

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



**TESIS**

**“COMPORTAMIENTO DEL MORTERO CON ADITIVO  
PLASTIFICANTE PARA REPARACIÓN Y CONSERVACIÓN  
DE OBRAS CIVILES”**

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

**ELABORADO POR**

**FRANK PAUL SALAZAR ARAUJO**

**ASESORA**

**MSc. Ing. ISABEL MOROMI NAKATA**

**Lima- Perú**

**2023**

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

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

Salazar Araujo, Frank Paul

[fsalazara@uni.pe](mailto:fsalazara@uni.pe)

947050056

## **DEDICATORIA**

A mi madre Mery Araujo Osorio, por ser fuente inagotable de amor y comprensión.

A mi padre Alfredo Salazar Henostroza, por la confianza y el soporte que me ha brindado a lo largo de mi vida.

A mi tía Elida Araujo Osorio, por la ayuda desinteresada en mi etapa de estudiante universitario.

A mis queridos primos Marco Alvarón Araujo y Ronald Menacho Araujo, con los que compartí años increíbles cuando estudiamos en la UNI. Y me hicieron sentir con el cariño cercano al de hermanos.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios; por la dicha de ver realizada esta meta, por proteger a los míos siempre y por la vida misma.

A mis padres; por el amor, paciencia y apoyo que han tenido conmigo, y que nunca desmayaron en animarme para alcanzar mis sueños.

A mi asesora de tesis; MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata, por la predisposición a orientarme y trasmitirme sus valiosos conocimientos en el campo de la tecnología del concreto.

A mi estimado amigo Jhoe Alanya Veli; por recomendarme a realizar mi tesis en este campo del conocimiento, además de sus consejos y orientaciones.

A mi querida Facultad; que en sus aulas recibí la formación adecuada académicamente como humanística para afrontar los desafíos de la vida.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>1</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE CUADROS .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1 GENERALIDADES.....	15
1.2 PROBLEMÁTICA.....	15
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo General .....	16
1.3.2 Objetivos Específicos.....	17
1.4 HIPÓTESIS.....	17
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO .....</b>	<b>18</b>
2.1 EL MORTERO .....	18
2.1.1 Tipos de morteros .....	18
2.1.1.1 Morteros de cemento .....	18
2.1.1.2 Morteros calcáreos.....	18
2.1.1.3 Morteros de cal y cemento portland .....	19
2.1.2 Propiedades del mortero de cemento Portland .....	19
2.1.2.1 Trabajabilidad .....	19
2.1.2.2 Retención de agua.....	21
2.1.2.3 Fluidez .....	21
2.1.2.4 Adherencia.....	21
2.1.2.5 Retracción.....	21

2.1.2.6	Resistencia a la compresión .....	22
2.1.2.7	Resistencia a la tracción .....	22
2.2	CEMENTO .....	22
2.2.1	Cemento Portland .....	23
2.2.1.1	Propiedades químicas.....	23
2.2.1.2	Propiedades físicas y mecánicas .....	24
2.1.2.3	Tipos de cemento Portland (NTP 334.009) .....	25
2.3	AGREGADO .....	25
2.3.1	Agregado Fino .....	26
2.3.2	Ensayos con arena natural.....	26
2.3.2.1	Granulometría (N.T.P. 400.012) .....	26
2.3.2.2	Módulo de finura (N.T.P. 400.012) .....	26
2.3.2.3	Contenido de humedad (N.T.P. 400.022) .....	27
2.3.2.4	Peso específico (N.T.P. 400.022).....	27
2.3.2.5	Peso unitario (N.T.P. 400.017) .....	28
2.3.2.6	Superficie específica .....	28
2.3.2.7	Contenido de vacíos .....	29
2.3.2.8	Material más fino que el tamiz N°200 (N.T.P. 400.018) .....	29
2.3.2.9	Porcentaje de absorción (N.T.P. 400.022) .....	29
2.4	AGUA.....	30
2.5	ADITIVO .....	30
2.5.1	Definición .....	30
2.5.2	Clasificación.....	31
2.5.3	Aditivo plastificante .....	31
2.5.4	Aditivo expansivo .....	31
	<b>CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLAS.....</b>	<b>32</b>
3.1	GENERALIDADES.....	32
3.2	DISEÑOS DE MEZCLAS PARA MORTEROS DE CEMENTO.....	32

3.2.1	Diseño de mezcla para mortero de cemento sin aditivo .....	32
3.2.2	Diseño de mezcla para mortero de cemento con aditivo plastificante para reparación .....	33
3.3	PROCEDIMIENTO PARA PREPARAR MORTERO DE REPARACIÓN .....	35
3.3.1	Diseño de mezcla para preparar mortero de reparación sin aditivo.....	36
3.3.2	Diseño de mezcla para preparar mortero de reparación con aditivo plastificante 0.8% peso de cemento. ....	38
3.3.3	Diseño de mezcla para preparar mortero de reparación con aditivo plastificante 1% peso de cemento. ....	39
3.3.4	Diseño de mezcla para preparar mortero de reparación con aditivo plastificante 1.2% peso de cemento. ....	40
<b>CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS.....</b>		<b>41</b>
4.1	ENSAYOS DEL MORTERO FRESCO .....	41
4.1.1	Ensayo de fluidez (NTP 334-057) .....	41
4.1.2	Ensayo de peso unitario (ASTM C138) .....	42
4.1.3	Ensayo de exudación (ASTM C232) .....	43
4.2	ENSAYOS DEL MORTERO ENDURECIDO .....	44
4.2.1	Ensayo de resistencia a la compresión (NTP 334.051) .....	44
4.2.2	Ensayo de la resistencia a la tracción (ASTM C190).....	45
4.2.3	<b>Ensayo de la tensión de adherencia (ASTM C1583)</b> .....	46
4.2.4	Ensayo de retracción (NTP 334.165:2007) .....	49
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>		<b>51</b>
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL MORTERO FRESCO .....	52
5.1.1	Peso unitario del mortero con aditivo plastificante.....	52
5.1.2	Comparación del peso unitario del mortero con aditivo plastificante y expansivo .....	53
5.1.3	Fluidez del mortero con aditivo plastificante .....	55

5.1.4	Comparación de la fluidez del mortero con aditivo plastificante y expansivo .....	55
5.1.5	Exudación del mortero con aditivo plastificante.....	57
5.1.6	Comparación de la exudación del mortero con aditivo plastificante y expansivo .....	58
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL MORTERO ENDURECIDO .....	59
5.2.1	Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante .....	59
5.2.2	Resumen de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante.....	62
5.2.3	Comparación de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante y expansivo (28 días).....	64
5.2.4	Resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante .....	65
5.2.5	Resumen de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante.....	67
5.2.6	Comparación de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo (28 días) .....	68
5.2.7	Adherencia del mortero con aditivo plastificante .....	70
5.2.8	Resumen de la adherencia del mortero con aditivo plastificante .....	72
5.2.9	Comparación de la adherencia del mortero con aditivo plastificante y expansivo.....	74
5.2.10	Retracción del mortero con aditivo plastificante .....	76
5.2.11	Comparación de la retracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo .....	78
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>84</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>85</b>



## RESUMEN

En esta investigación, se presenta al mortero con aditivo plastificante como opción para su uso en la reparación y conservación de obras civiles. Las reparaciones a las que se hacen referencia son de carácter no estructural. Para ello, se compara mortero con aditivo plastificante respecto a un mortero patrón (mortero sin aditivo) y con el clásico mortero usado en esa función, que es el mortero con aditivo expansivo. Siendo las principales propiedades para comparar: la retracción y adherencia, las cuales califican a los morteros de reparación y conservación.

Se evidencia que las cualidades que desarrolla el mortero con aditivo plastificante —de naturaleza reductora de agua—, se elevan y se ven reflejadas en la trabajabilidad, resistencia a la compresión y tracción, retracción y adherencia, llegando al punto de superar en muchas de ellas, con creces, a los morteros con aditivo expansivo. Con lo que, es concluyente su uso para la reparación y conservación de obras civiles; e incluso, el aumento en la resistencia mecánica se podría aprovechar para reparar estructuras sometidas a cargas, lo que no se observa en los morteros con aditivo expansivo.

Para el ensayo de adherencia, se aplicará las recomendaciones de la norma ASTM C1583. Así también, debido a que se realiza una comparación con el mortero de reparación con aditivo expansivo de la investigación de Alanya J. (2017), quien se apoya en la norma ISO 13007 losas de cerámico – Grouts (fragua); que básicamente sigue siendo el mismo procedimiento de la norma ASTM. Sólo se tomará en cuenta algunas recomendaciones y modificaciones, para que el ensayo desarrollado tenga las mismas condiciones de comparación.

Finalmente, se sugiere el uso del mortero con aditivo Sika Cem Plastificante (aditivo plastificante de la marca Sika, empleado en la investigación) con 0.8% del peso del cemento como la mejor opción entre todas las analizadas para reparar fisuras, cangrejeras, grietas, etc. Remarcando que esta sugerencia se brinda por las características favorables que presenta en la tensión de adherencia, así como la expansión que desarrolla.

## ABSTRACT

In this research, mortar with a plasticizer additive is presented as an option for its use in the repair and conservation of civil works. The repairs to which reference is made are of a non-structural nature. For this, a mortar with a plasticizing additive is compared with respect to a standard mortar (mortar without additive) and with the classic mortar used in this function, which is the mortar with an expansive additive. The main properties to compare are: shrinkage and adherence, which qualify repair and conservation mortars.

It is evident that the qualities that the mortar develops with a plasticizer additive – of a water-reducing nature—, rise and are reflected in workability, resistance to compression and traction, shrinkage and adhesion, getting to the point of surpassing in many of them, by far, the mortars with expansive additive. With which, its use for the repair and conservation of civil works is conclusive; and even, the increase in mechanical resistance could be used to repair structures subjected to loads, which is not observed in mortars with an expansive additive.

For the adhesion test, the recommendations of the ASTM C1583 standard will be applied. Also, because a comparison is made with the repair mortar with an expansive additive from the research of Alanya J. (2017), who relies on the ISO 13007 ceramic slabs – Grouts standard; which basically remains the same procedure as the ASTM standard. Only some recommendations and modifications will be taken into account, so that the test developed has the same comparison conditions.

Finally, the use of the mortar with Sika Cem Plasticizer additive (Sika brand plasticizer additive, used in the investigation) with 0,8% of the weight of cement is suggested as the best option among all those analyzed to repair cracks, grooving, cracks, etc. Noting that this suggestion is provided by the favorable characteristics that it presents in the adhesion tension, as well as the expansion that it develops.

## PRÓLOGO

La reparación de fisuras y grietas en el concreto muchas veces no logra restablecer las condiciones iniciales debido a problemas de contracción y adherencia del material utilizado, por lo estudiar alternativas que puedan mejorar estas propiedades son importantes.

El estudio realizado permite tener una alternativa de mortero de reparación con el uso de un aditivo plastificante que de acuerdo con el estudio realizado presenta resultados favorables y presenta, además, mejoras en la resistencia a la compresión.

MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata

Asesora

**LISTA DE CUADROS**

Cuadro N° 1. Fluidez recomendada para mortero en diversos tipos de estructura y condiciones de colocación.....	20
Cuadro N° 2. Proporciones aproximadas de los compuestos del cemento Portland .....	24
Cuadro N° 3. Compuestos del cemento Portland.....	24
Cuadro N° 4. Características de los compuestos del cemento.....	25
Cuadro N° 5. Nomenclatura de los diseños de mezcla .....	32
Cuadro N° 6. Proporción en volumen y en peso de mortero .....	33
Cuadro N° 7. Usos de los morteros de cemento .....	34
Cuadro N° 8. Pesos Unitarios sueltos de los materiales .....	36
Cuadro N° 9. Proporción en volumen y peso de mezcla sin aditivo .....	37
Cuadro N° 10. Dosificación sin aditivo .....	37
Cuadro N° 11. Proporción en volumen y peso de mezcla con aditivo con 0.8%. 38	
Cuadro N° 12. Dosificación con aditivo con 0.8% .....	38
Cuadro N° 13. Proporción en volumen y peso de mezcla con aditivo con 1%....	39
Cuadro N° 14. Dosificación con aditivo con 1% .....	39
Cuadro N° 15. Proporción en volumen y peso de mezcla con aditivo con 1.2%. 40	
Cuadro N° 16. Dosificación con aditivo con 1.2% .....	40
Cuadro N° 17. Nomenclatura de los diseños de mezcla con aditivo plastificante y expansivo.....	51
Cuadro N° 18. Pesos unitarios de los morteros con aditivo plastificante .....	52
Cuadro N° 19. Variación del peso unitario del mortero con aditivo plastificante y expansivo con respecto al mortero patrón.....	53
Cuadro N° 20. Fluidez de los morteros con aditivo plastificante.....	55
Cuadro N° 21. Variación de la fluidez del mortero con aditivo plastificante y expansivo .....	56
Cuadro N° 22. Exudación de los morteros con aditivo plastificante.....	57
Cuadro N° 23. Variación de la exudación del mortero con aditivo plastificante y expansivo.....	58
Cuadro N° 24. Resistencia a la compresión del mortero sin aditivo .....	59
Cuadro N° 25. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 0.8% .....	60
Cuadro N° 26. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 1.0% .....	61

Cuadro N° 27. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 1.2% .....	61
Cuadro N° 28. Resumen de la resistencia a la compresión de morteros con aditivo plastificante.....	62
Cuadro N° 29. Variación de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante y expansivo a 28 días .....	64
Cuadro N° 30. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante a los 7 días .....	65
Cuadro N° 31. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante a los 28 días .....	66
Cuadro N° 32. Resumen de la resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante .....	67
Cuadro N° 33. Variación de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo a 28 días.....	69
Cuadro N° 34. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 7 días.....	70
Cuadro N° 35. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 14 días.....	71
Cuadro N° 36. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 28 días.....	72
Cuadro N° 37. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante	73
Cuadro N° 38. Variación de la Adherencia del mortero con aditivo plastificante y expansivo.....	74
Cuadro N° 39. Retracción del mortero con aditivo plastificante.....	76
Cuadro N° 40. Retracción del mortero con aditivo expansivo .....	78
Cuadro N° 41. Retracción de los morteros con aditivo plastificante y expansivo	78

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1. Pesos unitarios de los diseños de mortero con aditivo plastificante .....	52
Figura N° 2. Porcentaje de variación del peso unitario del mortero con aditivo plastificante y expansivo con respecto a su mortero patrón.....	54
Figura N° 3. Fluidez de los diseños de mortero con aditivo plastificante .....	55
Figura N° 4. Variación de la fluidez del mortero con aditivo plastificante y expansivo.....	56
Figura N° 5. Exudación de los diseños de mortero con aditivo plastificante .....	57
Figura N° 6. Variación de la exudación del mortero con aditivo plastificante y expansivo.....	58
Figura N° 7. Resistencia a la compresión del mortero sin aditivo .....	60
Figura N° 8. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 0.8%.....	60
Figura N° 9. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 1.0%.....	61
Figura N° 10. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 1.2% .....	62
Figura N° 11. Resistencia a la compresión de los diseños de mortero con aditivo plastificante.....	63
Figura N° 12. Variación de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante y expansivo con respecto a su mortero patrón a 28 días .....	65
Figura N° 13. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante a los 7 días .....	66
Figura N° 14. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante a los 28 días .....	67
Figura N° 15. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante	68
Figura N° 16. Variación de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo a 28 días.....	69
Figura N° 17. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 7 días .....	71
Figura N° 18. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 14 días .....	71

Figura N° 19. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 28 días .....	72
Figura N° 20. Tensión de adherencia de los diseños de mortero con aditivo plastificante .....	73
Figura N° 21. Variación de la Adherencia del mortero con aditivo plastificante y expansivo .....	75
Figura N° 22. Retracción de los diseños de mortero con aditivo plastificante.....	77
Figura N° 23. Retracciones de los morteros con aditivos plastificante y expansivo .....	79
Figura N° 24. Curva granulométrica de arena gruesa .....	85
Figura N° 25. Mesa de fluidez para mortero.....	97
Figura N° 26. Encofrado de dados de mortero para compresión.....	97
Figura N° 27. Máquina de compresión uniaxial.....	98
Figura N° 28. Desencofrado de mortero para ensayo de tensión.....	98
Figura N° 29. Máquina de ensayo de tracción .....	99
Figura N° 30. Elaboración de base de concreto para ensayo de adherencia .....	99
Figura N° 31. Base de concreto para ensayo de adherencia .....	100
Figura N° 32. Colocación de pastillas de mortero .....	100
Figura N° 33. Mortero curado listo para ensayo de adherencia.....	101
Figura N° 34. Máquina digital para tensión de adherencia .....	101
Figura N° 35. Máquina digital de tensión de adherencia con Pull-off .....	102
Figura N° 36. Barra de mortero para ensayo de retracción .....	102
Figura N° 37. Máquina comparador de longitudes .....	103
Figura N° 38. Curado de muestras de mortero .....	104

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

+/- : Más o menos.

% : Porcentaje.

“ : Pulgada.

### SIGLA

A : Sección transversal.

ASTM : Sociedad Americana para ensayos y materiales.

cm : Centímetro.

cm<sup>2</sup> : Centímetro cuadrado.

D<sub>f</sub> : Diámetro final.

D<sub>i</sub> : Diámetro inicial.

F : Carga de rotura.

F<sub>c</sub> : Resistencia a la compresión.

G : Longitud de calibración.

g : Gramo.

kg : Kilogramo.

kg/cm<sup>2</sup>: Kilogramo por centímetro cuadrado.

kg/m<sup>3</sup> : Kilogramo por metro cúbico.

kN : Kilonewton.

LEM : Laboratorio de Ensayo de Materiales.

lts : Litros.

L<sub>i</sub> : Longitud inicial.

L<sub>f</sub> : Longitud final.

m : Metro.

mm : Milímetro.

mm<sup>2</sup> : Milímetro cuadrado.

min : Minutos.

NTP : Norma Técnica Peruana.



P	:	Carga máxima de tensión
Pa	:	Peso arena gruesa.
Pc	:	Peso de cemento.
PU	:	Peso Unitario.
PUa	:	Peso unitario de la arena gruesa.
PUc	:	Peso unitario del cemento.
Q	:	Resistencia a la tracción.
Sa	:	Tensión de adherencia.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Para Mercado (1998), en el concreto pueden presentarse fallas, imperfecciones, lo que conlleva a la generación de cangrejeras, fisuras y grietas. La manera de reparar las estructuras afectadas por este fenómeno ha sido abordada por los morteros con aditivo expansivo. Si bien aún es muy generalizado su uso en el país, existen otras soluciones modernas como los Grouts o morteros líquidos, que poseen mejores características. El inconveniente del uso de Grouts, es su elevado costo. También de sus presentaciones en el mercado, que es en volúmenes altos. Por lo que, se pretende presentar una alternativa de fácil acceso como el uso del mortero con aditivo plastificante para la función de reparar y conservar obras civiles.

Cabe señalar que las reparaciones a las que se hacen referencia, son menores, de carácter no estructural. Para este efecto las recomendaciones que hace el ACI (Instituto Americano del Concreto), el ICRI (Instituto Internacional de Reparación del Concreto) y en especial la Norma UNE EN 1504-3; es que posean buena adherencia y baja retracción. Incluso la Norma UNE EN 1504-3 clasifica a los morteros en 4 tipos. R3 y R4 para los morteros de reparación estructural; y, R1 y R2 para los morteros de reparación no estructural.

Algunos de los requisitos para los morteros de reparación no estructural son:

- Resistencia a compresión  $\geq 15$  MPa (Clase R2) y  $\geq 10$  MPa (Clase R1)
- Adherencia  $\geq 0.8$  MPa (Clase R1 y R2)
- Contenido de cloruros  $\leq 0.05\%$
- Módulo elástico; Sin requerimiento.

Las condiciones para reparaciones de carácter estructural están contempladas en la norma ACI 562 Nueva Norma para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto, en las que se utilizan materiales y metodologías modernas.

Emmons P.H. (1994), establece las consideraciones que afectan la compatibilidad para una buena selección de los materiales de reparación. De estas consideraciones, probablemente la más importante es la capacidad de soportar los cambios de volumen, sin pérdida de adherencia ni agrietamientos, esto se conoce como "Compatibilidad dimensional". Además de los cambios de volumen,

una reparación también debe tener un efecto protector y para asegurar eso, se deben considerar la compatibilidad química, electroquímica y la permeabilidad del material de reparación.

## 1.1 GENERALIDADES

Desde la aparición del cemento Portland la industria de la construcción ha tenido un crecimiento enorme a nivel global debido a que es por excelencia el aglomerante más versátil, cuyas propiedades físicas y mecánicas son aprovechadas en multitud de usos. Uno de los tantos usos del cemento Portland es en la preparación de morteros que sirven como asiento de ladrillos en muros, de relleno o también para la reparación de obras civiles, siendo este último el tema de análisis de la presente investigación.

Según Do Lago P. (2015), los morteros con aditivo plastificante cumplen funciones de reparación, refuerzo y protección de elementos de concreto debido a sus características favorables de alta fluidez, buena adherencia, baja contracción y alta impermeabilidad.

Según Mercado R. (1998), por mucho tiempo se ha presentado al mortero con aditivo expansivo como la solución clásica para la reparación y conservación de obras civiles, cubriendo los requerimientos en mediana aceptación, siendo lo más perjudicial su tendencia a la baja resistencia, característica propia del aditivo expansivo.

Según Alanya J. (2017), las principales ventajas del mortero con aditivo expansivo fueron la buena adherencia, la que aumenta directamente a la cantidad de aditivo expansivo, la buena trabajabilidad, las expansiones controladas de 1% a 5%, la reducción de la segregación y exudación. Las desventajas principales fueron la disminución de la resistencia a la compresión y tracción, la que depende de la proporción de aditivo a usar.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

Las obras civiles al ser un trabajo humano pueden presentar errores no deseados en la construcción, todo esto a pesar de que se ha mejorado muchísimo en el tema técnico e incluso automatizado parte del proceso, no están exentas de algún tipo de proceso constructivo no realizado correctamente, ya sea en vaciado, vibrado,

curado, etc. Lo que conllevará a la aparición de fallas tales como fisuras, grietas, cangrejeras, entre otras. Estas fallas son perjudiciales de no dárseles el tratamiento adecuado. Las fallas que aborda la presente investigación son solo las que se señala; es decir, fallas menores, de carácter no estructural.

Por otra parte, las fallas no solo surgen por acción humana; sino también, como consecuencia de la pérdida de agua en mezcla, producto del secado y de las reacciones propias del cemento que originan la contracción del concreto. Ello ocasiona que los esfuerzos internos de tracción que se dan cerca de la superficie expuesta del concreto por la variación volumétrica generen fisuras. Ya que, el secado en la superficie es mayor a las que se producen en el núcleo.

