

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y  
MECÁNICAS DEL MORTERO FLUIDO PARA EL  
REVESTIMIENTO DEL “TUNNEL LINER”. SANTA ANITA -  
LIMA**

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

**ELABORADO POR**

**FRANKLIN CARBAJAL JARA**

**id : [0000-0002-3173-3069](#)**

**ASESOR**

**Ing. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ**

**id : [0000-0002-6087-9702](#)**

**LIMA- PERÚ**

**2024**

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

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

Carbajal Jara, Franklin

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

998-893324

### **Dedicatoria**

A Dios, por darme salud, esperanza, fe y la convicción de que todo es posible para el que cree.

A mis padres Andrés Carbajal y Julia Jara que en todo momento extendieron sus brazos firmes hasta alcanzar la meta.

A mi esposa Débora e hija Noemí por ser ayuda y bendición.

A mis hermanos Lourdes, Javier y Magdalena, por la motivación y por demostrar que los sueños se pueden alcanzar con esfuerzo y dedicación.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por la bendición de haber realizado este trabajo de investigación, pues todo es posible para el que cree.

Agradezco al Laboratorio N°01 de Ensayos de Materiales, a su personal profesional y técnico por su apoyo durante el desarrollo de la investigación.

Extiendo mi agradecimiento al Laboratorio N°02 de Mecánica de Suelos, especialmente al jefe Ing. Héctor Espinoza, así como a todo el personal profesional y técnico.

Finalmente, gracias a la iglesia Misionera Filadelfia por su formación en valores cristianos.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>6</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>
1.1 GENERALIDADES .....	14
1.1.1 El túnel III de la Cloaca Máxima .....	15
1.1.2 Megapuerto de chancay .....	15
1.1.3 Proyecto del Tunnel liner OVNI FORD .....	16
1.1.4 Túnel de la Belabieta.....	17
1.1.5 Las Vegas .....	17
1.2 ANTECEDENTES INVESTIGADOS.....	18
1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	23
1.4 PROBLEMA GENERAL.....	24
1.4.1 Problema específico .....	24
1.5 OBJETIVOS DE ESTUDIO.....	25
1.5.1 Objetivo general .....	25
1.5.2 Objetivos específicos.....	25
1.6 HIPÓTESIS .....	25
1.6.1 Hipótesis General .....	25
1.7 VARIABLES .....	25
1.7.1 Variables independientes .....	25
1.7.1.1 <i>Indicadores de variables independientes</i> .....	25
1.7.2 Variables dependientes .....	25
<b>CAPITULO II: MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....</b>	<b>27</b>
2.1 MARCO CONCEPTUAL.....	27
2.1.1 Túnel .....	27
2.1.1.1 <i>Clasificación de túneles</i> .....	27
2.1.2 Revestimientos .....	28
2.1.2.1 <i>Tipos de revestimiento</i> .....	28
2.1.3 Métodos de inspección en revestimiento de túneles.....	30
2.1.4 Mortero .....	31

2.1.4.1	Componentes.....	32
2.1.4.2	Mortero fluido (Grout).....	34
2.1.4.3	Características del mortero fluido en revestimiento de “Tunnel liner”.....	35
2.1.5	Cemento Portland.....	36
2.1.6	Aditivos.....	37
2.1.6.1	Clases de aditivos.....	39
2.1.6.2	Aditivo plastificante o fluidificante.....	39
2.1.6.3	Sikament 306.....	39
2.2	MARCO TEÓRICO.....	40
2.2.1	Exudación.....	40
2.2.2	Fluidez.....	41
2.2.3	Estabilidad del revestimiento.....	41
2.2.4	Fallas en túneles por vacíos en los revestimientos.....	43
<b>CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>45</b>
3.1	GENERALIDADES .....	45
3.2	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN .....	45
3.3	NIVEL DE INVESTIGACIÓN .....	45
3.4	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	46
3.5	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	46
3.5.1	Población.....	46
3.5.2	Muestra .....	47
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....	47
3.6.1	Peso Unitario (NTP 400.017; ASTM C29).....	47
3.6.1.1	Peso unitario compactado ( $PU_c$ ) .....	48
3.6.1.2	Peso unitario suelto ( $PU_s$ ).....	48
3.6.2	Contenido de Humedad (NTP 339.185).....	49
3.6.3	Gravedad específica y absorción (ASTM C128) .....	49
3.6.3.1	Agregado fino.....	50
3.6.4	Análisis granulométrico (NTP 400.012; ASTM C136) .....	51
3.6.5	Ensayo de fluidez cono Marsh (ASTM C939) .....	52
3.6.6	Resistencia a la compresión (NTP 334.051; ASTM C 109).....	53
3.6.7	Resistencia a la flexión (NTP 334.042, ASTM C348).....	55
3.6.8	Exudación (ASTM C940) .....	56
<b>CAPITULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES, DOSIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES .....</b>		<b>58</b>

4.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO.....	58
4.2	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO .....	59
4.3	CONTENIDO DE HUMEDAD .....	59
4.4	PESO UNITARIO SUELTO Y VARILLADO .....	59
4.5	DOSIFICACIÓN DEL MORTERO FLUIDO .....	61
4.6	PROPIEDADES FÍSICAS .....	61
4.6.1	Consistencia – cono Marsh (ASTM C939) .....	61
4.6.2	Peso unitario estado fresco (ASTM C185) .....	63
4.6.3	Exudación.....	64
4.7	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	65
4.7.1	Resistencia a la compresión (NTP 334.051; ASTM C 109).....	65
4.7.2	Resistencia a la flexión del mortero .....	67
<b>CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>		<b>69</b>
5.1	LAS PROPIEDADES FÍSICAS .....	69
5.1.1	Consistencia.....	69
5.1.2	Exudación.....	73
5.2	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	76
5.2.1	Resistencia a la compresión .....	76
5.2.1.1	<i>Análisis estadístico de la resistencia a compresión del mortero 1:2 .</i>	<i>76</i>
5.2.1.2	<i>Análisis comparativo del mortero 1:2 vs a/c .....</i>	<i>78</i>
5.2.1.3	<i>Análisis estadístico de la resistencia a compresión del mortero 1:3 .</i>	<i>80</i>
5.2.1.4	<i>Análisis comparativo de la dosificación 1:3 con a/c .....</i>	<i>82</i>
5.2.1.5	<i>Análisis estadístico de la resistencia a compresión del mortero 1:4 .</i>	<i>83</i>
5.2.1.6	<i>Análisis comparativo de los morteros 1:4 vs a/c.....</i>	<i>86</i>
5.2.2	Resistencia a flexión.....	87
5.3	TRAMO DE PRUEBA DE LA INYECCIÓN DEL MORTERO FLUIDO .	89
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>91</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>92</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>		<b>93</b>
<b>ANEXOS A.....</b>		<b>98</b>
<b>ANEXOS B.....</b>		<b>128</b>
<b>ANEXOS C.....</b>		<b>132</b>

## RESUMEN

En la construcción de túneles subterráneos, es común enfrentarse a hundimientos, fisuras y fallas debido a la formación de vacíos, poros y cavidades en el revestimiento. Estos problemas son causados por deficiencias en la fluidez, así como en las propiedades físicas y mecánicas del mortero de inyección utilizado para el revestimiento del túnel.

Existen diversos tipos de morteros, a los cuales se les adicionan aditivos o materiales para mejorar sus propiedades. Habitualmente, la fluidez de estos morteros se evalúa mediante la mesa de flujo. Sin embargo, cuando se requirió inyectar en los vacíos del revestimiento de túneles con morteros de mayor fluidez, el método resultó ser incorrecto. Por ello, fue indispensable complementar el análisis con métodos más específicos, como los utilizados en las lechadas de cemento.

El objetivo principal fue obtener un mortero óptimo, de características similares a una lechada de cemento (fluido), para rellenar los vacíos presentes en los túneles, con el propósito de reforzar y estabilizar el revestimiento. La metodología empleada fue cuantitativa, con un enfoque explicativo y diseño experimental. Se desarrollaron 12 diseños de mortero fluido (en proporciones 1:2, 1:3 y 1:4), con adiciones de 0.5%, 1.0% y 1.5% de aditivo plastificante, y se evaluaron sus propiedades. Se logró

Los resultados experimentales mostraron que la dosificación óptima del mortero 1:2:1.5% cumplió con los requisitos normativos y los requerimientos del proyecto. Su aplicación en obra en un tramo de prueba permitió estabilizar el Tunnel Liner.

**Palabras claves:** Revestimiento de túnel, vacíos, mortero fluido, Tunnel Liner y cono Marsh.

## ABSTRACT

In the construction of underground tunnels, it is common to face subsidence, cracks and failures due to the formation of voids, pores and cavities in the lining. These problems are caused by deficiencies in the fluidity, as well as in the physical and mechanical properties of the injection mortar used for the lining of the tunnel.

There are various types of mortars, to which additives or materials are added to improve their properties. Usually, the fluidity of these mortars is evaluated by means of the flow table. However, when it was required to inject the voids of the tunnel lining with mortars with greater fluidity, the method turned out to be incorrect. Therefore, it was essential to complement the analysis with more specific methods, such as those used in cement grouts.

The main objective was to obtain an optimal mortar, with characteristics similar to a cement grout (fluid), to fill the voids present in the tunnels, with the purpose of reinforcing and stabilizing the lining. The methodology used was quantitative, with an explanatory approach and experimental design. 12 fluid mortar designs (in proportions 1:2, 1:3 and 1:4) were developed, with additions of 0.5%, 1.0% and 1.5% of plasticizing additive, and their properties were evaluated.

The experimental results showed that the optimal dosage of the 1:2:1.5% mortar met the regulatory requirements and the project requirements. Its application on site in a test section allowed the Tunnel Liner to be stabilized.

**Keyword:** Tunnel lining, voids, flowable mortar, Tunnel Liner and Marsh cone.

## PRÓLOGO

El mortero es un material muy usado para unir elementos de construcción, levantar muros de carga, rellenar espacios que quedan entre bloques, trabajos de revestimiento de paredes o recubrimiento de muros, además, aprovechando las características fluidas en revestimiento o relleno de túneles, el método de excavación de tunnel liner permite mitigar al mínimo el cierre de las vías vehiculares y peatonales en zonas urbanas.

Este método de excavación consiste en la colocación de láminas de acero corrugado conforme avance de la excavación, además, es necesario rellenar con mortero de características fluidas entre lámina de acero exterior y el suelo a fin de dar estabilidad a la interacción suelo estructura.

La presente tesis estudió al mortero fluido con distintas proporciones de 1:2, 1:3 y 1:4 más la adición de un aditivo plastificante, realizando un total de 12 diseños donde se analizará las resistencias a compresión y flexión.

El presente trabajo pone en énfasis en analizar la resistencia para cada proporción más la adición del aditivo logrando resistencia a la compresión desde 93.95kg/cm<sup>2</sup> a 288.37kg/cm<sup>2</sup>, además, se han generado curvas de resistencia vs a/c donde será una referencia para los posteriores diseños dada para una resistencia.

Ing. Carlos A. Barzola Gastelú

Asesor

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 1: Revestimiento con materiales de soporte para túneles en roca.....	29
Tabla N° 2: Sistemas de soporte primario para túneles de suelo. ....	29
Tabla N° 3: Usos de los morteros de cemento.....	33
Tabla N° 4: Requisito granulométrico de la arena gruesa para mortero .....	34
Tabla N° 5: Los componentes químicos primarios para la fabricación del cemento .....	36
Tabla N° 6: Porcentajes de los óxidos del cemento portland .....	37
Tabla N° 7: Compuestos químicos que son importantes del cemento portland...	37
Tabla N° 8: Volumen del recipiente en base al tamaño nominal máximo del agregado .....	48
Tabla N° 9: Cantidad mínima de agregado en base al tamaño nominal máximo	49
Tabla N° 10: Serie de tamices en base al agregado fino y grueso. ....	51
Tabla N° 11: Muestra de análisis granulométrico por tamizado.....	58
Tabla N° 12: Dosificación para la muestra de mortero fluido (cemento: arena: aditivo).....	61
Tabla N° 13: Dosificación de la cantidad de agua en base al ensayo de cono Marsh. ....	62
Tabla N° 14: Relación de los pesos unitarios con las distintas adiciones de aditivo. ....	63
Tabla N° 15: Exudación de todas las proporciones y adiciones .....	64
Tabla N° 16: Relación de ensayos a la compresión de mortero .....	66
Tabla N° 17: Relación de ensayos a flexión de mortero.....	68
Tabla N° 18: La dosificación optima 1:2 en base a una fluidez determinada.	69
Tabla N° 19: La dosificación optima 1:3 en base a una fluidez determinada.	70
Tabla N° 20: La dosificación optima 1:4 en base a una fluidez determinada.	71
Tabla N° 21: Resultados de exudación para la dosificación 1:2.....	73
Tabla N° 22: Resultados de la exudación para la dosificación 1:3 .....	74

Tabla N° 23: Resultados de la exudación para la dosificación 1:4 .....	75
Tabla N° 24: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:0% .....	76
Tabla N° 25: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:0.5% .....	77
Tabla N° 26: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:1% .....	77
Tabla N° 27: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días de la dosificación 1:2:1.5% .....	78
Tabla N° 28: Resistencia a la compresión a los 28 días de la dosificación 1:2 en base a la relación a/c. ....	79
Tabla N° 29: <i>Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:0%</i> .....	80
Tabla N° 30: <i>Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:0.5%</i> .....	80
Tabla N° 31: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:1% .....	81
Tabla N° 32: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:1.5% .....	81
Tabla N° 33: <i>Resistencia a la compresión de la dosificación 1:3 en base a la relación a/c.</i> .....	82
Tabla N° 34: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:4:0% .....	83
Tabla N° 35: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:4:0.5% .....	84
Tabla N° 36: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:4:1% .....	85
Tabla N° 37: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:4:1.5% .....	85

Tabla N°38: Resistencia a la compresión de la dosificación 1:4 en base a la relación a/c .....	86
Tabla N°39: Análisis de resultados de la resistencia a flexión.....	87

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Hundimiento superficial de la vía panamericana km 80 – Megapuerto de Chancay.....	16
Figura N° 2: Hundimiento superficial de la vía – puente peatonal Nogales. ....	17
Figura N° 3: Partes del túnel.....	27
Figura N° 4: Tensiones sobre el revestimiento del túnel en profundidad.....	42
Figura N° 5: Sección circular del revestimiento (izquierda) y desarrollo de momento a flexión positivos y negativos (Derecha). ....	43
Figura N° 6: La acción del momento flector (A) túnel sin vacío, (B) hastiales (M-) y bóveda (M+), (C) túnel con vacío y (D) hastiales (M+) y bóveda (M-). ....	44
Figura N° 7: Vista panorámica del equipo flujo del mortero en el cono Marsh (Fuente: Propia).....	52
Figura N° 8: Sección transversal del cono de flujo con sus respectivas medidas .....	53
Figura N° 9: Se muestra la distribución y etapas para realizar la compactación.	54
Figura N° 10: Maquina uniaxial en ensayo de flexión de mortero.....	56
Figura N° 11: Muestra de la curva granulométrica y el módulo de fineza.....	58
Figura N° 12: Vista del equipo de cono Marsh utilizado en la investigación. ....	62
Figura N° 13: Se muestra el desarrollo grafico de los pesos unitarios de cada mortero 1:2, 1:3 y 1:3.....	64
Figura N° 14: Exudación del mortero de los distintos diseños.....	65
Figura N° 15: Relación de la resistencia a compresión para la dosificación de morteros 1:2, 1:3 y 1:4 (7 días). ....	66
Figura N° 16: Relación de la resistencia a compresión para la dosificación de morteros 1:2, 1:3 y 1:4 (14 días) .....	67
Figura N° 17: Relación de la resistencia a compresión para cada dosificación de morteros de 1:2, 1:3 y 1:4 (28 días). ....	67
Figura N° 18: Representación gráfica de la relación a/c y la adición del aditivo para el mortero 1:2. ....	69

Figura N° 19: Representación gráfica de la relación a/c vs incremento del aditivo .....	70
Figura N° 20: Representación gráfica de la relación a/c para el mortero 1:4.....	71
Figura N° 21: Representación gráfica de a/c en comportamiento en sus distintas dosificaciones de aditivo. ....	72
Figura N° 22: Representación gráfica de la exudación para la dosificación mortero 1:2 .....	73
Figura N° 23: Representación gráfica de la exudación para la dosificación mortero 1:3 .....	74
Figura N° 24: Representación gráfica de la exudación para la dosificación mortero 1:4. ....	75
Figura N° 25: Representación gráfica de la resistencia a la compresión en base a la relación a/c para los morteros 1:2. ....	79
Figura N° 26: Representación gráfica de la resistencia a la compresión promedio en base a la relación a/c para los morteros de 1:3.....	83
Figura N° 27: Representación gráfica de la resistencia a la compresión requerida en base a la relación a/c para la dosificación 1:4. ....	86
Figura N° 28: Vista grafica del ajuste lineal de la resistencia a flexión .....	88

---

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

A	: Área
a/c	: Relación de agua/cemento (en masa)
R <sub>f</sub>	: Resistencia a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
L	: Longitud de apoyo en el ensayo de laboratorio (12.00cm)
b	: Ancho de muestra (4.00cm)
P	: Carga de rotura (kgf)
R <sub>c</sub>	: Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
R <sub>p</sub>	: Resistencia a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
S <sub>s</sub>	: Desviación estándar
1s%	: Coeficiente de variación
d2s%	: Rango
C: A	: Cemento: Arena

### SIGLAS

ASTM	: American Society Testing and Materials
ASCE	: American Society of Civil Engineers.
NTP	: Normas Técnicas Peruanas
MF	: Modulo de finura
PUC	: Peso Unitario Compactado
PUS	: Peso Unitario suelto
MF	: Módulo de finura

## CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

La presencia de vacío en el revestimiento de túneles puede generar fallas por tracción (Ben-Gou et al., 2021). Para su tratamiento, se emplean métodos como la inyección a presión con lechada de consistencia fluida, debido a su versatilidad para introducirse en cavidades y adaptarse a la forma necesaria (Pinillos, 2015). La resistencia del túnel depende tanto del área de acero como del confinamiento del suelo, lo que requiere un adecuado relleno entre ambos. Para ello, es fundamental que el mortero posea la resistencia y fluidez necesarias, además de ser correctamente colocado.

