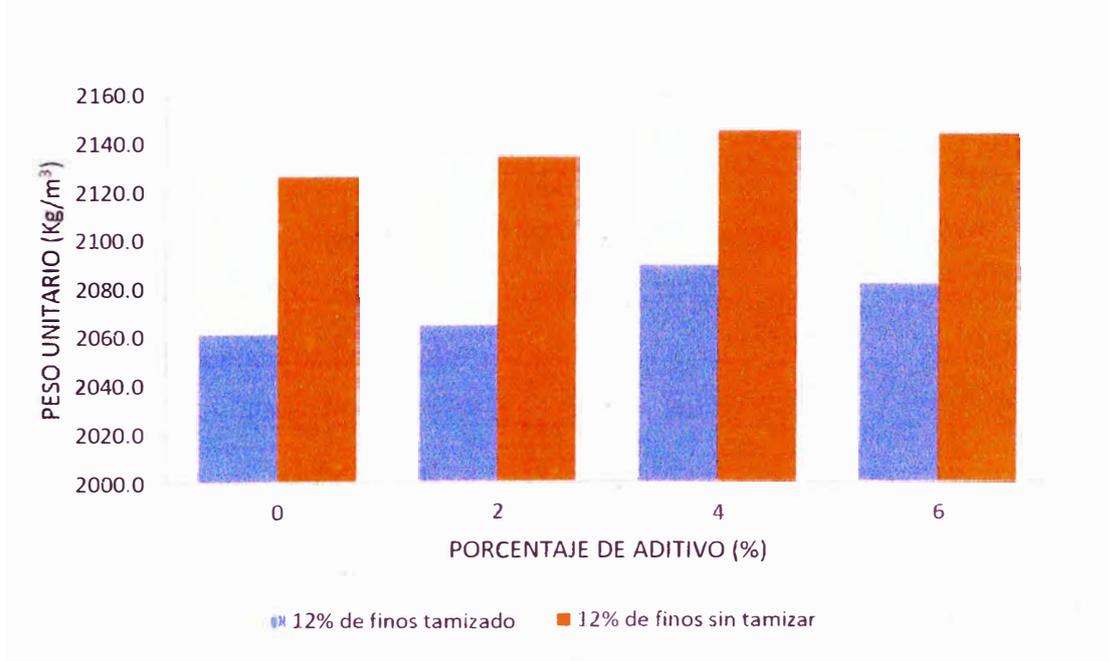


Figura 5. Pesos Unitarios en morteros con 12% de finos, tamizada y sin tamizar

- El peso unitario de las mezclas de mortero se incrementa, a medida que se incrementa el porcentaje de finos.
- En el Cuadro 18, se observa que el Peso Unitario se incrementa en los morteros que poseen desde 2% hasta 12% de finos en la arena, para luego

disminuir al usar 15% de finos. El mismo comportamiento se da en morteros con diferentes porcentajes de aditivo expansivo (2%, 4% y 6% en peso del cemento). Esto se dio debido a que a medida que se incrementa el porcentaje de finos, se tiende a rellenar en mayor proporción los espacios vacíos, aumentando de esta manera el peso. Luego de un óptimo llenado de los vacíos, un mayor porcentaje de finos genera un aumento en el volumen de la mezcla. Véase también la Figura 4.

- En el Cuadro 19, se observa que el mortero con mayor Peso Unitario se obtiene en morteros elaborados con arena con 12% de finos (aumenta 1.5% en promedio respecto a morteros con 2% de finos).
- En el Cuadro 18, se observa que al aumentar el porcentaje de aditivo, el peso unitario tiene un aumento no muy significativo.
- En la Figura 3, se observa que al aumentar el porcentaje de aditivo, el Peso Unitario tiende a aumentar hasta morteros con 4% de aditivo. Luego, en mezclas con 6% de aditivo, disminuye. Este comportamiento se da para todos los porcentaje de finos.
- En la Figura 5, se observa que para mezclas con 12% de finos tamizado, hay una reducción en el Peso Unitario, respecto a mezclas con 12% de finos sin tamizar, ya que la arena tamizada posee menor Peso Unitario Suelto respecto a la arena sin tamizar.

### 6.1.2 Ensayo de exudación

Se muestra la tabla a continuación:

Cuadro 20. Resultados de los ensayos de exudación (%).

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0	2	4	6
2	4.9	7.1	4.6	2.3
5	3.6	4.0	3.1	1.6
8	3.0	2.4	1.5	1.2
12	1.8	1.7	1.0	1.0
15	1.9	1.6	1.0	1.0
12_TAMIZADO	2.2	2.1	1.2	1.0

Cuadro 21. Variación porcentual de la exudación (%) según el porcentaje de aditivo.

PORCENTAJE DE ADITIVO (%)	TIPO DE ARENA	2%	5%	8%	12%	15%
		0	Exudación (%)	4.9	3.6	3.0
	Variación (%)	<b>100%</b>	<b>73.0%</b>	<b>60.4%</b>	<b>37.1%</b>	<b>40%</b>
2	Exudación (%)	7.1	4.0	2.4	1.7	1.6
	Variación (%)	<b>100%</b>	<b>56.5%</b>	<b>34.1%</b>	<b>23.8%</b>	<b>22.1%</b>
4	Exudación (%)	4.6	3.1	1.5	1.0	1.0
	Variación (%)	<b>100%</b>	<b>67.3%</b>	<b>32.8%</b>	<b>21.5%</b>	<b>21.5%</b>
6	Exudación (%)	2.3	1.6	1.2	1.0	1.0
	Variación (%)	<b>100%</b>	<b>68.4%</b>	<b>54.2%</b>	<b>43.6%</b>	<b>43.6%</b>

Cuadro 22. Variación porcentual de la exudación (%) según el porcentaje de finos de la arena.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0	2	4	6
2	100%	144%	93%	46%
5	100%	111%	85%	43%
8	100%	81%	50%	42%
12	100%	94%	54%	54%
15	100%	79%	52%	51%
12_TAMIZADO	100%	97%	55%	46%

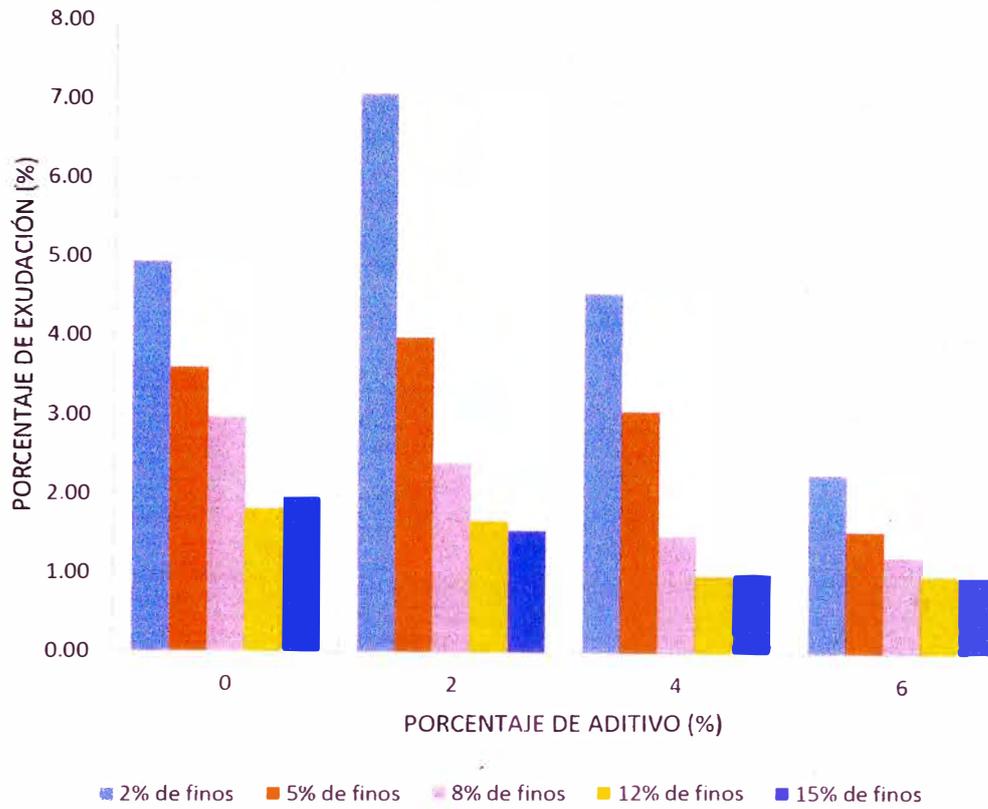


Figura 6. Exudación según el porcentaje de aditivo.

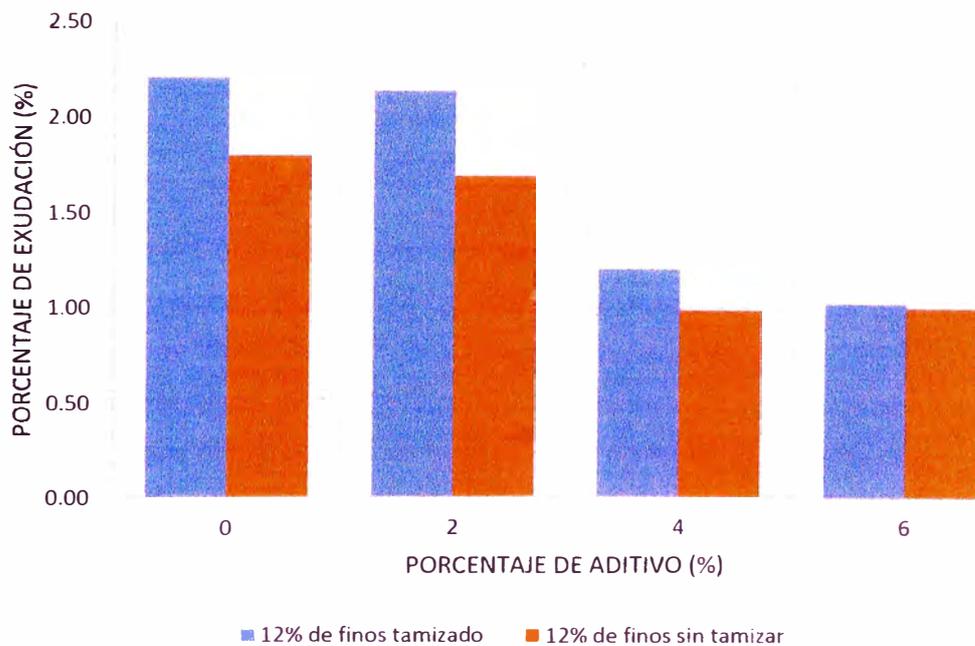
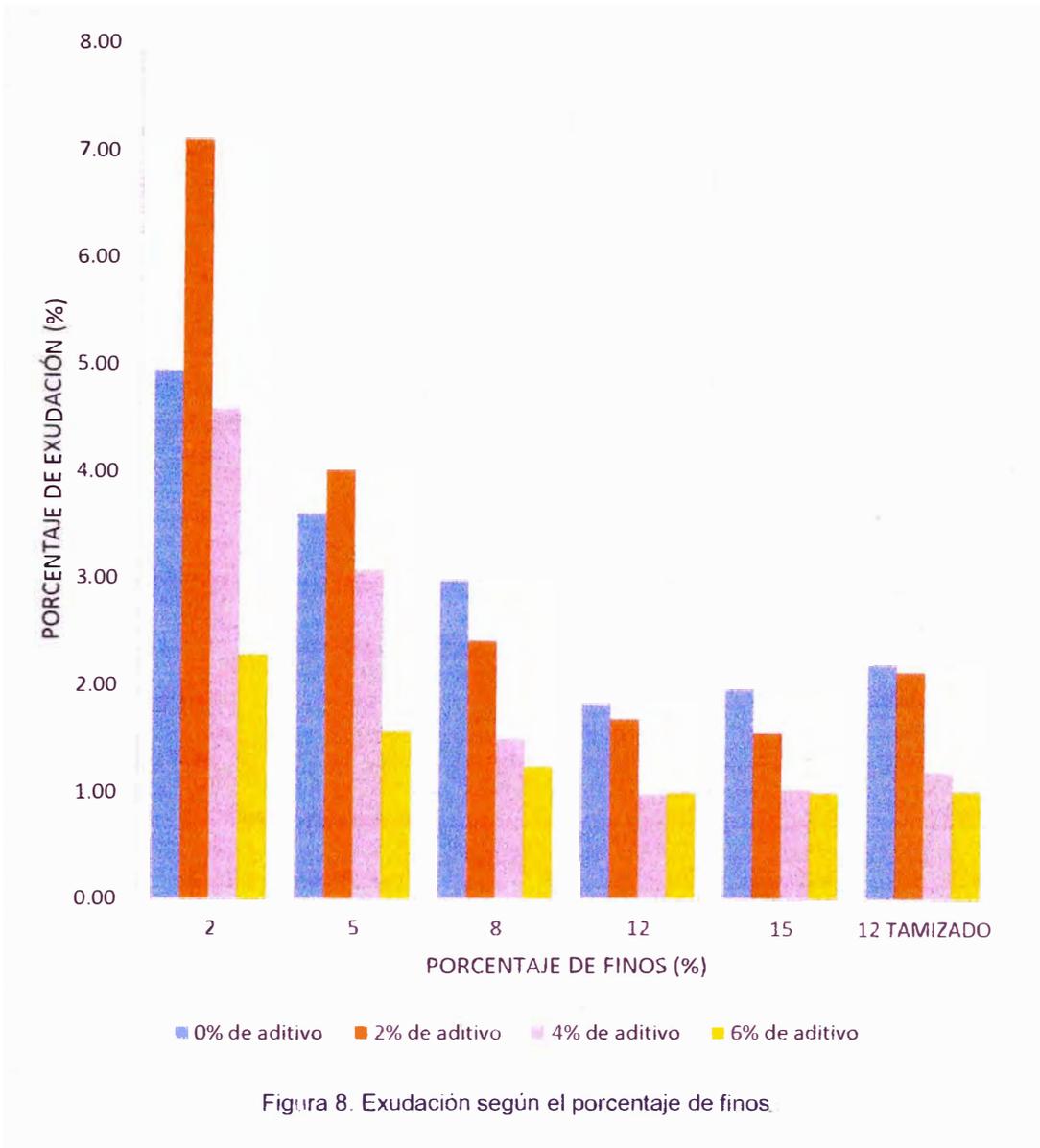