Estas fallas en general, son perjudiciales de no dárseles el tratamiento adecuado. Un ejemplo sería un canal de regadío que presente fisuras y el agua que transporta llegue a tener contacto con los aceros de refuerzo, generando una corrosión inminente. Entonces, ¿Qué solución técnica con los materiales de fácil acceso en el mercado y que no tengan un precio tan elevado se podría emplear para mitigar este problema?

Por otro lado, con el uso y pasar de los años, las estructuras comienzan a presentar desgaste, ello no implica que no sigan cumpliendo los requerimientos exigidos, pero se les tiene que dar una conservación adecuada. Manteniendo el ejemplo del canal de regadío, podríamos notar que con el pasar de los años las paredes internas del canal se irán desgastando, ya sea por el discurrir del agua o la fricción generada por los sedimentos que transporta. Entonces, ¿basta con un plan de mantenimiento programado de obras? ¿Qué ensayos podríamos considerar para un mortero de reparación y conservación?

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo General

- Verificar que el mortero con aditivo plastificante (cemento Portland Tipo I, agregado fino, agua y aditivo plastificante) comparado con el mortero con aditivo expansivo, es una solución útil y viable para la reparación y conservación de obras civiles.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Obtener datos confiables en los diversos ensayos de laboratorio a los que será sometido el mortero con aditivo plastificante en el estado fresco (exudación, fluidez, peso unitario) y endurecido (compresión, tracción, adherencia, retracción).
- Analizar los valores que se obtendrán de los diferentes ensayos a los que será sometido el mortero con aditivo plastificante y compararlas respecto al mortero con aditivo expansivo. Así también, elaborar algunas recomendaciones para su correcto uso en la reparación y conservación de obras civiles.

### 1.4 HIPÓTESIS

El mortero con aditivo plastificante es capaz de reparar y conservar obras civiles, incluso mejor que los clásicos morteros usados para este fin a base de aditivos expansivos.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 EL MORTERO

El mortero se puede definir como la mezcla de un aglomerante (cemento portland y/u otros cementantes), agregado fino, agua y bajo ciertas necesidades aditivos, que al endurecerse adquieren propiedades físicas y mecánicas muy parecidas a las del concreto. Su aplicación es amplia, entre ellas el uso de asiento para piezas de mampostería en la construcción de muros de albañilería, de recubrimientos, de reparación, de relleno, entre otras.

#### 2.1.1 Tipos de morteros

Dentro de los morteros se pueden distinguir dos grandes grupos: los aéreos y los hidráulicos. Los primeros son influenciados por el aire, endurecen al perder agua por secado al aire y fraguan lentamente mediante un proceso de carbonatación. Por otro lado, los hidráulicos son influenciados por el agua, endurecen bajo agua, ya que, poseen en su composición constituyentes que se obtienen por calcinación de calizas con sílice y alúmina que le permiten desarrollar resistencias iniciales relativamente altas. (Sánchez D, 2001, p. 303).

##### 2.1.1.1 Morteros de cemento

Son morteros hidráulicos conformados por cemento, arena y agua. Es el mortero de mayor uso y aplicación en la actualidad.

Presentan altas resistencias iniciales y en general a lo largo de su vida útil. Sus condiciones de trabajabilidad dependen de la relación cemento: arena, ya que, si esta relación contiene poco cemento, el mortero se ve afectado, se hace áspero e intrabajable.

##### 2.1.1.2 Morteros calcáreos

El mortero de cal está conformado por cal, como aglomerante, agregado fino y agua. Este mortero es el de mayor trabajabilidad en la actualidad. Sin embargo, debido a su baja velocidad de endurecimiento, no puede esperarse de éste altas resistencias.

Las cales aéreas más usadas son la cal blanca y la cal gris. El agregado fino en estos casos constituye un material inerte, cuyo propósito principal es evitar el agrietamiento y contracción brusca del mortero.

### *2.1.1.3 Morteros de cal y cemento portland*

“Cuando se busca una gran trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales, este tipo de mortero es aconsejable. Utilizando como base un mortero 1:3 se puede ir sustituyendo parte del cemento por cal.” (Sánchez D, 2001, p. 304).

“(…)Estos morteros reciben el nombre de 'Morteros de Cemento Rebajados' o 'Morteros Bastardos' cuando el contenido de cemento es escaso. Las relaciones de mezclas más usadas varían de 1:2:6 a 1:2:10 (cemento: cal: arena)”. (Sánchez D, 2001, p. 304).

## 2.1.2 Propiedades del mortero de cemento Portland

### *2.1.2.1 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 comprensión y la adherencia” (Alegría C, 2009, p. 17).

La trabajabilidad está relacionada con la consistencia, con lo que hace referencia al estado de fluidez del mortero; es una propiedad fundamental en el estado plástico del mortero.

En la trabajabilidad de los morteros influyen: el grado de fineza del aglomerante, la granulometría, contenido de humedad, contenido de finos y forma del agregado.

En el Cuadro N° 1 se muestra los valores de la fluidez recomendada para algunos tipos de estructuras y condiciones de colocación.

Cuadro N° 1. Fluidez recomendada para mortero en diversos tipos de estructura y condiciones de colocación

Consistencia	Fluidez %	Condiciones de colocación	Ejemplo de tipos de estructura	Ejemplo de sistema de colocación
Dura (Seca)	80 – 100	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, pisos	Proyección neumática, con vibradores de formaleta
Media (plástica)	100 – 120	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas y palustres
Fluida (húmeda)	120 - 150	Sin vibración	Pañetes rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo, inyección

Fuente: Adaptado del libro Sánchez de Guzmán, D. (2001)



### 2.1.2.2 Retención de agua

Esta propiedad es una medida de la capacidad del mortero para mantener su trabajabilidad y plasticidad cuando quede en contacto con una superficie absorbente, como por ejemplo un muro de mampostería.

La retención de agua puede ser mejorada mediante la adición de cal, dada su capacidad plastificante, contar con mayor cantidad de finos en el agregado, adición de aditivos plastificantes, incorporadores de aire o simplemente usando cementos puzolánicos o cementos de adición.

La retención de agua incide altamente en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final a la compresión, ya que, por ejemplo, una mezcla incapaz de retener el agua no permite la hidratación del cemento.

### 2.1.2.3 Fluidéz

Según Alanya J. (2017), esta propiedad está muy ligada con la cantidad de agua presente en el mortero. La fluidéz influye directamente en la trabajabilidad del mortero y de manera indirecta a la resistencia a la compresión y adherencia del mortero en general (p. 21).

La fluidéz para la que fue diseñada el mortero, en la práctica, se busca de manera gradual, añadiendo agua a la mezcla hasta obtener la consistencia o trabajabilidad de las necesidades para la que fue concebida.

### 2.1.2.4 Adherencia

La adherencia es la capacidad que tiene el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura. Es de gran importancia, ya que a ella se debe el hecho de que un mortero pueda resistir pandeo, cargas transversales y excéntricas, dándole resistencia a la estructura (Sánchez D, 2001, p. 309).

### 2.1.2.5 Retracción

La retracción se debe principalmente a reacciones químicas de hidratación que sufre el cemento, sobre todo en pastas puras con una alta relación agua/cemento. La arena soluciona el problema en parte, especialmente si es de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de muchos vientos, el agua de mezclado es

más propenso a evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles fisuras. Aparentemente la retracción es proporcional al espesor de la capa de mortero y a la riqueza del cemento.

#### *2.1.2.6 Resistencia a la compresión*

Según Alegría C. (2019), es la resistencia a los esfuerzos de compresión que soporta el mortero en estado endurecido. Esta propiedad prácticamente queda definida con la relación agua/cemento (a/c) del diseño de la mezcla de mortero. Sin embargo, queda en evidencia, que un aumento del contenido de finos y la forma de los agregados en la mezcla, también son componentes que pueden hacer variar la resistencia a la compresión del mortero (p. 18).

Es la propiedad por la que resaltan las mezclas a base de cemento portland. Los morteros y concretos en general, son materiales que trabajan muy bien al ser sometidos a esfuerzos de compresión.

#### *2.1.2.7 Resistencia a la tracción*

Según Alanya J. (2017), en el uso del mortero como asiento de ladrillos en muros de albañilería, será sometida a esfuerzos de tensión, producto de cargas de viento o sismo. Los esfuerzos serán tomados en principio por las fuerzas de adherencia entre el ladrillo y el mortero, mas no por su resistencia a la tracción. Pues, si el muro llega a fallar, será por falla en la adherencia y no por el mortero en sí. En este caso, como se puede deducir, la resistencia a la tracción es mayor al de la adherencia (p. 23).

Es la resistencia a los esfuerzos de tensión que soporta el mortero en estado endurecido. No es muy común su empleo, debido a que el mortero y el concreto en general, son materiales que sometidos a esfuerzos de tensión fallan a bajas cargas.

## 2.2 CEMENTO

“Es el material pulverizado que contiene principalmente óxido de calcio; además de, sílice, alúmina y óxido de hierro. Forma mediante la adición de agua, una pasta conglomerante capaz de endurecer en agua como en el aire.” (Rivera G, 2000, p. 18).

### 2.2.1 Cemento Portland

Como información precedente para definir al cemento Portland, se debe conocer la definición de clinker Portland. Que viene a ser el resultado de la calcinación en cierta proporción, principalmente de calizas y arcillas conformadas por alúmina y sílice. Las calizas, existen en abundancia en la naturaleza, están compuestas en más del 60% de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) y el restante de arcillas, dolomita y sílice. Con esto, el cemento Portland se obtiene de la pulverización del clinker Portland más la adición de yeso, sulfato de calcio hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), para que controle el tiempo de fraguado del cemento.

Desde la aparición del cemento Portland, la industria de la construcción ha tenido un crecimiento enorme a nivel global debido a que es por excelencia el aglomerante más barato y versátil, cuyas propiedades físicas y mecánicas son aprovechadas en multitud de usos. Uno de los tantos usos del cemento Portland es en la preparación de morteros; que sirve como asiento de ladrillos en muros de relleno o también darle el uso para la reparación y conservación de obras civiles.

#### 2.2.1.1 Propiedades químicas

Las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento Portland, después de pasar por el horno rotatorio de producción entre una temperatura de 1300 a 1400°C, forman una serie de productos más complejos, hasta alcanzar el estado de equilibrio químico. En el Cuadro N° 2 se muestra los principales componentes y porcentajes aproximados de los óxidos principales. Los ensayos al cemento Portland son regidos por la norma ASTM C 150 y NTP 334.009.

Cuadro N° 2. Proporciones aproximadas de los compuestos del cemento Portland

Nombre del óxido	FÓRMULA	PORCENTAJE (%)	ABREVIATURA
Óxido de calcio	CaO	61 – 67	C
Dióxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	20 – 27	S
Óxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4 – 7	A
Óxido férrico	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2 – 4	F
Trióxido de azufre	SO <sub>3</sub>	1 – 3	s
Óxido de magnesio	MgO	1 – 5	M
Óxido de sodio	Na <sub>2</sub> O	0.25 – 1.5	N
Óxido de potasio	K <sub>2</sub> O	0.25 – 1.5	K

Fuente: Adaptado del libro Sánchez de Guzmán, D. (2001)

Además, se suele considerar cuatro compuestos principales en el cemento como se muestra en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3. Compuestos del cemento Portland

Nombre del compuesto	COMPOSICIÓN	ABREVIATURA
Silicato tricálcico	3CaOSiO <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> S
Silicato dicálcico	2CaOSiO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> S
Aluminio tricálcico	3CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> A
Ferroaluminato tetracálcico	4CaOFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>4</sub> AF

Fuente: Adaptado del libro Sánchez de Guzmán, D. (2001)

### 2.2.1.2 Propiedades físicas y mecánicas

Las propiedades físicas y mecánicas del cemento Portland permiten complementar las propiedades químicas y dar a conocer algunas otras bondades del cemento como material aglomerante.

A continuación, en el Cuadro N° 4, se muestra la respuesta de los compuestos del cemento ante una propiedad en específico.

Cuadro N° 4. Características de los compuestos del cemento

Propiedad	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Resistencia	Buena	Buena	Pobre	Pobre
Intensidad de reacción	Media	Lenta	Rápida	Rápida
Calor de desarrollo	Medio	Pequeño	Grande	Pequeño
Resistencia a los sulfatos	Buena	Buena	Pobre	Media

Fuente: Adaptado del libro Sánchez de Guzmán, D. (2001)

### 2.1.2.3 Tipos de cemento Portland (NTP 334.009)

Se ha visto hasta el momento al cemento Portland en general; sin embargo, al modificar su composición química como la de sus propiedades físico-mecánicas, se pueden obtener características diferentes cuando se hidrata, generando así diferentes tipos de cemento.

En la actualidad se clasifica los cementos Portland de acuerdo con la norma ASTM C150/C150M-09. Dándose por resultado los siguientes tipos de cemento Portland:

*Tipo I*— Para obras de hormigón en general, sin requerimientos específicos. Para uso cuando no se requieran propiedades especiales especificadas de cualquier otro tipo.

*Tipo II*—Para uso general de obras de hormigón, más específicamente cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos o calor de hidratación moderado.

*Tipo III*—Para usar cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.

*Tipo IV*—Para uso cuando se desea bajo calor de hidratación.

*Tipo V*—Es el que ofrece alta resistencia a la acción de los sulfatos.

## 2.3 AGREGADO

El agregado o también llamado árido, viene a ser un componente inerte por lo general en la constitución del concreto; sin embargo, en algunas circunstancias estos agregados pueden influir en las características mecánicas del concreto. Por ejemplo; los agregados sulfurados, agregados en descomposición como el caso

de la pizarra, resultan perjudiciales en la estructura y durabilidad del concreto. Sin embargo, los agregados cuya fracción más fina que se puedan presentar, en proporciones específicas, son beneficiosos para el desarrollo de la resistencia mecánica del concreto.

Para la composición del mortero, como ya se ha visto, solo es necesario contar con cemento, agua y agregado fino. Por lo que, no se va a desarrollar los agregados gruesos en el presente trabajo.

### 2.3.1 Agregado Fino

Es el material cuya obtención es producto de la desintegración natural o artificial, que pasa por el tamiz normalizado 3/8" (9.5mm) y queda retenido en el tamiz normalizado N°200 (74µm). Estas especificaciones están estipuladas en la norma técnica peruana NTP400.037.

### 2.3.2 Ensayos con arena natural

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

La granulometría es la distribución de las partículas por su tamaño. Una muestra representativa del agregado fino, por lo general adoptada de un correcto cuarteo. Se somete al proceso por el que se tamiza a través de mallas normalizadas por la ASTM, ya sea de forma mecánica o manual. Los pesos de los materiales que son retenidos sirven para elaborar el análisis granulométrico que serán expresados en tablas o gráficos.

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

El módulo de finura es un indicador del tamaño promedio de la arena. Sin embargo, no representa la distribución de las partículas.

Los agregados que presentan un bajo valor del módulo de finura necesitan mayor cantidad de agua en la preparación de concretos o morteros; esto debido que, al poseer mayor superficie libre de contacto, se tiene que contar con mayor cubierta de pasta de cemento. Ocurre lo opuesto cuando el módulo de finura es mayor; la demanda de agua es menor.

La manera de calcular el valor del módulo de finura es la siguiente:

$$MF = \frac{\sum \text{Peso retenido acumulado \%}(N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

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

Es la cantidad de agua que existe en el agregado; ya sea la retenida superficial o internamente —a través de sus poros—, también depende de las condiciones ambientales en estado natural o de almacenamiento cuando ya se posee disposición de obra.

La manera de obtener el valor del contenido de humedad es la siguiente:

$$\%H = \frac{(\text{Peso original} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100\%$$

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

También es usado como la densidad en el Sistema Internacional de Unidades.

Viene a ser la relación entre el peso de las partículas y su respectivo volumen, pero sin considerar los vacíos entre ellas.

Son considerados tres tipos de densidad en el agregado fino como lo estipula la NTP 400.022(2013):

*Densidad Secada al Horno (OD).* Es la masa de las partículas de agregado seco al horno, por unidad de volumen, de partículas de agregado, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre las partículas. (Sáenz N, 2019, p.39)

*Densidad Saturada Superficialmente Seca (SSD).* Es la masa del agregado saturado superficialmente seco, por unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros permeables e impermeables, poros llenos de agua dentro de las partículas, pero sin incluir los espacios vacíos entre las partículas. (Sáenz N, 2019, p.39)

*Densidad Aparente.* Es la masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del agregado. (Sáenz N, 2019, p.40)

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

Para Alanya J. (2017), el peso unitario suelto se obtiene al vaciar suavemente sin ningún tipo de presión el agregado a un recipiente estandarizado. El peso unitario compactado se obtiene al vaciar sobre el mismo recipiente normalizado, suavemente, tres capas del material y en cada una de ellas aplicar 25 golpes de manera circular con una varilla metálica de 5/8" (p.40)

Se denomina peso unitario del agregado al peso del material necesario para ocupar un recipiente de volumen unitario; además del volumen de las partículas del agregado se tienen en cuenta el volumen de vacíos que existe entre las partículas. Por lo general se expresa en  $\text{kg/m}^3$ . Existen dos tipos de pesos unitarios; el peso unitario suelto y el peso unitarios compactado.

### 2.3.2.6 Superficie específica

La superficie específica, es un aproximado de la suma de las áreas superficiales de los agregados, bajo ciertas condiciones como: las partículas que conforman el agregado son esféricas, el tamaño promedio de las partículas es el promedio del diámetro del tamiz en que son retenidas el tamiz inmediatamente superior que pasa. (Alanya J, 2017, p.40)

Esta propiedad es un indicador de la cantidad de cemento que requerirá la pasta de cemento para recubrir toda la superficie expuesta de los agregados. Es decir, si el agregado es fino, el área libre o superficie específica, aumenta. Aumentando de esta manera, también, la cantidad de cemento en mezcla. Por otro lado, al contar con agregados más gruesos, la superficie específica, disminuye. Reduciendo en cierta medida la cantidad de cemento en mezcla. Para una correcta dosificación se tendrá que analizar un diseño de mezcla que mantenga la proporción correcta entre los tamaños de agregados para la función específica del concreto o mortero.

La manera de calcular la superficie específica de acuerdo con las consideraciones antes mencionadas es la siguiente:

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



Donde:

P1, P2, ..., Pn = % Retenido en cada tamiz.

d1, d2, ..., dn = Diámetro promedio de las partículas de la arena.

Pe = Peso específico de masa de la arena.

#### 2.3.2.7 Contenido de vacíos

Viene a ser el espacio existente entre las partículas de agregado ya que no “calzan” de manera perfecta entre sí. Se puede interpretar como la diferencia entre el volumen total de la masa del agregado y el espacio ocupado por las partículas.

$$\text{Contenido de vacios} = \frac{P_{ex}1000 - P_{ux}100}{P_{ex}1000}$$

Donde:

Pe = Peso específico del agregado (gr/cm<sup>3</sup>)

Pu = Peso unitario del agregado (gr/cm<sup>3</sup>)

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

Se trata de las partículas más pequeñas que componen el agregado. Principalmente, están constituidas de arcillas y limos, que en cantidades considerables pueden afectar la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento que la recubre; debido a que, hace que la mezcla necesite mayor cantidad de agua, debilitando también la resistencia mecánica del concreto o mortero.

El procedimiento a seguir para la obtención del material más fino que la malla N°200, consiste en lavar la muestra de arena a temperatura constante, luego pasar el agua del lavado a través del tamiz N°200, para después calcular el porcentaje de material perdido producto del lavado con respecto a la muestra original. Todo esto y con detalles adicionales, se encuentra estipulado en la N.T.P. 400.018

#### 2.3.2.9 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 el 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 (Alegría C, 2019, p.29).

## 2.4 AGUA

El agua es el componente por el que, el concreto o mortero desarrolla las reacciones químicas que le otorgan sus propiedades fisicoquímicas y mecánicas en estado plástico y endurecido. Por otra parte, también se usa como “curador”; es decir, constituye el suministro de agua adicional para hidratar la mezcla de concreto o mortero que se evapora, producto del calor de hidratación.

La NTP 339088 HORMIGÓN (CONCRETO) agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Es la norma que establece los requisitos mínimos que debe cumplir el agua destinada para la producción de concretos. A continuación, se detalla los límites máximos permisibles en el agua.

<b>PARAMETRO</b>	<b>CANTIDAD UND.</b>
• Cloruros	300 p.p.m.
• Sulfatos	300 p.p.m.
• Sales de Magnesio	150 p.p.m.
• Sales solubles	500 p.p.m.
• pH	6 - 8
• Sólidos en suspensión	500 p.p.m.
• Materia orgánica, expresada como oxígeno consumido	3 p.p.m.
• Alcalinidad total	1000 p.p.m.
• Álcalis como (Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O)	600 p.p.m.

## 2.5 ADITIVO

### 2.5.1 Definición

Aditivo es una sustancia química que se añade a la mezcla de concreto o mortero para modificar sus propiedades físicas con el fin que satisfaga con los requerimientos especiales que se presente. (NTP 339.086)

Algunos requerimientos en concretos o morteros puede ser: mayor trabajabilidad; aumento del rendimiento en la producción; reducir el contenido de agua en la mezcla; Ofrecer mayor tiempo para la colocación.

### 2.5.2 Clasificación

La clasificación es tomada de acuerdo con la norma ASTM C494; se procede a citarlas a continuación:

- TIPO A: Los aditivos con efectos reductores de agua.
- TIPO B: Los aditivos con efectos retardadores de fragua.
- TIPO C: Los aditivos con efectos acelerantes.
- TIPO D: Los aditivos con efectos reductores de agua - retardadores de fragua.
- TIPO E: Los aditivos con efectos reductores de agua – acelerantes.
- TIPO F: Los aditivos con efectos super reductores de agua.
- TIPO G: Los aditivos con efectos super reductores de agua – acelerantes.
- TIPO S: Los aditivos con comportamiento específico

### 2.5.3 Aditivo plastificante

Considerados del Tipo A, su principal característica es la de reducir agua en la mezcla, incluso aumentando la trabajabilidad. También aumenta la cohesión interna del concreto o mortero fresco; por lo tanto, ayuda a evitar la segregación de los agregados. En la mezcla endurecida, se manifiesta un incremento en las resistencias mecánicas de alrededor del 10 al 15%; se reduce la contracción.

El mecanismo de acción es en las moléculas del plastificante que se adsorben sobre las partículas de cemento y dan lugar a una dispersión de estas debido a la generación de una fuerza repulsiva que impide la formación de flóculos.