Según la *National Ready Mixed Concrete Association* (NRMCA), el mortero fluido (lechada) se utiliza principalmente para rellenar espacios o cavidades, asegurando la continuidad en la transferencia de carga. Su diseño debe considerar especificaciones basadas en resistencia y consistencia, las cuales pueden evaluarse mediante métodos como el cono de Abrams, la mesa de flujo o el cono Marsh. La elección del método dependerá de los requisitos específicos del proyecto.

La normativa E070 establece que la consistencia del mortero debe medirse exclusivamente con la mesa de flujo lo cual es inapropiado en mortero fluidos, mientras que la norma UNE-EN 445 (*EHE Instrucción de Hormigón Estructural*) enfatiza la importancia de seleccionar una fluidez adecuada, evitando exudaciones excesivas que puedan comprometer la resistencia del mortero.

Algunos requisitos para los morteros fluidos incluyen:

- La fluidez debe evaluarse con el cono Marsh, con un tiempo de flujo de  $21 \pm 2$  segundos para un volumen de  $1725 \pm 5$  ml.
- La exudación, medida en una probeta de 1000 ml durante 3 horas, no debe superar el 2%.
- La resistencia mínima del mortero en relleno debe ser de  $140 \text{ kg/cm}^2$ .
- En el caso del *Tunnel Liner* de Santa Anita, la resistencia mínima requerida es de  $280 \text{ kg/cm}^2$ .

Por ello, es necesario desarrollar un mortero que cumpla con estos requisitos, tanto para lechada de relleno como para mortero estructural. Este será aplicado

en un tramo de prueba con el objetivo de estabilizar la sección del revestimiento del túnel.

## 1.1 GENERALIDADES

Los proyectos de construcción subterránea permiten aprovechar el espacio interior del terreno para diversos fines, como vías de comunicación rápidas, proyectos hidráulicos, extracción de minerales, entre otros (Vallejo, 2002; Echeverría, 2013). En ciudades densamente pobladas como Lima metropolitana, donde el espacio para infraestructuras de transporte es limitado, métodos innovadores como el Tunnel Liner se vuelven imprescindibles (Edson & Max, 2019). Este método de excavación horizontal sin zanja no solo es eficiente y seguro, sino que minimiza el impacto social y garantiza la estabilidad del terreno durante y después de la construcción (Ruiz, 2022).

El proceso constructivo del Tunnel Liner consiste en la excavación horizontal de manera manual y colocación de anillos metálicos (láminas de acero galvanizado) para seguridad y sostenimiento, se inyecta un mortero de características fluidas con una resistencia especificada, para rellenar el espacio entre las láminas de acero y el contacto de la sección del suelo excavado llegando a cubrir todas las oquedades y vacíos generadas en el suelo, a fin de estabilizar el revestimiento y evitar hundimiento superficial de la vía de tránsito (Perforaciones horizontales, 2015).

En la práctica, durante la construcción o la operación del túnel, el contacto entre el revestimiento y la roca circundante pudieron no ser perfecto debido a los huecos creados por procesos que dependen del tiempo, como la disolución, la erosión y el ablandamiento de la roca. Cuando el contacto entre la roca y el revestimiento se deteriora, el mecanismo de transferencia de carga de la roca al revestimiento cambió, aumentando la tensión en la roca, promoviendo la degradación del contacto y aumentando el esfuerzo en el revestimiento (Jifei et al., 2013), por esta razón fue preciso evaluar el comportamiento del mortero de relleno ante las diferentes solicitaciones ya sea por la profundidad o en su etapa de servicio.

Los túneles son obras que pueden presentar grietas en el revestimiento del túnel por un inadecuado proceso constructivo. Estas grietas son deficiencias típicas de que probablemente hay vacíos alrededor del túnel sin relleno, en la que se producen grietas continuas dentro de la parte del arco del revestimiento de

concreto a lo largo de la dirección longitudinal, y la mayoría de las grietas se abren en gran medida (Zhang et al., 2017). El desarrollo de proyectos mediante este método constructivo ha evidenciado los siguientes casos:

#### 1.1.1 El túnel III de la Cloaca Máxima

El colapso del Túnel III de la Cloaca Máxima en 1997, que resultó en el hundimiento del pavimento, fue causado por la infiltración del nivel freático y la subsiguiente erosión del suelo a través de grietas y vacíos (Sfriso, 2006). Según Echeverría (2013), las excavaciones de túneles alteran el equilibrio natural del suelo, transfiriendo las cargas al revestimiento y creando interacciones críticas entre el suelo y la estructura. Por lo tanto, es crucial evitar la formación de vacíos, oquedades e infiltraciones entre el túnel y el terreno circundante.

Se llevó a cabo un prototipo de túnel a escala 1:30 con vacíos en la bóveda para investigar los modos de fallo en túneles viales. Los fallos ocurrieron cuando las tensiones de compresión excedieron la capacidad de soporte, concentrándose generalmente en la bóveda y los hastiales del revestimiento. La presencia de vacíos indujo fallos por tracción en la bóveda debido a la inversión de las fuerzas de momento, especialmente cuando los vacíos estaban centrados y la inclinación superaba los 50°, provocando fisuras y subsidencia en el túnel (Ben-Gou et al., 2021).

Un método común para rellenar los espacios vacíos del revestimiento y el subsuelo producto de la excavación de túneles es inyectar un material aglutinante a través de inyección con jet grouting, a fin de evitar el asentamiento del terreno (Martínez, 2012).

#### 1.1.2 Megapuerto de Chancay

Una parte del proyecto incluía la construcción de un túnel. El 2 de mayo de 2023, se produjo un hundimiento superficial en la carretera Panamericana en el kilómetro 80 (ver Figura N° 1) del tramo Chancay-Huacho, afectando las vías y viviendas. En este caso, no se tomaron las previsiones necesarias para un adecuado sostenimiento y revestimiento (Andina, agencia noticiosa virtual, 2023).



Figura N° 1: Hundimiento superficial de la vía panamericana km 80 – Megapuerto de Chancay.

Fuente: (Andina, agencia noticias virtual, 2023)

#### 1.1.3 Proyecto del Tunnel liner OVNI FORD

En la Figura N° 2 se observa el hundimiento de la vía superficial en la altura del paradero Los Nogales (Evitamiento), causado por los vacíos dejados durante el revestimiento del túnel. Por ello, es necesario utilizar un material de características fluidas y con la resistencia adecuada para soportar las cargas del suelo circundante a la excavación.

El procedimiento de excavación, colocación de anillo e inyección se muestra gráficamente en el anexo B, Figura B- 8.

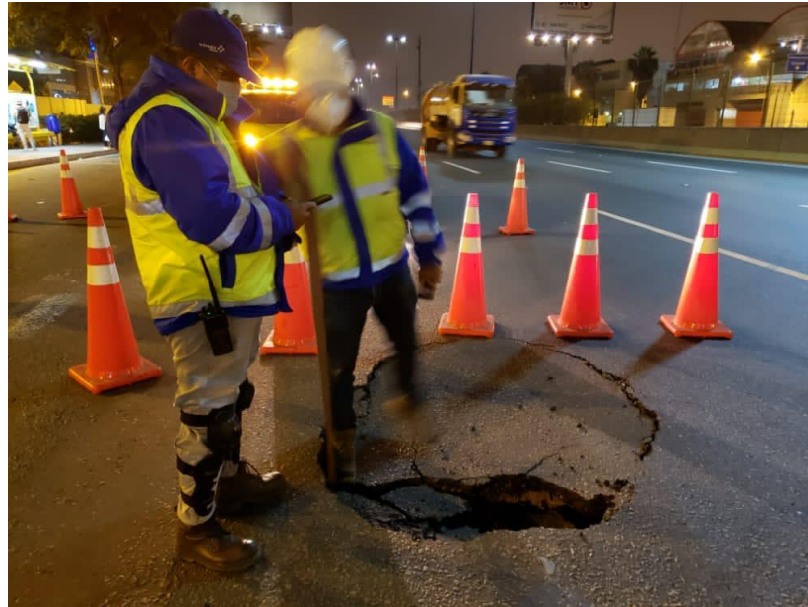


Figura N° 2: Hundimiento superficial de la vía – puente peatonal Nogales.

Fuente: propia

#### 1.1.4 Túnel de la Belabieta

Con una longitud total de 1836 metros, ubicado en Villabona, País Vasco, el Túnel de la Belabieta presentó fallas debido a fisuras y vacíos. Antes del reforzamiento, se realizó el desmontaje de las instalaciones existentes. El trabajo se llevó a cabo en dos etapas: primero, se saneó y rellenaron los vacíos y fisuras del revestimiento mediante la aplicación de una resina poliuretánica monocomponente de consistencia superfluida. Como segundo paso, se reforzó la estructura mediante la instalación de una malla de refuerzo metálica, sobre la cual se proyectó un nuevo revestimiento de hormigón proyectado (MAPEI, 2023).

Los métodos de tratamiento de cavidades incluyen la inyección a presión para el relleno de cavidades, conductos y fracturas. Una vez identificadas, se procedió a la inyección o revestimiento con lechada de consistencia y fluencia plástica, lo que permite su versatilidad para introducirse en las cavidades y adoptar la forma necesaria para la estabilización. Como subproductos de inyección, generalmente se utilizaron morteros de arena (Pinillos, 2015).

#### 1.1.5 Las Vegas

En el área metropolitana de Las Vegas, se están construyendo nuevas tomas de agua del lago Mead mediante pozos, lo que implica varios miles de pies de túnel con perforación y excavación mediante voladuras en roca metamórfica fracturada

con conexión hidráulica directa al lago Mead. La inyección de lechada en las formaciones rocosas es necesaria para controlar el agua y permitir el avance de las excavaciones de túneles abiertos. La mezcla de inyección está compuesta por cemento ultrafino, cemento Portland tipo III y mezclas químicas de poliuretano (Tzobery et al., 2012).

Los casos de los proyectos mencionados anteriormente resaltan la importancia de conocer las principales propiedades del mortero fluido, como la consistencia adecuada, la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión y la exudación, para garantizar su desempeño ante las cargas a las que estará expuesto. Es crucial determinar también las propiedades físicas de los materiales, incluidos los agregados o áridos pétreos y la pasta de cemento (mezcla de cemento y agua). Estos materiales deben cumplir con las especificaciones de las normas técnicas nacionales para asegurar una ejecución correcta en diversas construcciones civiles (San Bartolomé, 2008).

## 1.2 ANTECEDENTES INVESTIGADOS

La National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) define la lechada de relleno como una mezcla de material cementante y agua, con o sin agregados, diseñada para tener una consistencia adecuada que evite la segregación. Este material se utiliza principalmente para rellenar espacios o cavidades, asegurando la continuidad en la transferencia de carga. Además, su diseño debe considerar las especificaciones basadas en la resistencia y la consistencia requeridas para su uso. El control de calidad se centra en la consistencia, ya que esto influye tanto en la resistencia del material como en el llenado completo de los vacíos, sin presentar segregación. Para evaluar la consistencia, se pueden emplear métodos como el cono de Abrams, la mesa de flujo o el cono Marsh. Cada uno de estos ensayos ofrece distintas formas de medición, y la elección del método más adecuada dependerá de los requisitos específicos del proyecto.

La normativa E070 de albañilería establece que la evaluación de la consistencia del mortero debe realizarse mediante la mesa de flujo, logrando una fluidez entre el 105% y el 115% para una dosificación de 1:2,75 (cemento: arena). Además, la consistencia debe ser evaluada mediante el cono de Abrams, con un revenimiento que se sitúe entre los 22.5 cm y los 27.5 cm, lo cual garantiza una buena trabajabilidad sin segregación. En caso de que se necesite un mortero más fluido,

no se podrá evaluar la consistencia mediante este método, y en su lugar se presentará exudación.

La normativa UNE-EN 445 (EHE Instrucción de Hormigón estructural) establece que las lechadas y morteros de inyección deben cumplir con las siguientes propiedades: la fluidez, evaluada mediante el cono Marsh, debe tener un tiempo de eflujo inferior a 25 segundos; la cantidad de agua exudada en una probeta de 1000 ml después de 3 horas no debe superar el 2% del volumen. Un aumento en la fluidez facilita el proceso de inyección, pero puede generar una exudación mayor en el material inyectado, lo que puede resultar en un relleno defectuoso de los conductos. Por ello, es fundamental seleccionar una fluidez adecuada que no cause exudaciones mayores ni se reduzca la resistencia del mortero.

El Manual de Carreteras, túneles, muros y obras complementarias (MTC/14) establece que las lechadas y morteros se inyectan cuando se detectan huecos dentro del macizo rocoso, ya que estos pueden generar filtraciones de agua, concentraciones de tensiones en ciertas zonas, terrenos de mala calidad, y espacios vacíos en los pernos de anclaje, así como entre las excavaciones y el revestimiento. Sin embargo, estas recomendaciones son de carácter general y no especifican las propiedades físicas y mecánicas del mortero a utilizar.

Salazar (2023) llevó a cabo una investigación con el objetivo de analizar el comportamiento del mortero con aditivo plastificante en la reparación y conservación de obras civiles. El estudio comparó el mortero con aditivo plastificante en porcentajes de 0.0%, 0.8%, 1.0% y 1.2% con el mortero tradicional que utilizaba aditivo expansivo. Para ello, se preparó una dosificación de 1:3 (cemento: arena) y se realizaron ensayos en estado fresco, evaluando la consistencia (mesa de flujo), exudación y peso unitario. En su estado endurecido, se efectuarán pruebas de retracción, adherencia, resistencia a la compresión y flexión. Como conclusión, el mortero con aditivo plastificante demostró ser más eficaz para la reparación y conservación que el mortero con aditivo expansivo. El resultado más destacado fue una resistencia a la compresión máxima de 216,7 kg/cm<sup>2</sup> para la dosificación con 1,2% de aditivo plastificante, lo que representó un incremento del 20,1% respecto al mortero patrón (sin aditivo), además de presentar una exudación del 0.0%.

Silva (2024) explica que, aunque el mortero de pega y el mortero de relleno tienen composiciones similares, su desempeño difiere significativamente. El mortero de pega se utiliza para unir unidades de albañilería, mientras que el mortero de relleno sirve para fijar el acero de refuerzo a los bloques o ladrillos adyacentes. Este último se define como una mezcla de cemento y agua, con o sin agregados, diseñada para fluir dentro de los espacios irregulares de las celdas. Debido a su naturaleza fluida, es una buena práctica compactarlo para garantizar un llenado completo y evitar vacíos. Es fundamental dosificar adecuadamente el mortero para lograr una consistencia fluida y evitar la segregación, lo cual podría interferir con la hidratación del cemento. Las propiedades de la consistencia se evalúan utilizando el cono de Abrams, donde el asentamiento recomendado varía entre 20 y 28 cm. Si el mortero demora más de 35 segundos en fluir en este ensayo, se sugiere evaluarlo en la mesa de flujo, aplicando 5 golpes en un intervalo de 3 segundos. Independientemente del método empleado, la medición de la consistencia es un factor crítico, para su control deben establecerse de manera clara para evaluar dicha propiedad.

Pérez (2019). Se realizó la investigación para determinar las propiedades físicas y mecánicas del grout normal y un grout predosificado con adición del aditivo GLENIUM 3400 NV en 0.45%, 0.60% y 0.70% en peso del cemento. Se diseñó un grout normal con agregado fino en proporción 1:4:0.965 (C:A) y se realizaron ensayos en estado fresco, como el slump, contenido de aire, extensión (cono de Abrams, medida de diámetro de la extensión) y caja L. En el estado endurecido, se elaboraron probetas cilíndricas de 4"x8" para una resistencia de  $f'_c$  210 kg/cm<sup>2</sup> con las respectivas adiciones del aditivo. Además, el grout predosificado se utilizó después de 30 días de almacenamiento. Se concluyó que la adición óptima del 0.60% incrementó la resistencia a compresión en un 2.5%, obteniendo una resistencia a los 28 días de 237.46 kg/cm<sup>2</sup> para el grout elaborado en obra y de 229.53 kg/cm<sup>2</sup> para el predosificado.

Pingua et al. (2019) investigaron el uso de morteros con aerogel como alternativa para una capa protectora capaz de aislar eficazmente el concreto estructural y retrasar el aumento de la temperatura durante un incendio, reduciendo así el riesgo de desprendimientos explosivos. Este enfoque contribuye a proteger el revestimiento y minimizar los daños estructurales. En el estudio, se emplearon cemento tipo I, humo de sílice, partículas de aerogel, agua,

superplastificante y arena tamizada entre las mallas N°10 (2 mm) y N°35 (0.5 mm), con una relación agua-ligante (a/c) de 0.40. El ligante estuvo compuesto por cemento y humo de sílice (10 % del peso del ligante), mientras que el superplastificante se añadió en un 1 % respecto al ligante. Las variables analizadas fueron la proporción de arena y gránulos de aerogel, comenzando con una muestra patrón compuesta únicamente de arena, y posteriormente sustituyéndola progresivamente por aerogel hasta lograr su reemplazo total. Los resultados mostraron que, aunque las resistencias a compresión y flexión disminuyeron al sustituir completamente la arena, la resistencia térmica del material aumentó significativamente.

Marquina (2016) realizó la investigación para analizar la resistencia a compresión del grout con incrementos sucesivos de 0.7%, 0.9%, 1.2% y 1.4% de aditivo Sikament 290N. Utilizó el método del módulo de fineza del ACI para una resistencia de  $f'c = 140 \text{ kg/cm}^2$ . Se evaluaron las propiedades físicas y mecánicas, concluyendo que el slump aumentó de 23.10 cm a 25.80 cm con la adición del aditivo. El peso unitario aumentó inicialmente y luego disminuyó, mientras que la resistencia a compresión óptima se alcanzó con el 0.7% de aditivo, obteniendo  $168.42 \text{ kg/cm}^2$ .