Figura 7. Exudación en morteros con 12% de finos, tamizada y sin tamizar.



- En el Cuadro 21, se observa que la exudación disminuye conforme se aumenta el porcentaje de finos en la arena. La mínima exudación se da en morteros con 15% de finos, llegando a ser hasta 21.5 % respecto al mortero con 2% de finos. Esta disminución de la exudación, se debe a que al ir aumentando el porcentaje de finos de la arena de 2% hasta 15%, se producen mezclas con mayor retención de agua y consecuentemente menor exudación. Véase también la Figura 6.
- En el Cuadro 22, se observa que manteniendo constante el porcentaje de finos en la arena, a medida que aumentaba el porcentaje de aditivo expansivo, el porcentaje de exudación disminuía, llegando a ser como

mínimo 42% respecto al mortero sin aditivo. Véase también la Figura 8.

- Del Cuadro 21, se observa que en morteros hasta con 5% de finos y 2% de aditivo en peso del cemento, la reducción en la exudación es nula. Para morteros con este porcentaje de finos, se requiere utilizar un porcentaje de aditivo a partir del 4%, para lograr una reducción en la exudación. Véase también la Figura 8.
- En la Figura 7, se observa que para el caso de mezclas con arena tamizada, el porcentaje de exudación tiende a aumentar siendo hasta 30% mayor, respecto a las mezclas con arena sin tamizar.

### 6.1.3 Análisis de los resultados del ensayo de expansión.

Cuadro 23. Resultados del ensayo de expansión.

PORCENTAJE DE FINOS (%)		PORCENTAJE DE ADITIVO (%)			
		0	2	4	6
2	Deformación (mm)	-2.9	-0.4	2.6	5.2
	<b>Expansión (%)</b>	<b>0%</b>	<b>0%</b>	<b>1.6%</b>	<b>3%</b>
5	Deformación (mm)	-2.1	0.08	3.0	5.0
	<b>Expansión (%)</b>	<b>0%</b>	<b>0.05%</b>	<b>1.8%</b>	<b>3%</b>
8	Deformación (mm)	-1.9	0.15	3.3	5.0
	<b>Expansión (%)</b>	<b>0%</b>	<b>0.09%</b>	<b>2.0%</b>	<b>3.1%</b>
12	Deformación (mm)	-1.4	0.11	2.9	6.5
	<b>Expansión (%)</b>	<b>0%</b>	<b>0.07%</b>	<b>1.8%</b>	<b>4%</b>
15	Deformación (mm)	-1.9	0.12	3.0	5.5
	<b>Expansión (%)</b>	<b>0%</b>	<b>0.07%</b>	<b>1.8%</b>	<b>3.2%</b>
12 TAMIZADO	Deformación (mm)	-0.6	0.8	3.0	5.0
	<b>Expansión (%)</b>	<b>0%</b>	<b>0.37%</b>	<b>1.8%</b>	<b>3%</b>

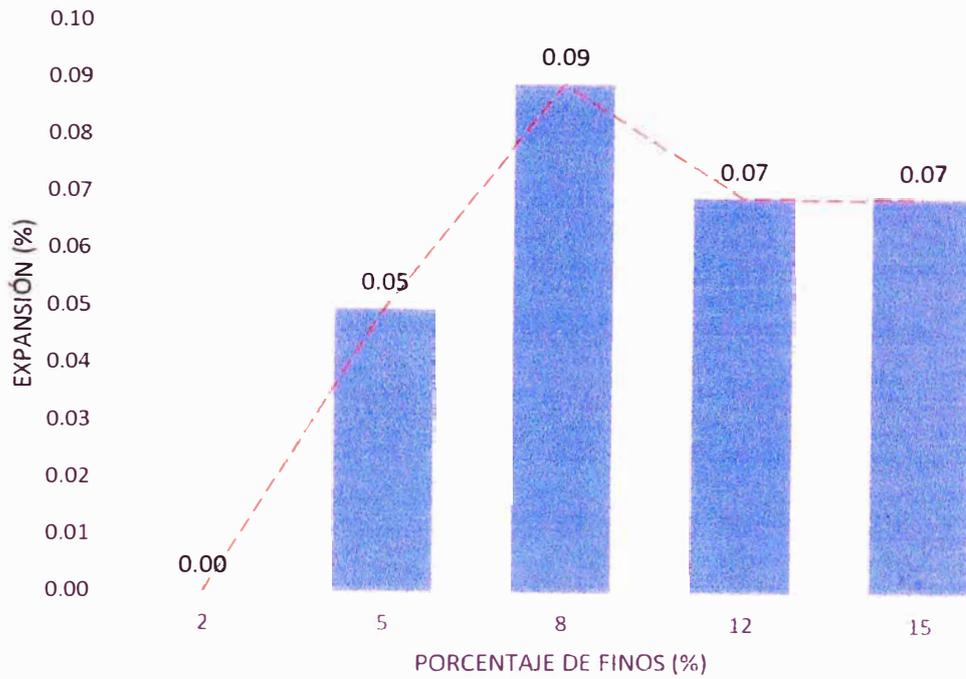


Figura 9. Variación del volumen (%) para mezclas con 2% de aditivo.

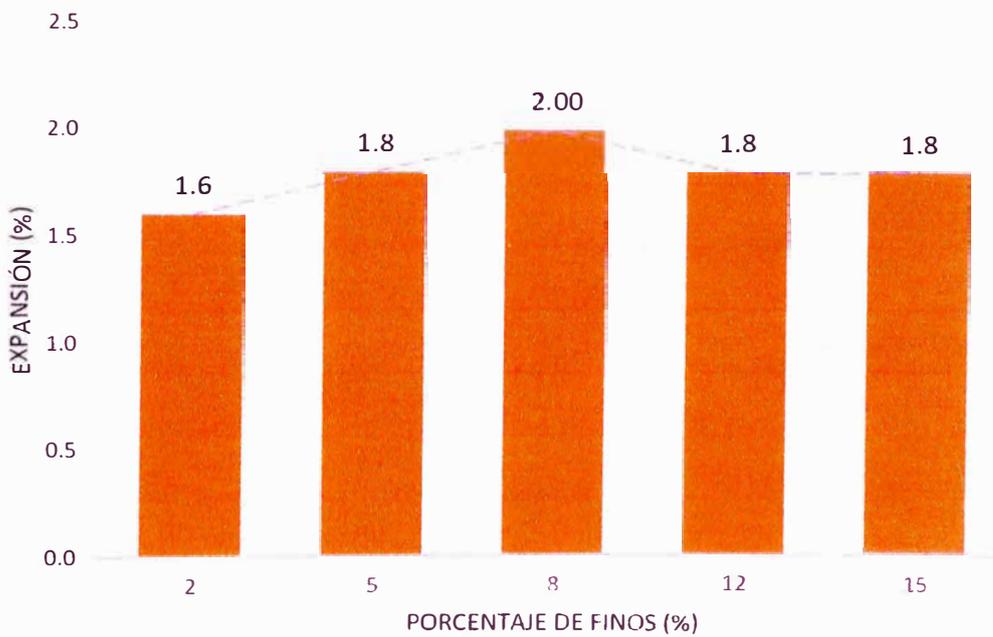


Figura 10. Variación del volumen (%) para mezclas con 4% de aditivo.

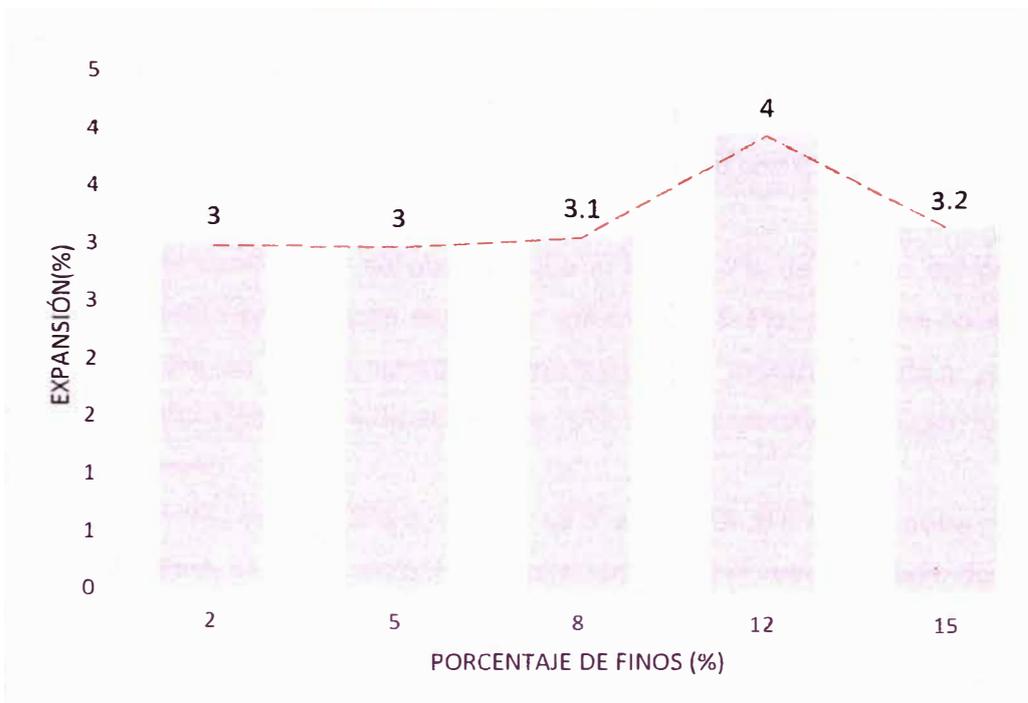


Figura 11. Variación del volumen (%) para mezclas con 6% de aditivo.