### 2.5.4 Aditivo expansivo

Considerados del tipo S; es decir, con comportamiento específico. Su principal función es la de reducir el fenómeno natural de la contracción que se genera en los concretos y morteros. Incluso generando aumento de volumen en las muestras. Una de sus complicaciones es que genera reducción de las resistencias mecánicas, quitando una de las principales propiedades del concreto, que es su alta resistencia a la compresión.

## CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLAS

### 3.1 GENERALIDADES

De acuerdo al objetivo de estudio del presente trabajo, está orientado a analizar el comportamiento del mortero con aditivo plastificante para su uso en la reparación y conservación de obras civiles.

Se elabora un mortero sin aditivo, y otros tres diseños de morteros con aditivo plastificante con 0.8%, 1.0% y 1.2% del peso del cemento con una relación cemento: arena (C:A) de 1:3. Los porcentajes del aditivo en peso del cemento se definieron de acuerdo a los parámetros del fabricante, ya que si se sobrepasa de 1.2% el aditivo se considera superplastificante, y si se dosifica por debajo de 0.8% no es efectiva.

Se muestra en el Cuadro N° 5 la nomenclatura que corresponde a cada diseño de mezcla.

Cuadro N° 5. Nomenclatura de los diseños de mezcla

Diseño de mezcla	Relación C:A	Aditivo Plastificante
A	1:3	NO
B	1:3	0.8% Peso de Cemento
C	1:3	1.0% Peso de Cemento
D	1:3	1.2% Peso de Cemento

Fuente: Elaboración propia

### 3.2 DISEÑOS DE MEZCLAS PARA MORTEROS DE CEMENTO

#### 3.2.1 Diseño de mezcla para mortero de cemento sin aditivo

Se da uso de las recomendaciones generales de la norma ASTM C270, como también las recomendaciones del estudio de Mercado R. (1998).

Como conocimiento previo se debe recordar lo siguiente:

$PU = \text{Peso/Volumen}$ , luego:

$\text{Volumen} = \text{Peso}/PU$

PU: Peso unitario en estado suelto ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

Usaremos:

Cemento : Agregado (Relación volumétrica)

1 : A

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

$$V_a = A \times V_c$$

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

Entonces:

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

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 J, 2017, p. 44).

Con lo que, para una mayor comprensión se elabora el Cuadro N° 6, que indica la proporción en volumen y peso del mortero.

Cuadro N° 6. Proporción en volumen y en peso de mortero

	PROPORCIÓN EN VOLUMEN	PROPORCIÓN EN PESO
<b>CEMENTO</b>	1	1
<b>ARENA</b>	A	$\frac{A \times P_{ua}}{P_{uc}}$

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.2 Diseño de mezcla para mortero de cemento con aditivo plastificante para reparación

Para obtener las proporciones de la mezcla del mortero con aditivo plastificante que cumpla las características de mortero de reparación, se debe seguir los siguientes pasos:

## PRIMER PASO

Obtención de la relación cemento: arena.

Conociendo el uso para el cual se va a diseñar el mortero, se obtiene el valor de la relación cemento: arena. De acuerdo con el cuadro Cuadro N° 7.

Cuadro N° 7. Usos de los morteros de cemento

MORTERO	USOS
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos.
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos.
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos.
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos.
1:5	Pañetes exteriores: Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Fuente: Adaptado del libro Sánchez de Guzmán, D. (2001)

Si bien no se precisa la relación exacta de cemento: arena para reparaciones de obras civiles. La relación adoptada para el presente trabajo es de 1:3 de acuerdo con las recomendaciones de Alanya J. (2017) para la preparación de mortero de reparación.

## SEGUNDO PASO

Determinar el aditivo a usar de acuerdo con sus características.

La cantidad de aditivo plastificante a usar se define de acuerdo con las recomendaciones del fabricante: 0.8%, 1%, 1.2% en peso del cemento. Esto debido a que el aditivo usado SikaCemPlastificante, también puede cumplir la función de aditivo superplastificante si se le da uso en mayor proporción en peso del cemento. (Hoja técnica Sika Perú, 2019, p.2).

### TERCER PASO

Determinar la trabajabilidad de la mezcla. Dicho de otra manera, se busca determinar la fluidez a la cual se va a trabajar. Esta característica es la más importante dentro del diseño.

“Para obtener un diseño de mezcla de mortero para reparación, se requiere un mortero pastoso y trabajable. (...) Las características anteriores se pueden materializar cuando el mortero tiene una fluidez que oscile entre 110+/-5%” (Mercado, R. 1998).

### CUARTO PASO

Determinar la relación agua: cemento.

En el caso de la presente investigación, el aditivo que se usa es plastificante, que una de sus principales características es reducir la cantidad de agua en la mezcla. No obstante, esta cantidad de agua que logra reducir el aditivo plastificante (SikaCemPlastificante) se encuentra en un rango aproximado de 6% - 10%, por lo que este parámetro será variable.

Para obtener la relación agua: cemento inicial, va a ser con  $a/c = 0.8$ . Siempre verificando que la fluidez se encuentre en el rango de 110+/-5%, mantener la fluidez en ese rango es fundamental para el ensayo. Después se tendrá que ensayar y rectificar, si fuera el caso.

NOTA. - La relación agua: cemento que proporciona la resistencia del mortero, pasa a un segundo plano debido a los actuales requerimientos de morteros de reparación, que lo que buscan es que presenten una buena adherencia y baja retracción.

### QUINTO PASO

Proseguir el diseño como si se tratara de una mezcla de mortero sin aditivo.

## 3.3 PROCEDIMIENTO PARA PREPARAR MORTERO DE REPARACIÓN

El procedimiento seguido para el diseño de las mezclas fue según la Norma ASTM C270. Para una mejor medida con los materiales, no se trabaja en volúmenes, debido a la dificultad en sus lecturas. Por lo que, se trabaja en unidades de peso para tener un control exacto de las cantidades requeridas.

Para el cemento, se consideró que no hubo cambio de humedad debido a las condiciones óptimas de almacenamiento. La arena se conservó en bolsas negras dentro de los costales clásicos de rafia de polipropileno, además, se adecuó una tarima para evitar su contacto con el piso. El ambiente de almacenamiento fue cerrado y fresco.

Se obtiene los siguientes pesos unitarios sueltos, que se muestran a continuación en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8. Pesos Unitarios sueltos de los materiales

<b>MATERIALES</b>	<b>PESOS UNITARIOS (kg/m<sup>3</sup>)</b>
CEMENTO	1230
SIKACEMPLASTIFICANTE	1200
ARENA GRUESA	1557

Fuente: elaboración propia

Para el mezclado se utiliza una mezcladora de 10lts de capacidad, de 140W de potencia con 3 velocidades. La manera de realizar el mezclado es de la siguiente forma:

Se vierte toda el agua de mezclado en el recipiente. Se agrega el cemento al agua y se mezcla durante 30 segundos a la velocidad lenta. Se agrega lentamente la totalidad de la arena en un periodo de 30 segundos, mientras se mezcla a velocidad lenta. Se detiene la mezcladora, se cambia a velocidad media y se mezcla durante 30 segundos. Se detiene la mezcladora se arrastra hacia el fondo con el raspador, el mortero adherido a la pared del recipiente. Finalmente se mezcla durante 60 segundos a velocidad media. (ASTM C305-12)

### 3.3.1 Diseño de mezcla para preparar mortero de reparación sin aditivo

#### **DISEÑO A.**

Relación de volumen cemento: arena = 1 : 3

Aditivo = SIN ADITIVO

Aplicando las relaciones expuestas en el Cuadro N° 6, se obtiene la proporción en peso del cemento y arena. Ver Cuadro N° 9.



Cuadro N° 9. Proporción en volumen y peso de mezcla sin aditivo

	Proporción en volumen	Proporción en Peso
CEMENTO	1	1
ARENA	3	3.798

Fuente: elaboración propia

para un peso de 500 gramos de cemento, el peso de la arena será:

Peso de la arena =  $500 \times 3.798 = 1899$  gr.

Para hallar el peso del aditivo, se multiplica el porcentaje a usar por el peso del cemento.

También se calcula el rendimiento de la tanda, para luego hacer la dosificación por m<sup>3</sup> de mortero.

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

Con lo que, continuando con el procedimiento, se obtiene:

Relación de volumen cemento: arena = 1 : 3

Fluidez de mezcla = 110 +/- 5%

Peso Unitario del mortero = 2145 kg/m<sup>3</sup>

El Cuadro N° 10 contiene la dosificación para la primera tanda de 500gr de cemento y dosificación para preparar 1m<sup>3</sup> de mortero.

Cuadro N° 10. Dosificación sin aditivo

MATERIAL	PROPORCIÓN EN PESO	Dosificación para 500 gr de cemento	Dosificación en Kg para 1 m <sup>3</sup>
CEMENTO	1	500	380.44
ARENA	3.798	1898.78	1444.74
AGUA		420	319.57
	suma=	2818.78	

Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Diseño de mezcla para preparar mortero de reparación con aditivo plastificante 0.8% peso de cemento.

**DISEÑO B.**

Relación de volumen cemento: arena = 1 : 3

Aditivo = 0.8% peso de cemento

Aplicando las relaciones expuestas en el Cuadro N° 6, se obtiene la proporción en peso del cemento y arena. Ver Cuadro N° 11.

Cuadro N° 11. Proporción en volumen y peso de mezcla con aditivo con 0.8%

	<b>Proporción en volumen</b>	<b>Proporción en Peso</b>
CEMENTO	1	1
ARENA	3	3.798
ADITIVO	0.0082	0.008

Fuente: elaboración propia

Relación de volumen cemento: arena = 1 : 3

Porcentaje de aditivo en peso de cemento = 0.8%

Fluidez de mezcla = 110 +/- 5%

Peso Unitario del mortero = 2189 kg/m<sup>3</sup>

El Cuadro N° 12, contiene la dosificación para la tanda de 500gr de cemento y dosificación para preparar 1m<sup>3</sup> de mortero.

Cuadro N° 12. Dosificación con aditivo con 0.8%

<b>MATERIAL</b>	<b>PROPORCIÓN EN PESO</b>	<b>Dosificación para 500 gr de cemento</b>	<b>Dosificación en Kg para 1 m<sup>3</sup></b>
CEMENTO	1	500	393.31
ARENA	3.798	1898.78	1493.62
ADITIVO	0.008	4	3.15
AGUA		380	298.92
	suma=	2782.78	

Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Diseño de mezcla para preparar mortero de reparación con aditivo plastificante 1% peso de cemento.

### DISEÑO C.

Relación de volumen cemento: arena = 1 : 3

Aditivo = 1% peso de cemento

Aplicando las relaciones expuestas en el Cuadro N° 6, se obtiene la proporción en peso del cemento y arena. Ver Cuadro N° 13.

Cuadro N° 13. Proporción en volumen y peso de mezcla con aditivo con 1%

	Proporción en volumen	Proporción en Peso
CEMENTO	1	1
ARENA	3	3.798
ADITIVO	0.0103	0.010

Fuente: elaboración propia

Relación de volumen cemento: arena = 1 : 3

Porcentaje de aditivo en peso de cemento = 1%

Fluidez de mezcla = 110 +/- 5%

Peso Unitario del mortero = 2152 kg/m<sup>3</sup>

El Cuadro N° 14, contiene la dosificación para la tanda de 500gr de cemento y dosificación para preparar 1m<sup>3</sup> de mortero.

Cuadro N° 14. Dosificación con aditivo con 1%

MATERIAL	PROPORCIÓN EN PESO	Dosificación para 500 gr de cemento	Dosificación en Kg para 1 m <sup>3</sup>
CEMENTO	1	500	386.43
ARENA	3.798	1898.78	1467.51
ADITIVO	0.01	5	3.86
AGUA		380	293.69
	suma=	2783.78	

Fuente: elaboración propia

3.3.4 Diseño de mezcla para preparar mortero de reparación con aditivo plastificante 1.2% peso de cemento.

**DISEÑO D.**

Relación de volumen cemento: arena = 1 : 3

Aditivo = 1.2% peso de cemento

Aplicando las relaciones expuestas en el Cuadro N° 6, se obtiene la proporción en peso del cemento y arena. Ver Cuadro N° 15.

Cuadro N° 15. Proporción en volumen y peso de mezcla con aditivo con 1.2%

	<b>Proporción en volumen</b>	<b>Proporción en Peso</b>
CEMENTO	1	1
ARENA	3	3.798
ADITIVO	0.0123	0.012

Fuente: Elaboración propia

Relación de volumen cemento: arena = 1 : 3

Porcentaje de aditivo en peso de cemento = 1.2%

Fluidez de mezcla = 110 +/- 5%

Peso Unitario del mortero = 2164 kg/m<sup>3</sup>

El Cuadro N° 16, contiene la dosificación para la tanda de 500gr de cemento y dosificación para preparar 1m<sup>3</sup> de mortero.

Cuadro N° 16. Dosificación con aditivo con 1.2%

<b>MATERIAL</b>	<b>PROPORCIÓN EN PESO</b>	<b>Dosificación para 500 gr de cemento</b>	<b>Dosificación en Kg para 1 m<sup>3</sup></b>
CEMENTO	1	500	389.24
ARENA	3.798	1898.78	1478.16
ADITIVO	0.012	6	4.67
AGUA		375	291.93
	suma=	2779.78	

Fuente: elaboración propia

## CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN Y PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS

### 4.1 ENSAYOS DEL MORTERO FRESCO

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

Es un indicador importante para predecir en cierta medida la trabajabilidad del mortero. Como ya se ha señalado anteriormente en el Capítulo 3.2.2, la fluidez es la propiedad más importante para mortero de reparación; se debe hacer un control muy riguroso para que no se aleje del rango establecido de 110+/-5 %.

La fluidez tiene una influencia no solo en el estado fresco, si no, también, en el estado endurecido como las resistencias mecánicas finales, la adherencia y la retracción. Esto debido a que la fluidez tiene una relación muy estrecha con el contenido de agua dentro de la mezcla.

Otro punto muy importante, es que la fluidez no permanece constante en el tiempo, varía de acuerdo con el tiempo de fragua del mortero. Por lo que, la fluidez con el transcurrir del tiempo, disminuye.

Procedimiento en laboratorio:

Se vierte dentro del molde troncocónico el mortero fresco en dos capas (25mm aprox.), con 20 golpes distribuidos uniformemente con compactador por cada capa. Todo ello sobre la mesa de flujo, retirar el molde troncocónico, previamente enrazado con una espátula evitando compactaciones adicionales. Luego se procede a “dejar caer la mesa de flujo”, este procedimiento es por medio de la leva giratoria en la base de la mesa de flujo, con una frecuencia de 25 golpes por 15 segundos. Después, se procede a las mediciones del diámetro de la muestra por medio de un vernier, por lo general son cuatro mediciones. Para luego obtener un diámetro promedio final. Con el que mediante la fórmula a continuación mostrada se obtiene el valor de la fluidez.

$$\%Fluidez = \frac{(D_{prom} - 10.16)}{10.16} \times 100\%$$

Donde:

$D_{prom}$  = Diámetro promedio (cm)

Equipo empleado:

- Mezcladora normalizada para mortero
- Mesa de flujo
- Molde troncocónico
- Compactador para mortero
- Vernier
- Espátula
- Cronómetro

#### 4.1.2 Ensayo de peso unitario (ASTM C138)

El ensayo de peso unitario consiste en colocar el mortero fresco dentro del recipiente cilíndrico normalizado de 400ml de volumen, en tres capas, compactándola con 25 golpes cada una, con ayuda del apisonador o compactador. Luego, enrasar el molde o recipiente con la espátula, teniendo cuidado de no realizar compactación adicional. Después, se procede a pesar el molde. Una vez realizado este procedimiento, el cálculo del peso unitario, se da aplicando la fórmula a continuación presentada, cuya unidad es el kg/m<sup>3</sup>.

$$\text{Peso unitario} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Vol rec.}}$$

Donde:

Peso final = Peso del recipiente + Peso de la mezcla (g)

Peso inicial = Peso del recipiente (g)

Vol rec. = Volumen del recipiente (ml)

Equipo empleado:

- Molde normalizado de 400ml
- Mezcladora para mortero
- Compactador
- Espátula
- Balanza electrónica

#### 4.1.3 Ensayo de exudación (ASTM C232)

Es la propiedad por la que el mortero pierde agua a través de su superficie libre, esto debido a la sedimentación de las partículas presentes en la mezcla, que son más pesadas que las partículas libres de agua encontradas suspendidas.

Procedimiento en laboratorio:

El proceso consiste en compactar tres capas sobre un molde normalizado de diámetro 7.81cm, con 25 golpes. Luego, con una jeringa, cuando inicie la exudación, se proceda a extraer el agua superficial cada 10 minutos, durante los 40 minutos iniciales. Para luego, extraer el agua cada 30 minutos. Este procedimiento se sigue hasta notar que el mortero no continúa exudando.

La manera de calcular el valor de la exudación es la siguiente:

$$\text{Exudación} = \frac{D}{C} \times 100\%$$

Donde:

C = Masa del agua total que intervino en el ensayo (g)

D = Masa del agua exudada (g)

Exudación, se expresa como porcentaje (%).

Equipo empleado:

- Molde normalizado para exudación
- Mezcladora normalizada para mortero
- Balanza electrónica
- Compactador
- Cronómetro
- Espátula
- Jeringa

## 4.2 ENSAYOS DEL MORTERO ENDURECIDO

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

Con el ensayo de compresión, se busca saber cuánta carga puede soportar el espécimen a ciertas edades, sometido axialmente a cargas a una velocidad preestablecida, hasta el fallo.

Procedimiento en laboratorio:

Se procede a preparar (ensamblar) los moldes de metal normalizados. Cuya forma es de prisma que puede contener hasta tres cubos cuyo lado es 2", donde se vierte el mortero fresco en dos capas que serán compactadas por el compactador en 32 golpes cada una. Los golpes (32) se distribuyen de la siguiente manera: 8 golpes en dirección Y; inmediatamente desde este punto, 8 golpes en dirección X; seguidamente desde este último punto, 8 golpes en dirección -Y; seguidamente desde este último punto, 8 golpes en dirección -X. Considerando como origen de coordenadas un vértice del cuadrado (vista en planta del cubo). Terminado este proceso en ambas capas, se procede a enraizar con la espátula, cuidando de no ejercer compactación adicional. Después, se espera un par de horas a que seque un tanto la superficie del mortero para luego ser llevado a la cámara de curado, hasta el día siguiente, donde se procede a desmoldar los especímenes y mantenerlos en la cámara de curado o sumergirlos en pozas de agua con cal por el tiempo requerido, que puede ser 7, 14 y 28 días generalmente.

Al momento de someter el espécimen a los esfuerzos de compresión en la máquina de ensayo de compresión uniaxial, es necesario haber retirado el mortero de la cámara de curado, por al menos 3 horas y haberla secado superficialmente con un paño. La máquina de ensayo de compresión uniaxial ejerce cargas en una cara del mortero, gradualmente, hasta que ocurra el fallo.

El cálculo de la resistencia de compresión se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$R_c = \frac{F}{A}$$

Donde:

F = Carga máxima de rotura (kg)



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

Rc = Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

Equipo empleado:

- Mezcladora normalizada para mortero
- Máquina de ensayo de compresión uniaxial
- Molde metálico cúbico para mortero
- Compactador
- Espátula
- Cámara de curado
- Pozo de curado
- Vernier

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

Como se sabe, la resistencia a la tracción de los morteros no es alta, no es una propiedad que la caracterice. Sin embargo, en alguna situación se puede encontrar sometida a este tipo de tensión, por lo que es importante conocer la resistencia que puede soportar.

Procedimiento en laboratorio:

Se procede a ensamblar los moldes en forma de ocho para briquetas, para luego verter el mortero fresco en una sola capa con una compactación de 20 golpes sobre toda la superficie con ayuda de los dedos. Terminado este proceso, se procede a enrazar con la espátula, cuidando de no ejercer compactación adicional. Después, se espera un par de horas a que seque un tanto la superficie del mortero para luego ser llevado a la cámara de curado, hasta el día siguiente, donde se procede a desmoldar los especímenes y mantenerlos en la cámara de curado o sumergirlos en pozas de agua con cal por el tiempo requerido, que puede ser 7, 14, 28 días generalmente.

Al momento de someter el espécimen a los esfuerzos de tracción en la máquina de ensayo de tracción, es necesario haber retirado el mortero de la cámara de curado, por al menos 3 horas y haberla secado superficialmente con un paño. La máquina de ensayo de tracción ejerce cargas por medio de sus brazos mecánicos,

que “jalan” al mortero en forma de “ocho” de sus extremos anchos, hasta el fallo. Que se produce en la parte más esbelta del mortero.

El cálculo de la resistencia a la tracción se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{F}{A}$$

Donde:

F = Carga de rotura (kg)

A = Sección transversal (cm<sup>2</sup>)

Q = Resistencia a la tracción (kg/cm<sup>2</sup>)

Equipo empleado:

- Mezcladora normalizada para mortero
- Máquina de ensayo de tracción
- Molde metálico en forma de ocho para las briquetas
- Cámara de curado
- Espátula
- Vernier

#### 4.2.3 Ensayo de la tensión de adherencia (ASTM C1583)

La norma por aplicar en este ensayo corresponde a la ASTM C1583, que lleva por título “Método de ensayo. Resistencia a la tracción de superficies de concreto y resistencia de unión o resistencia a la tracción de reparaciones de concreto y materiales de recubrimiento por medio de tracción directa (Método de extracción / Pull-off)”. Que consiste en obtener el valor de la tensión de adherencia entre una base preparada de concreto con el material de reparación, para este caso, el mortero con aditivo plastificante. Además, ya que se realiza una comparación con el mortero de reparación con aditivo expansivo de la investigación de Alanya J. (2017), quien se apoya en la norma ISO que se señala a continuación, que básicamente es la misma a la norma ASTM.

ISO 13007-1:2010 losas de cerámico – Grouts y adhesivos – Parte 1: Términos, definiciones y especificaciones para adhesivos.

ISO 13007-2:2010 losas de cerámico – Grouts y adhesivos – Parte 2: Método de la prueba de adherencia.

La norma ISO mencionada, parametriza los ensayos de adherencia entre losas de cerámico a través de adhesivos con bases de concreto para llegar a conocer los valores de tensión de adherencia que existe entre ambas superficies. La analogía que se establece a continuación: es la de reemplazar el adhesivo de las losas de cerámica por muestras de mortero; obviamente ya no será necesario el uso de la losa de cerámico, porque lo que se busca es conocer la adherencia entre mortero y superficie de concreto. También, se realiza aportes en este ensayo para orientarlo a la realidad de los morteros que son usados en la reparación y conservación de obras civiles.