Zanabria y Salazar (2018) realizaron la investigación para determinar la dosificación óptima de los agregados, el revenimiento del concreto líquido fino con o sin adición de limaduras de acero, la resistencia a compresión, resistencia a flexión y el tiempo de fraguado en comparación con la muestra patrón. Para ello, tamizaron el agregado fino mezclado con las limaduras de acero (pasante de la malla N°100) y dosificaron el agua usando la mesa de sacudidas (mesa de flujo) con 25 golpes en 15 segundos para medir sus diámetros. Las dosificaciones del cemento, agregado fino y agua fueron (1: 2 ¼: 0.65). Prepararon muestras cúbicas de 5 cm para pruebas de compresión y vigas de 16 cm x 4 cm x 4 cm para pruebas de flexión. Concluyeron que la fluidez aumentó de 112.84% (patrón) a 136.22% (con 10% de adición de limaduras de acero). La resistencia a compresión varió de  $148.71 \text{ kg/cm}^2$  (patrón) a  $253.50 \text{ kg/cm}^2$  (con 2% de adición de limaduras de acero). Sin embargo, con adiciones de 5% y 10% de limaduras de acero, se obtuvieron resistencias inferiores. La resistencia a flexión no mostró incrementos significativos, variando de 50.54 kPa a 50.95 kPa.

Tagle (2016) realizó la investigación para analizar las propiedades físico-mecánicas del mortero con respecto al incremento de la ceniza volante en reemplazo del cemento, determinar el porcentaje óptimo de ceniza volante, y evaluar la consistencia y la variación de resistencia a flexión y compresión para cada adición de ceniza volante. Para ello, se realizó un diseño patrón con una resistencia de 175 kg/cm<sup>2</sup> y una dosificación de 1:2.25:0.51 (cemento: arena). Esta proporción fue reajustada con base en el ensayo de consistencia (mesa de flujo), resultando en una proporción de 1:2.25:1.1 para una fluidez de 110±5%. Se prepararon muestras cúbicas y prismáticas para los ensayos de resistencia a compresión y flexión, respectivamente. Se concluyó que la cantidad óptima de ceniza volante era del 5%, con una resistencia que varió de 305.55 kg/cm<sup>2</sup> (patrón) a 184.33 kg/cm<sup>2</sup>, indicando una disminución de la resistencia. En cuanto a la resistencia a flexión, no se observó incremento alguno. La investigación recomienda el uso de ceniza volante en pequeñas proporciones, menores al 5%.

Sonebi (2010) investigó la optimización de lechadas de cemento que incorporan humo de sílice y aditivos modificadores de viscosidad. El estudio tuvo como objetivo ajustar los parámetros de relación agua/cemento (a/c), aditivo reductor de agua (HRWR), humo de sílice y aditivo modificador de viscosidad (VMA) mediante un diseño factorial fraccionado compuesto y un enfoque estadístico. Se evaluó el desempeño de las lechadas mediante ensayos de minislump, tiempo de flujo (cono Marsh), cohesión (medida con placa Lombardi), pérdida de masa por lavado y resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días. Las dosificaciones variaron en a/c (0.37 – 0.53), HRWR (0.4 - 1.8%), humo de sílice (4 – 12%) y VMA (0.02 – 0.8%) por masa de aglutinante. Los resultados mostraron que el aumento del HRWR incrementó la fluidez, mientras que no afectó la reducción de la placa ni el tiempo de flujo. El incremento del VMA redujo la fluidez y la pérdida de masa por lavado, y aumentó el tiempo de flujo y la cohesión de la placa. El uso de humo de sílice aumentó la cohesión de la placa y el tiempo de flujo del cono Marsh, y redujo el minislump. Además, mejoró significativamente la resistencia a la compresión y la resistencia al lavado, en conclusión, el estudio demostró que la incorporación de humo de sílice en las lechadas de cemento ofrece mejoras en la cohesión, resistencia a la compresión y resistencia al lavado, así como ajustes en la fluidez y otros parámetros evaluados.

Martínez (2012) realizó la evaluación del comportamiento del mortero de inyección bajo condiciones de carga y descarga combinadas (resistencia a la fatiga) y generar curvas de comportamiento correspondientes. Se realizaron dos tipos de muestras: la primera, del tipo 2R, diseñada para soportar únicamente cargas dinámicas, y la segunda, denominada MII, reforzada con microsilíce en la lechada de cemento para aumentar su resistencia a las cargas dinámicas. Ambas muestras fueron evaluadas mediante ensayos de compresión simple con ultrasonido, fatiga acelerada y tracción indirecta. Se concluyó que la muestra MII exhibió una resistencia simple significativamente mayor, incrementando de 42 kg/cm<sup>2</sup> a 264 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, las velocidades de ultrasonido P y S fueron similares para ambas muestras. En cuanto al ensayo de tracción, ambos tipos de muestras mostraron resultados comparables. En el ensayo de fatiga (Locati), la muestra 2R no logró soportar cargas cíclicas, mientras que la muestra MII resistió 3 de 5 ciclos expuestos, manteniendo el 53% de su resistencia frente a la carga estática. Estos resultados indican que la lechada MII presenta un comportamiento superior tanto en esfuerzos de tracción como en compresión, demostrando su eficacia en condiciones dinámicas de carga y descarga comparado con la muestra 2R.

Existen diversos tipos de morteros, como los convencionales, de reparación, resistentes al fuego, resistentes a cargas dinámicas y expansivos, a los cuales se les añaden aditivos o materiales suplementarios para mejorar sus propiedades físicas y mecánicas. Habitualmente, la fluidez de estos morteros se evalúa mediante la mesa de flujo para una fluidez de 110±5%. Sin embargo, cuando se requiere utilizarlos para inyectar en los vacíos del revestimiento de túneles, este método no es adecuado, ya que se necesitan morteros con una fluidez más elevada. Por ello, es indispensable complementar el análisis con métodos más específicos, como los utilizados en la evaluación de lechadas de cemento. Además, la exudación se convierte en un factor crítico que también debe ser considerado en la evaluación.

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Durante el proceso constructivo de túneles, especialmente en la etapa del revestimiento, pueden generarse vacíos, poros y cavidades debido a deficiencias en las propiedades del material utilizado. Diversas investigaciones han evidenciado que estos vacíos en el revestimiento son una de las principales

causas de fallas durante la vida útil del túnel. Según Wang Jifei et al. (2013), dichos vacíos generan alteraciones en los momentos de empuje y flexión del revestimiento, comprometiendo su estabilidad en comparación con un revestimiento sin vacíos.

Existen diferentes tipos de morteros, como los convencionales, de reparación, resistentes al fuego y expansivos, que suelen ser mejorados mediante la adición de aditivos o materiales suplementarios para optimizar sus propiedades físicas y mecánicas. Estos morteros generalmente se evalúan en términos de fluidez utilizando la mesa de flujo, donde el rango de trabajabilidad debe situarse en  $110 \pm 5\%$  para evitar problemas como la segregación. Sin embargo, para inyectar o rellenar los vacíos completamente de los túneles, se requieren morteros fluidos, y la evaluación de su fluidez mediante la mesa de flujo no resulta adecuada. Por ello, es necesario complementar este análisis con métodos específicos de evaluación de fluidez, como el uso del cono Marsh, empleado habitualmente en lechadas de cemento.

Esta investigación se desarrolló para evaluar las propiedades físicas y mecánicas de un mortero fluido mejorado con aditivo plastificante. Para ello, se diseñaron morteros en proporciones de 1:2, 1:3 y 1:4, con adiciones del aditivo plastificante en concentraciones de 0.0% (muestra patrón), 0.5%, 1.0% y 1.5% del peso del cemento, generando un total de 12 diseños. Los morteros diseñados cumplieron con características de fluidez media, evaluadas con el cono Marsh, logrando un tiempo de flujo de  $21 \pm 2$  segundos.

#### 1.4 PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la mezcla óptima de mortero fluido con aditivo plastificante para la estabilización del Tunnel Liner en Santa Anita, Lima?

##### 1.4.1 Problema específico

En base al problema general, los problemas específicos son:

- ¿Qué mortero cumple con los requisitos de fluidez (según el cono Marsh), exudación controlada y resistencia adecuada para su aplicación en inyecciones en el revestimiento del Tunnel Liner?
- ¿Cómo se comporta el mortero seleccionado al ser aplicado en un tramo del túnel y cuáles son los resultados obtenidos?

## 1.5 OBJETIVOS DE ESTUDIO

### 1.5.1 Objetivo general

Evaluar y determinar la mezcla óptima de mortero fluido con aditivo plastificante para la estabilización del Tunnel Liner. Santa Anita - Lima.

### 1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar y seleccionar un mortero que cumpla con los requisitos de fluidez (según el cono Marsh), exudación controlada y resistencia adecuada para su aplicación en inyecciones en el revestimiento de Tunnel Liner.
- Aplicar el mortero seleccionado en un tramo del túnel y verificar los resultados.

## 1.6 HIPÓTESIS

### 1.6.1 Hipótesis General

- El mortero que se seleccionará en el estudio permitirá estabilizar el Tunnel Liner rellenando adecuadamente los vacíos, fisuras y grietas presentadas en el revestimiento.

## 1.7 VARIABLES

### 1.7.1 Variables independientes

La variable independiente fue el mortero fluido con distintas proporciones C: A más el incremento de aditivo.

Las dimensiones fueron la dosificación del mortero (proporciones de cemento y arena) y adición de aditivo (en porcentajes del cemento).

#### 1.7.1.1 Indicadores de variables independientes

##### a) Aditivo (Sikament 306)

- 0.5%, 1.0% y 1.5% del cemento

##### b) Mortero

- Se dosificó el agua en base al ensayo de consistencia (cono Marsh) para un tiempo de flujo  $21 \pm 2$ s.
- Morteros (Cemento: Arena) de 1:2, 1:3 y 1:4.

### 1.7.2 Variables dependientes

La variable dependiente fueron las propiedades:

- físicas (consistencia y exudación)
- mecánicas (resistencia a la compresión y flexión).

Las dimensiones fueron las propiedades físicas en su estado fresco y propiedades mecánicas en su estado endurecido.

Se adjunta en el anexo C, en la tabla C-1 donde se muestra la matriz de consistencia y operacionalización de las variables

## CAPITULO II: MARCOS TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 MARCO CONCEPTUAL

#### 2.1.1 Túnel

Un túnel es una estructura subterránea construida para permitir el paso de vehículos, personas, líneas de ferrocarril, conducciones de agua potable, alcantarillado u otros elementos, desde un punto de entrada hasta un punto de salida, atravesando cerros, praderas, cuerpos de agua u otras barreras geográficas. Los túneles pueden variar en longitud y diámetro (Edson & Max, 2019). En la Figura N° 3. se muestran las partes de un túnel.

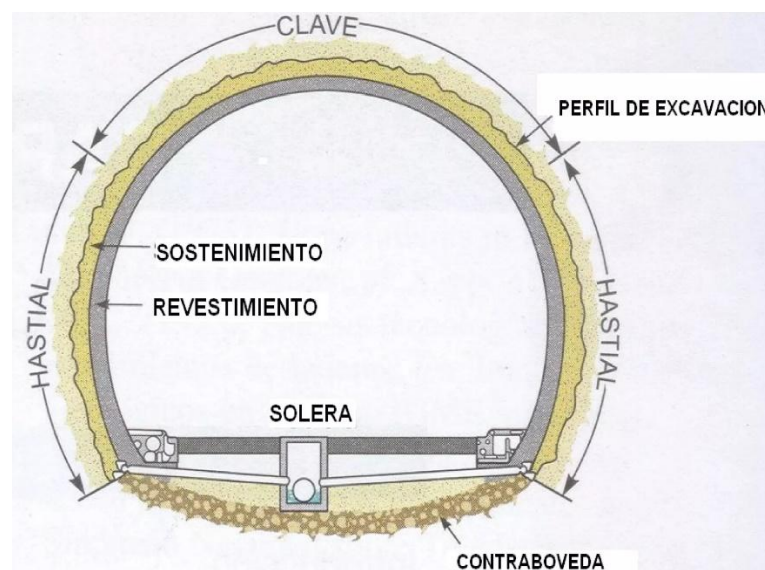


Figura N° 3: Partes del túnel  
(fuente: López et al., 2005)

#### 2.1.1.1 Clasificación de túneles

Los túneles se clasifican de la siguiente manera:

- a) Según su servicio:
  - Túneles carreteros: Diseñados para el transporte motorizado y para superar grandes obstáculos.
  - Túneles Ferroviarios: Utilizados en líneas de ferrocarril para atravesar colinas en zonas costeras y serranas con grandes montañas.
  - Túneles de metro: Localizados típicamente en áreas urbanas, diseñados para el transporte masivo.

- Túneles de agua potable y alcantarillado: Destinados a proyectos de saneamiento con tuberías de gran diámetro, especialmente en ciudades altamente densificadas donde no es viable la excavación a cielo abierto.
- Túneles peatonales: Utilizados para el tránsito de personas donde no es posible construir puentes peatonales en la superficie.

b) Según su Geología

- Túnel en roca: Frente de excavación en macizo rocosa.
- Túnel en suelo: Material más blando que el macizo rocoso.
- Túnel con frente mixto: Excavaciones en suelos y rocas.

### 2.1.2 Revestimientos

Según el manual de carreteras (túneles, muros y obras complementarias) del MTC (2014), el revestimiento en los túneles y en las obras subterráneas desempeña una función crucial en su estabilidad durante la construcción y en la seguridad durante su vida útil. La primera función del revestimiento es estabilizar el frente de excavación antes de que llegue a ser crítico, especialmente en suelos blandos o rocas blandas (Melis, 2011).

#### 2.1.2.1 Tipos de revestimiento

El Departamento de Ingeniería Civil de la Universidad de Illinois en un estudio realizado para la Oficina de Transporte Terrestre de Alta Velocidad, Departamento de Transporte de los EE. UU, identifica de forma general dos tipos de revestimiento:

- a) Revestimiento primario: Soporte principal inmediato a la excavación para poder estabilizar el frente de excavación del túnel ver Tabla N° 1.
- b) Revestimiento secundario: Indica que es cualquier encamisado que cubre el sistema de soporte primario, que por lo general no es estructural.

#### Tipos de sistemas de revestimiento primario

##### Túneles de roca

En los túneles de roca se tienen tres alternativas de revestimiento:

- Rock bolts (Pernos de anclaje)
- Steelcrete (Conjunto de acero)

## ➤ Shotcrete (Concreto lanzado)

Tabla N° 1: Revestimiento con materiales de soporte para túneles en roca

Tipo de Soporte	Calidad de Roca				Observaciones
	Buena	Regular	Pobre	Muy Pobre	
Rock bolts	Si	Si		No	Difícil o imposible de obtener anclaje en roca pobre y muy pobre Puede no requerir un revestimiento secundario para la protección contra la corrosión. Los desarrollos futuros son prometedores. Se requiere soporte suplementario en roca de peor calidad.
Shotcrete	Si	Si	Si	-	Por lo general, es más caro, pero a veces es el único sistema que se puede usar.
Steel Sets	Si	Si	Si	Si	

Fuente: (Civil Engineering Department of the University of Illinois, s.f.)

Túneles en Suelo

Los túneles excavados en suelo a menudo tienen revestimientos secundarios, mientras que los túneles blindados se han construido tradicionalmente sin un revestimiento secundario porque el sistema de soporte primario, hecho de hierro fundido, es resistente a la corrosión. Los túneles de blindaje más modernos, revestidos con segmentos de acero recubiertos o de concreto, también son resistentes a la corrosión y no requieren un revestimiento secundario (Civil Engineering Department of the University of Illinois, s. f.).

La siguiente Tabla N° 2, presenta los diferentes sistemas de soporte, teniendo en cuenta las características del suelo.

Tabla N° 2: Sistemas de soporte primario para túneles de suelo.

Tipos de sistema	Observaciones
Segmentos de acero atornillados	Generalmente se usa en condiciones de suelos pobres. Demasiado costoso en otras condiciones del suelo. Se han recubierto con una película resistente a la corrosión y se utiliza sin ningún revestimiento secundario.

Segmentos de hierro fundido	A menudo se usa para túneles de escudo protector en suelo blando. Demasiado costoso en otras condiciones del suelo. No requiere un revestimiento secundario para la protección contra la corrosión.
Segmentos de concreto atornillado	Todavía no se usa en los Estados Unidos. Aplicable a suelos pobres. No requiere un revestimiento secundario para la protección contra la corrosión.
Segmentos de concreto desatornillado	Se usa solo en suelos con alto tiempo de consolidación, como arcilla muy rígida. No requiere un revestimiento secundario para la protección contra la corrosión.
Nervadura de acero y revestimiento de madera o con placas de revestimiento	Es versátil bajo la mayoría de las condiciones de suelo excepto en arena fluida y arcilla con alta plasticidad.
Placas de revestimiento sin nervadura de acero	Se usa solo para túneles de pequeño diámetro.
Shotcrete	Necesario en suelos que tienen suficiente tiempo de consolidación. No puede soportar el empuje del soporte. No requiere revestimiento secundario.
Concreto colocado in-situ	Se usa solo para túneles de pequeño diámetro en buenas condiciones de suelo.

---

Fuente: (Civil Engineering Department of the University of Illinois, s.f.)

### 2.1.3 Métodos de inspección en revestimiento de túneles

Montero et al. (2015) indica que las inspecciones de túneles son fundamental para evaluar su seguridad, estabilidad y durabilidad. Existen varios métodos para llevar a cabo esta evaluación, que pueden clasificarse en inspecciones visuales, métodos no destructivos (NDT), ensayos destructivos y modelado numérico, además, es deseable hacerlo sin crear ningún efecto negativo en la estructura o el componente, y es por eso que los métodos de inspección no destructiva (NDI) es más comúnmente que los métodos destructivos, el material más común en los

túneles es el concreto, los métodos indicados anteriormente son de aplicación inmediata

#### Métodos visuales

Es uno de los métodos más importantes y sencillos, pero se necesita un ojo bien entrenado a fin de dar un indicativo preliminar de la condición de la estructura y permitir la formulación de un programa de pruebas posteriores

#### Métodos basados en la fuerza

Los ensayos de rebote y penetración miden la dureza superficial de los materiales y proporcionan una estimación de la resistencia a la compresión de la superficie, la uniformidad y la calidad de la estructura: algunos incluyen el martillo Schmidt (rebote), la sonda Windsor (penetración), ensayo Flat Jack (aplicado a mampostería) o los métodos sin contacto.