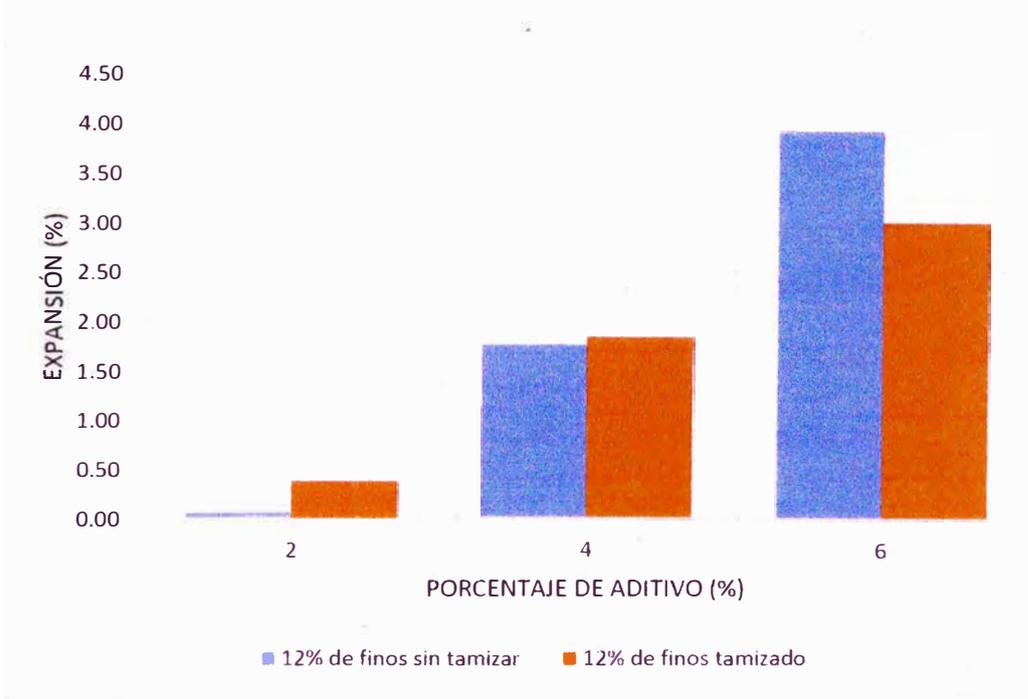


Figura 12. Variación del volumen (%) en morteros con 12% de finos, tamizado y sin tamizar.

- En el Cuadro 23, se observa que al aumentar el porcentaje de aditivo, el volumen tiende a aumentar, para todos los porcentajes de finos.
- En el Cuadro 23, se observa que en morteros hasta con 4% de aditivo, al aumentar el porcentaje de finos de 2% hasta 8%, la expansión aumenta, luego disminuye.

- En morteros con 2% y 4% de aditivo, se obtiene mayor porcentaje de expansión al usar 8% de finos. En estos dos casos, la expansión se incrementa en 36% y 23%, respecto al mortero con 2% de finos. Véase las Figuras 9 y 10.
- En el Cuadro 23, se observa que al utilizar 2% de aditivo del peso del cemento se tuvo una expansión máxima de 0.1%; para una dosificación del 4% de aditivo, se obtuvo una expansión máxima de 2% y para una dosificación del 6% de aditivo, se obtuvo una expansión máxima de 4% del volumen.
- Para mezclas con 6% de aditivo, se observa que al emplear arena con 12% de finos, se da un incremento considerable en el volumen llegando a tener una expansión de 4%. Véase la Figura 11.
- En el Cuadro 23, se observa que en mezclas hasta con 2% de finos, al usar una baja proporción de aditivo (2% del peso del cemento) se contrarresta la contracción del mortero pero su volumen inicial no llega a aumentar.
- En la Figura 12, se observa que en el caso de mezclas con arena tamizada, se observó que al usar 2% y 4% de aditivo expansivo, la expansión es mayor, respecto a la mezcla con arena sin tamizar.

## 6.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EN EL MORTERO ENDURECIDO.

### 6.2.1 Resistencia a la compresión del mortero

Cuadro 24. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (Kg/cm<sup>2</sup>) a los 7 días.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0	2	4	6
2	203.6	203.3	203.0	199.2
5	202.6	194.1	175.1	174.1
8	178.2	187.5	164.3	143
12	174.1	181.4	164.1	158.3
15	162.5	166.7	142.7	129.8
12 TAMIZADO	148.5	155.7	133.1	133.1

Cuadro 25. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (Kg/cm<sup>2</sup>) a los 14 días.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DE CEMENTO			
	0	2	4	6
2	248.7	242.2	223.0	223.0
5	230.0	209.6	202.0	188.3
8	228.9	201.2	181.1	162.3
12	198.9	199.5	170.3	163.5
15	177.3	178.7	155.4	143.5
12 TAMIZADO	164.4	174.1	149.3	148.6

Cuadro 26. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión promedio (Kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DE CEMENTO			
	0	2	4	6
2	293.9	267.5	266.5	233.7
5	263.1	250.0	242.9	224.4
8	237.9	245.9	207.5	193.3
12	204.5	229.6	185.2	185.2
15	190.4	204.0	179.7	179.4
12 TAMIZADO	177.4	208.7	163.9	161.6

Cuadro 27. Variación porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días, según el porcentaje de finos.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0	2	4	6
2	100	91%	91%	80%
5	100	95%	92%	85%
8	100	103%	87%	81%
12	100	112%	91%	91%
15	100	107%	94%	94%
12 TAMIZADO	100	118%	92%	91%

Cuadro 28. Variación porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días, según el porcentaje de aditivo.

PORCENTAJE DE ADITIVO (%)	PORCENTAJE DE FINOS (%)				
	2	5	8	12	15
0	100%	90%	81%	70%	65%
2	100%	93%	92%	86%	76%
4	100%	91%	78%	69%	67%
6	100%	96%	83%	80%	77%

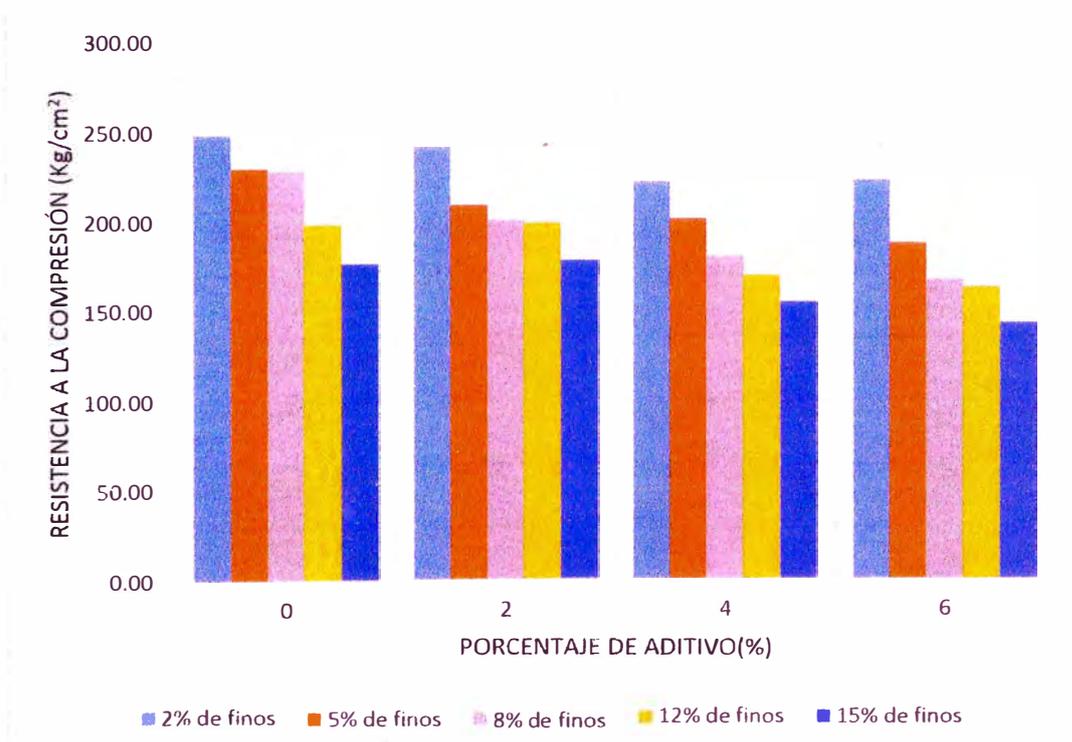


Figura 13. Resistencia a la compresión a los 14 días según el porcentaje de aditivo.

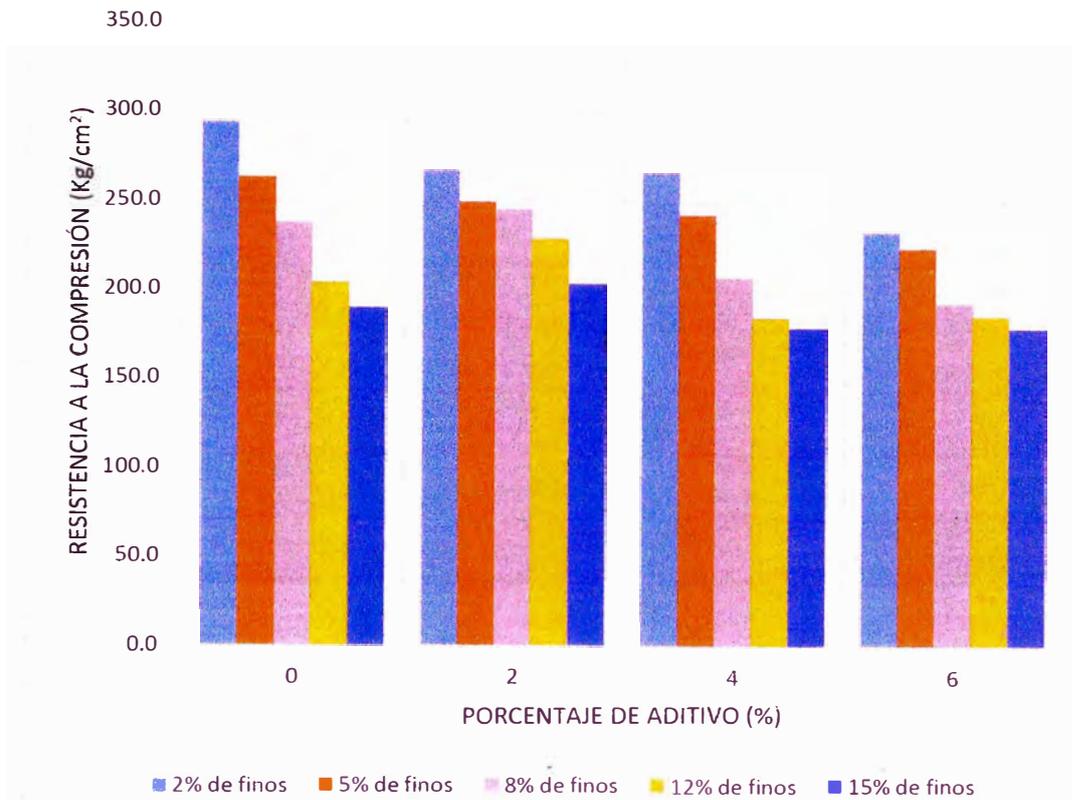


Figura 14. Resistencia a la compresión a los 28 días según el porcentaje de aditivo.