Procedimiento en laboratorio:

Primero, se debe preparar la base de concreto donde se va a realizar el ensayo de adherencia.

La base de concreto debe poseer un espesor de 40+/-5mm, de superficie rugosa, con presencia de surcos, esto para que asemeje la condición real en la que un mortero de reparación se adhiere sobre la superficie a intervenir; caso distinto al que ocurre cuando se coloca cerámico sobre una superficie, que prácticamente es uniforme.

La proporción de mezcla aproximada en baldes de 18lt de volumen es la siguiente: 2 de arena, 1 de confitillo, ½ de cemento y 15litros de agua. Se mezcla en el trompo a velocidad media constante.

Se arma (ensambla) los moldes de la base de 40x40cm, luego se engrasa el molde para evitar adherencias. Se procede a vaciar el concreto en dos capas y a compactar con una varilla de 3/8". Después enrazar con la regla. Se deja que la mezcla gane cierta resistencia, y a la hora siguiente se procede a realizar el tratamiento de capa superior para darle rugosidad; el procedimiento consiste en realizar una mezcla seca de cemento con arena que pase la malla N°4 y rociarla en la cara superior, después, con una espátula esparcirla de forma homogénea, para luego con la varilla de 3/8" definir los surcos de una profundidad de 4mm. Al día siguiente desmoldar y llevar la base a la cámara de curado por al menos 7 días.

Al retirar la base después de los 7 días de curado, se coloca de forma vertical en un ambiente seco y ventilado por un periodo mínimo de 3 meses, y cuando vaya a ser ensayado, se necesita que al menos haya estado 24 horas en condiciones ambientales.

#### *Primera fase del ensayo*

Limpiar cuidadosamente la base de concreto, después colocar los moldes de forma cilíndrica de 2" de diámetro y 1cm de alto, cuidando que tengan como mínimo una separación de 2". Verter el mortero fresco en una capa y compactar con 20 golpes con los dedos. Después enrazar con la espátula y llevar la base con la muestra de mortero a la cámara de curado. Al día siguiente, retirar los moldes y dejar curar por el periodo que se requiera.

#### *Segunda fase del ensayo*

Cuando se requiera ensayar se debe retirar de la cámara de curado 1 día antes y secar con paño. Luego se procede a colocar el adhesivo epóxico de resistencia comprobada mucho más alta que el mortero ensayado, sobre las muestras de mortero. Colocar sobre ellas los moldes de pull-off y esperar 24 horas.

Con la máquina de tensión de adherencia se procede a "jalar" los moldes pull-off, hasta que lograr desprenderla de la base.

El cálculo de la tensión de adherencia se realiza aplicando la siguiente fórmula:

$$S_a = \frac{P}{A}$$

Donde:

$S_a$  = Tensión de adherencia (N/mm<sup>2</sup>)

$P$  = Carga máxima en tensión (N)

$A$  = Área de sección de la muestra de mortero (mm<sup>2</sup>)

Equipo empleado:

- Mezcladora normalizada para mortero
- Máquina de ensayo de tensión de adherencia
- Moldes metálicos cilíndrico de 2" de diámetro y 1cm de alto
- Moldes metálicos pull-off

- Moldes de 40x40x5cm (Base)
- Espátula
- Varilla de 3/8"
- Cámara de curado
- Regla de albañilería
- Vernier
- Trompo mezclador

#### 4.2.4 Ensayo de retracción (NTP 334.165:2007)

La retracción de los morteros es un fenómeno común en este tipo de materiales, debido a la pérdida de agua de mezcla ya sea por retracción plástica, por secado, o intrínseca. Un claro ejemplo de este fenómeno se presenta en las juntas de mortero para asentar unidades de albañilería; en el caso que exista desprendimiento del mortero-ladrillo, se debe principalmente a la retracción del mortero.

Procedimiento en laboratorio:

Se procede a preparar (ensamblar) los moldes prismáticos de metal normalizados de 1x1x11", donde se vierte el mortero fresco en dos capas que serán compactadas por el compactador o apisonador en 20 golpes cada una. Luego en ambos extremos del molde colocar los pines o pernos para calibrar. Después, se procede a enrazar con la espátula teniendo cuidado de no ejercer compactación adicional. Al cabo de 3 horas se traslada el molde con el mortero a la cámara de curado. Al día siguiente se procede a su desmolde; y se le realiza inmediatamente la lectura de comparación inicial, para luego ser devuelta a la cámara de curado y realizar las nuevas medidas en el tiempo(edad) que se requiera.

Para obtener el valor de la retracción, se emplea la siguiente fórmula:

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

$L_f$  = Longitud a cualquier edad(mm)

$L_i$  = Longitud inicial, después de desmoldar (mm)

$G$  = Longitud de calibración 250mm

Equipo empleado:

- Mezcladora normalizada para mortero
- Comparador de longitud
- Molde metálico
- Cámara de curado
- Espátula
- Vernier

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo muestra el análisis de resultados obtenidos de los diferentes ensayos a los que fue sometido el mortero con aditivo plastificante. También, la comparación de las propiedades del clásico mortero usado para la reparación de obras civiles —el mortero con aditivo expansivo— con la propuesta del mortero con aditivo plastificante. Para lo cual se utiliza los resultados de tesis de grado “Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resanes en obras de ingeniería civil” de Alanya J (2017).

La comparación entre los morteros con aditivo plastificante y expansivo, no se realiza de manera directa. Si no, entre las variaciones respecto a su mortero patrón para cada caso.

Para cada diseño de mezcla se han realizado cuatro muestras por cada tipo de ensayo.

El resumen de nomenclatura con respecto a los morteros con aditivo plastificante y expansivo se presenta en el Cuadro N° 17.

Cuadro N° 17. Nomenclatura de los diseños de mezcla con aditivo plastificante y expansivo

<b>DISEÑO DE MEZCLA</b>		
Presente investigación	A	Aditivo Plastificante 0.0%
	B	Aditivo Plastificante 0.8%
	C	Aditivo Plastificante 1.0%
	D	Aditivo Plastificante 1.2%
Investigación de Alanya J. (2017)	A'	Aditivo Expansivo 0.0%
	B'	Aditivo Expansivo 2.0%
	C'	Aditivo Expansivo 6.0%
	D'	Aditivo Expansivo 10.0%

Fuente: Elaboración propia

El desarrollo de los ensayos se realizó en su totalidad en los ambientes del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería LEM – UNI.

## 5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL MORTERO FRESCO

Las propiedades del mortero fresco son importantes para el uso en reparación de obras civiles ya que, en esta etapa se controla la trabajabilidad, como también se procede con la colocación, inyección del mortero sobre fisuras, cangrejas, fallas, etc. La propiedad fundamental en esta etapa es la fluidez, como se ha indicado en el Capítulo 3.2.2 Diseño de mezcla para mortero de cemento con aditivo plastificante para reparación; su control es fundamental para la obtención de los resultados óptimos.

### 5.1.1 Peso unitario del mortero con aditivo plastificante

El Cuadro N° 18, presenta los resultados del ensayo de peso unitario de los cuatro tipos de diseño de mortero.

Cuadro N° 18. Pesos unitarios de los morteros con aditivo plastificante

DISEÑO	ADITIVO PLASTIFICANTE	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )
A	Sin Aditivo	2145
B	0.8% Peso de Cemento	2189
C	1.0% Peso de Cemento	2152
D	1.2% Peso de Cemento	2164

Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 1, muestra la representación gráfica en barras de los cuatro tipos de diseño de mortero.

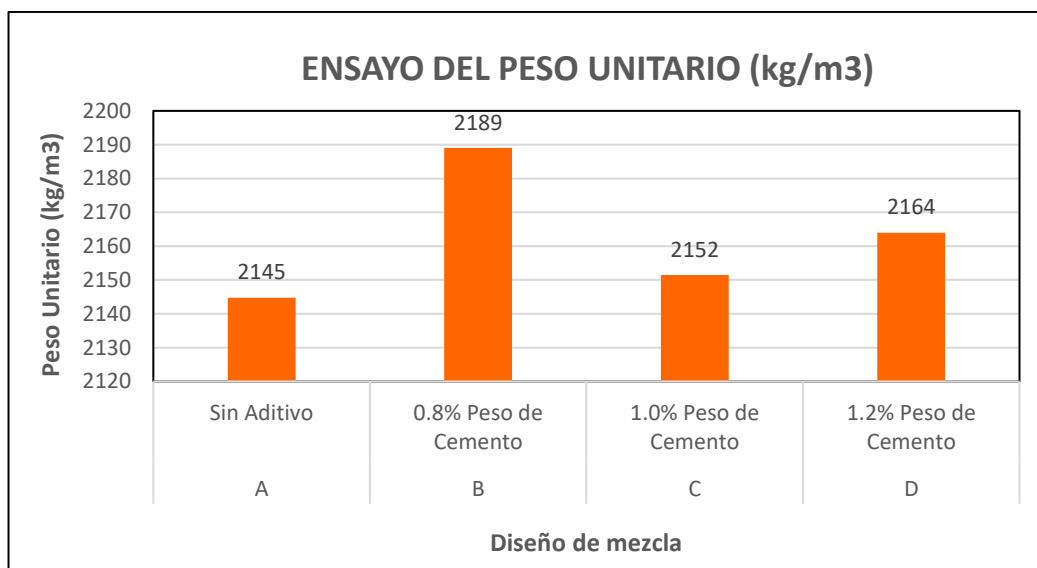


Figura N° 1. Pesos unitarios de los diseños de mortero con aditivo plastificante

Fuente: Elaboración propia



- El peso unitario del mortero en estado fresco sin aditivo es de 2145 Kg/m<sup>3</sup> en promedio, el peso unitario con aditivo plastificante con 0.8% aumenta a 2189 Kg/m<sup>3</sup>, con 1.0% disminuye a 2152 Kg/m<sup>3</sup> y con 1.2% aumenta a 2164Kg/cm<sup>3</sup>; esto muestra como existe la tendencia al aumento del peso unitario al usar aditivo plastificante.
- El mortero con mayor peso unitario es en el que se emplea aditivo con 0.8%, alcanzando el valor de 2189 Kg/m<sup>3</sup>. No necesariamente en la mezcla con mayor aditivo se obtiene el mayor peso unitario. Se puede justificar este hecho por las reacciones optimas que se producen en la mezcla a esta dosificación.
- Al intervenir menos agua en mezcla por efecto del uso del aditivo plastificante, cuya naturaleza es reductora de agua, resulta notorio el aumento del peso unitario en comparación con el mortero patrón.

### 5.1.2 Comparación del peso unitario del mortero con aditivo plastificante y expansivo

El Cuadro N° 19, presenta los resultados de la comparación de los pesos unitarios del mortero con aditivo plastificante y expansivo en relación de su respectivo mortero patrón; expresados en porcentajes.

Cuadro N° 19. Variación del peso unitario del mortero con aditivo plastificante y expansivo con respecto al mortero patrón

DISEÑO DE MEZCLA		PESO UNITARIO (kg/cm <sup>2</sup> )	VARIACIÓN
<b>PLASTIFICANTE</b>	A (0%)	2145	100.0%
	B (0.8%)	2189	102.1%
	C (1.0%)	2152	100.3%
	D (1.2%)	2164	100.9%
<b>EXPANSIVO</b>	A' (0%)	2171	100.0%
	B' (2%)	2068	95.3%
	C' (6%)	1967	90.6%
	D' (10%)	1899	87.5%

Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 2, muestra la representación gráfica en barras de la comparación de los pesos unitarios del mortero con aditivo plastificante y expansivo en relación de su respectivo mortero patrón.

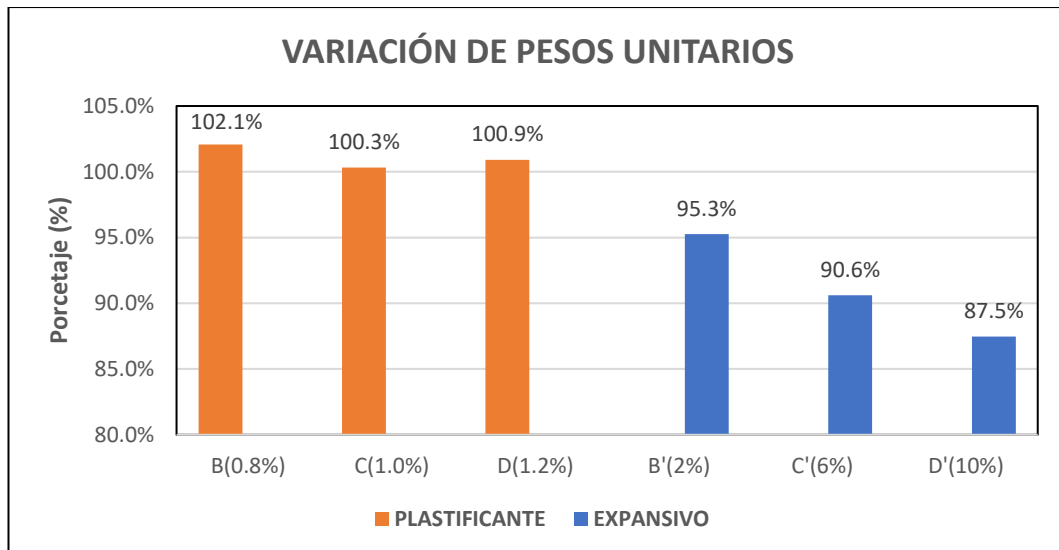


Figura N° 2. Porcentaje de variación del peso unitario del mortero con aditivo plastificante y expansivo con respecto a su mortero patrón

Fuente: Elaboración propia

- En el cuadro N° 19, se observa una tendencia al aumento del peso unitario expresado en porcentajes de los morteros con aditivo plastificante, desde un 102.1% en la primera comparación, 100.3% para la segunda comparación y 100.9% para la tercera comparación.
- En el cuadro N° 19, también se observa que las variaciones porcentuales de los morteros con aditivo plastificante son mayores respecto a su patrón, mientras que las variaciones porcentuales de los morteros con aditivo expansivo son inferiores a su patrón, por lo que, se genera pérdida de peso unitario con este último aditivo.
- En la Figura N° 2 se observa la tendencia hacia el aumento del peso unitario con la adición de aditivo plastificante en mezcla. Así como la disminución fuerte que experimenta el mortero a mayor cantidad de aditivo expansivo.

### 5.1.3 Fluidez del mortero con aditivo plastificante

El Cuadro N° 20, presenta los resultados del ensayo de peso unitario de los cuatro tipos de diseño de mortero, mientras que en la Figura N° 3 se muestra su representación gráfica en barras.

Cuadro N° 20. Fluidez de los morteros con aditivo plastificante

DISEÑO	ADITIVO PLASTIFICANTE	FLUIDEZ (%)
A	Sin Aditivo.	110
B	0.8% Peso de Cemento	110
C	1.0% Peso de Cemento	110
D	1.2% Peso de Cemento	110

Fuente: Elaboración propia

- La fluidez se mantuvo estable en los diseños con el valor de 110%
- La fluidez se controla en el laboratorio, con la cantidad de agua que interviene en la mezcla; es fundamental mantener el rango entre  $110 \pm 5\%$

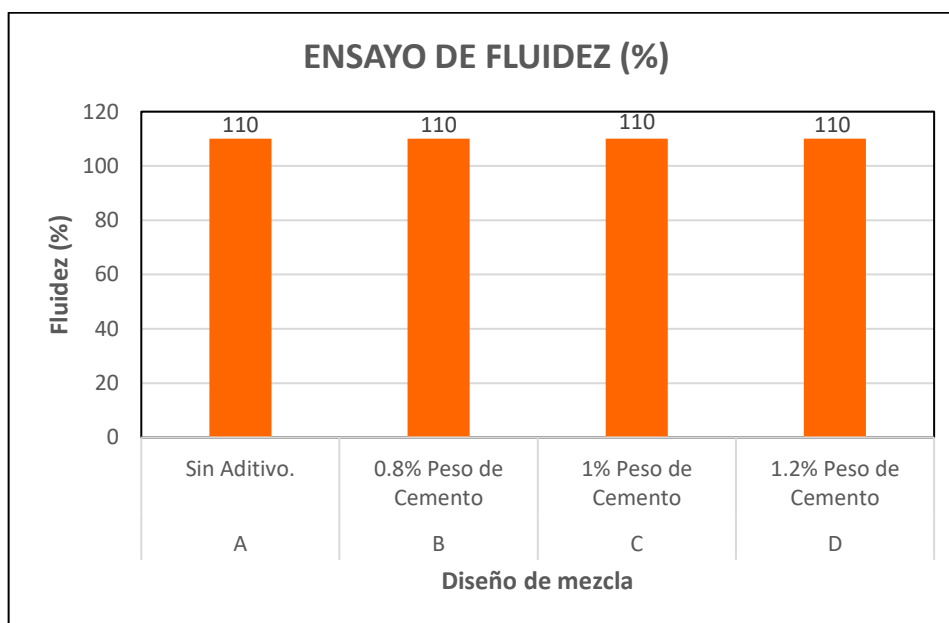


Figura N° 3. Fluidez de los diseños de mortero con aditivo plastificante

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.4 Comparación de la fluidez del mortero con aditivo plastificante y expansivo

El Cuadro N° 21, presenta los resultados de la comparación de la fluidez del mortero con aditivo plastificante y expansivo en relación de su respectivo mortero

patrón, mientras que en la Figura N° 4 se muestra la representación gráfica en barras.

Cuadro N° 21. Variación de la fluidez del mortero con aditivo plastificante y expansivo

DISEÑO DE MEZCLA		FLUIDEZ (%)	VARIACIÓN
<b>PLASTIFICANTE</b>	A (0%)	110	100.0%
	B (0.8%)	110	100.0%
	C (1.0%)	110	100.0%
	D (1.2%)	110	100.0%
<b>EXPANSIVO</b>	A (0%)	110	100.0%
	B (2%)	110	100.0%
	C (6%)	110	100.0%
	D (10%)	110	100.0%

Fuente: Elaboración propia

- La fluidez en los morteros con aditivo plastificante y expansivo obtuvieron un valor de fluidez constante (110%); por lo que, al compararlas, no existe variación alguna.

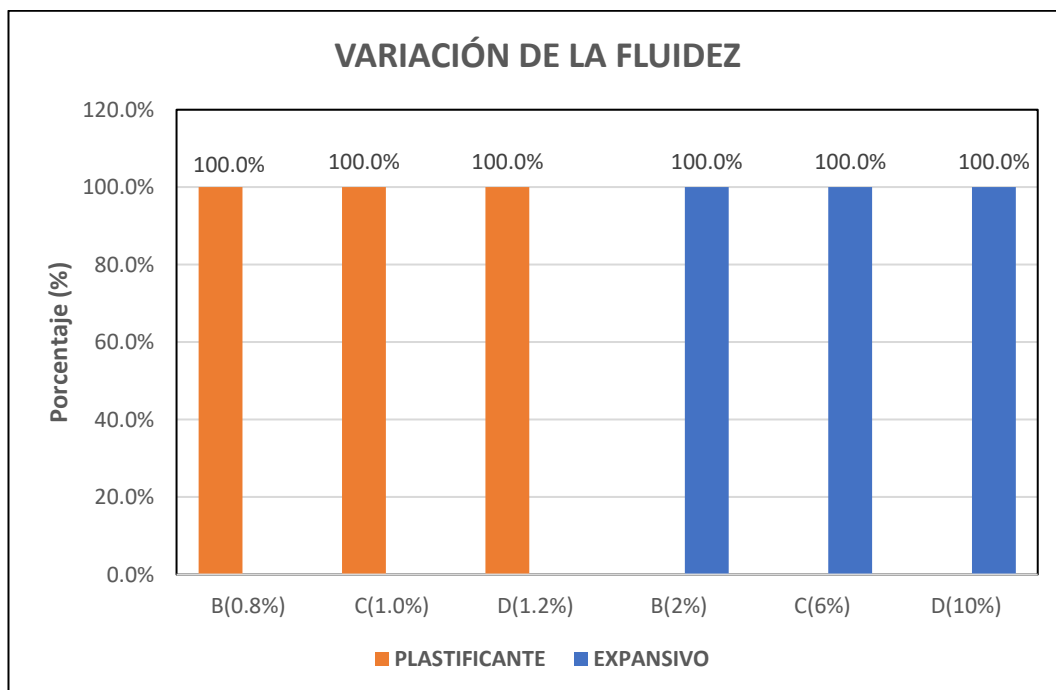


Figura N° 4. Variación de la fluidez del mortero con aditivo plastificante y expansivo

Fuente: elaboración propia

### 5.1.5 Exudación del mortero con aditivo plastificante

El Cuadro N° 22, presenta los resultados del ensayo de exudación de los cuatro tipos de diseño de mortero, mientras que en la Figura N° 5 se muestra su representación gráfica en barras.

Cuadro N° 22. Exudación de los morteros con aditivo plastificante

DISEÑO	ADITIVO PLASTIFICANTE	EXUDACIÓN (%)
A	Sin Aditivo	0.20
B	0.8% Peso de Cemento	0.05
C	1% Peso de Cemento	0.00
D	1.2% Peso de Cemento	0.00

Fuente: Elaboración propia

- La exudación del mortero en estado fresco sin aditivo es de 0.2% en promedio, con aditivo plastificante con 0.8% disminuye a 0.05%, con 1.0% disminuye a 0% y con 1.2% es 0%; esto muestra como existe la tendencia a la disminución de la exudación hasta hacerla nula al usar aditivo plastificante.
- El mortero con mayor exudación de los morteros con aditivo plastificante, es en el que se emplea aditivo con 0.8% y alcanza el valor de 0.05%.
- Se presenta una reducción de la exudación, producto de que el aditivo plastificante al ser un reductor de agua, hace que el agua de mezcla casi en su totalidad sea usada para el desarrollo de las reacciones químicas del cemento.