Martillo de Schmidt. - también conocido como esclerómetro, es un dispositivo utilizado para estimar la resistencia a la compresión del concreto mediante la medición del rebote de un émbolo al impactar la superficie del material.

Para el proyecto, se utilizó un método de identificación de zonas vacías basado en la respuesta acústica. Un sonido compacto indica que la estructura está completamente llena, mientras que la presencia de eco evidencia la existencia de vacíos detrás del revestimiento de los anillos de acero.

#### 2.1.4 Mortero

Según la norma E070 de albañilería (2020), el mortero es una mezcla de aglomerantes y agregado fino a lo cual se le adiciona agua a fin de obtener una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado.

Generalmente, el mortero se utiliza en la albañilería o mampostería, albañilería armada, albañilería confinada y albañilería no reforzada (Rivera, 2013). También se emplea una variedad importante de mortero para relleno e inyección en túneles, lo que hace necesario estudiar sus propiedades físicas y mecánicas.

#### 2.1.4.1 Componentes

##### a) Los aglomerantes

Tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales permiten unir fragmentos minerales entre sí, formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas, no solo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales aglomerantes como la cal, asfalto y alquitrán (Sánchez, 2001).

##### Mortero de yeso

Es una mezcla de yeso hidratado y agua. El contenido de agua varía según el grado de cocción, la calidad y la finura de la molienda del yeso. En obras corrientes se agrega el 50%; para estucos (pasta compuesta de yeso, cal, cemento y arena), el 60%; y para moldes, el 70%. El mortero se prepara a medida que se necesita, ya que comienza a fraguar a los cinco minutos y termina más o menos en un cuarto de hora (Gutiérrez, 2003). Teniendo en cuenta que el yeso admite poca arena, el tiempo de fragua se acelera, lo cual no permite el tiempo suficiente y adecuado para el proceso de amasado y colocación.

Siendo la cal el aglomerante, se distinguen dos tipos según su origen: cales aéreas e hidráulicas. Las cales aéreas más conocidas son la cal blanca y la cal gris (dolomita). En los morteros aéreos, la arena tiene como objetivo principal evitar el agrietamiento causado por las contracciones del mortero al perder el agua de amasado (Gutiérrez, 2003). La proporción más usada de cal y arena para revoque es de 1:2, y para mampostería simple es de 1:3 o 1:4. Si la proporción de arena aumenta, el mortero pierde ductilidad y trabajabilidad (Gutiérrez, 2003).

##### Mortero de cemento y cal

Es una mezcla de cemento Portland, cal hidratada o pasta de cal, agregado fino y agua. Los morteros elaborados con estos componentes deben aprovechar las propiedades adhesivas de la cal y las propiedades cohesivas del cemento. Este tipo de mortero se recomienda cuando se busca alta trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias iniciales (Sánchez, 2001).

### Mortero de cemento

Cuando se requiera altas resistencias iniciales o resistencias elevadas, se pueden usar como aglomerantes los cementos naturales o los cementos Portland, formando mezcla homogénea y compacta, siendo la trabajabilidad de acuerdo con la dosificación cemento: arena usada (Sánchez de Guzmán, 2001).

En cuanto a los usos, en el medio se ha clasificado los morteros de cemento de acuerdo con la experiencia y proporción cemento: arena (debe ser por peso y no por volumen) como se observa en la Tabla N° 3 (Sánchez de Guzmán, 2001).

Tabla N° 3: Usos de los morteros de cemento

Mortero	Usos
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizar. 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, pañete y mamposterías en general pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañete y mamposterías en general pañetes no muy finos.
1:8 y 1:9	Pegas para construcción que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones

(Fuente: Sánchez de Guzmán, 2001)

### Mortero con aditivo

La adición de aditivos al mortero se realiza con la intención de modificar parcial o totalmente sus propiedades físicas y mecánicas, tanto en su estado fresco como endurecido

### Agregado fino

NTP 070 (2006), indica que será una arena natural, libre de materia orgánica y sales, con las características indicadas en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4: Requisito granulométrico de la arena gruesa para mortero

Granulometría de la arena gruesa	
Malla ASTM	% Que pasa
N° 4 (4,75 mm)	100
N° 8 (2,36 mm)	95 a 100
N° 16 (1,18 mm)	70 a 100
N° 30 (0,60 mm)	40 a 75
N° 50 (0,30 mm)	10 a 35
N° 100 (0,15 mm)	2 a 15
N° 200 (0,075 mm)	Menos de 2

(Fuente: Norma Técnica Peruana E.070.)

- No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas.
- El módulo de fineza estará comprendido entre 1,6 y 2,5.
- El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.
- No deberá emplearse arena de mar.

Hay que distinguir entre: arenas naturales (arenas de minas, cantera o yacimientos, arenas de río, de mar y de dunas); arenas de triturada (piedras trituradas artificialmente).

Cuando su granulometría esta entre 0.2 y 1.0 mm, se denomina arena media o fina, y puede ser natural o de trituradora (Tagle, 2019)

#### b) Agua

Según la NTP 070 (2006), el agua será potable y libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

#### 2.1.4.2 Mortero fluido (Grout)

Es un material autocompactante, autonivelante, fluido y de consistencia plástica, utilizado como relleno en espacios estrechos, tales como anclajes, perforaciones, la placa base de una máquina o para rellenar las cavidades de un túnel Liner. También se aplica en estructuras de concreto postensado para el relleno de las cavidades de los cables (Sánchez de Guzmán, 2001).

Es una mezcla fluida utilizada para llenar cavidades, sin sufrir exudación ni segregación de sus componentes. Además, debe tener la plasticidad necesaria para permitir el vaciado y un alto asentamiento (Pérez, 2019).

### **Usos del mortero fluido**

Según Pérez (2019), el mortero fluido (Grout) se identifica de acuerdo con el uso que tenga en particular, se pueden mencionar las siguientes aplicaciones:

- Estructuras pretensado
- Barrenado de pilotes
- Mampostería
- Prefabricados
- Estructuras de concreto postensado
- Revestimiento de túneles Liner

En su estado endurecido, el mortero debe ser capaz de llenar completamente la cavidad vacía y distribuir uniformemente los esfuerzos en todas las direcciones para alcanzar un equilibrio en el suelo de fundación. En el caso del revestimiento de túneles, es crucial llenar completamente las cavidades entre el suelo excavado y la lámina liner para prevenir hundimientos futuros en las vías de tránsito.

Para la presente investigación, se aprovecharán estas propiedades fluidas del mortero, que se caracterizará utilizando el ensayo del cono Marsh

#### **2.1.4.3 Características del mortero fluido en revestimiento de "Tunnel liner"**

El mortero fluido debe poseer características autonivelantes, fluidez y plasticidad, además de la capacidad de llenar completamente las cavidades estrechas que se forman durante la excavación de un túnel.

Según Pérez (2019), para cumplir su función debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- Buena fluidez para facilitar la colocación y asegurar un relleno completo y una máxima área de contacto o superficie de apoyo.
- Exudación y expansión controladas, lo que asegura la adherencia y el traspaso de cargas.

- Baja inclusión de aire.
- Buenas resistencias mecánicas.
- Resistencia térmica.
- Resistencia ante sustancias agresivas.
- Rápida puesta en servicio.
- Facilidad de aplicación.

#### 2.1.5 Cemento Portland

La palabra "cimento" se refiere a un material aglomerante con propiedades de adherencia y cohesión, que permiten unir fragmentos minerales entre sí, proporcionándoles resistencia y durabilidad adecuadas (Sánchez de Guzmán, 2001). El cemento Portland se fabrica típicamente a partir de minerales calcáreos como la caliza, la alúmina, la sílice y el óxido de hierro. Estos minerales se mezclan y se pulverizan finamente en un horno de secado. se muestran la Tabla N° 5 y Tabla N° 6 (Pasquel, 1998).

Por lo general el cemento Portland es muy utilizado en el Perú, que cumplen con los requisitos que especifica la NTP 334.009 o su equivalente, la norma ASTM C 150.

- Composición química del cemento Portland

Tabla N° 5: Los componentes químicos primarios para la fabricación del cemento

Componente		Procedencia
Oxido de Calcio (CaO)		Rocas calizas
Oxido de Sílice (SiO <sub>2</sub> )		Areniscas
95%	Oxido de Aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Arcillas
	Oxido de Hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Arcillas, mineral de hierro, pirita
5%	Óxidos de Magnesio, Sodio, Potasio, Titanio, Azufre, Fosforo y Manganeseo	Minerales Varios

(Fuente: Pasquel, 1998)

Tabla N° 6: Porcentajes de los óxidos del cemento portland

Compuesto	Porcentaje	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO <sub>2</sub>	20% - 27%	S
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4% - 7%	A
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% - 4%	F
SO <sub>3</sub>	1% - 3%	
MgO	1% - 5%	
K <sub>2</sub> O y Na <sub>2</sub> O	25% - 1.5%	

(Fuente: Pasquel, 1998)

Luego del procesamiento de formación del Clinker y molienda final, se obtienen los siguientes compuestos y que estableceremos con su fórmula química, abreviatura y nombre corriente ver la Tabla N° 7 (Pasquel, 1998).

Tabla N° 7: Compuestos químicos que son importantes del cemento portland

Descripción	Abreviación
a) Silicato tricálcico (3CaO.SiO <sub>2</sub> ALITA)	C3S
b) Silicato dicálcico (2CaO.SiO <sub>2</sub> BELITA)	C2S
c) Aluminato tricálcico (3CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	C3A
d) Ferritoaluminato tetracálcico (4CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CELITA)	C4AF
e) Óxido de Magnesio	MgO
f) Óxidos de Potasio y Sodio (Álcalis)	K <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O
g) Óxidos de Manganeso y Titanio	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TiO <sub>2</sub>

(Fuente: Pasquel, 1998)

### 2.1.6 Aditivos

Un aditivo está definido tanto por el American Concrete Institute como por la Norma ASTM C 125 como un material distinto del agua, agregados, aglutinante o fibra de refuerzo, utilizado como un componente de la pasta, mortero y concreto para modificar las propiedades en estado fresco y endurecido, añadido durante el proceso de mezclado. Es una sustancia química que se añade generalmente en cantidades inferiores al 5% en masa del cemento.

El uso de aditivos está aumentando considerablemente debido a las soluciones técnicas que ofrecen frente a los nuevos desafíos del concreto y mortero. Estos aditivos pueden impartir beneficios tanto físicos como económicos, como la reducción del costo de la mano de obra, la optimización del contenido de cemento o la mejora en la durabilidad (Pérez, 2019).

En resumen, los aditivos no solo afectan al cemento, sino que también influyen en los tres componentes principales de la mezcla: el árido o agregado, el cemento y el agua. La naturaleza y la dosificación de cada uno de estos componentes juegan un papel crucial en esta interacción (Rivera, 2013).

De acuerdo con la “Guía para el empleo de aditivos en el concreto”, del comité ACI-212 enumera 20 razones para el uso de aditivos y son las siguientes:

- 1.- Aumentar la Trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma Trabajabilidad.
- 2.- Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- 3.- Aumentar la resistencia final.
- 4.- Retardar o acelerar el fraguado final.
- 5.- Retardar o reducir el desarrollo del calor.
- 6.- Modificar la velocidad o aptitud de exudación o ambas.
- 7.- Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.
- 8.- Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- 9.- Reducir el flujo capilar del agua.
- 10.- Reducir la permeabilidad de los líquidos.
- 11.- Para producir concreto celular.
- 12.- Mejorar la penetración y bombeo.
- 13.- Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos.
- 14.- Los aditivos se utilizan para reducir o prevenir el asentamiento, o para inducir una ligera expansión en el concreto o mortero. Se emplean para rellenar vacíos y otras aberturas en estructuras de concreto, así como en rellenos para cimentaciones de maquinaria, columnas, ductos de cables postensados y vacíos en agregados precolocados.
- 15.- Aumentar la adherencia entre el concreto viejo y el nuevo.
- 16.- Aumentar la adherencia del mortero o el concreto y el acero.

17.- Producir concretos o morteros de color.

18.- Obtener concretos o morteros con propiedades fungicidas, germicidas e insecticidas.

19.- Inhibir la corrosión de metales embebidos en el concreto.

20.- Reducir el costo unitario del mortero o el concreto.

Como se puede observar existe una gran variedad de aplicaciones de los aditivos, esta lista podría aumentar.

#### 2.1.6.1 Clases de aditivos

De acuerdo con la Norma ASTM C 494, los aditivos se clasifican en:

- TIPO A: Plastificante o fluidificante
- TIPO B: Retardadores de fragua
- TIPO C: Acelerantes
- TIPO D: Reductores de agua – retardadores de fragua.
- TIPO E: Reductores de agua – acelerantes.
- TIPO F: Super reductores de agua.
- TIPO G: Super reductores de agua – acelerantes.

#### 2.1.6.2 Aditivo plastificante o fluidificante

Estos aditivos también son conocidos como reductores de agua, ya que reducen al menos un 5% del contenido de agua. Su función principal es aumentar la fluidez de la mezcla manteniendo la misma proporción de agua, lo que significa que dispersan las partículas cementantes durante la hidratación, agrupándolas comúnmente en flóculos en una mezcla sin aditivos (Alanya, 2017).

#### 2.1.6.3 Sikament 306

Según la ficha técnica Sikament 306 (2015), es un superplastificante reductor de agua de alto rango que mantiene la trabajabilidad. El comportamiento como plastificante o superplastificante depende de la concentración utilizada en la dosis. Este aditivo logra fluidificar el mortero o concreto, facilitando su colocación y haciéndolo adecuado para el bombeo. Permite reducir hasta un 30% del agua en la mezcla normal sin afectar la trabajabilidad, lo que contribuye a obtener notables resistencias a edades tempranas, así como mejoras en la impermeabilidad y durabilidad del material.

La dosificación técnica

Como plastificante del 0,5 % - 1 % del peso del cemento.

Como superplastificante del 1 % - 2 % del peso del cemento.

Para la presente investigación se usó en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto del peso del cemento.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Exudación

El agua de la mezcla tiende a ascender hacia la superficie del concreto recién colocado durante el proceso de fraguado, en un fenómeno conocido como exudación, que se diferencia notablemente de la segregación o sedimentación de partículas que se depositan en el fondo. Este proceso puede resultar en un aumento de la relación agua/cemento, lo cual puede llevar a una disminución de la resistencia mecánica del concreto. Por otro lado, si la evaporación del agua es mayor que la velocidad de exudación, podría provocar contracción plástica (Sánchez de Guzmán, 2010).

De otra parte, ocasionalmente durante el ascenso del agua quedan atrapados en los agregados gruesos o en el acero de refuerzo, lo que causa zonas de baja adherencia. Además, durante este ascenso pueden formarse pequeños caminos capilares que aumentan la permeabilidad del concreto. Para controlar la exudación excesiva, se recomienda el uso de aditivos como los inclusores de aire, así como cementos más finos y arenas controladas en su fracción más fina (Sánchez de Guzmán, 2010).

La contracción plástica ocurre en el estado plástico inicial del concreto o durante las primeras horas de fraguado. Este fenómeno generalmente se presenta en condiciones ambientales extremas, como altas temperaturas, bajas humedades y altas velocidades de viento, lo que provoca una rápida evaporación del agua superficial del concreto. Esta evaporación, causada por la exposición al sol y al viento, genera contracción en la superficie del concreto, sometiéndola a tensiones internas significativas en una etapa en la que aún no ha desarrollado la resistencia suficiente para resistirlas, lo que puede llevar a la formación de grietas (Sánchez de Guzmán, 2010).

Las lechadas y morteros de inyección, donde la cantidad de agua exudada en la probeta de 1000ml después de 3h debe ser menor que el 2% (UNE-EN 445).

### 2.2.2 Fluidez

Dicha propiedad dependerá principalmente de las proporciones relativas de agua y cemento en la mezcla. Una dosificación con poca agua y mucho cemento resultará en una mezcla no trabajable. Por el contrario, si la dosificación de agua es alta y la del cemento es baja, la pasta puede volverse tan fluida que no sea capaz de evitar la segregación, con los agregados más pesados asentándose y el agua acumulándose en la superficie, lo que provoca el fenómeno conocido como exudación (Sánchez de Guzmán, 2010).

Cuanto más fluida sea la pasta (mayor relación agua/cemento), mayor será el espacio entre las partículas de cemento, lo que resultará en una estructura de pasta más débil en cualquier estado de hidratación de la mezcla. Por lo tanto, en mezclas fluidas, la resistencia del concreto varía de manera inversa a la relación agua/cemento, que es una forma de expresar el grado de dilución de la pasta (Sánchez de Guzmán, 2010).

Las lechadas y mortero de inyección deben ser determinada la fluidez mediante el cono Marsh para un tiempo de eflujo de 25 s (UNE-EN 445).

La norma ASTM C939, determina la fluidez de la lechada de cemento en base al cono Marsh para un tiempo  $21 \pm 2$ s.

### 2.2.3 Estabilidad del revestimiento

Antes de la construcción de un túnel, el suelo experimenta un estado inicial de esfuerzos naturales en equilibrio, el cual se ve alterado al realizar la excavación, generando así un nuevo estado de esfuerzos y deformaciones en la masa del suelo. Para mantener la estabilidad del túnel frente a este nuevo estado de esfuerzos, se instala un revestimiento que actúa para contrarrestar el empuje axial negativo, que representa una fuerza de compresión sobre el revestimiento del túnel (Ben-Guo He, 2021). Las estructuras de revestimiento en obras subterráneas, como túneles de transporte, desvío de agua, minas o transvases, son fundamentales para prevenir la deformación o colapso del suelo o roca circundante.

Prácticas recomendadas para la estabilización del revestimiento de un túnel:

- Estudio geotécnico y análisis de tensiones del suelo o roca que se desarrollarán en torno a la sección excavada del túnel (ver Figura N° 4)

- Diseño de revestimiento. – Seleccionar el tipo de revestimiento adecuado (concreto proyectado, mortero fluido, dovelas prefabricadas, acero) que soportara las cargas de compresión, flexión y momento (ver Figura N° 5).
- Control de agua. -Impermeabilizar el revestimiento para así evitar el ingreso de agua.
- Soporte provisional. - Arcos de acero, láminas de acero corrugado.
- Calidad de materiales. - Uso de materiales de concreto o morteros adecuados a la exigencia de las cargas de suelo.