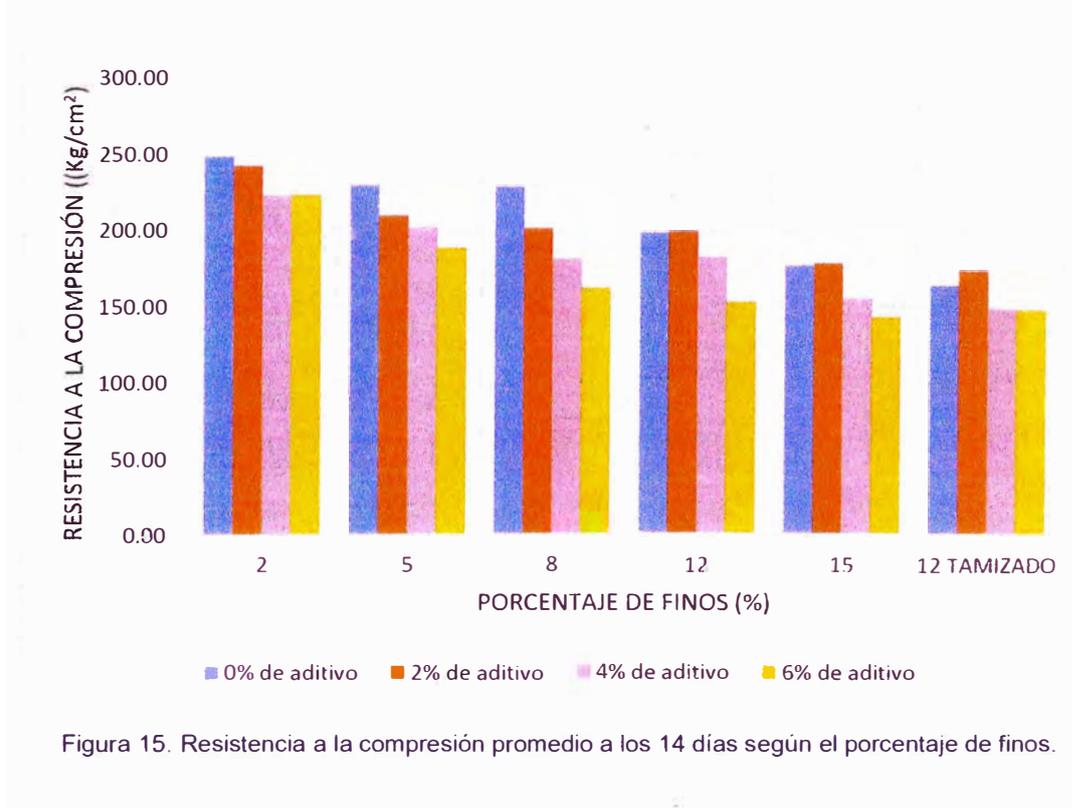


Figura 15. Resistencia a la compresión promedio a los 14 días según el porcentaje de finos.

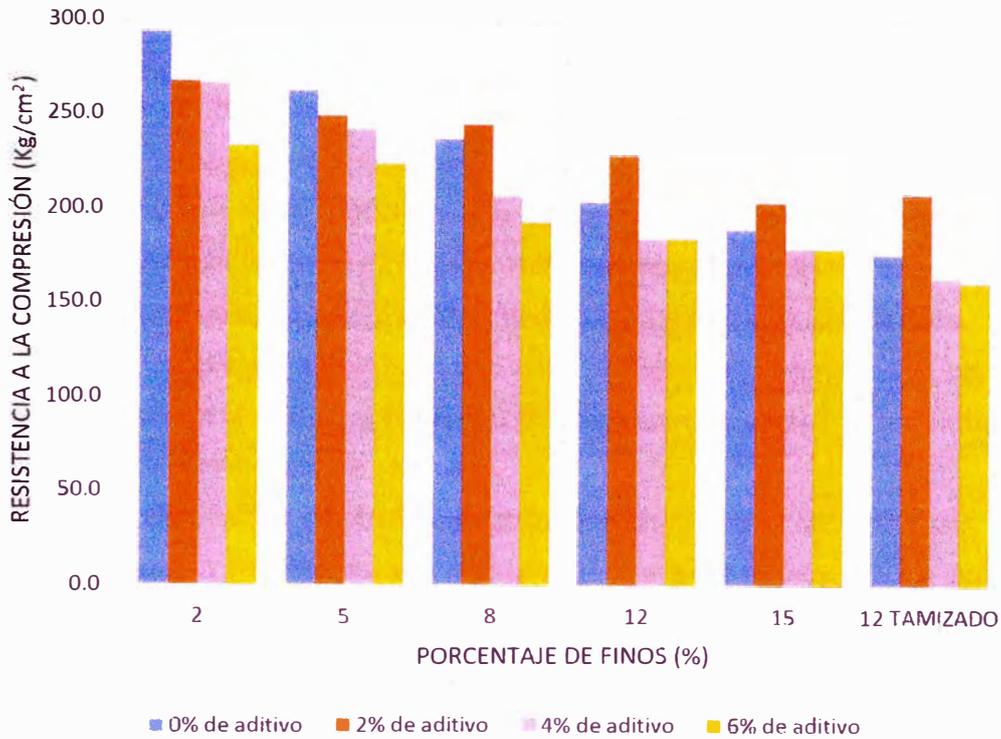


Figura 16. Resistencia a la compresión promedio a los 28 días según el porcentaje de finos.

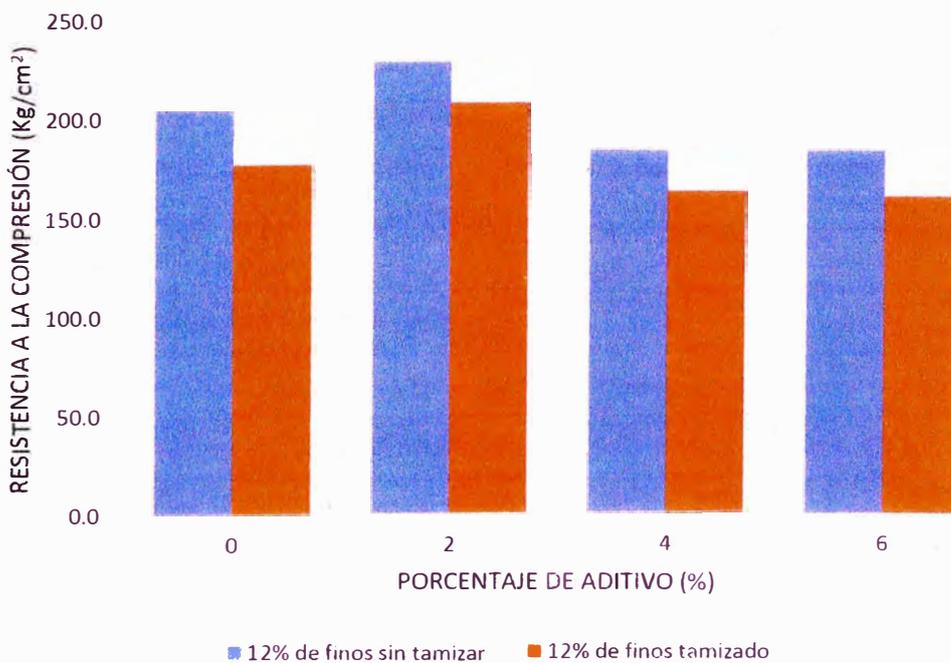


Figura 17. Resistencia a la compresión a los 28 días para morteros con 12% de finos, tamizada y sin tamizar.

- En el Cuadro 24, Cuadro 25 y Cuadro 26, se observa que la resistencia a la compresión del mortero va disminuyendo conforme aumenta el

porcentaje de finos en la arena, debido a la mayor cantidad de agua de amasado necesaria para mantener la fluidez dentro del rango deseado. Véase también Figura 13, Figura 14 y Figura 15.

- En el Cuadro 28, se observa que para morteros con 5% de finos hay una disminución de la resistencia a la compresión de hasta 10%, para 8% de finos disminuye hasta 22%, para 12% disminuye hasta 31% y para 15% de finos hay una reducción de 35% respecto al mortero con 2% de finos.
- En el Cuadro 27, se observa que a los 28 días, en morteros hasta con 5% de finos en la arena, al aumentar el porcentaje de aditivo, la resistencia a la compresión tiende a reducirse.
- En el Cuadro 27, se observa también que en morteros con 8% hasta 15% de finos, la resistencia a la compresión aumenta al usar 2% de aditivo. Luego, al aumentar el contenido de aditivo, la resistencia a la compresión tiende a disminuir.

En morteros con 8% de finos y 2% de aditivo, se da un aumento de 3% respecto al mortero sin aditivo. En morteros con 12% de finos y 2% de aditivo, se incrementa en un 12%, siendo este el incremento máximo. En morteros con 15% de finos y 2% de aditivo, se da un incremento del 7% respecto al mortero sin aditivo. Véase también la Figura 16.

- En la figura 17, se observa que en mezclas con arena tamizada, la resistencia a la compresión se reduce y llega a ser hasta 13% menor respecto al mortero con arena sin tamizar.

## 6.2.2 Resistencia a la tracción del mortero

Cuadro 29. Resultados del ensayo de resistencia a la tracción promedio (Kg/cm<sup>2</sup>) a los 7 días.

PÓRCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0%	2%	4%	6%
2	19	19	22	18
5	21	21	21	19
8	22	20	18	18
12	18	17	18	20
15	18	18	18	17
12 TAMIZADO	18	19	17	18

Cuadro 30. Resultados del ensayo de resistencia a la tracción promedio (Kg/cm<sup>2</sup>) a los 14 días.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0	2	4	6
2	20	22	24	18
5	22	23	25	20
8	22	22	21	19
12	20	21	21	21
15	20	20	20	20
12 TAMIZADO	18	20	19	18

Cuadro 31. Resultado del ensayo de resistencia a la tracción promedio (Kg/cm<sup>2</sup>) a los 28 días.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0	2	4	6
2	21	26	24	23
5	23	26	25	24
8	25	25	24	20
12	20	23	23	22
15	20	22	21	20
12 TAMIZADO	18	22	21	21

Cuadro 32. Variación porcentual de la resistencia a la tracción a los 28 días, según el porcentaje de finos.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DE CEMENTO			
	0	2	4	6
2	100%	123%	118%	111%
5	100%	115%	110%	105%
8	100%	101%	95%	80%
12	100%	113%	111%	107%
15	100%	112%	104%	99%
12 TAMIZADO	100%	128%	112%	112%

Cuadro 33. Variación porcentual de la resistencia a la tracción a los 28 días, según el porcentaje de aditivo.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0	2	4	6
2	100%	100%	100%	100%
5	110%	103%	103%	105%
8	121%	100%	98%	87%
12	98%	90%	93%	95%
15	96%	87%	85%	85%
12 TAMIZADO	89%	92%	84%	90%