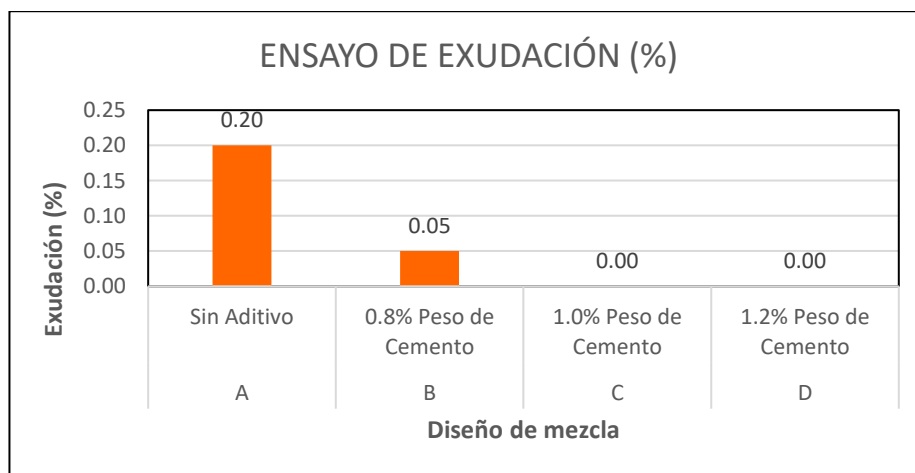


Figura N° 5. Exudación de los diseños de mortero con aditivo plastificante

Fuente: Elaboración propia

### 5.1.6 Comparación de la exudación del mortero con aditivo plastificante y expansivo

El Cuadro N° 23, presenta los resultados de la comparación de la exudación del mortero con aditivo plastificante y expansivo en relación a su respectivo mortero patrón, mientras que en la Figura N° 6 se muestra la representación gráfica en barras.

Cuadro N° 23. Variación de la exudación del mortero con aditivo plastificante y expansivo

DISEÑO DE MEZCLA		EXUDACIÓN (%)	VARIACIÓN
<b>PLASTIFICANTE</b>	A (0%)	0.20	100.0%
	B (0.8%)	0.05	25.0%
	C (1.0%)	0.00	0.0%
	D (1.2%)	0.00	0.0%
<b>EXPANSIVO</b>	A' (0%)	0.44	100.0%
	B' (2%)	0	0.0%
	C' (6%)	0	0.0%
	D' (10%)	0	0.0%

Fuente: Elaboración propia

- En la Figura N° 6, se observa que solo en la primera comparación del mortero con aditivo plastificante (0.8%), existe una exudación porcentual del 25% respecto al patrón. Y en todas las demás muestras de mortero con aditivo plastificante y expansivo no existe exudación.

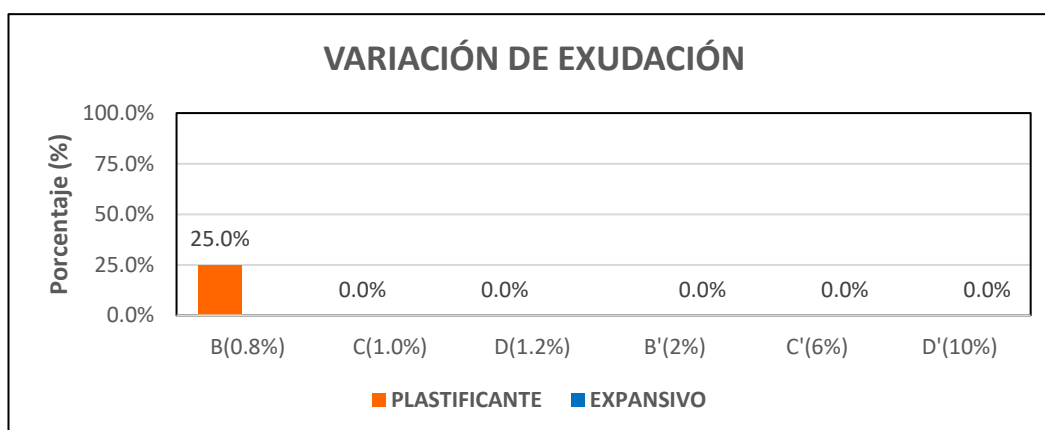


Figura N° 6. Variación de la exudación del mortero con aditivo plastificante y expansivo

Fuente: Elaboración propia

## 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS EN EL MORTERO ENDURECIDO

El mortero endurecido es importante, ya que es el estado último. Las propiedades fundamentales actuales para que un mortero sea considerado de reparación y conservación en estado endurecido son la adherencia y la retracción. Sin embargo, en esta investigación se verá con el mismo énfasis para los ensayos de compresión y tracción, a fin de elevar el estándar actual de los requerimientos del mortero para esta función.

### 5.2.1 Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante

Los Cuadros N° 24, N° 25, N° 26 y N° 27 muestran los valores de la resistencia promedio a la compresión del mortero patrón y mortero con aditivo plastificante con 0.8%, 1.0% y 1.2% respectivamente para edades de 7 y 28 días.

Las Figuras N° 7, N° 8, N° 9 y N° 10 muestran gráficamente la tendencia en el tiempo de la resistencia a la compresión del mortero patrón y mortero con aditivo plastificante al 0%, 0.8%, 1.0% y 1.2% respectivamente.

- **Mortero sin aditivo**

Cuadro N° 24. Resistencia a la compresión del mortero sin aditivo

DISEÑO	Tiempo (días)	Resistencia(kg/cm <sup>2</sup> )
A	7	121.37
	28	180.5

Fuente: Elaboración propia

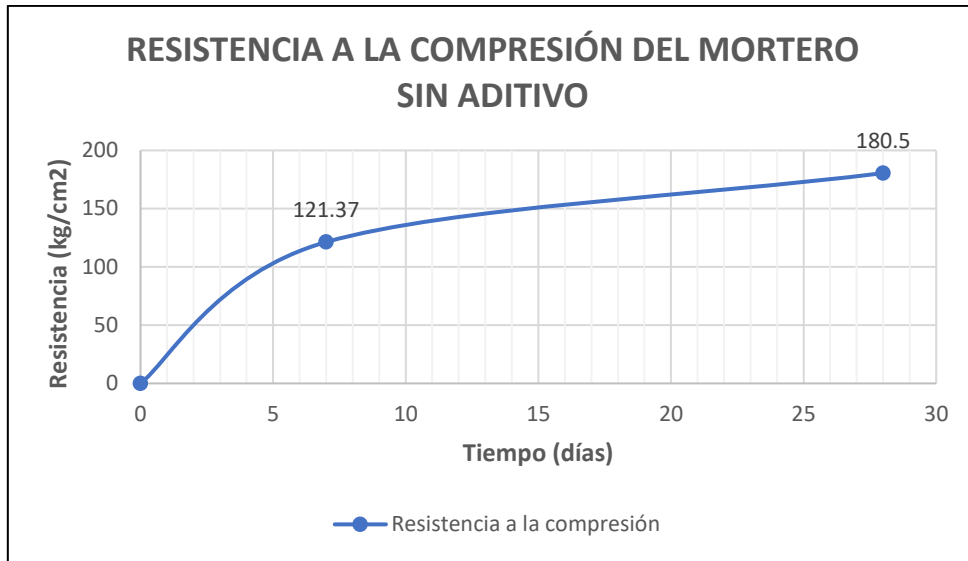


Figura N° 7. Resistencia a la compresión del mortero sin aditivo

Fuente: Elaboración propia

- **Mortero con aditivo plastificante 0.8%**

Cuadro N° 25. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 0.8%

DISEÑO	Tiempo (días)	Resistencia(kg/cm <sup>2</sup> )
B	7	140.6
	28	209.1

Fuente: Elaboración propia

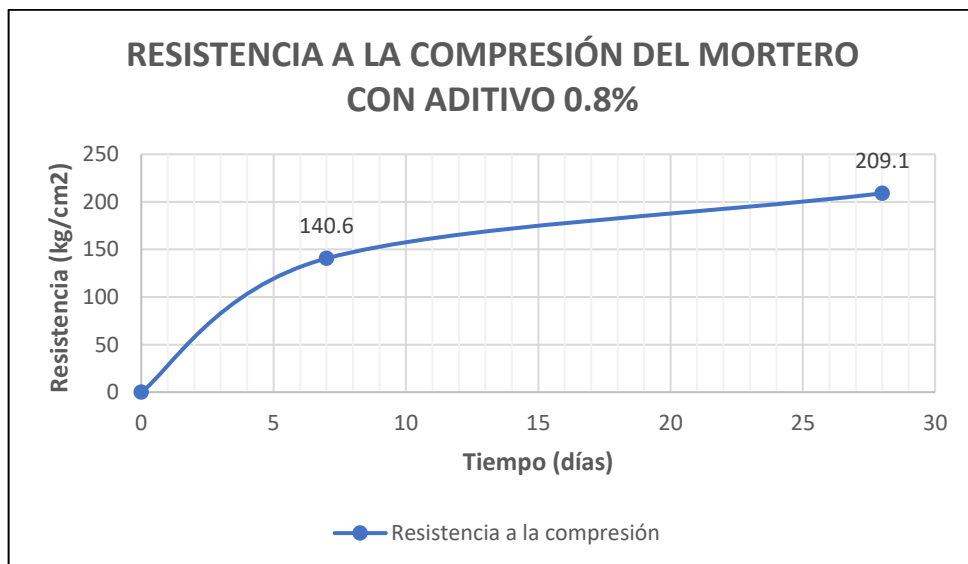


Figura N° 8. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 0.8%

Fuente: Elaboración propia



- **Mortero con aditivo plastificante 1.0%**

Cuadro N° 26. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 1.0%

DISEÑO	Tiempo (días)	Resistencia(kg/cm2)
C	7	151.1
	28	194.8

Fuente: Elaboración propia

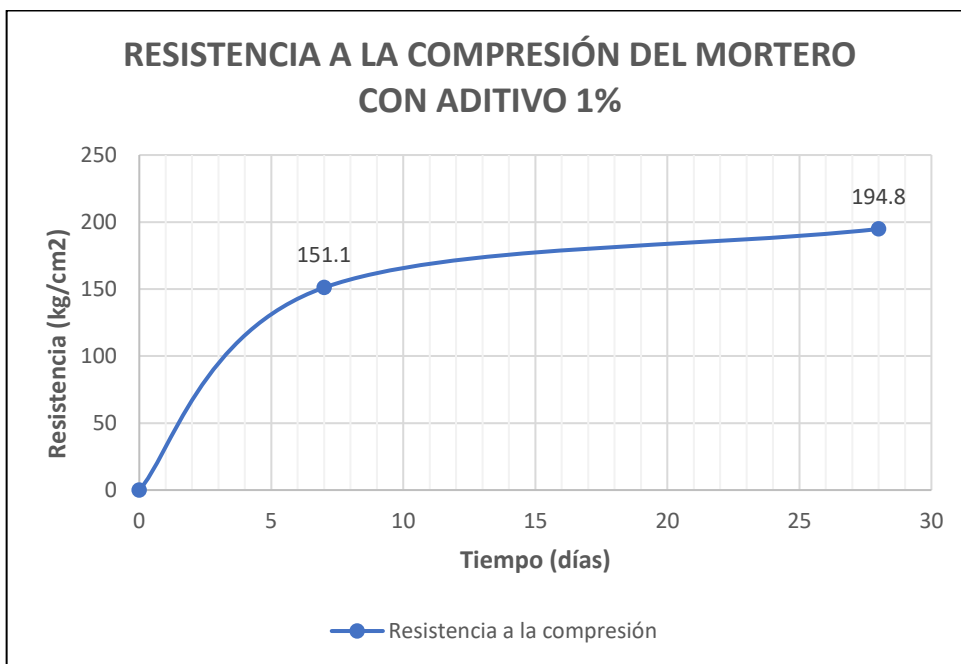


Figura N° 9. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 1.0%

Fuente: Elaboración propia

- **Mortero con aditivo plastificante 1.2%**

Cuadro N° 27. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 1.2%

DISEÑO	Tiempo (días)	Resistencia(kg/cm2)
D	7	181.3
	28	216.7

Fuente: Elaboración propia

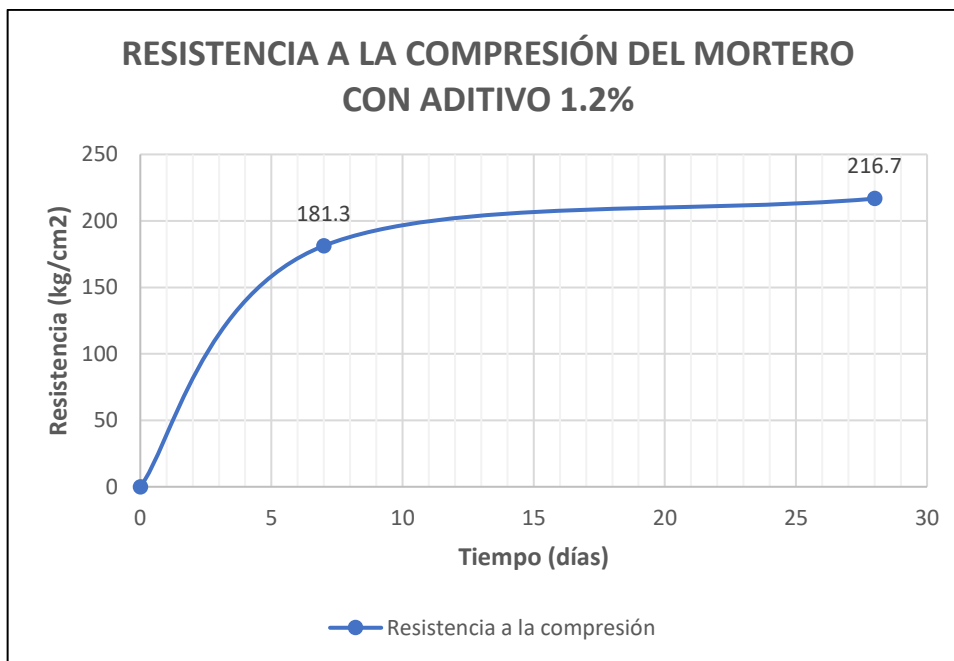


Figura N° 10. Resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante 1.2%

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2 Resumen de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante

Se presenta la síntesis del Capítulo 5.2.1; en el Cuadro N° 28 se muestra las resistencias promedio a la compresión para cada diseño a las edades de 7 y 28 días.

La Figura N° 11 muestra la tendencia de la resistencia a la compresión de los diferentes diseños de mezcla en el tiempo.

Cuadro N° 28. Resumen de la resistencia a la compresión de morteros con aditivo plastificante

DISEÑO DE MEZCLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	
	7 días	28 días
A Sin adit.	121.4	180.5
B adit. 0.8%	140.6	209.1
C adit. 1.0%	151.1	194.8
D adit. 1.2%	181.3	216.7

Fuente: elaboración propia

- La resistencia a la compresión va en aumento al incluir mayor porcentaje de aditivo en la mezcla. Por ejemplo, la mezcla sin aditivo para el día 28, de tener una resistencia a la compresión de 180.5 kg/cm<sup>2</sup> puede pasar a 216.7 kg/cm<sup>2</sup> con aditivo plastificante con 1.2%. O sea, puede ganar hasta un 20.1% de resistencia a la compresión.
- El mortero con aditivo plastificante con 0.8% alcanza una resistencia a la compresión de 209.1 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días; mientras el mortero con aditivo plastificante con 1 % alcanza 194.8%. Es decir, el Mortero de diseño B (0.8%) rompe la tendencia logrando superar al diseño C (1%) para el periodo de 28 días en 7.34%.
- Para brindar mayor seguridad sobre el uso de los datos obtenidos, se aplica la prueba Q de Dixon; y se muestra su desarrollo en el apartado ANEXO (p.89).

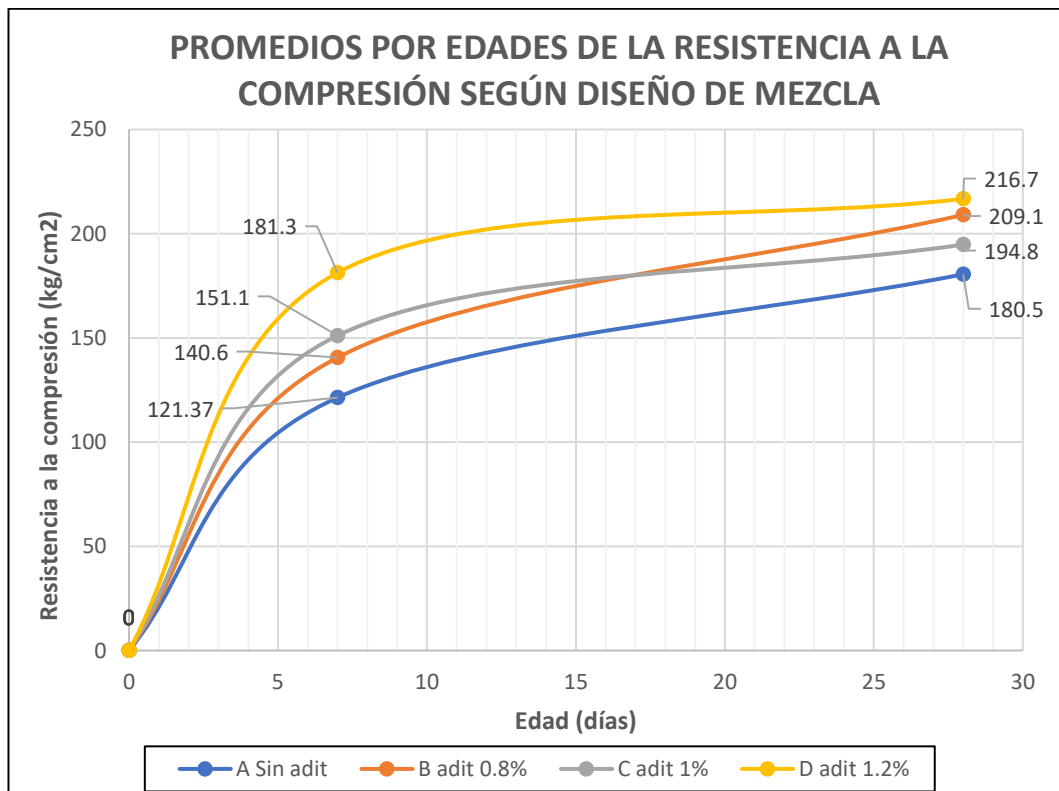


Figura N° 11. Resistencia a la compresión de los diseños de mortero con aditivo plastificante

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3 Comparación de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante y expansivo (28 días)

El Cuadro N° 29, presenta los resultados de la comparación de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante y expansivo a los 28 días en relación a su respectivo mortero patrón; mientras que en la Figura N° 12 se muestra la representación gráfica en barras.

Cuadro N° 29. Variación de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante y expansivo a 28 días

DISEÑO DE MEZCLA		COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	VARIACIÓN
<b>PLASTIFICANTE</b>	A (0%)	180.5	100.0%
	B (0.8%)	209.1	115.8%
	C (1.0%)	194.8	107.9%
	D (1.2%)	216.7	120.1%
<b>EXPANSIVO</b>	A' (0%)	231	100.0%
	B' (2%)	210	90.9%
	C' (6%)	181	78.4%
	D' (10%)	157	68.0%

Fuente: Elaboración propia

- Se aprecia un ascenso de la variación de la resistencia a la compresión en los morteros que incluyen aditivo plastificante. Se observa que el mortero D (1.2%) posee un 20.1% mayor resistencia que su mortero patrón y que, por el contrario, el mortero que contiene mayor aditivo expansivo D' (10%) cae hasta 68.0%, es decir pierde un 32.0% de resistencia respecto a su patrón. Con lo que, se evidencia la ventaja que posee el aditivo plastificante en relación al aditivo expansivo.
- Para el caso de la primera comparación B (0.8%), el porcentaje de variación es de 115.8%; mientras que para la comparación del mortero B' (6%) de la investigación de Alanya J. (2017) es 90.9%. Lo que también denota la mayor resistencia a la compresión de los morteros con aditivo plastificante. Así también podemos decir, que el mortero C (1.0%) posee un porcentaje de variación de 107.9%; mientras el mortero C' (8%) posee 78.4%. Ratificando la tendencia establecida.

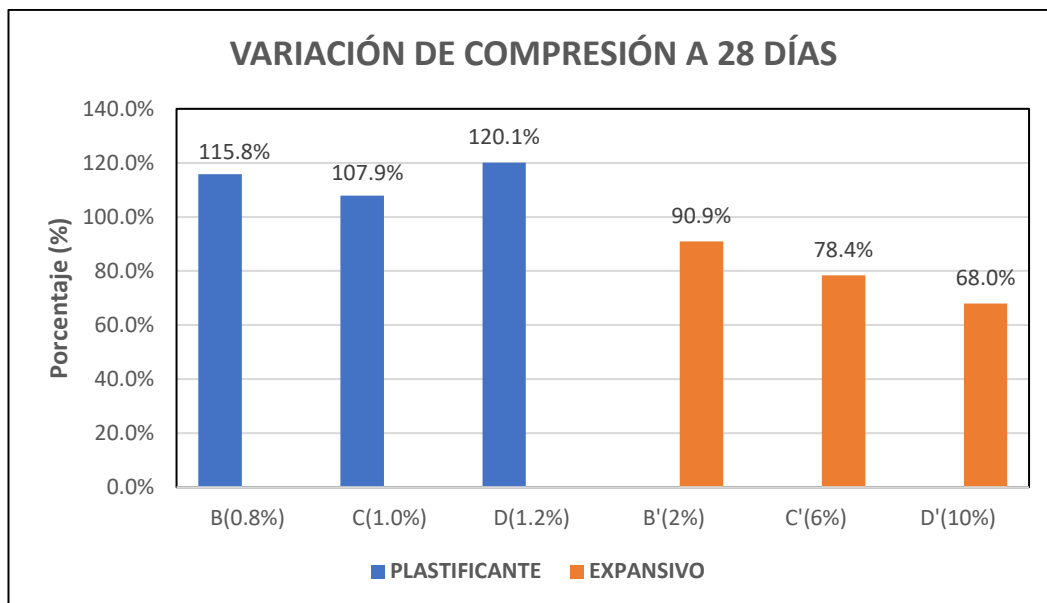


Figura N° 12. Variación de la resistencia a la compresión del mortero con aditivo plastificante y expansivo con respecto a su mortero patrón a 28 días

Fuente: Elaboración propia

#### 5.2.4 Resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante

Los Cuadros N° 30 y N°31 detallan información acerca de la resistencia promedio a la tracción de los morteros con aditivo plastificante para las edades de 7 y 28 días respectivamente.

Las Figuras N° 13 y N° 14 representan gráficamente mediante barras la resistencia promedio a la tracción para las edades de 7 y 28 días respectivamente.