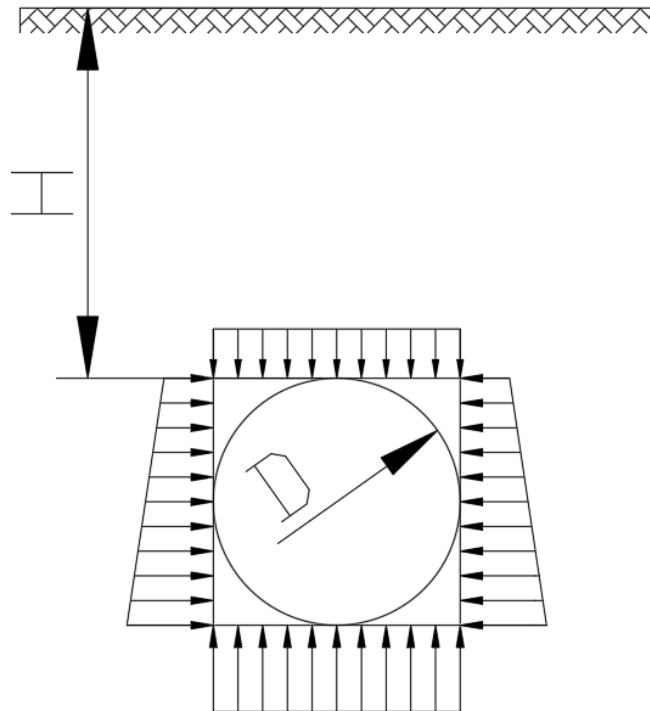


Figura N° 4: Tensiones sobre el revestimiento del túnel en profundidad.

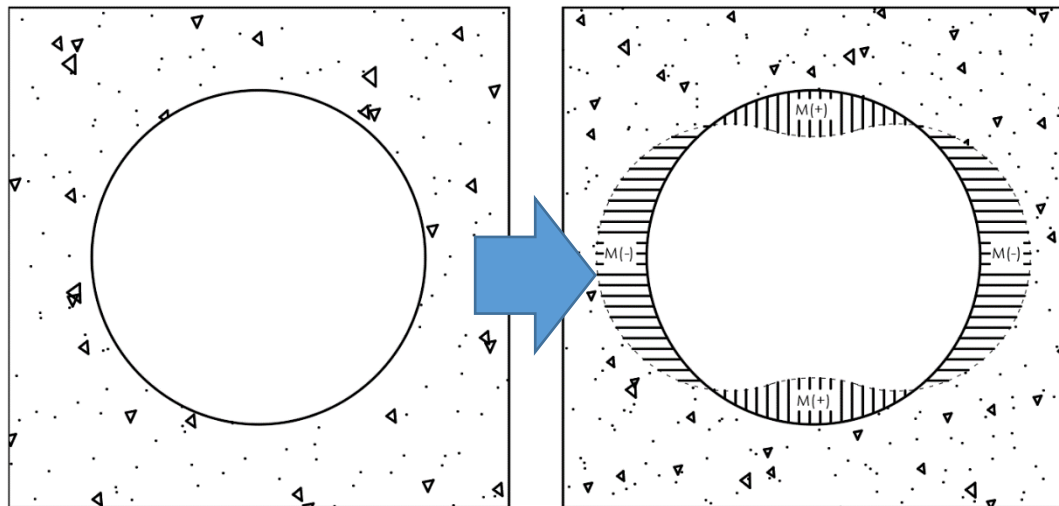


Figura N° 5: Sección circular del revestimiento (izquierda) y desarrollo de momento a flexión positivos y negativos (Derecha).

#### 2.2.4 Fallas en túneles por vacíos en los revestimientos

Estudios realizados sobre varios túneles que sufrieron colapsos mientras estaban en servicio mostró que los vacíos u oquedades detrás del revestimiento fueron los principales factores de las fallas, ya que los análisis mostraron que los vacíos pueden inducir un gran cambio en el empuje y el momento flector en el revestimiento con respecto al caso de un revestimiento sin vacíos (Jifei et al., 2013).

Los resultados de estos estudios muestran que los vacíos u oquedades detrás del revestimiento, así como los malos estados de contacto entre el revestimiento y las rocas circundantes, tienen un impacto significativo sobre la tensión del revestimiento, dando lugar a una serie de peligros potenciales, como grietas y fugas de agua, que afectan gravemente a la seguridad del revestimiento del túnel durante la vida útil (Zijian Ye et al., 2023).

En un túnel sin vacíos, un comportamiento de momento flector negativo implica que la tensión actúa sobre el exterior del revestimiento, mientras que un momento positivo indica tensión sobre el interior del revestimiento (Ben-Guo He, 2021). Sin embargo, la presencia de vacíos en la bóveda del túnel invierte estos momentos, lo cual puede provocar la inestabilidad del revestimiento (ver Figura N° 6)

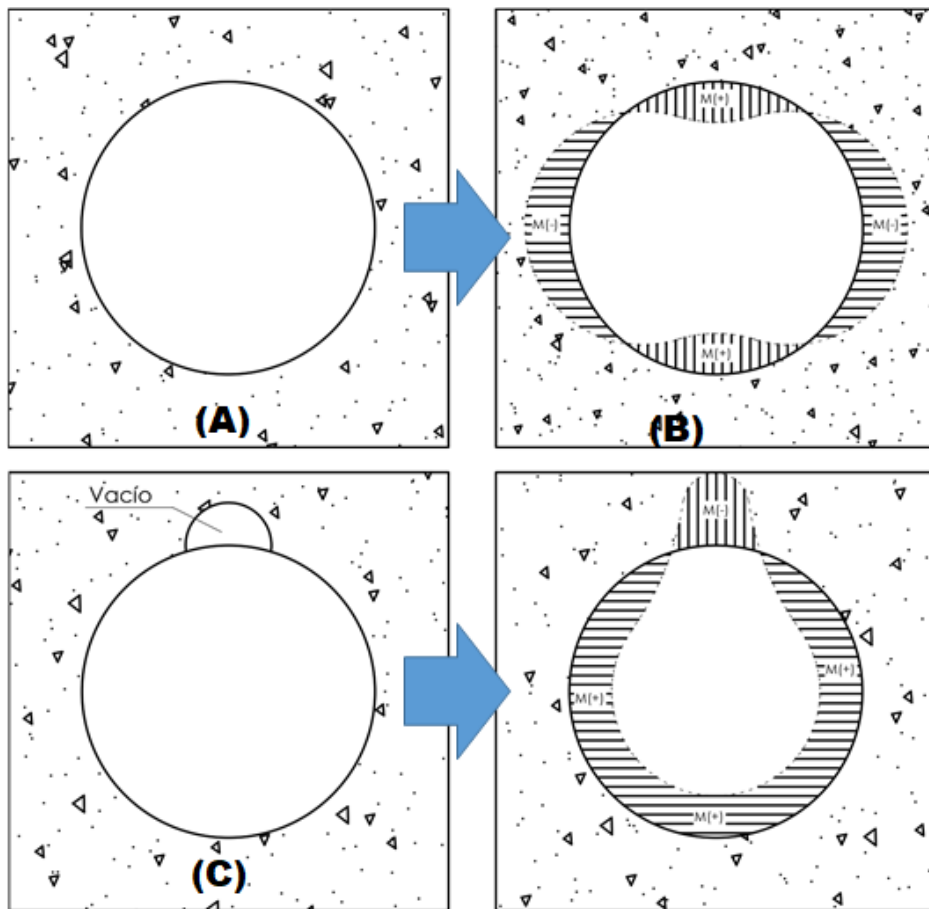


Figura N° 6: La acción del momento flector (A) túnel sin vacío, (B) hastiales (M-) y bóveda (M+), (C) túnel con vacío y (D) hastiales (M+) y bóveda (M-).

### **CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 GENERALIDADES**

El marco metodológico constituye una sección fundamental en la cual se describe y justifica los procedimientos para llevar a cabo la investigación. Proporciona una guía detallada sobre cómo se recopilarán y analizarán los datos, asegurando el cumplimiento de los objetivos de la investigación (Tarazona, 2023). Para el desarrollo de este estudio, que tiene como objetivo evaluar las propiedades físicas y mecánicas de morteros fluidos (en proporciones de 1:2, 1:3 y 1:4) con adición de aditivos (0.5%, 1.0% y 1.5%) para estabilizar los revestimientos del túnel liner, se ha realizado una exhaustiva revisión de tesis, normas y artículos. La metodología incluyó la caracterización de materiales, el diseño del mortero según las proporciones establecidas, la aplicación del método experimental, la recolección y análisis de resultados, así como la formulación de conclusiones y recomendaciones

#### **3.2 ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN**

El enfoque de investigación podría haber sido cualitativo o cuantitativo. Este último implica un proceso secuencial que comienza con una idea delimitada para el estudio, seguida por la formulación de una pregunta y un propósito de investigación. Luego, se realiza una revisión de la literatura para crear un marco teórico, a partir del cual se formulan hipótesis y se identifican variables de investigación. Posteriormente, se define un plan de pruebas y se realizan mediciones numéricas. Los resultados se analizan utilizando métodos estadísticos para validar las hipótesis (Hernández et al., 2014).

Para este proyecto de investigación específico, se adoptó un enfoque cuantitativo, ya que se realizaron análisis numéricos sobre los efectos del mortero fluido con la adición de un aditivo plastificante en diferentes proporciones respecto al peso del cemento. El objetivo fue analizar las propiedades físicas y mecánicas tanto en estado fresco como endurecido para verificar las hipótesis planteadas mediante un análisis estadístico comparativo.

#### **3.3 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

La investigación descriptiva no se limita a la explicación de conceptos o fenómenos ni al establecimiento de relaciones entre ellos. Su objetivo es indagar en las causas de los acontecimientos o fenómenos físicos o sociales. Como su

nombre indica, se centra en explorar por qué ocurre un fenómeno, en qué condiciones aparece o por qué se relacionan dos o más variables (Hernández et al., 2014).

en el desarrollo de esta investigación, se adoptó un enfoque explicativo, ya que se exploraron los efectos de la manipulación de variables independientes sobre las propiedades físicas y mecánicas.

### 3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Resolver el problema requiere seleccionar o desarrollar uno o más diseños de investigación y aplicarlos al contexto específico del estudio. El término diseño se refiere a un plan o estrategia destinado a obtener la información necesaria para abordar el planteamiento de un problema. En el enfoque cuantitativo, los investigadores utilizan estos diseños para analizar la veracidad de las hipótesis formuladas (Hernández et al., 2014). Según Campbell y Stanley (1966), los diseños experimentales pueden clasificarse en preexperimentales, cuasiexperimentales y experimentos puros.

Los diseños cuasiexperimentales, a diferencia de los experimentos puros, permiten un control y validez interna cuando existe un grupo de comparación que manipula la variable independiente, aunque no emplean aleatorización en el estudio objetivo (Hernández et al., 2014).

Para la presente investigación, se utilizó un diseño cuasiexperimental, dado que se manipuló la variable independiente del mortero fluido (relación cemento de 1:2, 1:3 y 1:4) con la adición del aditivo Sikament 306 en concentraciones del 0.5%, 1.0% y 1.5%, según los grupos definidos.

### 3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.5.1 Población

Desde el punto de vista estadístico, el conjunto de elementos o sujetos estudiados se denomina población o universo, y una muestra se define como una fracción de esta población que cumple con la condición de que “con una probabilidad P, las conclusiones que se puedan obtener de ella tengan validez para todo el universo” (Borja, 2012).

Para la presente investigación, la población fue finita y consistió en morteros fluidos con relaciones de cemento: arena de 1:2, 1:3 y 1:4, adicionados con el aditivo Sikament 306 en concentraciones de 0.0%, 0.5%, 1.0% y 1.5%. La población total estuvo compuesta por 456 cubos de mortero (5cm x 5cm x 5cm) para ensayos de resistencia a compresión, y 144 vigas de mortero (4cm x 4cm x 16cm) para ensayos de resistencia a la flexión.

### 3.5.2 Muestra

Desde un enfoque estadístico, una muestra es un subgrupo de la población o universo que se utiliza para generalizar resultados y establecer parámetros. Esta muestra puede ser probabilística o no probabilística, también conocida como dirigida. En el primer caso, los elementos de la muestra se seleccionan con igual probabilidad y mediante un proceso de selección aleatoria de unidades de análisis. En el segundo caso, los elementos de la muestra no se seleccionan estadísticamente, sino que se eligen según el propósito de investigación del investigador (Hernández et al., 2014).

Para la presente investigación, se utilizó una muestra no probabilística debido a que la selección se basó en las características específicas del mortero fluido. La muestra consistió en un total de 456 cubos de mortero y 38 cubos por cada uno de los 12 diseños de mezcla. Además, se utilizaron 108 vigas de mortero (4cm x 4cm x 16cm), con 9 vigas por cada uno de los 12 diseños. También se realizaron pruebas en estado fresco mediante el ensayo de consistencia cono Marsh, con 4 pruebas por diseño, y se evaluó la exudación en una probeta.

## 3.6 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 3.6.1 Peso Unitario (NTP 400.017; ASTM C29)

Método de ensayo para determinar la densidad de masa (Peso Unitario) en su estado suelto y compactado, en base a la normativa NTP 400.017 en correspondencia con la ASTM C29, solamente es aplicable en agregados de menor  $TM=5''$ .

De acuerdo con tamaño máximo nominal del agregado elegir la capacidad del recipiente de acuerdo con la Tabla N° 8.

### 3.6.1.1 Peso unitario compactado ( $PU_c$ )

- Llenar el recipiente a 1/3 del total con el agregado seco y adecuadamente seleccionado
- Nivelar la superficie, Apisonar la capa con 25 golpes distribuidos de manera uniforme con la varilla lisa de 5/8", Llenar el recipiente a los 2 tercios del total, y nuevamente nivelar y apisonar como anteriormente. Finalmente, llenar el recipiente a sobre - volumen, realizar nuevamente el procedimiento, luego enrasar y pesar la muestra.
- La compactación de las ultimas la penetración de la varilla no excederá 5cm de las capas anteriores.

Tabla N° 8: Volumen del recipiente en base al tamaño nominal máximo del agregado

Capacidad del recipiente (pie <sup>3</sup> )	Tamaño Máximo Nominal del agregado, Pulg (mm)
1/10	1/2 (12.5)
1/3	1 (25.0)
1/2	1 1/2 (37.5)
1	3 (75.0)

(fuente: ASTM C29)

### 3.6.1.2 Peso unitario suelto ( $PU_s$ )

Llenar el recipiente hasta el reboce con una pala o cucharón, con una caída que no exceda 5" encima del borde superior del agregado. Enrasar la superficie del agregado con los dedos o una espátula.

Cálculos:

El peso unitario compactado ( $PU_c$ ) y el peso unitario suelto ( $PU_s$ ) se obtienen de la siguiente expresión.

$$PU_c = \frac{W_c}{V_R}$$

$$PU_s = \frac{W_s}{V_R}$$

Donde:

$W_s$  = Peso del agregado suelto (Kg)

$W_c$  = Peso del agregado compactado (Kg)

$V_R$  = Volumen del recipiente ( $m^3$ )

### 3.6.2 Contenido de Humedad (NTP 339.185)

Determinar el contenido de humedad evaporable presente en una muestra de agregado fino o grueso por secado al horno a una temperatura estándar de  $110 \pm 5^\circ C$  hasta obtener una masa constante en base a la norma NTP 339.185. La pérdida de masa debido al secado es la masa del agua contenida en la muestra.

Se indica en la Tabla N° 9 la cantidad de muestra en base al tamaño nominal máximo.

Tabla N° 9: Cantidad mínima de agregado en base al tamaño nominal máximo

<b>Tamaño máximo nominal</b>	<b>Cantidad mínima de agregado (kg)</b>
N°4 (4.8mm)	0.5
3/8" (9.5mm)	1.5
1/2" (12.5mm)	2.0
3/4" (19.0mm)	3.0
1" (25.0mm)	4.0
1 1/2" (37.5mm)	6.0

(fuente: NTP)

Calculo:

$$H(\%) = \frac{(W_H - W_S)}{W_S} * 100$$

Donde:

$H(\%)$  = Contenido de la humedad de la muestra en porcentaje

$W_H$  = Masa de la muestra húmeda.

$W_S$  = Masa de la muestra seca en el horno.

### 3.6.3 Gravedad específica y absorción (ASTM C128)

Este método de prueba determina la densidad relativa (Gravedad específica) y absorción de los agregados fino.

### 3.6.3.1 Agregado fino

Procedimiento:

- Cuartear la muestra a fin de obtener una muestra representativa.
- Saturar la muestra más de 1000g por 24±4 horas
- Retirar del agua y extender la muestra sobre un pliego de plástico durante 24 horas.
- Seleccionar 500g de muestra en condición saturada superficialmente seca (S.S.S) obtenida por el método del cono.
- Colocar la muestra en estado S.S.S en una fiola y registrar su peso, luego verter agua en la fiola y agitar hasta eliminar las burbujas de aire, terminado el proceso completar el agua hasta 500.0cm<sup>3</sup> y determinar el peso total del conjunto.
- Vaciar el material en un recipiente y dejar reposar, luego llevar al horno hasta el estado seco y pesar.

Los cálculos correspondientes de la absorción y gravedad específica de la muestra se obtendrán con las siguientes expresiones:

$$\text{Gravedad específica seca (base seca), } G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Gravedad específica seca (base saturada), } G_{sss} = \frac{A}{B + D - C}$$

$$\text{Gravedad específica aparente (base seca), } G_{sa} = \frac{D}{B + D - C}$$

$$\text{Absorcion (\%)} = \frac{D - A}{A}$$

Donde:

- A : Peso en el aire del agregado seco al horno, gr.
- B : peso del matraz (picnómetro) con agua, gr.
- C : peso del matraz (picnómetro) con el agregado y agua hasta la marca, gr.
- D : Peso del material saturado superficialmente seco (500+10 gr)

### 3.6.4 Análisis granulométrico (NTP 400.012; ASTM C136)

Determinar cuantitativamente las distribuciones de los tamaños de las partículas del agregado, utilizando una serie de tamices dependiendo del tipo de agregado grueso o fino según la Tabla N° 10.