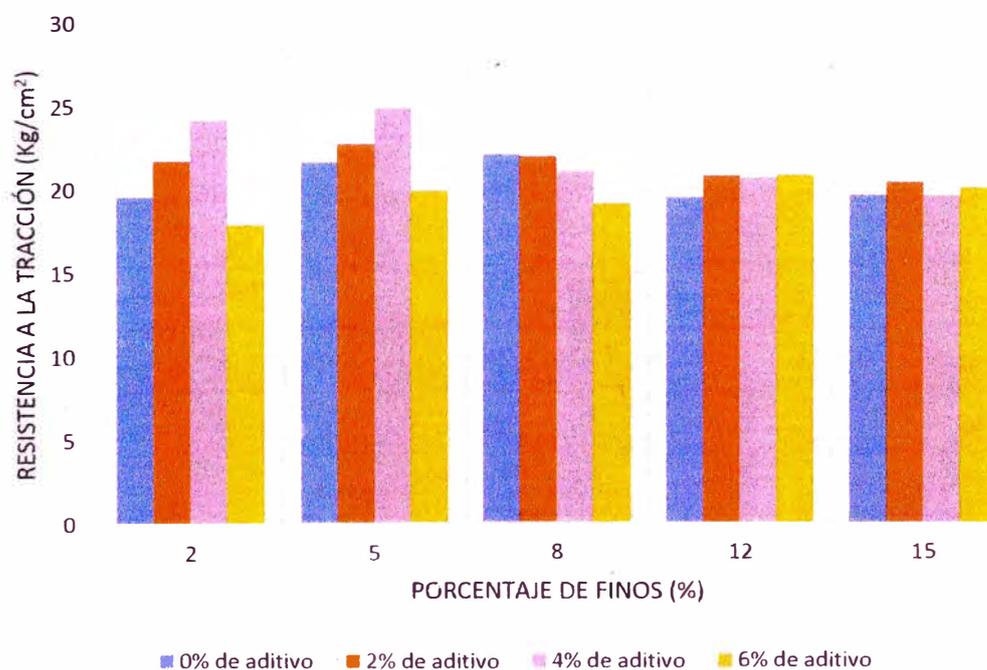


Figura 18. Resistencia a la tracción a los 14 días según el porcentaje de finos.

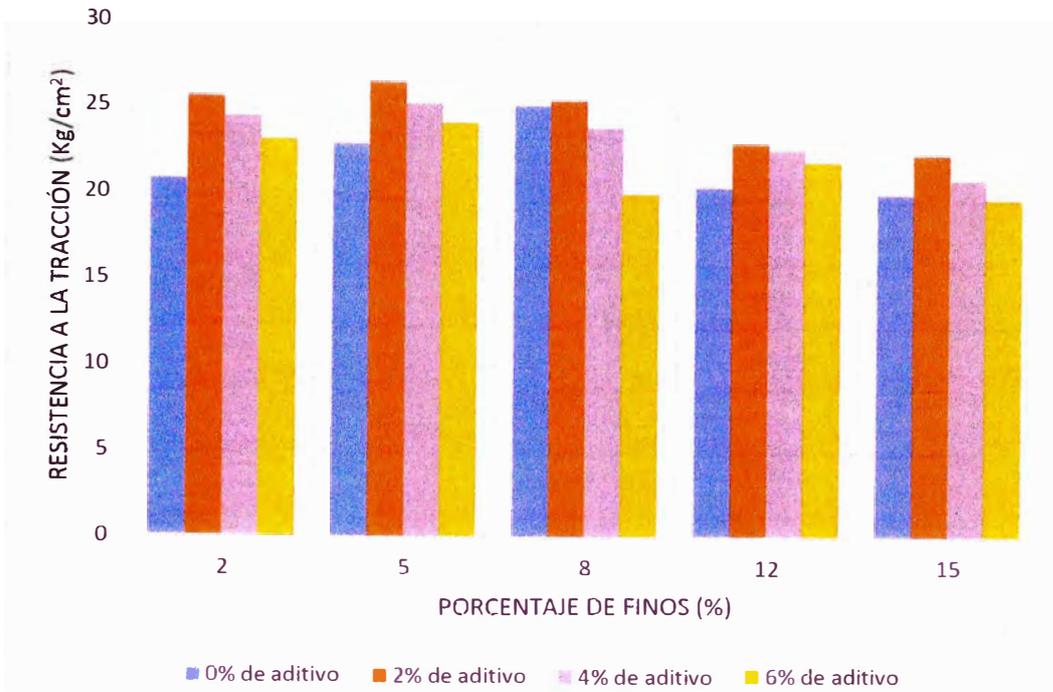


Figura 19. Resistencia a la tracción a los 28 días según el porcentaje de finos.

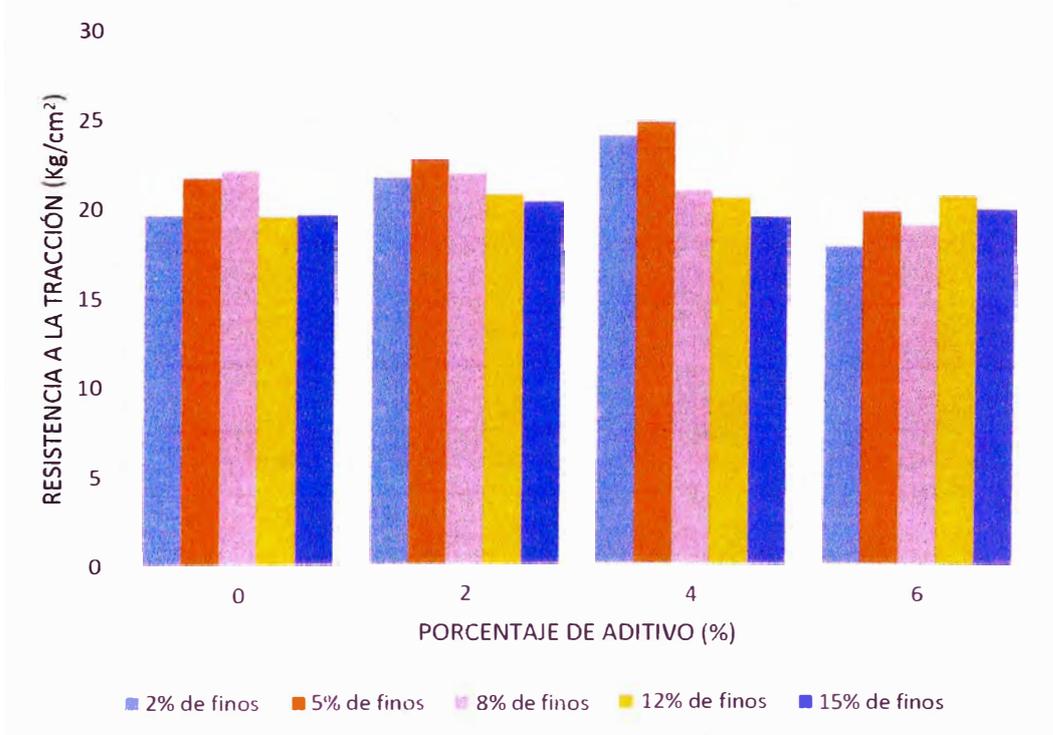


Figura 20. Resistencia a la tracción a los 14 días según el porcentaje de aditivo.

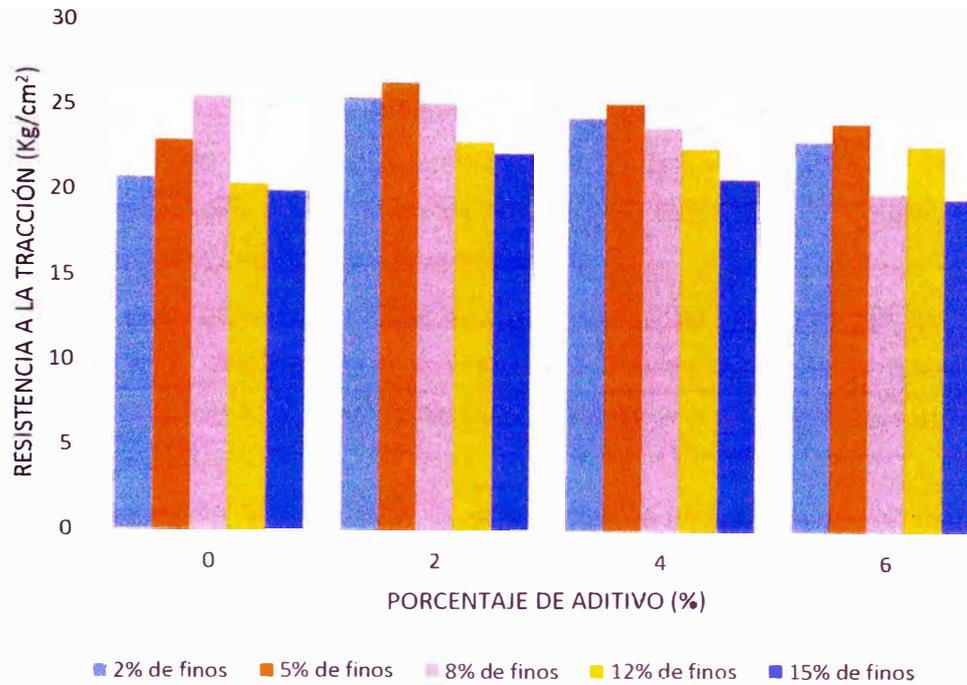


Figura 21. Resistencia a la tracción a los 28 días según el porcentaje de aditivo.

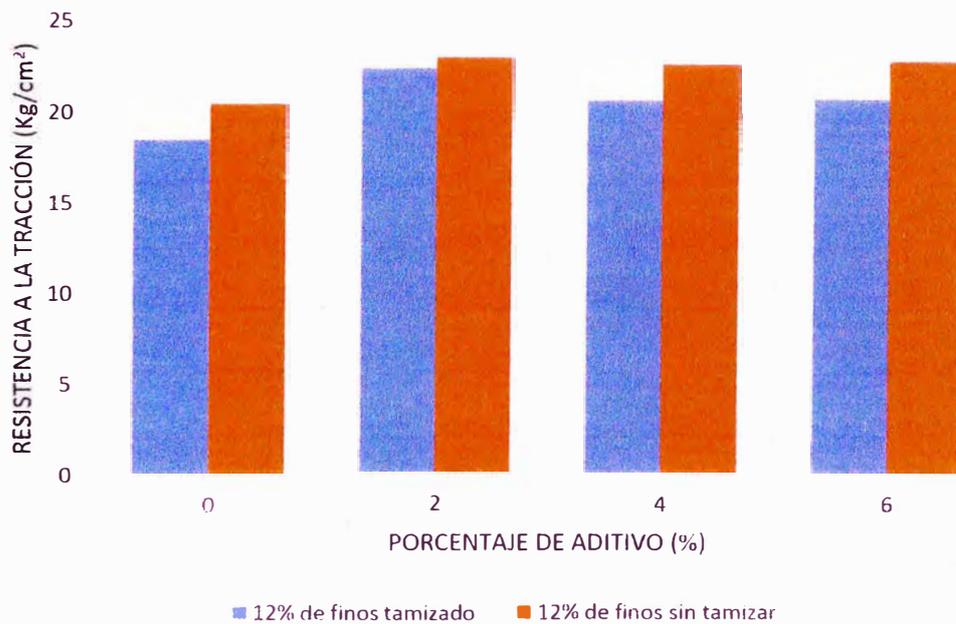


Figura 22. Resistencia a la tracción a los 28 días para morteros con 12% de finos, tamizada y sin tamizar.