- **Resistencia a la tracción a los 7 días**

Cuadro N° 30. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante a los 7 días

DISEÑO DE MEZCLA		EDAD (días)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
A	Sin Adit.	7	18.4
B	Adit. 0.8%	7	18.7
C	Adit. 1%	7	20.3
D	Adit. 1.2%	7	22.3

Fuente: Elaboración propia

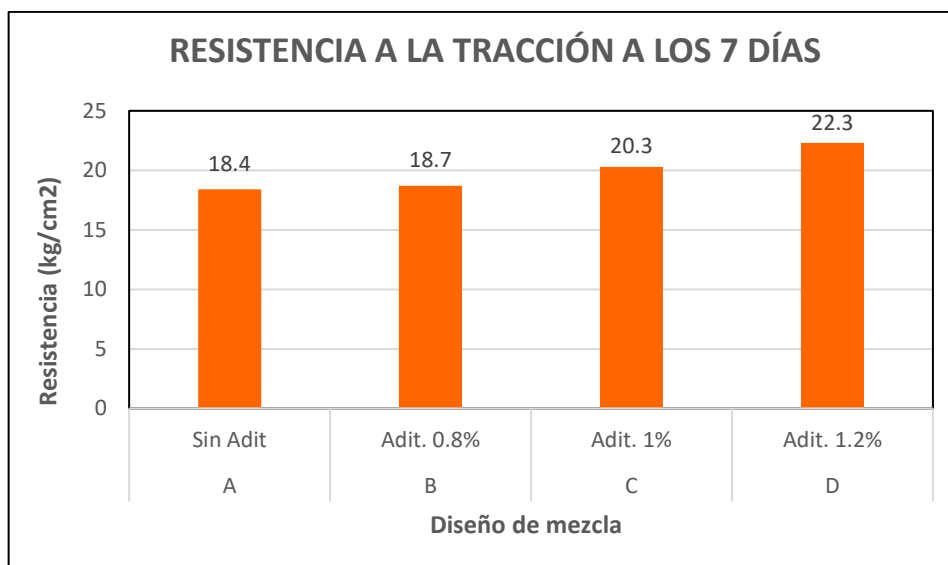


Figura N° 13. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante a los 7 días

Fuente: Elaboración propia

- **Resistencia a la tracción a los 28 días**

Cuadro N° 31. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante a los 28 días

DISEÑO DE MEZCLA		EDAD (días)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
A	Sin Adit	28	20.2
B	Adit. 0.8%	28	22.2
C	Adit. 1%	28	24.3
D	Adit. 1.2%	28	26.2

Fuente: Elaboración propia

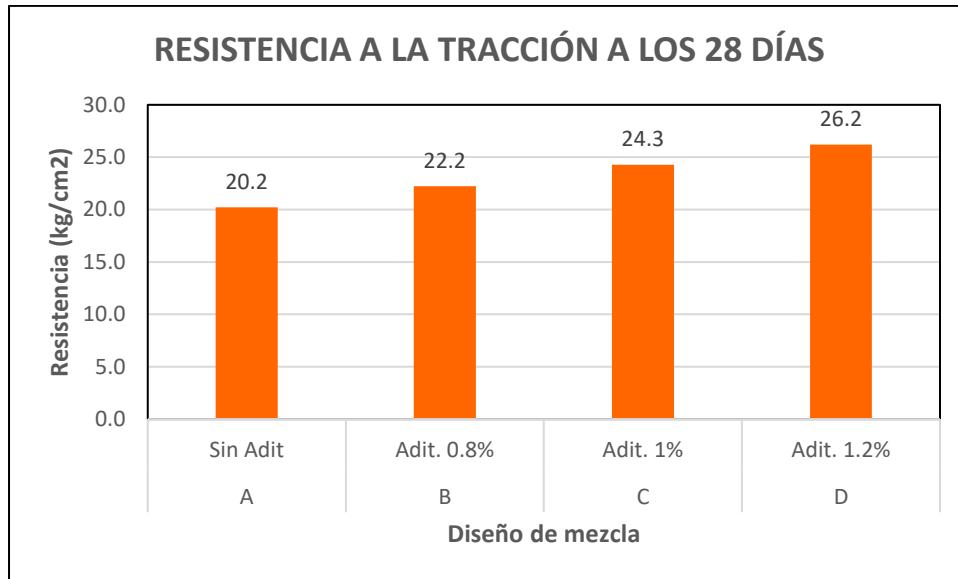


Figura N° 14. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante a los 28 días

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.5 Resumen de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante

Se presenta la síntesis del Capítulo 5.2.4; en el Cuadro N° 32 se muestra las resistencias promedio a la tracción para cada diseño a las edades de 7 y 28 días.

Cuadro N° 32. Resumen de la resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante

DISEÑO DE MEZCLA		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	
		7días	28días
A	Sin Adit	18.4	20.2
B	Adit. 0.8%	18.7	22.2
C	Adit. 1.0%	20.3	24.3
D	Adit. 1.2%	22.3	26.2

Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 15 muestra la representación gráfica en barras comparativas de la resistencia a la tracción de los diferentes diseños de mezcla para edades de 7 y 28 días.

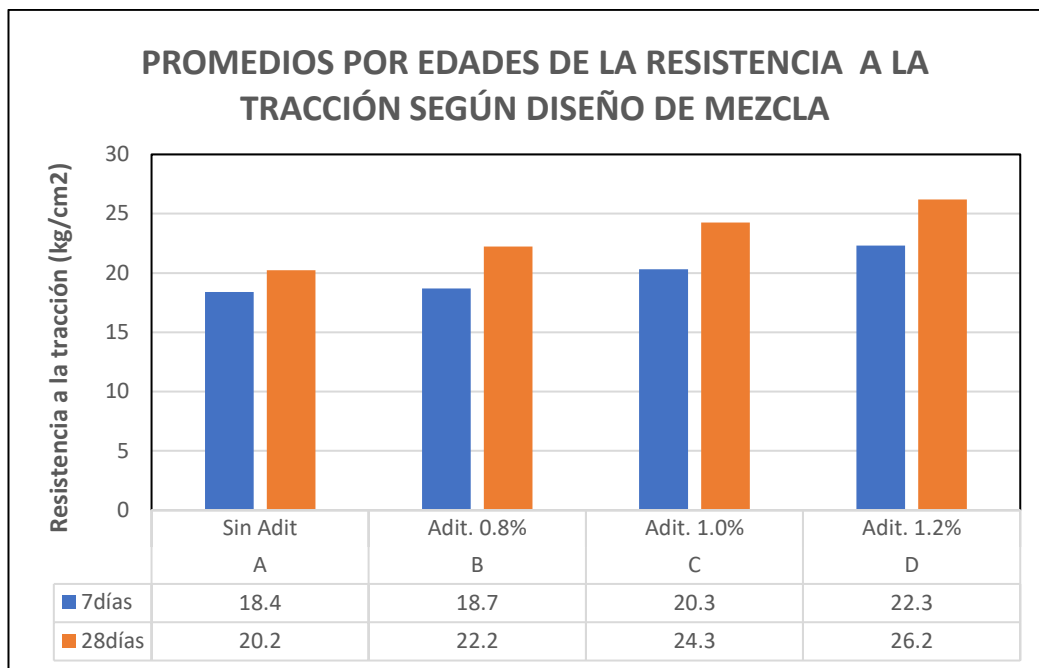


Figura N° 15. Resistencia a la tracción de los morteros con aditivo plastificante

Fuente: Elaboración propia

- La resistencia a la tracción va en aumento al incluir mayor porcentaje de aditivo en la mezcla. Por ejemplo, la mezcla sin aditivo para el día 28, de tener una resistencia a la tracción de 20.2 kg/cm<sup>2</sup> puede pasar a 26.2 kg/cm<sup>2</sup> con aditivo plastificante con 1.2%. O sea, puede ganar hasta un 29.7% de resistencia a la tracción.
- El mortero con mayor resistencia a la tracción es el que incluye aditivo con 1.2%, obteniéndose 22.3 kg/cm<sup>2</sup> para los 7 días; y 26.2 kg/cm<sup>2</sup> para los 28 días.
- Como se esperaba, por regla general, las resistencias a la tracción de los morteros son bajas. Ya que, los morteros y concretos, son materiales que trabajan bien a compresión, pero no así, a tracción.

#### 5.2.6 Comparación de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo (28 días)

El Cuadro N° 33, presenta los resultados de la comparación de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo a los 28 días en relación a su respectivo mortero patrón;



Cuadro N° 33. Variación de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo a 28 días

DISEÑO DE MEZCLA		TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	VARIACIÓN
<b>PLASTIFICANTE</b>	A (0%)	20.2	100.0%
	B (0.8%)	22.2	109.9%
	C (1.0%)	24.3	120.0%
	D (1.2%)	26.2	129.5%
<b>EXPANSIVO</b>	A' (0%)	25.0	100.0%
	B' (2%)	23.0	92.0%
	C' (6%)	20.0	80.0%
	D' (10%)	20.0	80.0%

Fuente: Elaboración propia

Mientras que en la Figura N° 16 se muestra la representación gráfica en barras.

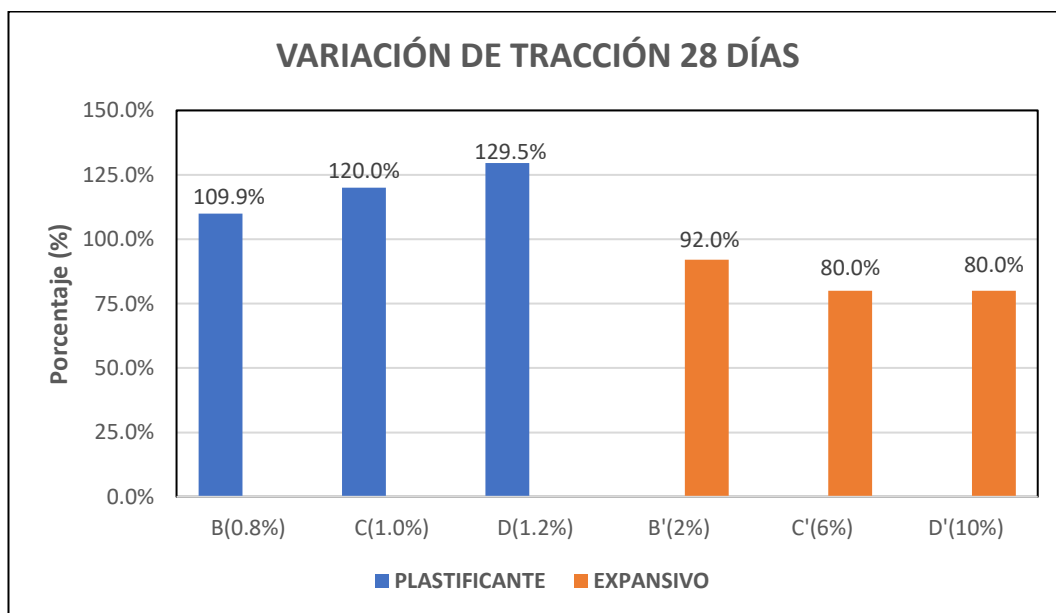


Figura N° 16. Variación de la resistencia a la tracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo a 28 días

Fuente: elaboración propia

- Se aprecia una marcada tendencia al aumento del porcentaje de variación en los morteros con aditivo plastificante. Para la primera comparación B (0.8%), 109.9%; para la segunda comparación C (1.0%), 120.0%; y para la tercera comparación D (1.2%), 129.5%. Por otro lado, los morteros con

aditivo expansivo, disminuyen en sus porcentajes de variación a medida que aumenta la cantidad de aditivo en mezcla.

- El diseño con mayor cantidad de aditivo plastificante D (1.2%) obtiene el porcentaje de variación más alto con 129.5%, mientras que el diseño con mayor cantidad de aditivo expansivo D' (10%) obtiene el menor porcentaje de variación con 80 %. Lo que muestra la amplia ventaja en este tipo de ensayos para los morteros con aditivo plastificante.

### 5.2.7 Adherencia del mortero con aditivo plastificante

Este ensayo es uno de los principales en lo que respecta al uso del mortero para la reparación y conservación de obras civiles. Como se señala en el Capítulo 4.2.3

**Ensayo de la tensión de adherencia;** se basa en las normas ASTM C1583 (principalmente) y la ISO 13007.

Los Cuadros N° 34, N° 35 y N° 36 detallan información acerca del promedio de la tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente.

Las Figuras N° 17, N° 18 y N° 19 representan gráficamente mediante barras el promedio a la tensión de adherencia para las edades de 7, 14 y 28 días respectivamente.

- **Tensión de adherencia a los 7 días**

Cuadro N° 34. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 7 días

DISEÑO DE MEZCLA		EDAD (días)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
A	Sin Aditivo	7	3.91
B	Aditivo 0.8%	7	4.36
C	Aditivo 1.0%	7	4.31
D	Aditivo 1.2%	7	4.28

Fuente: Elaboración propia

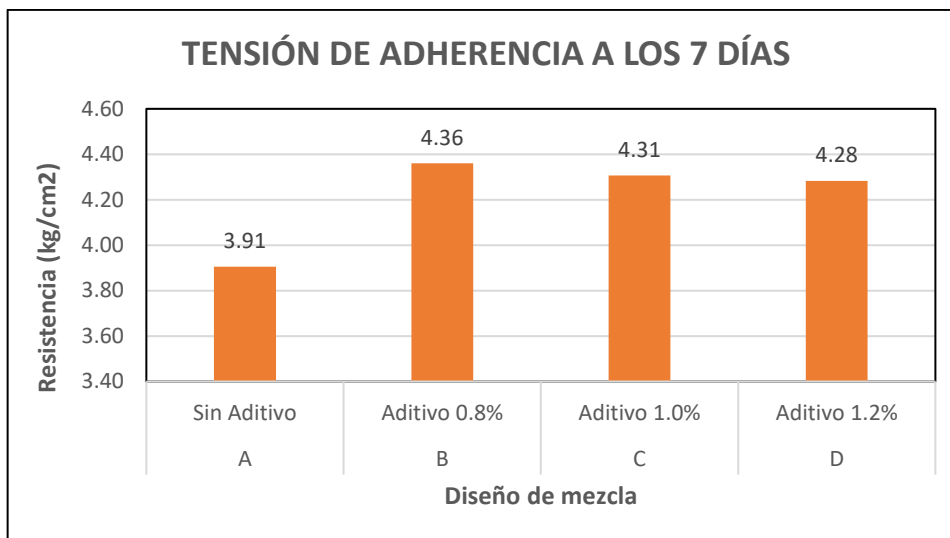


Figura N° 17. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 7 días

Fuente: Elaboración propia

- **Tensión de adherencia a los 14 días**

Cuadro N° 35. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 14 días

DISEÑO DE MEZCLA		EDAD (días)	TENSION DE ADHERENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
A	Sin Aditivo	14	4.73
B	Aditivo 0.8%	14	5.73
C	Aditivo 1.0%	14	6.02
D	Aditivo 1.2%	14	6.10

Fuente: Elaboración propia

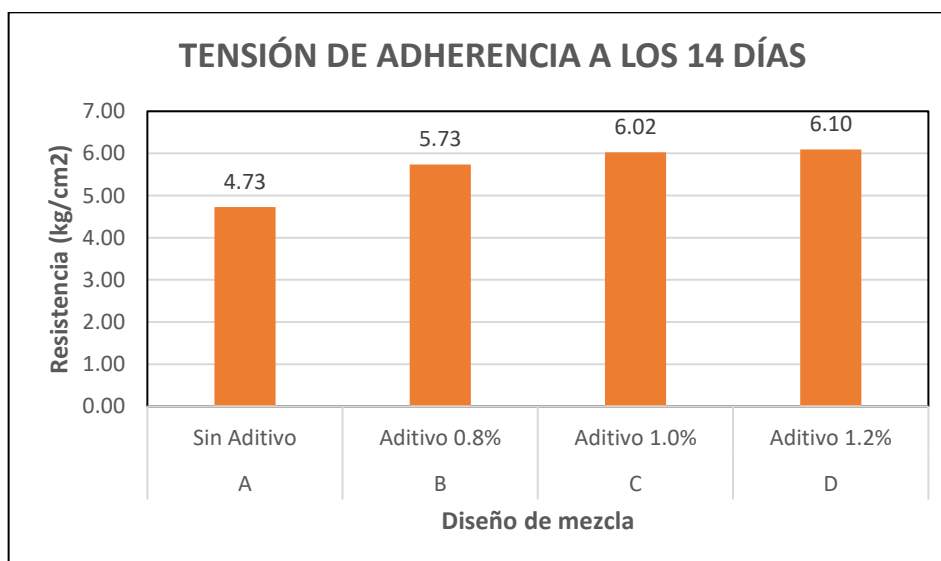


Figura N° 18. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 14 días

Fuente: Elaboración propia

- **Adherencia a los 28 días**

Cuadro N° 36. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 28 días

DISEÑO DE MEZCLA		EDAD (días)	TENSIÓN DE ADHERENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
A	Sin Aditivo	28	5.82
B	Aditivo 0.8%	28	8.79
C	Aditivo 1.0%	28	9.15
D	Aditivo 1.2%	28	8.90

Fuente: Elaboración propia

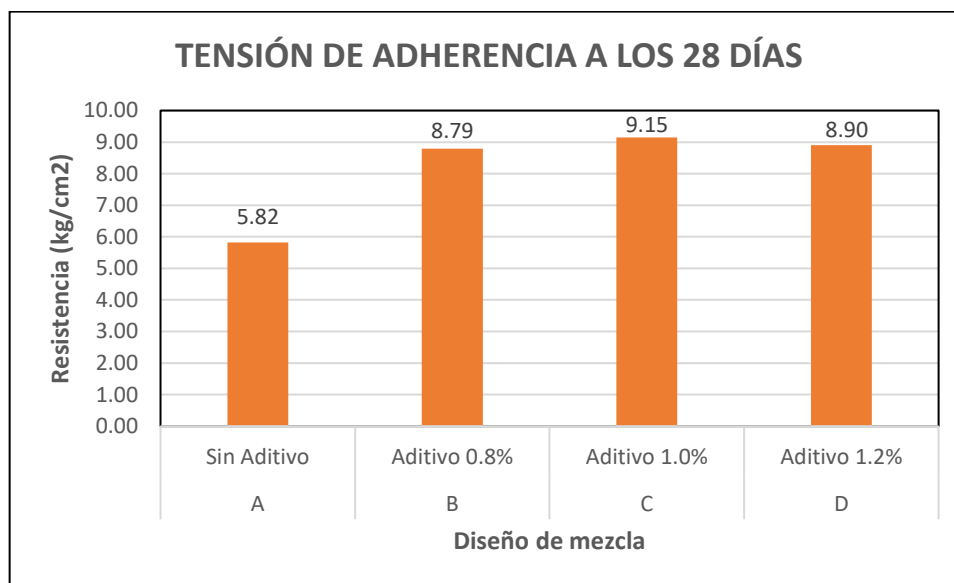


Figura N° 19. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante a 28 días

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.8 Resumen de la adherencia del mortero con aditivo plastificante

Se presenta la síntesis del Capítulo 5.2.7; en el Cuadro N° 37 se muestra la tensión de adherencia para cada diseño a las edades de 7, 14 y 28 días.

Cuadro N° 37. Tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante

DISEÑO DE MEZCLA		TENSIÓN DE ADHERENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7días	14días	28 días
A	Sin Aditivo	3.91	4.73	5.82
B	Aditivo 0.8%	4.36	5.73	8.79
C	Aditivo 1.0%	4.31	6.02	9.15
D	Aditivo 1.2%	4.28	6.10	8.90

Fuente: Elaboración propia

La Figura N° 20 muestra la representación gráfica en barras comparativas de la tensión de adherencia de los diferentes diseños de mezcla para edades de 7, 14 y 28 días.

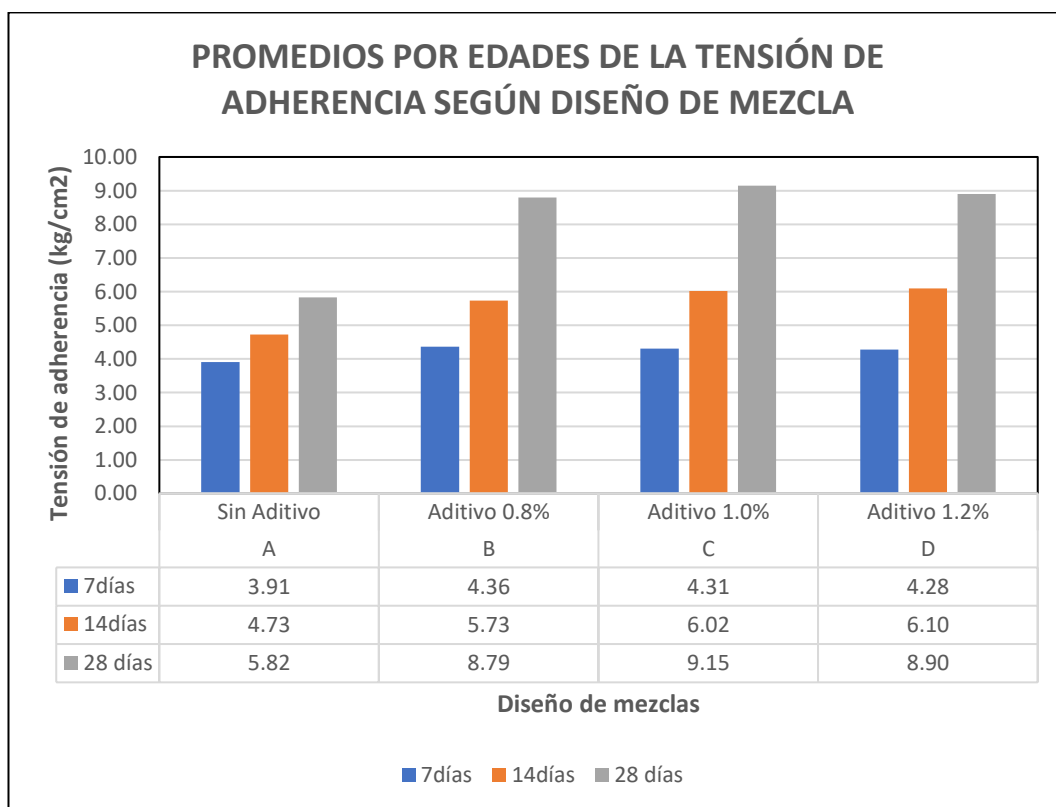


Figura N° 20. Tensión de adherencia de los diseños de mortero con aditivo plastificante

Fuente: Elaboración propia

- La tensión de adherencia va en aumento al incluir mayor porcentaje de aditivo en la mezcla. Por ejemplo, la mezcla sin aditivo para el día 28, de tener una tensión de adherencia de 5.82 kg/cm<sup>2</sup> puede pasar a 9.15

kg/cm<sup>2</sup> con aditivo plastificante con 1.0%. O sea, puede ganar hasta un 57.2% de tensión de adherencia.