Tabla N° 10: Serie de tamices en base al agregado fino y grueso.

Tamices	
Agregado grueso	Agregado fino
3" (75.0mm)	N°4 (4.8mm)
2 1/2" (63.0mm)	N°8 (3.2mm)
2" (50.0mm)	N°16 (1.6mm)
1 1/2" (37.5mm)	N°30 (0.8mm)
1" (25.0mm)	N°50 (0.5mm)
3/4" (19.0mm)	N°100 (0.3mm)
1/2" (12.5mm)	
3/8" (9.5mm)	

(fuente: ASTM)

#### Equipos, equipos y herramientas

- Tamices de dimensiones estándar, ver Serie de tamices en base al agregado fino y grueso.
- Balanza de 0.1g de precisión para el agregado fino.
- Recipientes metálicos.
- Horno con capacidad de llegar a temperaturas de  $110.0^{\circ}\text{C} \pm 5.0^{\circ}\text{C}$ .

#### Procedimiento:

- Realizar el cuarteo para obtener una muestra representativa.
- La muestra secar al horno durante 24h a una temperatura de  $110.0^{\circ}\text{C} \pm 5.0^{\circ}\text{C}$ .
- Luego se procede a lavar la muestra por la malla N°200 y luego secado a una temperatura de  $110.0^{\circ}\text{C} \pm 5.0^{\circ}\text{C}$ .
- Seleccionar los tamices en orden decreciente según la tabla 1.10.
- Pesar las muestras retenidas según los tamices utilizados.
- Se utiliza una gráfica semilogaritmo las distribuciones granulométricas, en la ordena se ubican los porcentajes que pasan cierta malla y en las abscisas las aberturas de las mallas en milímetros.

El procedimiento se muestra en el anexo B, Figura B-1.

### 3.6.5 Ensayo de fluidez cono Marsh (ASTM C939)

Según la norma ASTM C939, el ensayo consiste en medir la fluidez de una muestra en un tiempo determinado de vaciado a través de un cono de flujo estandarizado, como se ilustra en la Figura N° 8. Este método es aplicable tanto para lechadas puras como para lechadas que contienen agregados finos que pasan el tamiz N°8. Para calibrar el equipo, se debe llenar el cono con  $1725 \pm 5$  ml de agua y ajustar el indicador de puntos hasta que esté alineado con la superficie del agua. Después, se permite que el agua se drene en un tiempo de  $8 \pm 0.2$  segundos antes de realizar el ensayo.

La determinación del tiempo de fluidez se realiza calculando el promedio de al menos 3 ensayos. Esta propiedad física está directamente relacionada con los porcentajes de agregado fino (Valdivieso L. & Valarezo M, 2011).

Materiales, equipos y herramientas

- Cono de flujo Marsh (ver figura Figura N° 7)
- Recipiente receptor de capacidad de 2000ml.
- Soporte de anillo para mantener vertical el cono Marsh.
- Cronometro
- Mezcladora eléctrica para mortero fluido (Ver anexo B, Figura B- 2)



Figura N° 7: Vista panorámica del equipo flujo del mortero en el cono Marsh  
(Fuente: Propia)

Procedimiento:

- Humedecer el interior de cono de flujo luego cierre la salida con un dedo o con un tapón.
- Colocar cuidadosamente el mortero hasta el contacto con las agujas del calibrador, poner en marcha el cronometro, simultáneamente retirar el dedo.
- Medir el tiempo en la primera interrupción del flujo continuo (ver anexo B, Figura B- 3)
- Realizar al menos dos mediciones por muestra.

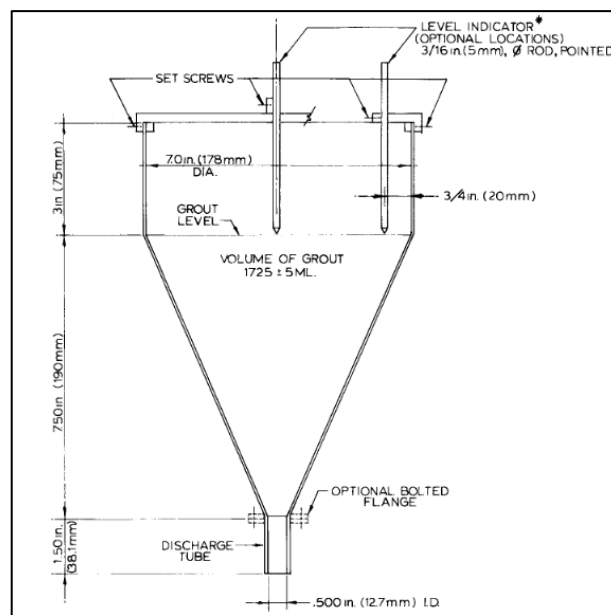


Figura N° 8: Sección transversal del cono de flujo con sus respectivas medidas  
(Fuente: ASTM C939)

### 3.6.6 Resistencia a la compresión (NTP 334.051; ASTM C 109)

Este ensayo determina la resistencia a compresión de mortero de cemento hidráulico, utilizando muestras cubicas de 5cm.

#### Materiales, equipos y herramientas

- Arena natural pasante tamiz N°08
- Cemento Pórtland tipo I
- Mezcladora eléctrica manual
- Moldes de acero o de madera

- Prensa de rotura.

Procedimiento:

- Dosificar el agregado fino, cemento, agua y aditivo. Preparar el mortero de consistencia fluida evaluada en el cono Marsh según lo requerido.
- Aplicar un agente desmoldante sobre la superficie interior de los moldes y externamente sellar las juntas.
- Para colocar el mortero hasta 2/3 de la altura y compactar con un pisón aplicando 32 golpes distribuidos uniformemente en cuatro etapas, ver Figura N° 9.
- Colocar la 2 capa y realizar el paso anterior mencionado.
- Alisar la superficie con el uso de un badilejo.
- Cubrir el molde para mantener la humedad, por un periodo no menor de 24h.
- Los especímenes se ensayarán a resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días.
- Desmoldar las muestras con sumo cuidado y sumergirla en una solución de hidróxido de calcio hasta 15 min antes de su ensayo.

1	2	3	4
8	7	6	5

1° y 3° Etapas

5	6	7	8
4	3	2	1

2° y 4° Etapas

Figura N° 9: Se muestra la distribución y etapas para realizar la compactación.

Registrar la carga máxima total indicada por la prueba y calcule la resistencia a la compresión de la siguiente manera:

$$f'_c = \frac{P}{A}$$

Donde:

- $f'_c$  : Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)
- P : Carga máxima (kg)
- A : Área Transversal (cm<sup>2</sup>)

### 3.6.7 Resistencia a la flexión (NTP 334.042, ASTM C348)

La norma ASTM C348 cubre el procedimiento completo desde la preparación de la muestra hasta el ensayo de resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico. En este ensayo, se utiliza una máquina de presión uniaxial para aplicar la carga en el centro del cilindro de apoyo (ver Figura N° 10).

La resistencia a la flexión está relacionada con la adherencia que esta pudiera tener, siendo esta propiedad muy usada en la mampostería que permita tener unión mecánica de los ladrillos (Tagle, 2019).

#### Materiales, equipos y herramientas

- Arena natural pasante tamiz N°08
- Cemento Portland tipo I
- Mezcladora eléctrica
- Moldes de acero o de madera
- Apoyo de placa para ensayo de flexión.
- Prensa de rotura.

#### Procedimiento:

- Preparación y aplicación de un agente desmoldante en los moldes prismáticos de 160x40x40mm, se vacía mortero según la fluidez requerida colocándose una primera capa de 20mm y apisonando con doce golpes en tres vueltas de cuatro golpes cada una.
- Alisar la superficie con el uso de un badilejo.
- Cubrir el molde para mantener la humedad, por un periodo no menor de 24h.
- Desmoldar las muestras con sumo cuidado y sumergirla en una solución de hidróxido de calcio hasta 15 min antes de su ensayo.
- Ensayar el prisma en la prensa apoyándolas sobre dos cilindros ubicados a 2.5cm del borde de la cara lateral.
- Aplicar la carga en el centro equidistante de los cilindros de apoyo.
- Aplicar la carga a razón de  $5.0 \pm 1.0$  kg por segundo, hasta la rotura.



Figura N° 10: Máquina uniaxial en ensayo de flexión de mortero  
(fuente: LEM)

Calculo:

La resistencia a flexión será calculada a partir de la siguiente expresión:

$$R_f = \frac{3PL}{2b^3}$$

Donde:

Rf : Resistencia a la flexión (kg/cm<sup>2</sup>)

P : Carga aplica en el centro del prisma (kg)

L : Distancia entre apoyo (cm)

B : arista de la sección cuadrada del prisma (cm)

### 3.6.8 Exudación (ASTM C940)

El mortero fluido (lechada) se coloca en una probeta graduada, se mide la acumulación de agua superficial que se observan durante un periodo de tiempo.

Materiales, equipos y herramientas

- Probeta de vidrio graduada de 1000ml (precisión de 10ml).
- Probeta de vidrio graduada de 25ml (precisión de 1ml).

- Cronómetro

#### Procedimiento

- Inmediatamente después de la dosificación y alcanzar la consistencia requerida, se vierte la mezcla en una probeta transparente graduada de 1000 ml hasta alcanzar un volumen de  $800 \pm 10$  ml. La probeta se coloca sobre una superficie nivelada, se tapa para evitar la evaporación del agua y se registra el volumen inicial de la muestra.
- Se toman registros de las superficies superiores de la lechada y del agua de exudación a intervalos de 15 minutos durante 60 minutos y luego cada hora hasta completar dos horas.
- El agua de exudación se decanta y se mide en una probeta de 25 ml.

#### Calculo:

Calcular la exudación y exudación final

$$\text{Exudación (\%)} = \frac{V_2 - V_g}{V_1} * 100$$

$$\text{Exudacion final (\%)} = \frac{V_w}{V_1} * 100$$

#### Donde:

- $V_1$  : Volumen de la muestra al inicio.
- $V_2$  : Volumen en la superficie superior de la capa de agua.
- $V_g$  : Volumen en la superficie superior de la lechada.
- $V_w$  : volumen de agua decantada.

## CAPITULO IV: CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES, DOSIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES

### 4.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Se realizó la granulometría del agregado proveniente de la cantera ubicada en Cieneguilla - Rio Seco, se muestra los resultados en la Tabla N° 11 y la gráfica de la curva granulométrica ver Figura N° 11.

Tabla N° 11: Muestra de análisis granulométrico por tamizado

Tamiz	Abertura (mm)	(%) Parcial Retenido	(%) Acumulado Retenido	Pasa
3/8"	9.500	-	-	
Nº4	4.750	-	-	
Nº8	2.360	-	-	100.0
Nº16	1.180	37.6	37.6	62.4
Nº30	0.600	20.6	58.2	41.8
Nº50	0.300	15.3	73.5	26.5
Nº100	0.150	9.0	82.6	17.4
FONDO		17.4	100.0	0.0

(Fuente: Elaboración propia)

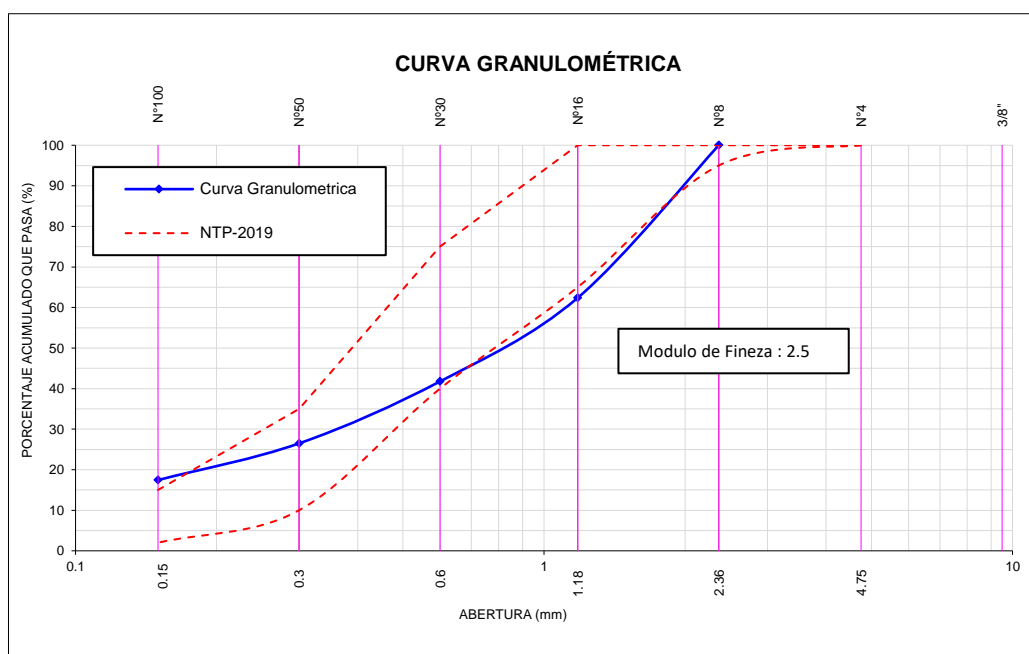


Figura N° 11: Muestra de la curva granulométrica y el módulo de fineza.

Se observó que el agregado fino supera el límite en la malla N°100, alcanzando un 17.4%. Además, se utilizó la fracción pasante de la malla N°8 para la muestra.

#### 4.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO

Se realizó al agregado fino pasante de la malla N°8 a continuación se muestra los resultados.

A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en aire) (gr.)	: 500.8
B	Peso de Frasco + H2O (gr)	: 661.4
C	Peso de Frasco + H2O + A (gr)	: 1162.2
D	Peso del mat. + H2O en el frasco (gr)	: 972.62
E	Vol. De Masa + Vol. de Vacío=C-D	: 189.58
F	Peso del mat. Seco en estufa (105°C) (gr)	: 494.39
G	Vol. De Masa=E-(A-F)	: 183.17
	P.e. Bulk (base seca) =F/E	: 2.608
	P.e. Bulk (base saturada) =A/E	: 2.642
	P.e. Aparente (base seca) =F/G	: 2.699
	% de absorción=((A-F)/F)*100	: 1.297

#### 4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD

Se realizó la humedad de la muestra siendo 1.37%

Masa del frasco + Suelo húmedo (grs)	:	1517
Masa del frasco + Suelo seco (grs)	:	1502
Masa del frasco (grs)	:	348
Contenido de Humedad (%)	:	1.37

#### 4.4 PESO UNITARIO SUELTO Y VARILLADO

Cálculo del Peso unitario varillado (PU<sub>c</sub>)

W <sub>molde</sub>	:	3121 grs
V <sub>molde</sub>	:	2800 cm <sup>3</sup>
W1	:	8127 grs
W2	:	8106 grs
W3	:	8116 grs
PU1	:	1787.9 kg/m <sup>3</sup>
PU2	:	1780.4 kg/m <sup>3</sup>
PU3	:	1783.9 kg/m <sup>3</sup>

PU : 1784.0 kg/m<sup>3</sup>

Cálculo del Peso unitario suelto (P<sub>uS</sub>)

W<sub>molde</sub> : 3121 grs  
V<sub>molde</sub> : 2800 cm<sup>3</sup>  
W<sub>1</sub> : 7698 grs  
W<sub>2</sub> : 7678 grs  
W<sub>3</sub> : 7621 grs  
PU<sub>1</sub> : 1634.6 kg/m<sup>3</sup>  
PU<sub>2</sub> : 1627.5 kg/m<sup>3</sup>  
PU<sub>3</sub> : 1607.1 kg/m<sup>3</sup>  
PU : 1623.1 kg/m<sup>3</sup>

#### 4.5 DOSIFICACIÓN DEL MORTERO FLUIDO

Se procedió a la dosificación en base al peso seco, considerando las proporciones de cemento y arena que pasó por el tamiz N°8, así como la cantidad de agua añadida según el ensayo del cono de fluidez y el porcentaje del aditivo respecto al peso del cemento, la Tabla N° 12 muestra los detalles de la dosificación

Tabla N° 12: Dosificación para la muestra de mortero fluido (cemento: arena: aditivo)

mortero C: A: A	Cemento (Kg)	Arena (kg)		Aditivo %C (grs)	Fluidez Cono Marsh (s)
		Peso húmedo	Peso seco		
1:2:0.0%	42.5	86.2	85.0	0.0	21±2
1:2:0.5%	42.5	86.2	85.0	212.5	
1:2:1.0%	42.5	86.2	85.0	425.0	
1:2:1.5%	42.5	86.2	85.0	637.5	
1:3:0.0%	42.5	129.3	127.5	0.0	
1:3:0.5%	42.5	129.3	127.5	212.5	
1:3:1.0%	42.5	129.3	127.5	425.0	
1:3:1.5%	42.5	129.3	127.5	637.5	
1:4:0.0%	42.5	172.3	170.0	0.0	
1:4:0.5%	42.5	172.3	170.0	212.5	
1:4:1.0%	42.5	172.3	170.0	425.0	
1:4:1.5%	42.5	172.3	170.0	637.5	

(Fuente: Elaboración propia)

C: A: A: Cemento: Arena: Aditivo

#### 4.6 PROPIEDADES FISICAS

##### 4.6.1 Consistencia – cono Marsh (ASTM C939)

Medición del tiempo de salida de un volumen específico de mortero fluido a través de un cono de flujo estandarizado (Cono Marsh) se muestra la Figura N° 12.

- Se utiliza con lechada pura o con lechada que contiene arena que pasa por el tamiz N°8 (2.36 mm).)
- El equipo de cono Marsh (Ver Figura N° 12) fue previamente calibrado con 1725±5 ml de agua. Se tapó el orificio inferior, se ajustó el indicador de puntos para que indique el nivel de la superficie del agua y luego se midió el tiempo desde la salida del agua hasta la primera interrupción. Si el

tiempo de salida está dentro del rango de  $8 \pm 0.2$  s, el equipo queda listo para realizar los ensayos en el mortero fluido.