- La resistencia a la tracción del mortero como ya se explicó, fue obtenida según las briquetas.
- En el Cuadro 32, se observa que la resistencia a la tracción aumenta, al usar hasta 2% de aditivo en la mezcla. Luego, al usar 4% y 6% de aditivo, la resistencia a la tracción se reduce para todos los porcentajes de finos utilizados. Véase también la Figura 19.
- En el Cuadro 33, se observa que al aumentar el porcentaje de finos en morteros sin aditivo, la resistencia a la tracción aumenta hasta en un máximo de 21% para morteros con 8% de finos, respecto al mortero con 2% de finos.

Para morteros con aditivo, la resistencia a la tracción es mayor en mezclas con 5% de finos, llegando a incrementarse hasta en 5% respecto a los morteros elaborados con 2% de finos. Véase también la Figura 21.

- En la Figura 22, se observa que en mezclas con arena tamizada, la resistencia a la tracción a los 28 días tiende a reducirse siendo hasta 9% menor respecto a las mezclas con arena sin tamizar.
- En el Cuadro 33, se observa que en morteros con aditivo que tengan hasta 8% de finos, la resistencia a la tracción no se reduce significativamente, respecto a los morteros con 2% de finos.

### 6.2.3 Retracción del mortero

Cuadro 34. Resultados del ensayo de retracción promedio.

PORCENTAJE DE FINOS (%)	PORCENTAJE DE ADITIVO EN PESO DEL CEMENTO			
	0	2	4	6
2	0.0061	0.0054	0.0047	0.0046
5	0.0063	0.0056	0.0052	0.0050
8	0.0067	0.0059	0.0046	0.0052
12	0.0075	0.0063	0.0053	0.0051
15	0.0083	0.0078	0.0070	0.0062

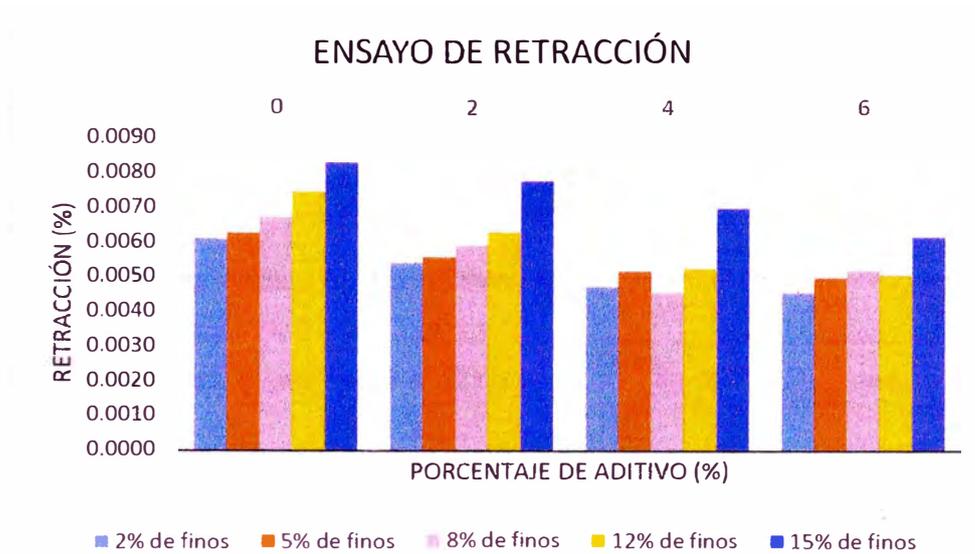


Figura 23. Retracción promedio según el porcentaje de aditivo.

- La cantidad de cemento y la granulometría del agregado fino a utilizar en la mezcla tienen influencia en la retracción del mortero.
- En el cuadro 34, se observa que al usar aditivo expansivo, la retracción tiende a disminuir respecto al mortero sin aditivo obteniéndose la mínima retracción en morteros con 6% de aditivo.
- En el Cuadro 34, se observa también que en morteros sin aditivo, al aumentar el porcentaje de finos, la retracción aumenta. Cuando se usó 5% de finos, la retracción aumentó en un 3% respecto al mortero con 2% de finos, cuando se usó 8% de finos se observó que aumentó en un 10% respecto al mortero con 2% de finos, cuando se usó 12% de finos se observó que aumentó en un 22% respecto al mortero con 2% de finos y al usar 15% de finos se observó que aumentó en un 36% respecto al mortero con 2% de finos. Véase también la Figura 23.

## CONCLUSIONES

### CONSIDERACIONES GENERALES

Todos los diseños fueron realizados utilizando aditivo expansivo Chema-Expand y cemento Portland tipo I.

La dosificación del aditivo, se llevó a cabo en % del peso del cemento, según su especificación técnica.

Todos los diseños de mezcla se dosificaron con el fin de obtener una fluidez de  $110\% \pm 5\%$ .

Para el desarrollo de la presente tesis se utilizó las instalaciones del Laboratorio N°1 de Ensayo de materiales, de la Facultad de Ingeniería Civil, y se llegó a las siguientes conclusiones:

- Para todas las proporciones de aditivo, el peso unitario del mortero se incrementa en la medida que aumenta hasta 12% el contenido de finos, luego se reduce.
- Se determinó que para todas las proporciones de aditivo, la exudación disminuye al aumentar el porcentaje de finos.
- En general, al aumentar el porcentaje de finos en la arena, la resistencia a la compresión del mortero, disminuye.
- En morteros con aditivo hasta con 5% de finos, la resistencia a la tracción aumenta, luego se reduce.
- Para todos los porcentajes de finos, en morteros hasta con 2% de aditivo, la resistencia a la tracción se incrementa; luego a mayor porcentaje de aditivo, tiende a disminuir.
- Se determinó que al aumentar el porcentaje de finos en morteros con aditivo, su expansión era mayor respecto al mortero con 2% de finos.
- En morteros sin aditivo, la resistencia a la tracción fue mayor al usar 8% de finos llegando a incrementarse hasta en 21%.
- En morteros con aditivo, la retracción es menor respecto a morteros sin aditivo llegando a reducirse hasta en 79%.

## RECOMENDACIONES

- Usar proporciones de mezcla con las cuales se obtengan resistencias similares a la estructura a reparar. La dosificación de aditivo no debe exceder el 2%, ya que la resistencia a la compresión tiende a disminuir.
- Se recomienda controlar las proporciones a utilizar en obra, según lo estudiado en la presente tesis. En el caso de estructuras con  $210 \text{ Kg/cm}^2$ , se puede utilizar proporciones de cemento: arena: aditivo hasta 1:3.7: 0.2 en peso, para obtener una resistencia a la compresión de  $230 \text{ kg/cm}^2$  y tracción de  $23 \text{ Kg/cm}^2$ .
- Al realizar el tamizado de la arena por la malla N°8 y comparando ciertas propiedades del mortero fresco y endurecido, se observó que éstas disminuyen respecto a los morteros con arena sin tamizar, siendo este procedimiento no recomendable.
- Utilizar morteros con 8% hasta 12% de finos y 2% de aditivo para obtener morteros con buen porcentaje de expansión, menor exudación y aumento en la resistencia a la compresión.
- Se recomienda realizar ensayos para determinar las dosificaciones a utilizar en obra, ya que los morteros poseen comportamientos distintos, de acuerdo al tipo de arena a utilizar.
- Realizar ciertos procedimientos antes de proceder a resanar, tales como ensanchar las grietas, limpieza de las rajaduras de modo que se tenga una superficie limpia, libre de polvo, grasa, concreto mal adherido u otros agentes externos, para tener un óptimo desempeño del mortero con aditivo expansivo.
- Se recomienda utilizar en donde se necesite una buena colmatación de las grietas y reparaciones de estructuras de concreto dañado (tales como cangrejeras).
- Cuando se diseñan las mezclas con un determinado porcentaje de aditivo, se debe elegir la arena cuidadosamente, ya que un elevado contenido de finos puede generar bajas considerables en las propiedades de mortero en estado endurecido.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alanya, J. (2017). *Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resanes en obras de Ingeniería Civil* (Tesis de pregrado), Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima, Perú.
- Asociación Nacional de fabricantes de morteros (2003), *Guía de Morteros General*, Madrid, España.
- Barrera H., Luna P., Faúndez D. *Estudio de los morteros de junta, según NCh 2256/1, bajo la óptica de la adherencia*, Santiago de Chile, Chile.
- Chema. (2016). *Hoja técnica Chema Expand, expansor para mezclas de cemento*. Lima. Perú.
- Conway T, Behie W. (2006). *Sand Gradation Influence on Masonry Properties*, Portland Cement Association, Estados Unidos.
- Grullón, M. (2004). *Estudio de la fisuración asociada a la retracción en morteros para reparo en estructuras de concreto* (Tesis de maestría), Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo. Brazil.
- Mangin N., Molina M. (2009). *Aditivos y fibras: Aditivo expansor para morteros y hormigones*, Argentina.
- Martínez, L. & Torres, M. (2013). *Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón*. Consultado el 25 de Noviembre, de <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/4728446.pdf>.
- Mercado, R. (1998). *Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resane* (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima. Perú.

Meza, F. (2004). *Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento, con adición de cal aérea* (Tesis de pregrado), Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima, Perú.

Rivera G. (2011). *Concreto simple: Aditivo para mortero y concreto*, Colombia.

Steopoe A. (1998). *Influencia del árido sobre la Resistencia de los hormigones*, Revue des Matériaux de Construction, España, 116-118.

Tovar, A. (1997). *Ensayos exploratorios para determinar la influencia del material más fino que la malla nº 100 en la resistencia mecánica de concretos de alta resistencia* (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.

Vargas, J. (1994). *Influencia del material más fino que la malla N° 100 en las propiedades del mortero usado en albañilería* (Tesis de pregrado). Facultad de Ingeniería Civil, UNI, Lima.

## ANEXOS

### Anexo 1

Cuadro 35. Resultados del análisis granulométrico de arena normal.

Malla ASTM	Material Retenido		% Peso Retenido Acumulado	% Peso que pasa
	Peso Promedio	% Peso Retenido		
N°4	22.3	3.71	3.7	96.3
N°8	156.6	26.11	29.8	70.2
N°16	164.8	27.46	57.3	42.7
N°30	100.2	16.70	74.0	26.0
N°50	70.2	11.69	85.7	14.3
N°100	43.2	7.21	92.87	7.1
Bandeja	42.7	7.12	100	0
Total	600	100		

Módulo de finura: 3.43

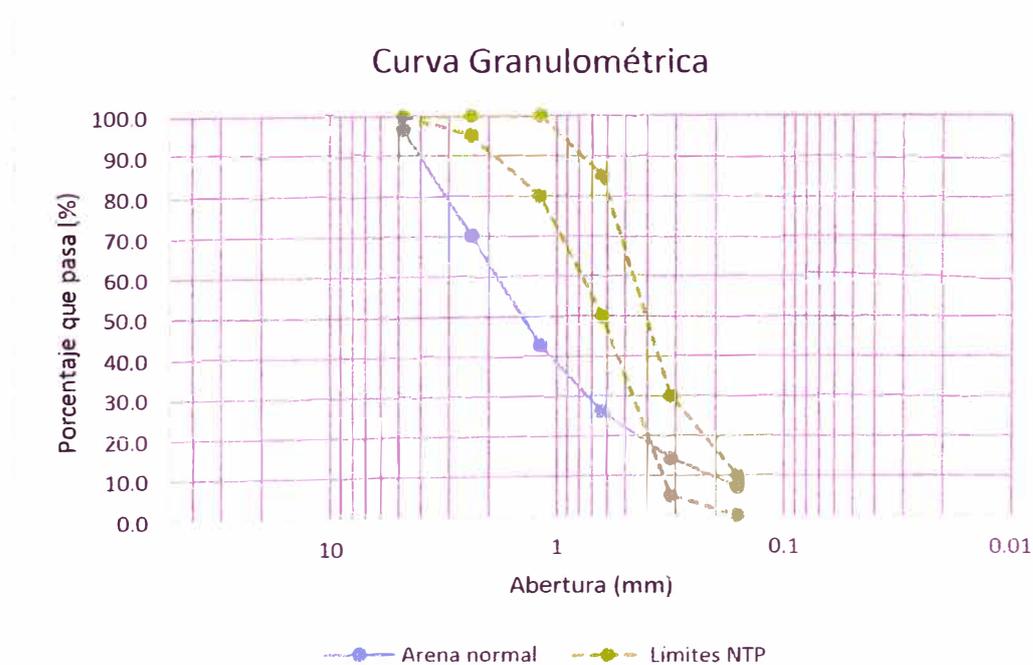


Figura 24. Curva Granulométrica de la arena normal

Análisis granulométrico para la arena tamizada por la malla N°50.