- El mortero con mayor tensión de adherencia es en el que se usa aditivo con 1.0% obteniéndose 4.31 kg/cm<sup>2</sup> para los 7 días, 6.02 kg/cm<sup>2</sup> para los 14 días y 9.15 kg/cm<sup>2</sup> para los 28 días.
- Como se esperaba, por regla general, la tensión de adherencia del mortero es baja. Sin embargo, con el aditivo plastificante en mezcla se aumenta de manera significativa su valor.

#### 5.2.9 Comparación de la adherencia del mortero con aditivo plastificante y expansivo

El Cuadro N° 38 presenta los resultados de la comparación de la tensión de adherencia del mortero con aditivo plastificante y expansivo en relación a su respectivo mortero patrón, expresada en porcentajes de variación

Cuadro N° 38. Variación de la Adherencia del mortero con aditivo plastificante y expansivo

DOSIFICACIÓN		TENSIÓN DE ADHERENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )					
		7 DÍAS	VAR	14 DÍAS	VAR	28 DÍAS	VAR
PLAST.	A (0%)	3.91	100.0%	4.73	100.0%	5.82	100.0%
	B (0.8%)	4.36	111.6%	5.73	121.3%	8.79	151.0%
	C (1.0%)	4.31	110.3%	6.02	127.4%	9.15	157.1%
	D (1.2%)	4.28	109.7%	6.10	129.0%	8.90	152.8%
EXP.	A' (0%)	4.88	100.0%	6.59	100.0%	6.78	100.0%
	B' (2%)	5.63	115.4%	7.47	113.4%	7.88	116.2%
	C' (6%)	7.85	160.9%	11.23	170.4%	12.09	178.3%
	D' (10%)	11.32	232.0%	13.15	199.5%	14.25	210.2%

Fuente: Elaboración propia

Mientras que la Figura N° 21, muestra la tendencia de los porcentajes de variación de los diferentes diseños de mezcla.

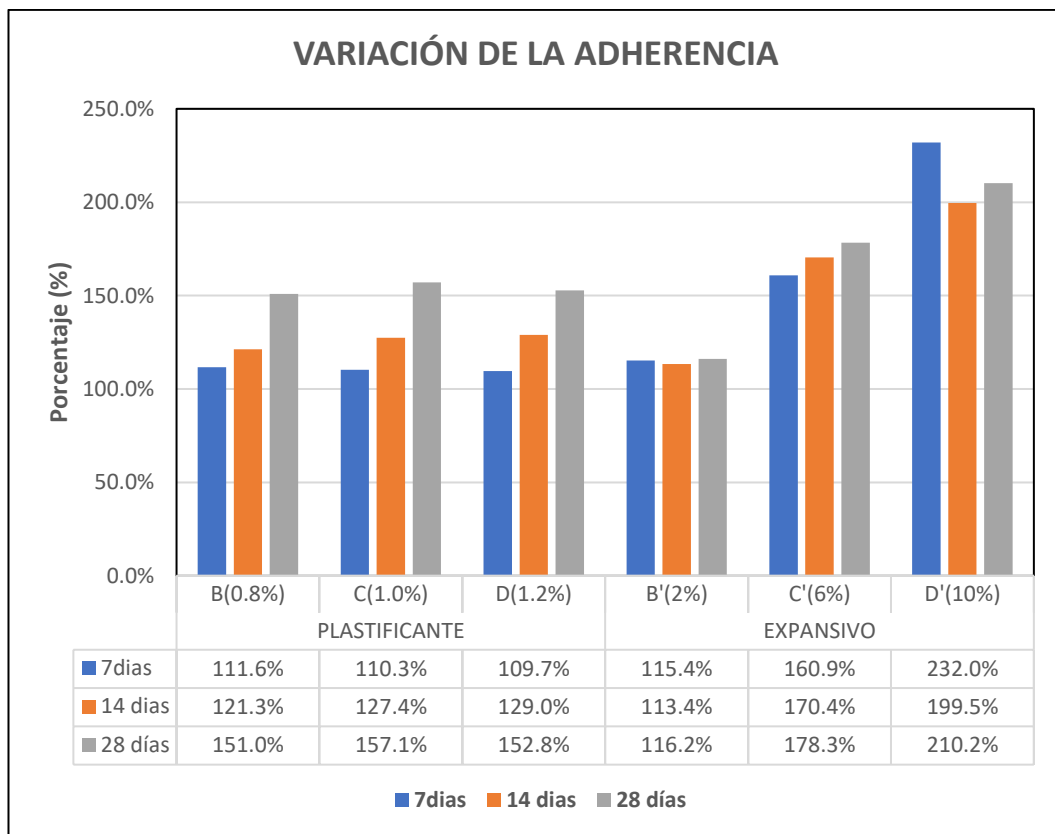


Figura N° 21. Variación de la Adherencia del mortero con aditivo plastificante y expansivo

Fuente: Elaboración propia

- Todos los diseños en comparación con sus morteros patrones son mayores al 100% por lo que, son más efectivos que los morteros sin aditivos.
- Se aprecian porcentajes de variación de la tensión de adherencia de los morteros con aditivo plastificante, menores en comparación con los morteros con aditivo expansivo. Esto debido a las condiciones en que se desarrolla este ensayo como se ha referido en el Capítulo 4.2.3 Ensayo de la tensión de adherencia (p.46); así también se da un mayor alcance y explicación a qué se debe estas diferencias en el apartado de CONCLUSIONES (viñeta 8, p.81)
- A los 7 días, los porcentajes de variación con respecto al mortero patrón de los diseños de mortero con aditivo plastificante B (0.8%), C (1.0%) y D (1.2%) alcanzan valores de 111.6%, 110.3% y 109.7% respectivamente. Por otro lado, los diseños con aditivo expansivo de la investigación de Alanya J (2017); B' (2.0%), C' (6.0%) y D' (10.0%) alcanzan valores de 115.4%, 160.9% y 232% respectivamente. Con respecto a este último

porcentaje que se tiene para el diseño D' (10.0%), se denota cierta incompatibilidad debido a que, al transcurrir la edad del mortero, baja de porcentaje, y en todos los casos anteriores para el mismo aditivo, aumenta. Además, que el valor inicial es muy alto.-Dejando de lado este hecho, los morteros con aditivo expansivo ratifican la ventaja sobre los morteros con aditivo plastificante, pero siempre teniendo en cuenta lo que se acota en la viñeta anterior.

- El porcentaje de variación en el mortero con aditivo plastificante alcanza un valor máximo de 157.1% para el diseño C (1.0%); sin embargo, los otros diseños también obtienen porcentajes muy cercanos como un 151.0% para B (0.8%) y 152.8% para C (1.2%). Lo que indica que la dosificación del aditivo, en este aspecto en particular, no genera mayor variación.

#### 5.2.10 Retracción del mortero con aditivo plastificante

El ensayo de retracción junto al de adherencia, son los principales ensayos en lo que respecta al mortero para la reparación y conservación de obras civiles.

El Cuadro N° 39, detalla información acerca del promedio de la retracción de los morteros con aditivo plastificante para las edades de 7, 14 y 28 días; expresada en porcentajes.

La Figura N° 22, representa la tendencia de la retracción de los distintos morteros con aditivo plastificante, expresada en porcentajes.

Cuadro N° 39. Retracción del mortero con aditivo plastificante

DISEÑO DE MEZCLA		RETRACCIÓN DEL MORTERO CON ADITIVO PLASTIFICANTE (%)		
		7días	14días	28 días
A	Sin Aditivo	-0.0031	-0.0048	-0.0053
B	Aditivo 0.8%	0.0014	0.0020	0.0021
C	Aditivo 1.0%	-0.0020	-0.0024	-0.0022
D	Aditivo 1.2%	-0.0027	-0.0035	-0.0039

Fuente: Elaboración propia



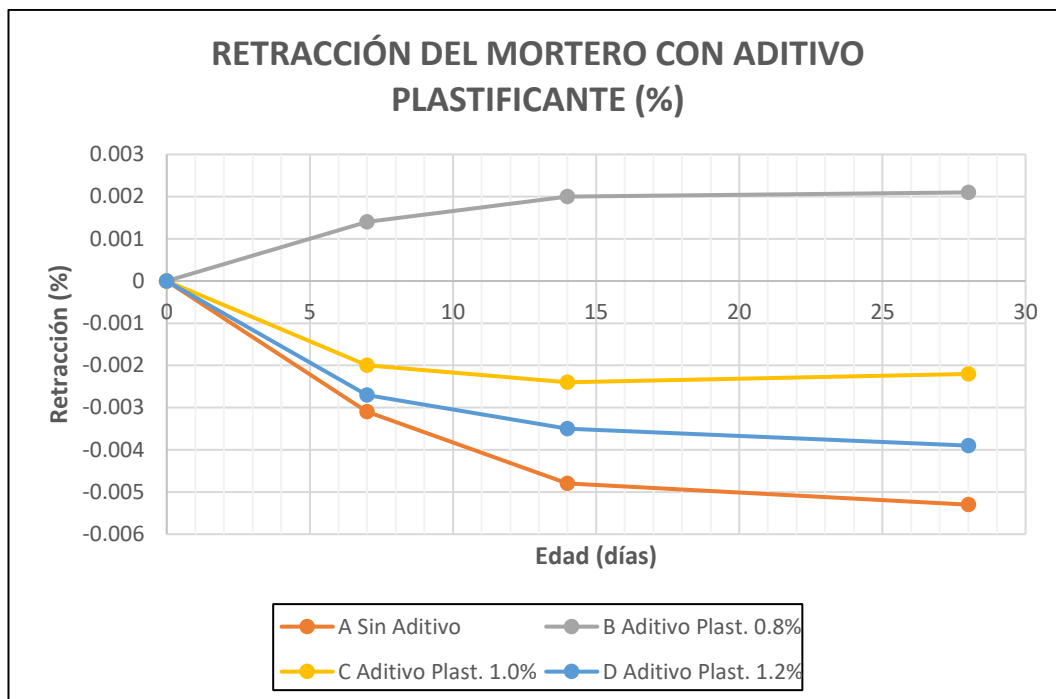


Figura N° 22. Retracción de los diseños de mortero con aditivo plastificante

Fuente: Elaboración propia

- Se aprecia retracción en los morteros de diseño A (0%), C (1.0%) y D (1.2%); el único caso que la muestra se expande es el diseño B (0.8%). Esta expansión es muy baja, del orden de 0.0021%, pero muy conveniente para la aplicación que se busca, la de reparar.
- La muestra de mortero con aditivo plastificante con 0.8% desarrolla una expansión de 0.0014% para 7 días, de 0.0020% para 14 días y de 0.0021% para 28 días. Este comportamiento de los morteros y/o concretos con aditivo plastificante para dosificaciones relativamente bajas, se ha visto reflejadas en otras investigaciones. Por citar un ejemplo, el concreto que desarrolla Palomino M. (2017) para una dosificación de 0.5% con aditivo superplastificante, genera expansiones de incluso el orden de los 0.0050%.
- Para 28 días: el mortero con aditivo plastificante en el caso de la dosificación con 0.8% desarrolla expansión de 0.0021%, mientras que el mortero sin aditivo desarrolla una retracción de -0.0053%. Esto quiere decir que el mortero con 0.8% obtiene una expansión de 0.074% con respecto al mortero sin aditivo.

### 5.2.11 Comparación de la retracción del mortero con aditivo plastificante y expansivo

El Cuadro N° 40, presenta unas correcciones en los valores de las retracciones del mortero con aditivo expansivo en la tesis de investigación de Alanya J (2017). Ya que asume como referencia, la medida del dato de la primera toma de longitud del comparador de longitudes, pero debería tomarse la longitud de calibración 250mm como demanda la Norma ASTM C157. Por lo que, los valores que se muestra a continuación son los corregidos.

Cuadro N° 40. Retracción del mortero con aditivo expansivo

DISEÑO DE MEZCLA		RETRACCIÓN DEL MORTERO CON ADITIVO EXPANSIVO (%)		
		7días	14días	28 días
A'	Sin Aditivo	-0.0048	-0.0054	-0.0058
B'	Aditivo 2.0%	-0.0015	-0.0022	-0.0018
C'	Aditivo 4.0%	-0.00012	-0.0001	-0.0001
D'	Aditivo 10.0%	0.0028	0.0030	0.0031

Fuente: Corrección de la tesis de grado Alanya J. (2017)

El Cuadro N° 41, presenta las retracciones de los morteros con aditivo plastificante como también expansivo.

Cuadro N° 41. Retracción de los morteros con aditivo plastificante y expansivo

DISEÑO DE MEZCLA		RETRACCIÓN DEL MORTERO (%)			
		0 (días)	7 (días)	14 (días)	28 (días)
A	Sin Aditivo	0	-0.0031	-0.0048	-0.0053
B	Aditivo Plast. 0.8%	0	0.0014	0.0020	0.0021
C	Aditivo Plast. 1.0%	0	-0.0020	-0.0024	-0.0022
D	Aditivo Plast. 1.2%	0	-0.0027	-0.0035	-0.0039
A'	Sin Aditivo	0	-0.0048	-0.0054	-0.0058
B'	Aditivo Exp. 2.0%	0	-0.0015	-0.0022	-0.0018
C'	Aditivo Exp. 6.0%	0	-0.00012	-0.0001	-0.0001
D'	Aditivo Exp. 10.0%	0	0.0028	0.003	0.0031

Fuente: Elaboración propia

Figura N° 23, comparación gráfica de la retracción de morteros con aditivos plastificante y expansivo.

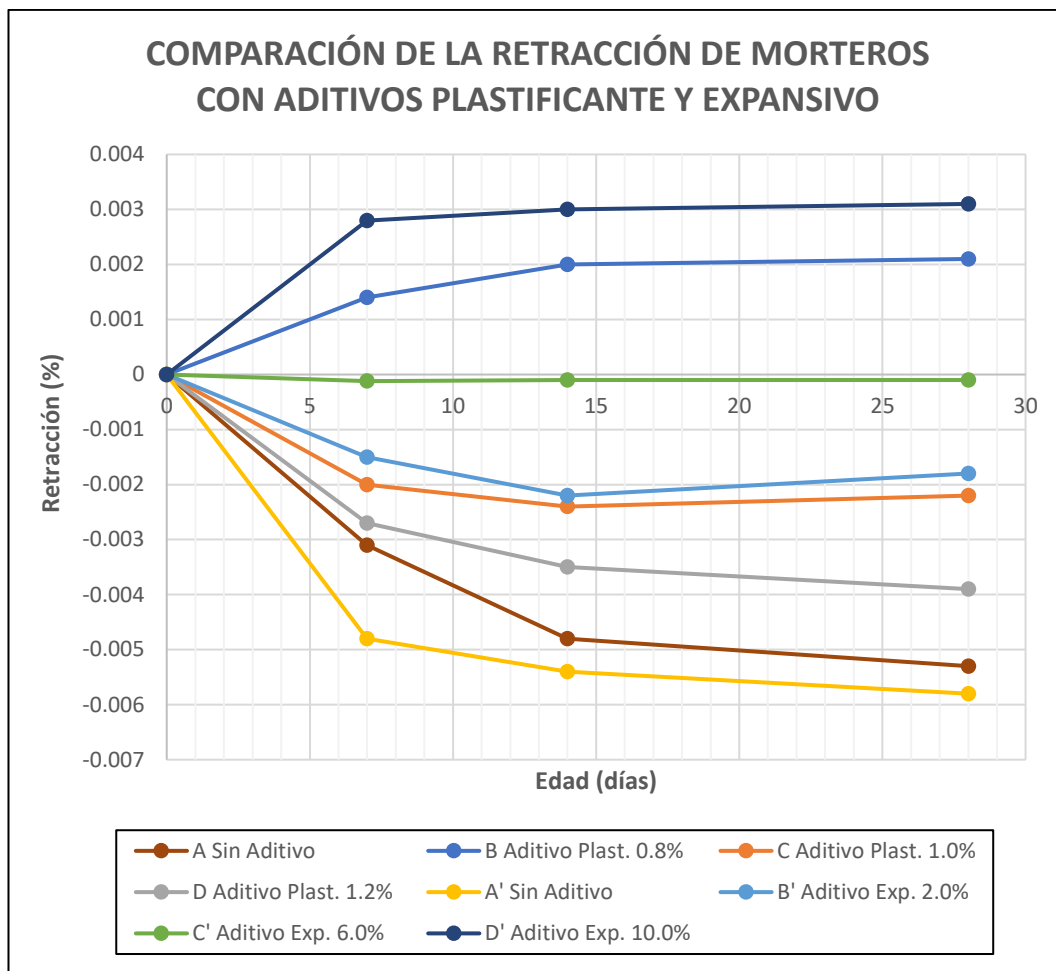


Figura N° 23. Retracciones de los morteros con aditivos plastificante y expansivo

Fuente: Elaboración propia

- Los únicos morteros que muestran expansión son el mortero con aditivo plastificante con 0.8% y el mortero con aditivo expansivo con 10.0%. Ambos alcanzan expansiones máximas a los 28 días de 0.0021% y 0.0031% respectivamente.
- El mortero D' (10%) desarrolla una expansión mayor en comparación con el mortero B (0.8%) de 0.0014% para 7 días, de 0.0010% para 14 días y de 0.0010% para 28 días.
- El mortero que tiene una retracción prácticamente nula es el mortero con aditivo expansivo al 6.0% (C'), con una retracción de 0.0001%.
- Como se observa el aditivo plastificante no está muy lejano de los rangos que desarrolla el aditivo expansivo respecto a la retracción; ello sin ser una de sus principales virtudes por naturaleza.

## CONCLUSIONES

- El mortero con aditivo plastificante ha logrado obtener resultados favorables en todos los ensayos tanto en estado fresco como endurecido. Probando eficiencia para su uso en la reparación de elementos de concreto. También se demuestra que la Hipótesis planteada en la presente investigación, es correcta: El mortero con aditivo plastificante posee una eficacia mayor para reparación y conservación de obras civiles que el mortero con aditivo expansivo, mortero clásico usado para esta función.
- El mortero con aditivo plastificante posee propiedades que benefician su uso en reparaciones menores de estructuras de concreto. Las cuales se ven evidenciadas en los distintos ensayos que se desarrollaron en la presente investigación; y, que logran pasar los requisitos mínimos de la Norma UNE EN 1504-3. Tales como; resistencia a la compresión  $\geq 15$  MPa y Adherencia  $\geq 0.8$  MPa, para todos los diseños a 28 días.
- En el caso de elementos de concreto de obras civiles que estén sometidas a cargas, se podría usar el mortero con aditivo plastificante. Por ejemplo, un reservorio de agua que necesite alguna reparación en las paredes interiores. Se sabe que el agua que acoge ejerce presiones laterales; el mortero con aditivo plastificante puede soportar los esfuerzos de buena manera. Por otra parte, el uso de un sellador impermeabilizante sería también una buena opción para impedir posibles filtraciones y que la reparación permita el correcto funcionamiento del reservorio.
- Los morteros con aditivo plastificante poseen mayor peso unitario que los morteros sin aditivo y que los morteros con aditivo expansivo. Así también, igual o mayor trabajabilidad con menor cantidad de agua.
- El mortero por naturaleza tiende a contraerse y exudar. Sin embargo, al usar aditivo plastificante en mezcla, se aprecia reducción de ambas características. Incluso reduciendo a cero la exudación y generando expansión para el caso del mortero con aditivo plastificante con 0.8%.
- En relación al ensayo de compresión, los morteros con aditivo plastificante incrementan su porcentaje de variación con respecto a su mortero patrón. Superan en todas las comparativas a los morteros con aditivo expansivo; ya que, estos últimos resultan con una resistencia a la compresión menor que la de su mortero patrón. El valor más elevado para este ensayo se

obtiene para el diseño con aditivo plastificante con 1.2% a los 28 días con 216.7 kg/cm<sup>2</sup>, que equivale a un 20.1% más de resistencia con respecto a su mortero patrón. Mientras que el mínimo valor para el mismo periodo de 28 días lo obtiene el mortero con diseño para el mortero con aditivo expansivo con 10 % con 157kg/cm<sup>2</sup>, que equivale a un 32.0% menos de resistencia con respecto a su mortero patrón.

- Las resistencias a la tracción para el caso del aditivo plastificante se elevan con respecto a su mortero patrón. Por ejemplo, la mezcla sin aditivo (patrón) para el día 28, de tener una resistencia a la tracción de 20.2 kg/cm<sup>2</sup> puede pasar a 26.2 kg/cm<sup>2</sup> con aditivo plastificante con 1.2%. Es decir, puede ganar hasta un 29.7% de resistencia a la tracción. Mientras que los morteros que incluyen aditivo expansivo en su dosificación, resultan menores a su respectivo patrón: mortero con aditivo expansivo al 2% = 92%, mortero con aditivo expansivo al 6% = 80% y mortero con aditivo expansivo con 10% = 80%. Con lo que, se evidencia la ventaja de los morteros con aditivo plastificante en relación a los morteros con aditivo expansivo.
- Pese a que en el ensayo de tensión de adherencia de la presente investigación se hicieron algunos ajustes con la finalidad de acercar a las condiciones reales que será sometido el mortero de reparación. Los resultados que se obtienen en la comparativa con el mortero con aditivo expansivo resultan similares. Por ejemplo, a los 28 días, los porcentajes de variación con respecto a su patrón para los diseños con aditivo plastificante con 0.8%, 1.0% y 1.2% sobrepasan el 150.0%. Mientras que, para los diseños con aditivo expansivo, llegan a 116.2%, 178.3% y 210.2%; este último valor se obtiene para aditivo expansivo con 10% en peso del cemento, para lo que, en consideraciones estrictamente técnicas, no se podría analizar, ya que no se consideraría como mortero con aditivo; si no, mortero adicionado, por sobrepasar el porcentaje máximo de 5 a 6% en peso del cemento.
- El único diseño de mortero con aditivo plastificante que desarrolla expansión es en el que se usa aditivo con 0.8%. Los diseños con 1.0% y 1.2% presentan retracciones controladas.