- La medición del tiempo de flujo del mortero está directamente relacionada con la cantidad de agua añadida en cada aditivo. Por lo tanto, para cada adición existe una cantidad específica de agua que permite alcanzar la fluidez medida dentro del rango de  $21 \pm 2$ , se presenta la Tabla N° 13 con los detalles de la dosificación del mortero.



Figura N° 12: Vista del equipo de cono Marsh utilizado en la investigación.

Tabla N° 13: Dosificación de la cantidad de agua en base al ensayo de cono Marsh.

Descripción	Sikament 306	Cemento (Kg)	Arena (kg)		Agua (lts)	Aditivo (grs)	Fluidez Cono Marsh (s)
			Peso húmedo	Peso seco			
Mortero 1:2	Patrón	42.5	86.2	85.0	39.4	0.0	20.87
	0.5%	42.5	86.2	85.0	35.2	212.5	21.75
	1.0%	42.5	86.2	85.0	33.8	425.0	21.64
	1.5%	42.5	86.2	85.0	32.5	637.5	23.02
Mortero 1:3	Patrón	42.5	129.3	127.5	49.3	0.0	21.68
	0.5%	42.5	129.3	127.5	45.5	212.5	21.24
	1.0%	42.5	129.3	127.5	42.9	425.0	19.03
	1.5%	42.5	129.3	127.5	41.6	637.5	21.79

	Patrón	42.5	172.3	170.0	61.3	0.0	21.8
Mortero 1:4	0.5%	42.5	172.3	170.0	57.7	212.5	20.79
	1.0%	42.5	172.3	170.0	55.1	425.0	21.4
	1.5%	42.5	172.3	170.0	53.2	637.5	20.63

(Fuente: Elaboración propia)

#### 4.6.2 Peso unitario estado fresco (ASTM C185)

La medición de mortero en su estado fresco por unidad de volumen, siguiendo el procedimiento indicado en la norma ASTM C185, se presentan las Tabla N° 14, y se muestra gráficamente la tendencia de peso unitario según la Figura N° 13, además, ver el anexo B y Figura B- 4.

Tabla N° 14: Relación de los pesos unitarios con las distintas adiciones de aditivo.

Descripción	Aditivo	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )
Mortero 1:2	Patrón	2023.9
	0.5%	2040.8
	1.0%	2083.3
	1.5%	2077.4
Mortero 1:3	Patrón	2035
	0.5%	2063.4
	1.0%	2080.8
	1.5%	2094.1
Mortero 1:4	Patrón	2068
	0.5%	2072.8
	1.0%	2079.4
	1.5%	2064.2

(fuente: Elaboración propia)

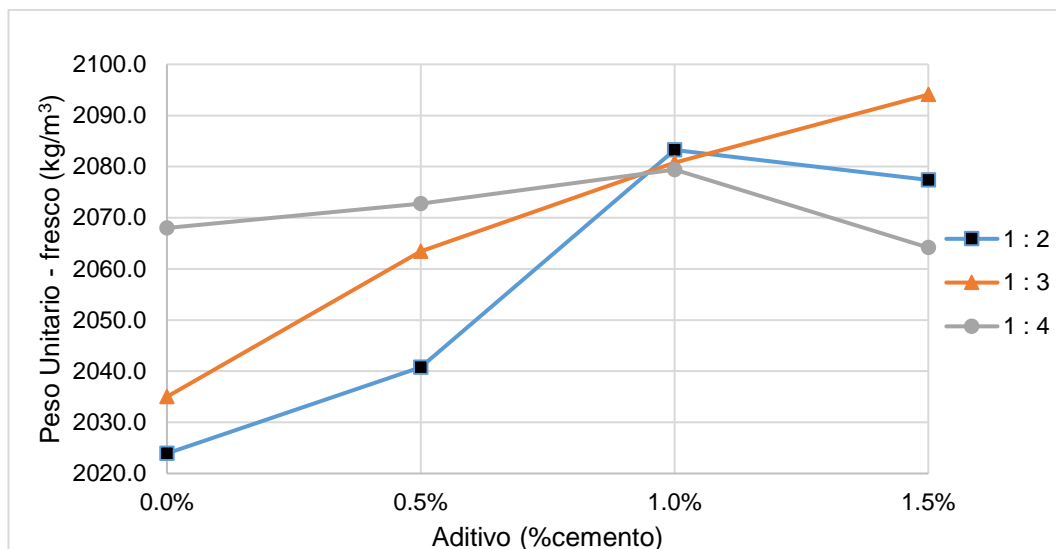


Figura N° 13: Se muestra el desarrollo gráfico de los pesos unitarios de cada mortero 1:2, 1:3 y 1:4.

Se observó que el peso unitario tiende a incrementarse hasta alcanzar el 1% del aditivo, momento en el que se presenta un punto de confluencia en los pesos unitarios en estado fresco. Posteriormente, se observa una leve tendencia a su descenso. Este aumento inicial del peso unitario se atribuye a la reducción de la cantidad de agua.

#### 4.6.3 Exudación

Se procede a determinar la cantidad de agua producto de exudación en las distintas dosificaciones realizadas, se muestra las siguientes Tabla N° 15 y Figura N° 14 (ver anexo B, Figura B- 7 del ensayo exudación)

Tabla N° 15: Exudación de todas las proporciones y adiciones

Dosificación	Aditivo Sikament 306	Exudación Final	Δ%
Mortero 1:2	Patrón	2.5%	
	0.5%	1.9%	0.5%
	1.0%	1.4%	0.6%
	1.5%	0.9%	0.4%
	Patrón	2.4%	
Mortero 1:3	0.5%	1.8%	0.6%
	1.0%	1.2%	0.6%

	1.5%	0.9%	0.4%
	Patrón	2.1%	
Mortero 1:4	0.5%	1.7%	0.5%
	1.0%	1.2%	0.4%
	1.5%	0.9%	0.3%

(fuente: Elaboración propia)

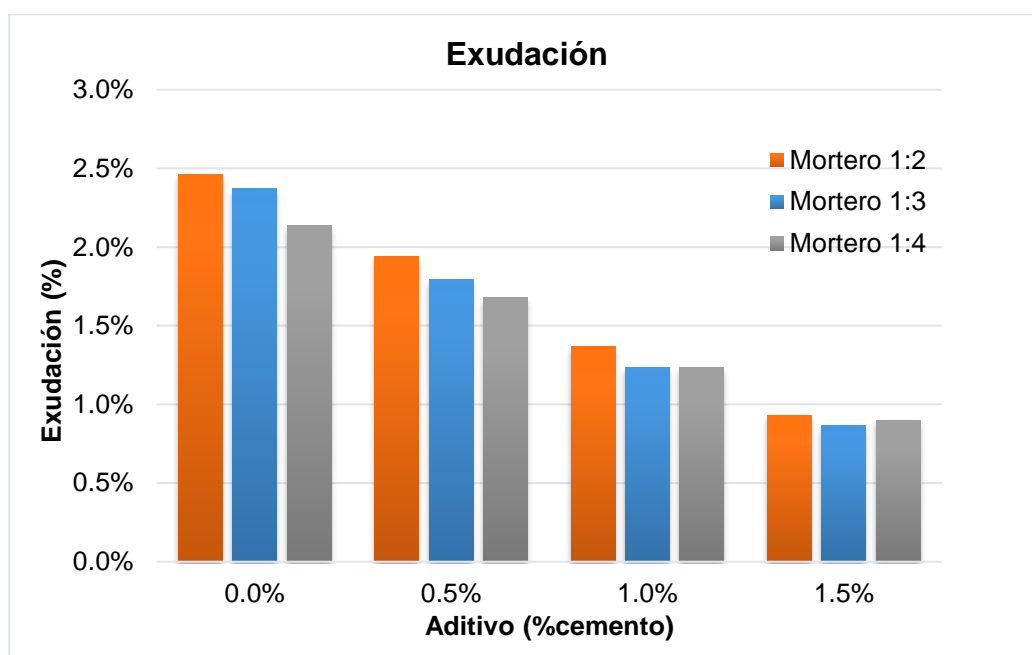


Figura N° 14: Exudación del mortero de los distintos diseños.

La exudación disminuye a medida que se incrementa la dosificación del aditivo en las proporciones de 1:2, 1:3 y 1:4, pasando del 2.5% al 0.9%.

## 4.7 PROPIEDADES MECÁNICAS

### 4.7.1 Resistencia a la compresión (NTP 334.051; ASTM C 109)

Se procedió a realizar las roturas de los cubos de 5cm de lado, a los 3, 7 y 28 días. Se muestra las siguientes Tabla N° 16 donde se presentó la resistencia a la rotura, además, se Figura N° 15, Figura N° 16 y Figura N° 17 el desarrollo de la resistencia con los días de rotura se muestra en el anexo B y Figura B- 5 la máquina uniaxial utilizado en el ensayo.

Tabla N° 16: Relación de ensayos a la compresión de mortero

		Resistencia a la compresión		
Dosificación Aditivo		(kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 días	14 días	28 días
Mortero 1:2	Patrón	119.11	178.15	231.23
	0.5%	128.26	191.37	256.56
	1.0%	146.37	212.86	270.59
	1.5%	171.5	228.02	287.26
Mortero 1:3	Patrón	73.37	108.47	138.61
	0.5%	109.62	139.38	174.92
	1.0%	124.73	153.29	207.65
	1.5%	113.43	163.15	218.46
Mortero 1:4	Patrón	45.12	73.05	93.33
	0.5%	56.7	73.05	123.08
	1.0%	59.39	84.7	135.67
	1.5%	70.03	91.5	149.93

(Fuente: Elaboración Propia)

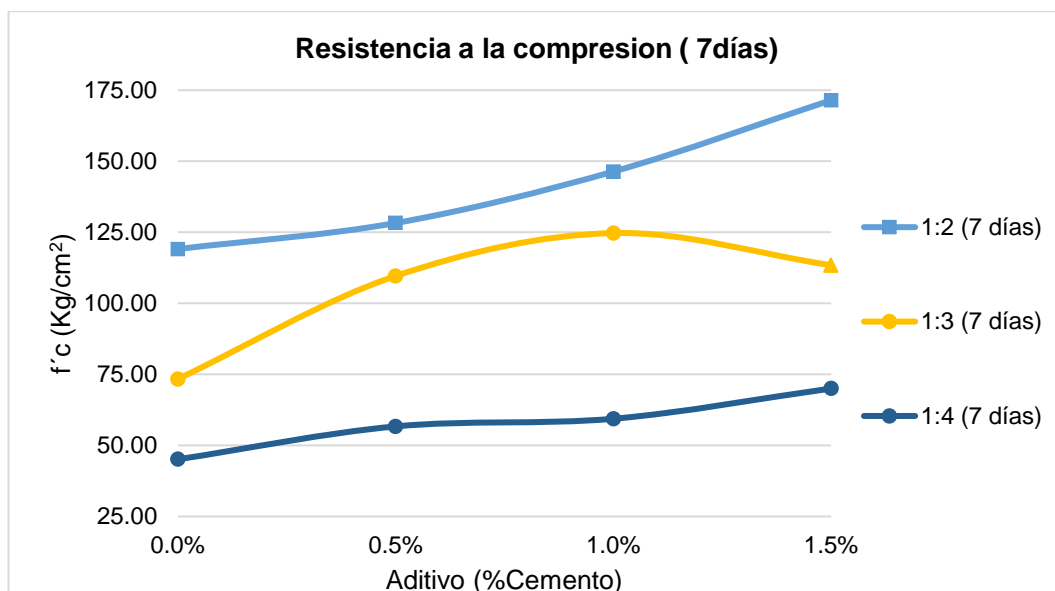


Figura N° 15: Relación de la resistencia a compresión para la dosificación de morteros 1:2, 1:3 y 1:4 (7 días).

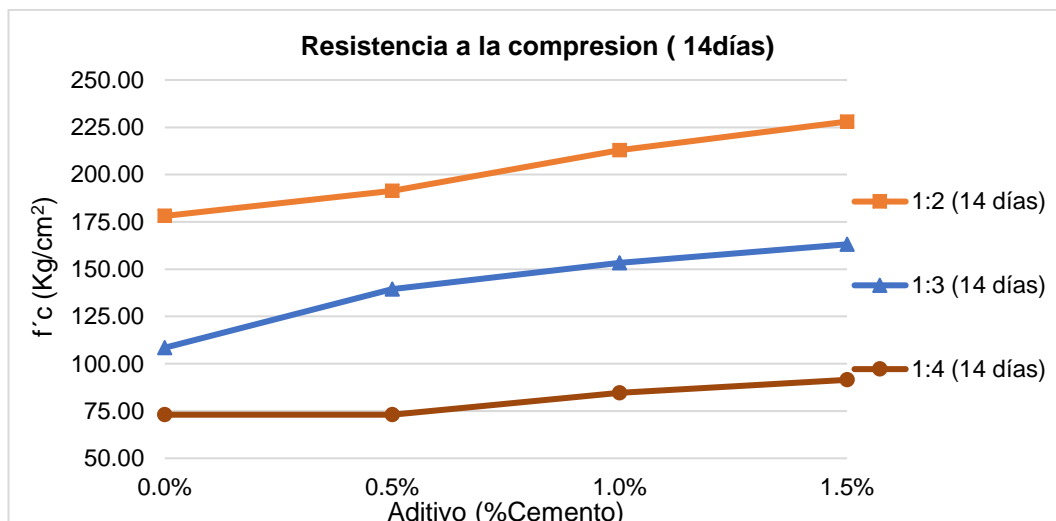


Figura N° 16: Relación de la resistencia a compresión para la dosificación de morteros 1:2, 1:3 y 1:4 (14 días)

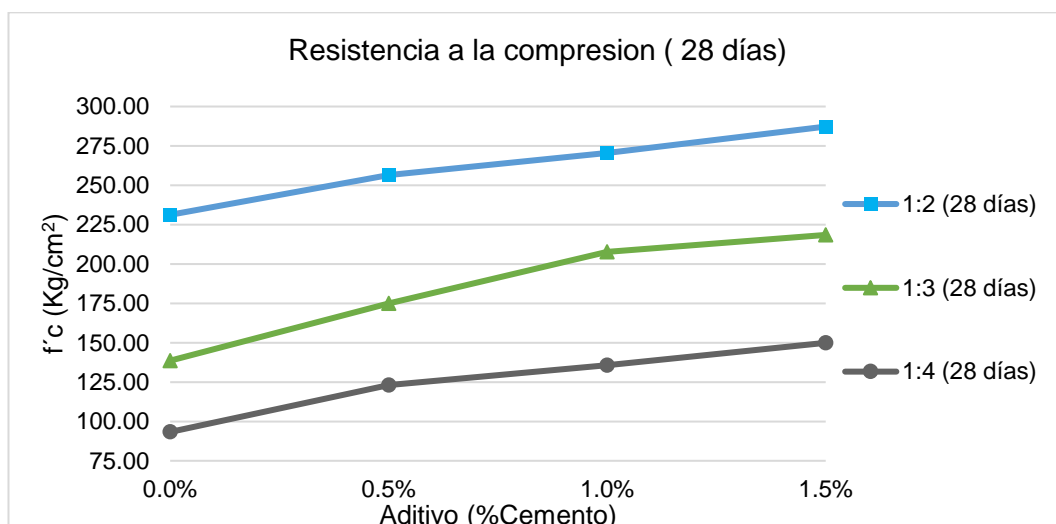


Figura N° 17: Relación de la resistencia a compresión para cada dosificación de morteros de 1:2, 1:3 y 1:4 (28 días).

#### 4.7.2 Resistencia a la flexión del mortero

Se determinó la resistencia a flexión de las vigas de mortero hidráulico con dimensiones de 4cm x 4cm x 16cm a los 3, 7 y 28 días respectivamente, se muestra la Tabla N° 17 de los resultados de la resistencia a flexión (ver anexo B y Figura B- 6)

Tabla N° 17: Relación de ensayos a flexión de mortero

Dosificación	Aditivo	Resistencia a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 días	14 días	28 días
Mortero 1:2	Patrón	32.04	49.8	64.79
	0.5%	48.87	57.91	68.52
	1.0%	64.76	63.64	72.47
	1.5%	64.55	71.14	74.85
Mortero 1:3	Patrón	22.44	38.74	49.4
	0.5%	36.68	37.76	54.01
	1.0%	36.88	43.26	55.13
	1.5%	44.08	50.11	58.87
Mortero 1:4	Patrón	20.74	23.2	26.19
	0.5%	22.48	26.46	30.52
	1.0%	29.42	29.72	36.67
	1.5%	27.09	33.22	44.39

(Fuente: Elaboración Propia)

**CAPITULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS****5.1 LAS PROPIEDADES FÍSICAS****5.1.1 Consistencia**

Mediante el cono Marsh se evaluó una fluidez adecuada del mortero, se evaluó el tiempo de flujo de  $21 \pm 2s$

La fluidez se relacionó directamente con a/c, por lo cual se analizó los resultados en base a dicho parámetro de la proporción 1:2 se presentaron la Tabla N° 18, seguido de 1:3 en la Tabla N° 19 y finalmente 1:4 en la Tabla N° 20.

Tabla N° 18: La dosificación óptima 1:2 en base a una fluidez predeterminada.