Cuadro 36. Resultados del análisis granulométrico de arena que pasa malla N°50.

Malla ASTM	Material Retenido		% Peso Retenido Acumulado	% Peso que pasa
	Peso Promedio	% Peso Retenido		
N°4	0	0	0	100
N°8	0	0	0	100
N°16	0	0	0	100
N°30	0	0	0	100
N°50	1.6	0.2	0.3	99.7
N°100	286.4	47.7	48	52.0
Bandeja	312.0	51.9	100	0
Total	600	100		

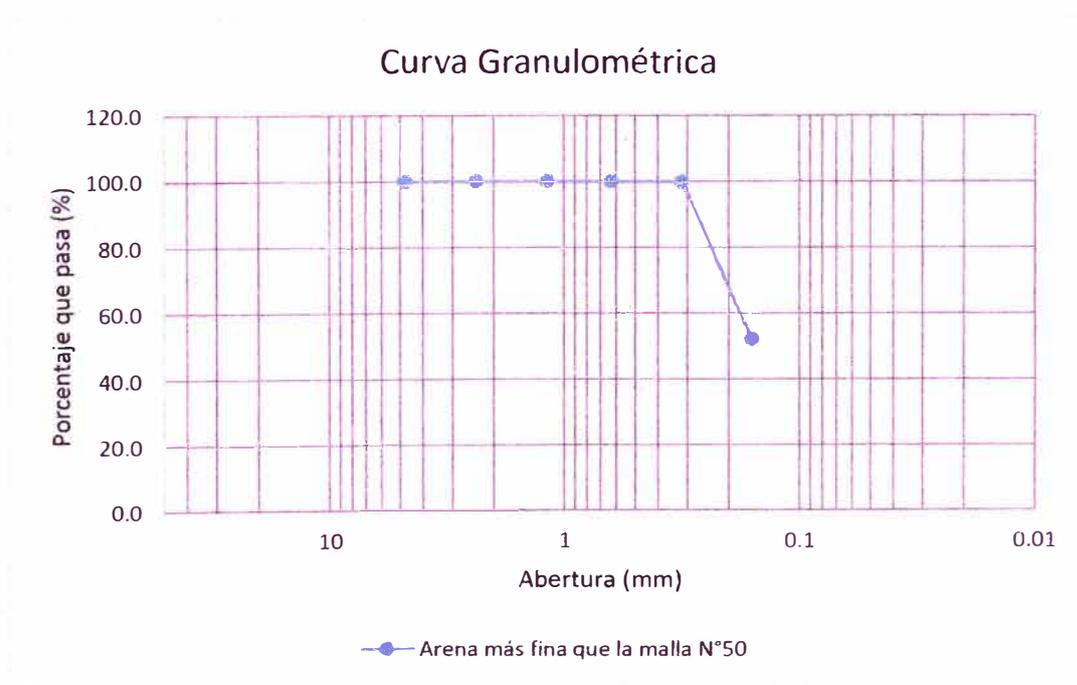


Figura 25. Curva Granulométrica de la arena que pasa la malla N°50

Cuadro 37. Resultados del análisis granulométrico de arena retenida en malla N°50.

Malla ASTM	Material Retenido		% Peso Retenido Acumulado	% Peso que pasa
	Peso Promedio	% Peso Retenido		
N°4	14.9	2.48	2.5	97.5
N°8	161.6	26.94	29.4	70.6
N°16	181.7	30.29	59.7	40.3
N°30	131.1	21.85	81.6	18.4
N°50	102.5	17.08	98.6	1.4
N°100	4.5	0.74	99.4	0.6
Bandeja	3.7	0.61	100	0
Total	600	100		

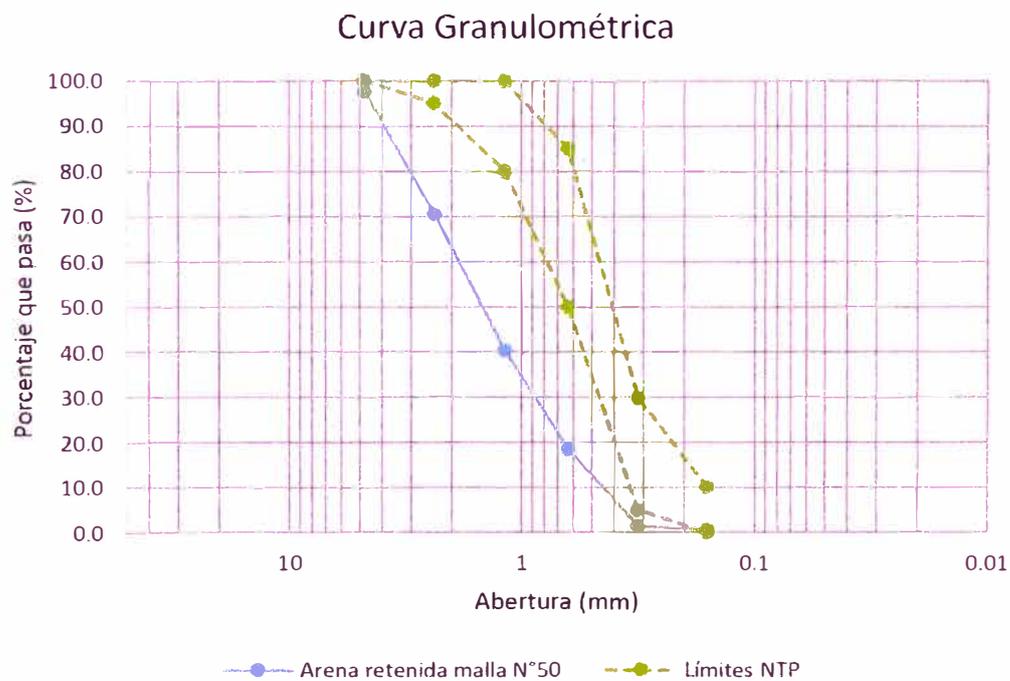


Figura 26. Curva Granulométrica de la arena retenida en malla N°50.

Análisis granulométricos para arenas con diferentes porcentajes de finos que pasa la malla N°100.

**Agregado con 2% de finos que pasa la malla N°100.**

Cuadro 38. Resultados del análisis granulométrico de arena con 2% de finos.

Malla ASTM	Material Retenido		% Peso Retenido Acumulado	% Peso que pasa
	Peso Promedio	% Peso Retenido		
N°4	20.4	3.39	3.4	96.6
N°8	168.8	28.13	31.5	68.5
N°16	191.0	31.83	63.4	36.6
N°30	118.6	19.76	83.1	16.9
N°50	77.2	12.86	96.0	4.0
N°100	12.9	2.14	98	2
Bandeja	11.3	1.88	100	0
Total	600	100		

Módulo de finura: 3.75

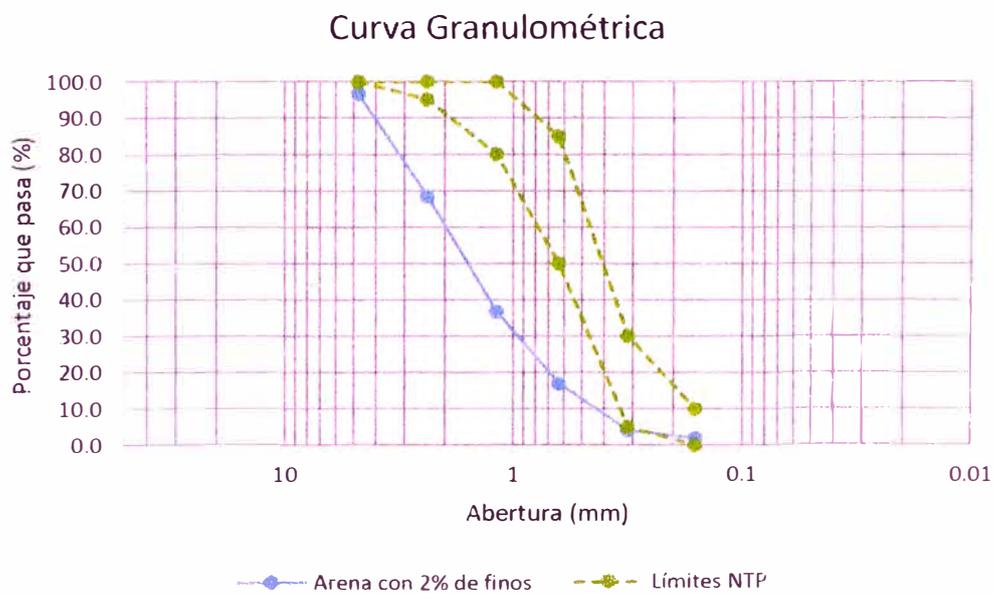


Figura 27. Curva Granulométrica de la arena con 2% de finos.

**Agregado con 5% de finos que pasa la malla N°100**

Cuadro 39. Resultados del análisis granulométrico de arena con 5% de finos.

Malla ASTM	Material Retenido		% Peso Retenido Acumulado	% Peso que pasa
	Peso Promedio	% Peso Retenido		
N°4	21.9	3.64	3.6	96.4
N°8	168.5	28.08	31.7	68.3
N°16	175.9	29.31	61.0	39.0
N°30	105.1	17.52	78.6	21.4
N°50	72.8	12.13	90.7	9.3
N°100	26.7	4.46	95.1	5
Bandeja	29.1	4.86	100	0
Total	600	100		

Módulo de finura: 3.61

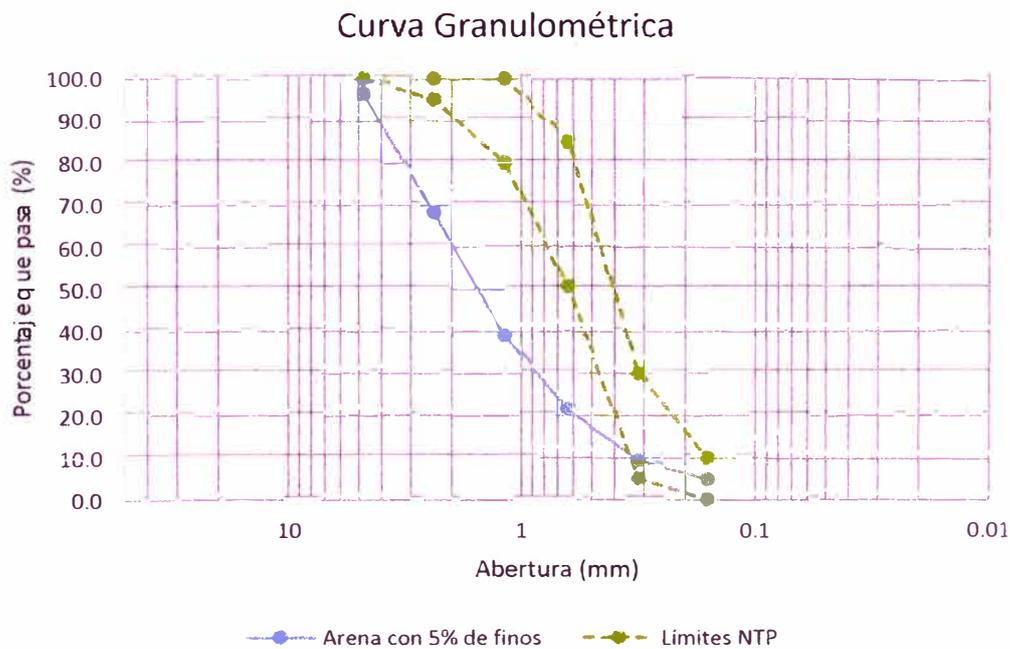


Figura 28. Curva Granulométrica de la arena con 5% de finos.