- El diseño de mortero con aditivo plastificante con 0.8% es el que presenta condiciones óptimas tanto para adherencia como expansión, las dos características fundamentales para un mortero que se usa para la reparación y conservación de obras civiles. Por lo que, es concluyente su uso para esta finalidad. Los diseños con aditivo plastificante con 1.0% y 1.2% también presentan condiciones favorables, aunque en menor medida.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda en el ensayo de adherencia, usar moldes circulares de diámetro 2" para que no exista desfases con los moldes de Pull-off que son tensionados por el aparato de tensión de adherencia, para evitar rupturas por los bordes que exceden el diámetro del aparato.
- Se recomienda preferentemente el uso del mortero con aditivo plastificante con 0.8% para su uso en la reparación y conservación de obras civiles, debido a las propiedades favorables que desarrolla. Una tensión de adherencia máxima a los 28 días de 8.79 kg/cm<sup>2</sup>, y una expansión de 0.0021%.
- En caso de reparación cuya falla sea más pequeña que el tamaño máximo del agregado; se recomienda ensanchar, y de ser el caso, profundizar la grieta para una mejor colmatación de la cavidad. Evitar comprometer los aceros de refuerzos, limpiar cuidadosamente todo tipo de resto existente con la finalidad que la adherencia no se vea comprometida. Este proceso aplica para casi toda reparación.
- Para garantizar el desarrollo correcto del mortero con aditivo plastificante, se recomienda curar al menos los primeros 14 días desde su endurecimiento. Este paso es muy importante para evitar fisuras y posibles contracciones.
- Se recomienda realizar los ensayos granulométricos como de las propiedades de la cantera. Ya que se podría definir un diseño óptimo para cada caso en particular siguiendo las recomendaciones y procedimientos de la presente investigación.
- Se recomienda el estudio de un mortero de reparación que trabaje de manera conjunta con aditivo plastificante y aditivo expansivo. Con el fin de descubrir el comportamiento que puede presentar.
- Se recomienda futuros estudios de morteros para reparaciones de carácter estructural, que conlleven en su preparación aditivos de fácil acceso en el mercado; como los aditivos superplastificantes, plastificantes, impermeabilizantes y expansivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alanya, J. (2017). Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resanes en obras de ingeniería civil. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Alegría, C. (2019). Influencia del material más fino que la malla 100 en las propiedades del mortero con aditivo expansivo. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Do Lago, P. (2015). *Manual de reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto*. México D.F, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.
- Emmons, P., Vaysburd, A., & Jean, M. (1993). *A rational approach to durable concrete repairs*. Detroit 15: Concrete International.
- Mercado, R. (1998). Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resane. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Palomino, M. (2017). Estudio del concreto con cemento portland tipo IP y aditivo superplastificante. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Rivera, G. (2000). *Concreto Simple, Universidad del Cauca*. Cauca, Colombia: Editorial CivilGeeks.
- Sáenz, N. (2019). Estudio del concreto con fibras de polipropileno y cemento portland tipo I para a/c: 0.60. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santafé de Bogotá, Colombia: Bhandar Editores Ltda.
- SikaPerú. (2019). "*Hoja de datos del producto SikaCem® Plastificante*". Obtenido de [https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/f/sikacem\\_plastificante.pdf](https://per.sika.com/content/dam/dms/pe01/f/sikacem_plastificante.pdf)



## ANEXOS

### ANEXO 01: CÁLCULOS Y PROPIEDADES DE AGREGADO Y MORTERO

#### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ARENA GRUESA

Arena Gruesa: Cantera Valle Grande, Av. Ramiro Priale km. 15 – Huachipa

MUESTRA PROMEDIO				
Tamiz	Peso Retenido (g)	% Retenido	%Retenido Acumulado	%Pasa
N° 4	29.2	4.86	4.86	95.14
N° 8	106.6	17.73	22.59	77.41
N° 16	131.9	21.94	44.53	55.47
N° 30	111.9	18.61	63.14	36.86
N°50	93.8	15.60	78.74	21.26
N° 100	71.9	11.96	90.70	9.30
FONDO	55.9	9.30	100.00	0.00
TOTAL	601.2			

**MÓDULO DE FINURA = 3.05**

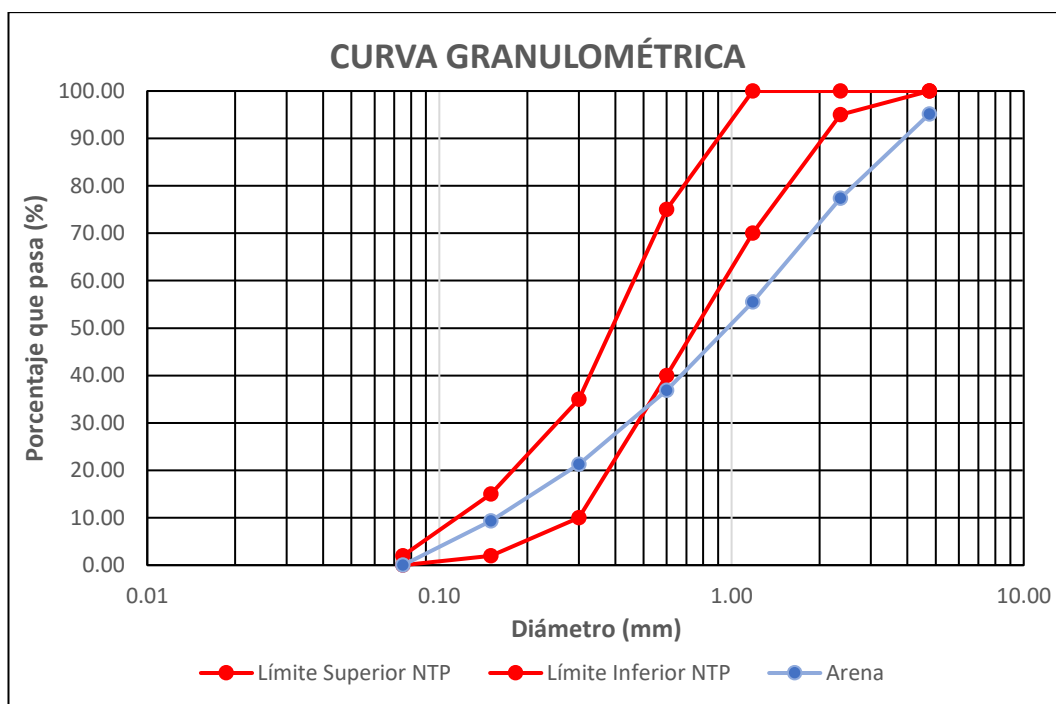


Figura N° 24. Curva granulométrica de arena gruesa

Fuente: Elaboración propia

**PORCENTAJE QUE PASA LA MALLA 200**

Peso seco de la muestra original (gr)	500
Peso seco de la muestra lavada (gr)	476.4
Porcentaje que pasa la malla 200 (%)	4.72%

**PESO UNITARIO SUELTO**

Peso de la muestra + Recipiente (Kg)	5.934
Peso del Recipiente (Kg)	1.574
Peso de la muestra (Kg)	4.360
Volumen del Recipiente (m3)	0.00280
Peso unitario suelto (Kg/m3)	<b>1557.1</b>

**PESO UNITARIO COMPACTADO**

Peso de la muestra + recipiente (Kg)	6.175
Peso del recipiente (Kg)	1.574
Peso de la muestra (Kg)	4.601
Volumen del recipiente (m3)	0.00283
Peso Unitario Compactado (Kg/m3)	<b>1625.80</b>

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

Peso de la muestra en estado ambiental (g)	2156.1
Peso de la muestra seca al horno (g)	2091.2
Peso del agua perdida (g)	64.9
Contenido de Humedad (%)	<b>3.0%</b>

### AGREGADO FINO (ARENA GRUESA)

Peso de la arena superficialmente seca.	500 g
Peso de la arena superficialmente seca + peso del balón + peso del agua.	993.5 g
Peso del balón.	184.2 g
Peso del agua (W).	309.3 g
Peso de la arena seca al horno (A).	489.5 g
Volumen del balón (V).	500 ml

<b>Peso específico de masa: (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2566.86
<b>Peso específico de masa superficialmente seco: (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2621.92
<b>pesos específico aparente: (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	2716.43
<b>Porcentaje de absorción: (%)</b>	2.15

### SUPERFICIE ESPECÍFICA

Peso Específico de masa = 2.567 gr/cm<sup>3</sup>

Datos de la granulometría promedio:

TAMIZ	PESO RET (g)	%RETENIDO (p)	Muestra Promedio	
			DIAMETRO (d)	p/d
N°4	29.2	5%	0.713	6.83
N°8	106.6	18%	0.356	49.91
N°16	131.9	22%	0.179	123.16
N°30	111.9	19%	0.843	22.12
N°50	93.8	16%	0.045	350.52
N°100	71.9	12%	0.022	537.37
				1089.90

S.E.=	25.48 cm <sup>2</sup> /gr
-------	---------------------------

### CONTENIDO DE VACIOS

Para la arena suelta:

C.V.= 40.0%

**ENSAYO DE COMPRESIÓN****ENSAYO DE COMPRESIÓN 7 DÍAS**

AD= SIN ADIT						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=KN	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	5.1	5.1	26.01	28.9	2946.933	113.3
2	5.1	5	25.5	31.72	3234.4884	126.8
3	5.1	5.1	26.01	31.14	3175.3458	122.1
4	5.1	5.1	26.01	31.45	3206.9565	123.3
						<b>121.4</b>

AD=0.8%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=KN	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	5.1	5.1	26.01	37.68	3842.2296	147.7
2	5.1	5	25.5	35.12	3581.1864	140.4
3	5.1	5.1	26.01	36.12	3683.1564	141.6
4	5.1	5.1	26.01	33.86	3452.7042	132.7
						140.6

AD=1%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=KN	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	5.1	5.1	26.01	37.5	3823.875	147.0
2	5.1	5	25.5	40.4	4119.588	161.6
3	5.1	5.1	26.01	38.6	3936.042	151.3
4	5.1	5.1	26.01	36.9	3762.693	144.7
						<b>151.1</b>

AD=1.2%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=KN	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	5.12	5.1	26.112	46.82	4774.2354	182.8
2	5.1	5	25.5	45.76	4666.1472	183.0
3	5.1	5.1	26.01	44.94	4582.5318	176.2
4	5.1	5.1	26.01	46.69	4760.9793	183.0
						<b>181.3</b>

### ENSAYO DE COMPRESION 28 DÍAS

AD=SIN ADIT						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=KN	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	5.1	5.12	26.112	48.06	4900.6782	187.7
2	5.09	5.1	25.959	44.82	4570.2954	176.1
3	5.09	5.11	26.0099	45.88	4678.3836	179.9
4	5.1	5.1	26.01	45.55	4644.7335	178.6
						<b>180.5</b>

AD=0.8%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=KN	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	5.11	5.1	26.061	54.6	5567.562	213.6
2	5.08	5.13	26.0604	57.16	5828.6052	223.7
3	5.1	5.105	26.0355	48.08	4902.7176	188.3
4	5.1	5.1	26.01	53.72	5477.8284	210.6
						<b>209.1</b>

AD=1%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=KN	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	5.15	5.08	26.162	49.14	5010.8058	191.5
2	5.16	5.1	26.316	42.94	4378.5918	166.4
3	5.11	5.06	25.8566	56.34	5744.9898	222.2
4	5.16	5.1	26.316	51.36	5237.1792	199.0
						<b>194.8</b>

AD=1.2%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=KN	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	5.1	5.16	26.316	53.82	5488.0254	208.5
2	5.11	5.13	26.2143	56.16	5726.6352	218.5
3	5.13	5.1	26.163	56.3	5740.911	219.4
4	5.13	5.11	26.2143	56.7	5781.699	220.6
						<b>216.7</b>

Ya que para el diseño C (1%) se tiene un Valor atípico sospechado (166.4), se le aplica la prueba Q de Dixon:

Para ello ordenamos los valores de menor a mayor.

166.4  
191.5  
199.0  
222.2

Encontramos la estadística de prueba.

$$Q = | X_a - X_b | / R$$

En este caso, el valor mínimo es  $X_a = 166.4$ , el siguiente valor más cercano es  $X_b = 191.5$  y el rango es  $R = 222.2 - 166.4 = 55.8$

Por tanto,  $Q = |166.4 - 191.5| / 55.8 = 0.449$

A continuación, podemos comparar esta estadística de prueba con el valor crítico de la prueba Q para 4 muestras a un nivel de confianza de 95%.

n	90%	95%	99%
4	0.765	0.829	0.926

El valor crítico para un tamaño de muestra de 4 y un nivel de confianza del 95% es 0.829.

Dado que el estadístico de prueba Q (0.449) es menor que el valor crítico (0.829). Se concluye que, el valor mínimo 166.4 no es un valor atípico en este conjunto de datos. Por lo que se mantiene.

De igual manera se realiza el análisis para el diseño B (0.8%), se tiene un Valor atípico sospechado (188.3), al cual se le aplica la prueba Q de Dixon:

Obteniendo el estadístico de prueba  $Q = 0.629$ ; que es menor al valor crítico para una muestra de 4 y un nivel de confianza del 95% (0.829). Se concluye que, el valor mínimo 188.3 no es un valor atípico en ese conjunto de datos. Por lo que se mantiene.

**ENSAYO DE TRACCIÓN****ENSAYO DE TRACCION 7DÍAS**

AD=SIN ADIT						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=Libras	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	2.7	2.6	7.02	325	147.55	21.0
2	2.75	2.67	7.3425	300	136.2	18.5
3	2.69	2.65	7.1285	265	120.31	16.9
4	2.7	2.61	7.047	268	121.672	17.3
						<b>18.4</b>

AD=0.8%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=Libras	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	2.7	2.6	7.02	259	117.586	16.8
2	2.6	2.75	7.15	340	154.36	21.6
3	2.7	2.6	7.02	250	113.5	16.2
4	2.7	2.6	7.02	320	145.28	20.7
						<b>18.8</b>

AD=1%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=Libras	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	2.7	2.7	7.29	315	143.01	19.6
2	2.7	2.8	7.56	370	167.98	22.2
3	2.71	2.75	7.4525	310	140.74	18.9
4	2.71	2.7	7.317	330	149.82	20.5
						<b>20.3</b>

AD=1.2%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=Libras	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	2.6	2.8	7.28	330	149.82	20.6
2	2.7	2.7	7.29	400	181.6	24.9
3	2.6	2.75	7.15	310	140.74	19.7
4	2.6	2.78	7.228	380	172.52	23.9
						<b>22.3</b>

**ENSAYO DE TRACCION 28 DÍAS**

AD=SIN ADIT						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=Libras	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	2.7	2.6	7.02	365	165.71	23.6
2	2.75	2.67	7.3425	320	145.28	19.8
3	2.69	2.65	7.1285	275	124.85	17.5
4	2.7	2.61	7.047	310	140.74	20.0
						<b>20.2</b>

AD=0.8%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=Libras	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	2.7	2.6	7.02	310	140.74	20.0
2	2.7	2.6	7.02	325	147.55	21.0
3	2.7	2.6	7.02	440	199.76	28.5
4	2.7	2.6	7.02	300	136.2	19.4
						<b>22.2</b>

AD=1%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=Libras	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	2.7	2.6	7.02	330	149.82	21.3
2	2.7	2.6	7.02	455	206.57	29.4
3	2.71	2.6	7.046	370	167.98	23.8
4	2.71	2.61	7.0731	350	158.9	22.5
						<b>24.3</b>

AD=1.2%						
MUESTRA	L1	L2	AREA (cm2)	P=Libras	P=KG	F'c(Kg/cm2)
1	2.7	2.6	7.02	380	172.52	24.6
2	2.7	2.6	7.02	465	211.11	30.1
3	2.7	2.6	7.02	365	165.71	23.6
4	2.7	2.6	7.02	410	186.14	26.5
						<b>26.2</b>



**ENSAYO DE ADHERENCIA****TENSIÓN DE ADHERENCIA 7 DÍAS**

SIN ADIT

MUESTRA	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	P=KN	P=KG	Sa(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.1	80.118654	2.77	282.46	3.53
2	10.1	80.118654	2.91	296.73	3.70
3	10.1	80.118654	3.33	339.05	4.23
4	10.1	80.118654	3.27	333.44	4.16
					<b>3.91</b>

ADIT: 0.8%

MUESTRA	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	P=KN	P=KG	Sa(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.1	80.118654	3.37	343.13	4.28
2	10.1	80.118654	3.48	354.86	4.43
3	10.1	80.118654	3.52	358.93	4.48
4	10.1	80.118654	3.34	340.58	4.25
					<b>4.36</b>

ADIT: 1%

MUESTRA	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	P=KN	P=KG	Sa(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.1	80.118654	3.09	315.09	3.93
2	10.1	80.118654	3.45	351.29	4.38
3	10.1	80.118654	3.52	358.93	4.48
4	10.1	80.118654	3.48	354.86	4.43
					<b>4.31</b>

ADIT: 1.2%

MUESTRA	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	P=KN	P=KG	Sa(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.1	80.118654	3.51	357.91	4.47
2	10.1	80.118654	3.35	341.09	4.26
3	10.1	80.118654	3.34	340.58	4.25
4	10.1	80.118654	3.27	332.93	4.16
					<b>4.28</b>

**TENSIÓN DE ADHERENCIA 14 DÍAS**

SIN ADIT

<b>MUESTRA</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>AREA (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P=KN</b>	<b>P=KG</b>	<b>Sa(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	10.1	80.118654	3.73	380.35	4.75
2	10.1	80.118654	3.37	343.64	4.29
3	10.1	80.118654	3.89	396.15	4.94
4	10.1	80.118654	3.87	394.62	4.93
					<b>4.73</b>

ADIT: 0.8%

<b>MUESTRA</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>AREA (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P=KN</b>	<b>P=KG</b>	<b>Sa(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	10.1	80.118654	4.85	494.04	6.17
2	10.1	80.118654	4.42	450.71	5.63
3	10.1	80.118654	4.31	438.98	5.48
4	10.1	80.118654	4.45	453.77	5.66
					<b>5.73</b>

ADIT: 1%

<b>MUESTRA</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>AREA (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P=KN</b>	<b>P=KG</b>	<b>Sa(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	10.1	80.118654	4.82	490.99	6.13
2	10.1	80.118654	4.37	445.10	5.56
3	10.1	80.118654	4.88	497.61	6.21
4	10.1	80.118654	4.87	496.59	6.20
					<b>6.02</b>

ADIT: 1.2%

<b>MUESTRA</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>AREA (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>P=KN</b>	<b>P=KG</b>	<b>Sa(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	10.1	80.118654	4.45	453.77	5.66
2	10.1	80.118654	5.10	520.05	6.49
3	10.1	80.118654	4.90	499.14	6.23
4	10.1	80.118654	4.72	481.30	6.01
					<b>6.10</b>

**TENSIÓN DE ADHERENCIA 28 DÍAS**

SIN ADIT

MUESTRA	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	P=KN	P=KG	Sa(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.1	80.118654	4.11	419.10	5.23
2	10.1	80.118654	4.57	466.00	5.82
3	10.1	80.118654	4.64	473.14	5.91
4	10.1	80.118654	4.99	508.32	6.34
					<b>5.82</b>

ADIT: 0.8%

MUESTRA	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	P=KN	P=KG	Sa(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.1	80.118654	6.46	658.22	8.22
2	10.1	80.118654	7.23	736.73	9.20
3	10.1	80.118654	7.14	728.07	9.09
4	10.1	80.118654	6.82	695.44	8.68
					<b>8.79</b>

ADIT: 1%

MUESTRA	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	P=KN	P=KG	Sa(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.1	80.118654	7.33	746.93	9.32
2	10.1	80.118654	7.12	725.52	9.06
3	10.1	80.118654	7.18	732.14	9.14
4	10.1	80.118654	7.13	726.94	9.07
					<b>9.15</b>

ADIT: 1.2%

MUESTRA	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	P=KN	P=KG	Sa(kg/cm <sup>2</sup> )
1	10.1	80.118654	6.86	699.51	8.73
2	10.1	80.118654	6.49	661.28	8.25
3	10.1	80.118654	7.49	763.25	9.53
4	10.1	80.118654	7.15	728.58	9.09
					<b>8.90</b>

**ENSAYO DE RETRACCIÓN: MORTERO ADITIVO PLASTIFICANTE**

Sin Aditivo	24H(m)	7D (mm)	Var7d (mm)	14D (mm)	Var 14d (mm)	28D (mm)	Var 28d (mm)
1	1.408	1.4	-0.00320	1.4	- 0.00320	1.4	- 0.0032
2	0.882	0.874	-0.00320	0.86	- 0.00880	0.853	- 0.0116
3	1.16	1.155	-0.00200	1.150	- 0.00400	1.15	- 0.0040
4	0.286	0.276	-0.00400	0.278	- 0.00320	0.28	- 0.0024
Promedio			-0.00310		- 0.00480		- 0.0053
Aditivo 0.8%	24H(m)	7D (mm)	var 7d (mm)	14D (mm)	Var 14d (mm)	28D (mm)	Var 28d (mm)
1	0.51	0.51	0.00000	0.514	0.00160	0.514	0.0016
2	0.464	0.47	0.00240	0.468	0.00160	0.469	0.0020
3	1.45	1.456	0.00240	1.46	0.00400	1.462	0.0048
4	0.52	0.522	0.00080	0.522	0.00080	0.52	0
Promedio			0.00140		0.00200		0.0021
Aditivo 1.0 %	24H(m)	7D (mm)	var 7d (mm)	14D (mm)	Var 14d (mm)	28D (mm)	Var 28d (mm)
1	0.792	0.787	-0.00200	0.786	- 0.00240	0.783	- 0.0036
2	0.83	0.825	-0.00200	0.824	- 0.00240	0.822	- 0.0032
3	0.576	0.571	-0.00200	0.57	- 0.00240	0.58	0.0016
4	0.48	0.475	-0.00200	0.474	- 0.00240	0.471	- 0.0036
Promedio			-0.00200		- 0.00240		- 0.0022
Aditivo 1.2%	24H(m)	7D (mm)	var 7d (mm)	14D (mm)	Var 14d (mm)	28D (mm)	Var 28d (mm)
1	1.408	1.398	-0.00400	1.396	- 0.00480	1.395	- 0.0052
2	0.882	0.879	-0.00120	0.877	- 0.00200	0.877	- 0.0020
3	1.16	1.15	-0.00400	1.148	- 0.00480	1.145	- 0.0060
4	0.286	0.282	-0.00160	0.28	- 0.00240	0.28	- 0.0024
Promedio			-0.00270		- 0.00350		- 0.0039

## ANEXO 02: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura N° 25. Mesa de fluidez para mortero

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 26. Encofrado de dados de mortero para compresión

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 27. Máquina de compresión uniaxial

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 28. Desencofrado de mortero para ensayo de tensión

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 29. Máquina de ensayo de tracción

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 30. Elaboración de base de concreto para ensayo de adherencia

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 31. Base de concreto para ensayo de adherencia

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 32. Colocación de pastillas de mortero

Fuente: Fotografía propia





Figura N° 33. Mortero curado listo para ensayo de adherencia

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 34. Máquina digital para tensión de adherencia

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 35. Máquina digital de tensión de adherencia con Pull-off

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 36. Barra de mortero para ensayo de retracción

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 37. Máquina comparador de longitudes

Fuente: Fotografía propia



Figura N° 38. Curado de muestras de mortero

Fuente: Fotografía propia