### Agregado con 8% de finos que pasa la malla N°100

Cuadro 40. Resultados del análisis granulométrico de arena con 8% de finos.

Malla ASTM	Material Retenido		% Peso Retenido Acumulado	% Peso que pasa
	Peso Promedio	% Peso Retenido		
N°4	18.7	3.11	3.1	96.9
N°8	148.2	24.70	27.8	72.2
N°16	167.7	27.95	55.8	44.2
N°30	102.0	16.99	72.8	27.2
N°50	70.1	11.69	84.4	15.6
N°100	45.1	7.51	92.0	8.0
Bandeja	48.3	8.04	100	0
Total	600	100		

Módulo de finura: 3.36

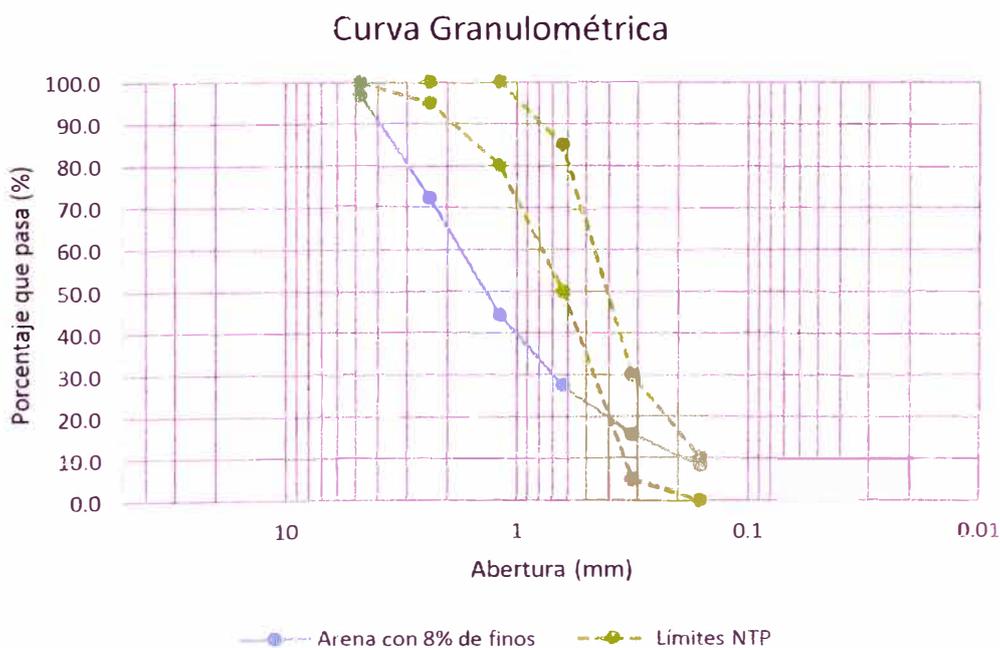


Figura 29. Curva Granulométrica de la arena con 8% de finos.



### Agregado con 15% de finos que pasa la malla N°100

Cuadro 42. Resultados del análisis granulométrico de arena con 15% de finos.

Malla ASTM	Material Retenido		% Peso Retenido Acumulado	% Peso que pasa
	Peso Promedio	% Peso Retenido		
N°4	14.7	2.44	2.4	97.6
N°8	117.3	19.55	22.0	78.0
N°16	141.3	23.55	45.5	54.5
N°30	90.9	15.16	60.7	39.3
N°50	67.6	11.26	72.0	28.0
N°100	77.7	12.96	84.9	15.0
Bandeja	90.5	15.08	100	0
Total	600	100		

Módulo de finura: 2.88

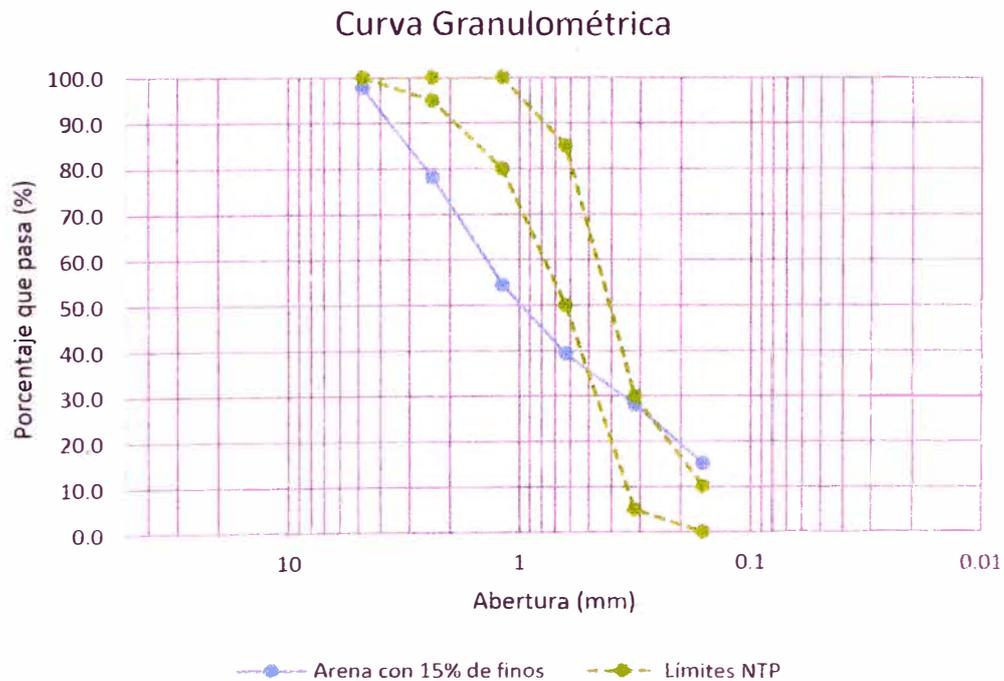


Figura 31. Curva Granulométrica de la arena con 15% de finos.

### Arena con 12% de finos tamizado por malla N°8

Cuadro 43. Resultados del análisis granulométrico de arena con 12% de finos tamizado.

Malla ASTM	Material Retenido		% Peso Retenido Acumulado	% Peso que pasa
	Peso Promedio	% Peso Retenido		
N°4	0.0	0.00	0.0	100.0
N°8	1.2	0.20	0.2	99.8
N°16	176.9	29.48	29.7	70.3
N°30	103.9	17.30	47.0	53.0
N°50	167.9	27.97	75.0	25.0
N°100	78.7	13.11	88.1	12
Bandeja	71.6	11.93	100	0
Total	600	100		

Módulo de finura: 2.40

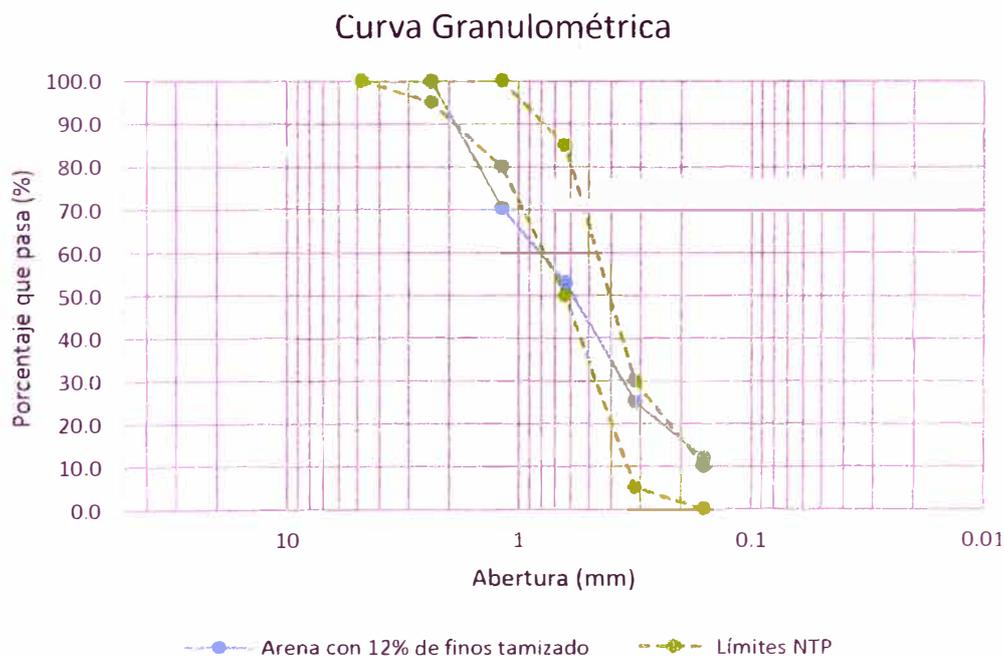


Figura 32. Curva Granulométrica de la arena con 12% de finos tamizada.

## Anexo 2



Figura 33. Tamizado de arena por la malla N°50.



Figura 34. Tamices estándares para análisis granulométrico.



Figura 35. Combinación de arenas para obtener el porcentaje de finos que pasa la malla N°100 requerido.



Figura 36. Máquina de ensayo uniaxial.



Figura 37. Ensayo a la compresión.

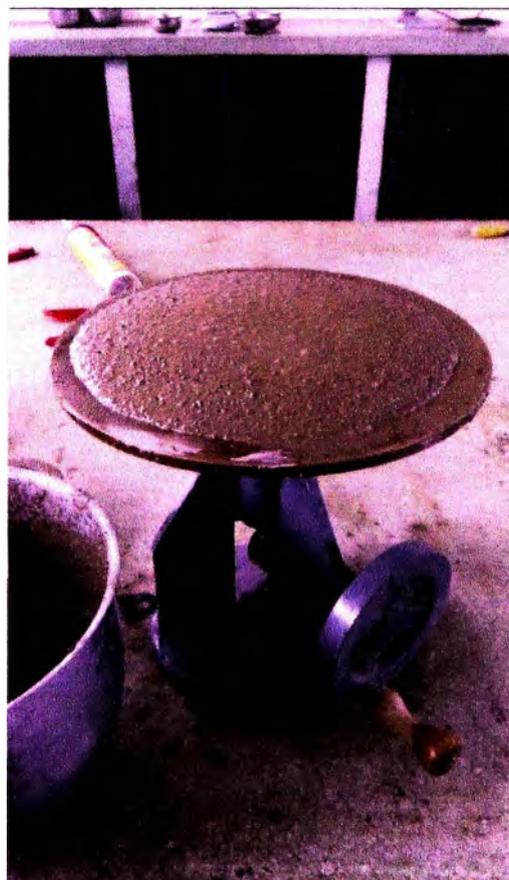


Figura 38. Ensayo de fluidez.



Figura 39. Armado de moldes a utilizar.



Figura 40. Vaciado de mortero en moldes.



Figura 41. Codificación de muestras a ensayar.



Figura 42. Ensayo en retracción.