Dosificación	Sikament 306 (aditivo)	Cemento (Kg)	Arena (kg) Peso Seco	Agua (lts)	Aditivo (grs)	a/c	Fluidez Cono Marsh (s)
	Patrón	42.5	86.2	39.4	0	0.93	20.87
Mortero 1:2	0.5%	42.5	86.2	35.2	212.5	0.83	21.75
	1.0%	42.5	86.2	33.8	425	0.8	21.64
	1.5%	42.5	86.2	32.5	637.5	0.76	23.02

(fuente: Elaboración propia)

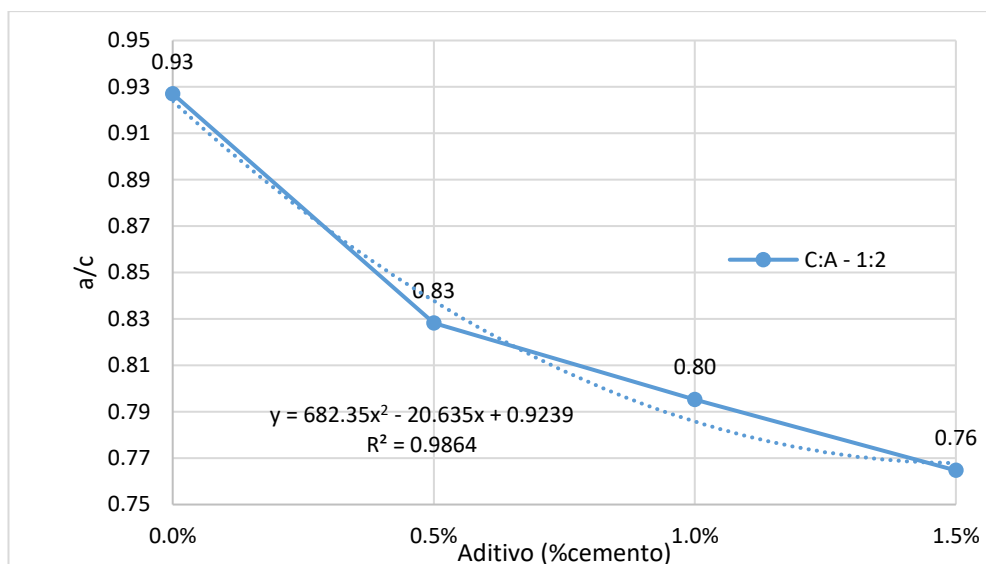


Figura N° 18: Representación gráfica de la relación a/c y la adición del aditivo para el mortero 1:2.

Se presentó la Tabla N° 18 y Figura N° 18, en las cuales se añadió el aditivo Sikament 306 al mortero fresco en concentraciones del 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto al peso del cemento. Se observó que a medida que aumentaba la cantidad del aditivo plastificante, la relación agua/cemento disminuía, lo cual tuvo un efecto directo en la resistencia a compresión y flexión.

Gráficamente tiende una buena aproximación cuadrática:  $y = 682.35x^2 - 20.635x + 0.9239$  y  $R^2 = 0.9864$

Donde:

Y: relación a/c

X: Adición de aditivo en porcentaje de cemento

Tabla N° 19: La dosificación óptima 1:3 en base a una fluidez predeterminada.

Dosificación	Sikament 306 Aditivo	Cemento (Kg)	Arena (kg) Peso Seco	Agua (Its)	Aditivo (grs)	a/c	Fluidez Cono Marhs (s)
	Patrón	42.5	127.5	49.3	0	1.16	21.68
Mortero 1:3	0.5%	42.5	127.5	45.5	212.5	1.07	21.24
	1.0%	42.5	127.5	42.9	425	1.01	19.03
	1.5%	42.5	127.5	41.6	637.5	0.98	21.79

(fuente: Elaboración propia)

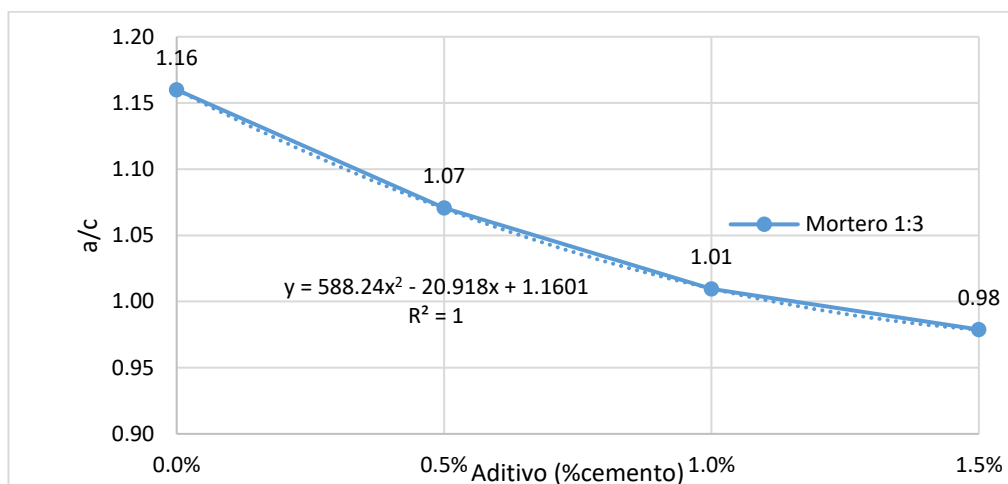


Figura N° 19: Representación gráfica de la relación a/c vs incremento del aditivo

Se presentó la Tabla N° 19 y Figura N° 19, donde se adicionó el aditivo Sikament 306 en concentraciones del 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto al peso del cemento en la muestra patrón. Se observó que conforme aumentaba la cantidad del aditivo, la relación agua/cemento disminuyó, lo cual tuvo un efecto directo en la resistencia a compresión y flexión.

Gráficamente tiende a aproximación cuadrática exacta:  $y = 588.24x^2 - 20.918x + 1.1601$  y  $R^2 = 1$ .

Donde:

Y: relación a/c

X: Adición de aditivo en porcentaje de cemento

Tabla N° 20: La dosificación óptima 1:4 en base a una fluidez predeterminada.

Dosificación	Sikament 306 Aditivo	Cemento (Kg)	Arena (kg) Peso Seco	Agua (lts)	Aditivo (grs)	a/c	Fluidez Cono Marsh (s)
	Patrón	42.5	170	61.3	0	1.44	21.8
Mortero 1:4	0.5%	42.5	170	57.7	212.5	1.36	20.79
	1.0%	42.5	170	55.1	425	1.3	21.4
	1.5%	42.5	170	53.2	637.5	1.25	20.63

(fuente: Elaboración propia)

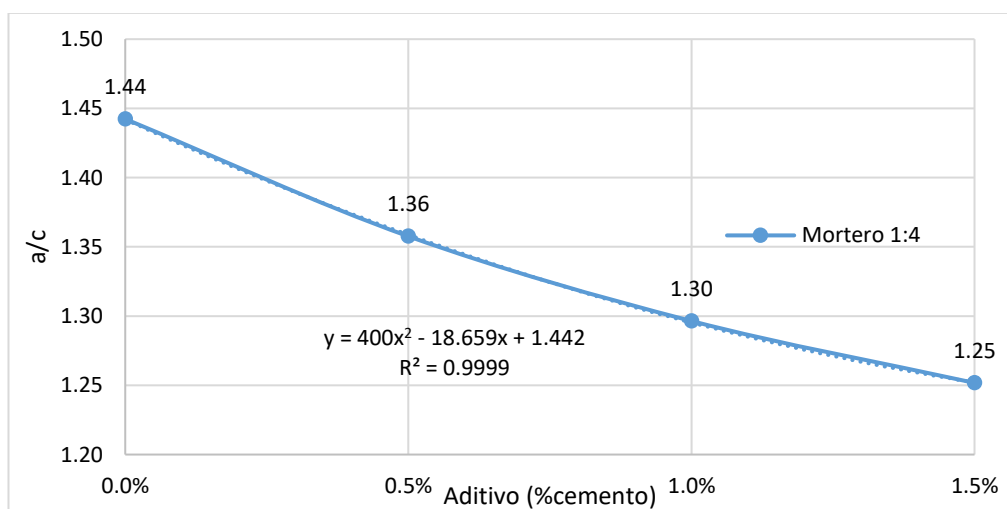


Figura N° 20: Representación gráfica de la relación a/c para el mortero 1:4

Se presentó la Tabla N° 20 y Figura N° 20, donde se adicionó a la muestra patrón (mortero en su estado fresco) el aditivo Sikament 306 en 0.5%, 1.0% y 1.5% de peso del cemento, donde se evidenció al incremento del aditivo, resultado la disminución de a/c y ello influyó directamente en la resistencia a compresión y flexión.

Gráficamente tiende aproximación cuadrática:  $y = 400x^2 - 18.659x + 1.442$  y  $R^2 = 0.9999$

Donde:

Y: relación a/c

X: Adición de aditivo en porcentaje de cemento

Con las dosificaciones de 1:2, 1:3 y 1:4 más sus adiciones del aditivo, todas las gráficas se manejaron dentro de un buen comportamiento cuadrático de relación a/c versus el porcentaje de adición del aditivo, según se muestro la superposición en la Figura N° 21.

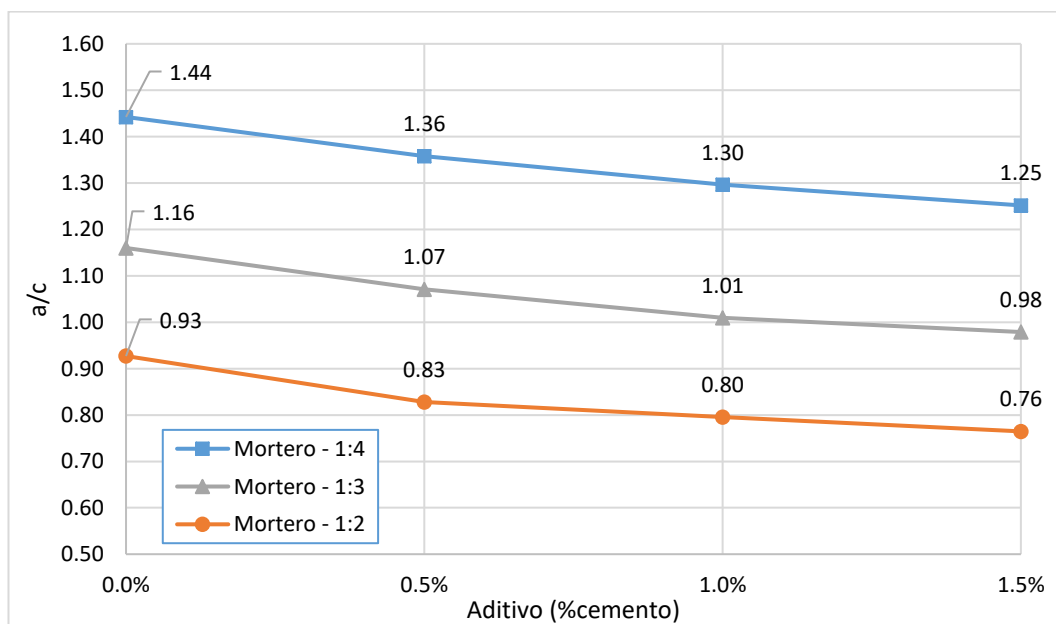


Figura N° 21: Representación gráfica de a/c en comportamiento en sus distintas dosificaciones de aditivo.

### 5.1.2 Exudación

Se muestran los resultados del ensayo de exudación en las distintas dosificaciones.

#### a) Exudación para el mortero 1:2

La dosificación del mortero para 1:2 según la Figura N° 22 y Tabla N° 21, el incrementó del aditivo ayudo favorablemente a disminuir de 2.5% (mortero patrón) a 0.9% (1.5% de aditivo), ayudando el aditivo a la retentividad del agua en la mezcla para una mejor hidratación.

Tabla N° 21: Resultados de exudación para la dosificación 1:2

Dosificación	Sikament 306 (aditivo)	Exudación
Mortero 1:2	Patrón	2.50%
	0.5%	1.90%
	1.0%	1.40%
	1.5%	0.90%

(fuente: Elaboración propia)

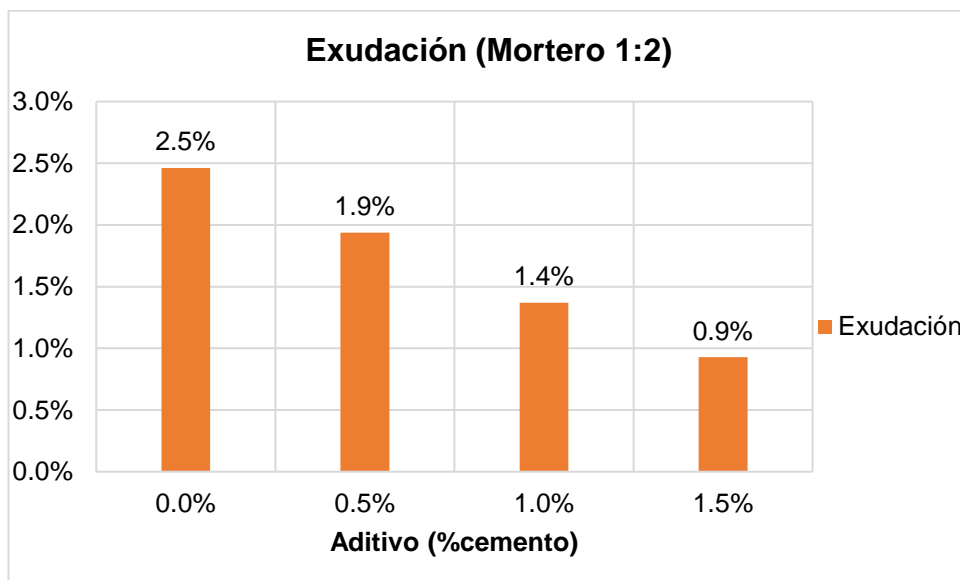


Figura N° 22: Representación gráfica de la exudación para la dosificación mortero 1:2

## b) Exudación para el mortero 1:3

para el mortero de 1:3 se mostró la Tabla N° 22 y Figura N° 23, donde se evidenció que la exudación se reduce de 2.40% a 0.90%, frente al incremento del aditivo plastificante.

Tabla N° 22: Resultados de la exudación para la dosificación 1:3

Dosificación	Sikament 306 (aditivo)	Exudación Final	$\Delta\%$
Mortero 1:3	Patrón	2.40%	
	0.5%	1.80%	0.60%
	1.0%	1.20%	0.60%
	1.5%	0.90%	0.40%

(fuente: Elaboración propia)

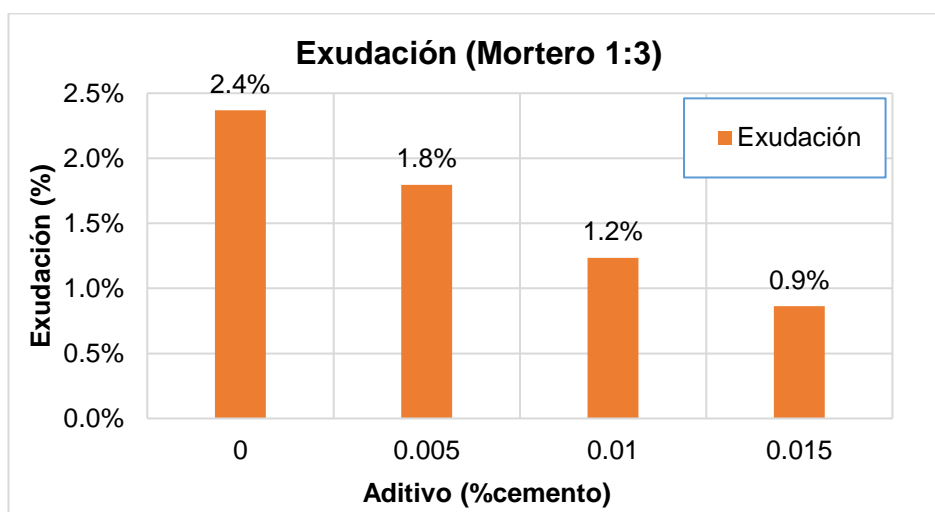


Figura N° 23: Representación gráfica de la exudación para la dosificación mortero 1:3

## c) Exudación para el mortero 1:4

Para el mortero de 1:4 se presentó la Tabla N° 23 y Figura N° 24, donde se observa que la exudación disminuye a medida que se incrementa el aditivo, pasando de 2.1% (mortero sin aditivo) a 0.9% (con 1.5% de aditivo). Este efecto es generalmente favorable para la resistencia del mortero y para prevenir la segregación de sus componentes.

Tabla N° 23: Resultados de la exudación para la dosificación 1:4

Dosificación	Sikament 306 (aditivo)	Exudación Final	$\Delta\%$
Mortero 1:4	Patrón	2.10%	
	0.5%	1.70%	0.40%
	1.0%	1.20%	0.50%
	1.5%	0.90%	0.30%

(fuente: Elaboración propia)

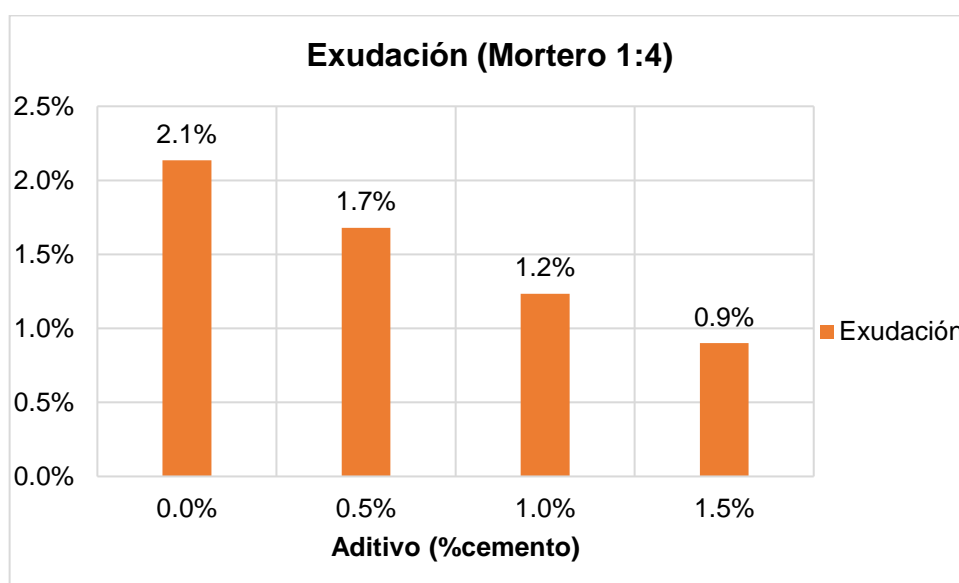


Figura N° 24: Representación gráfica de la exudación para la dosificación mortero 1:4.

El incremento porcentual del aditivo ayuda a reducir la exudación del mortero fluido al romper la red capilar, evitando así el ascenso del agua. Además, se observa que el mortero 1:4 muestra una exudación menor por cada adición del aditivo en comparación con el mortero 1:2 y 1:3.

## 5.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

### 5.2.1 Resistencia a la compresión

Las roturas a los 3 y 7 días se realizaron para analizar el comportamiento y el desarrollo de la resistencia con el paso del tiempo. A los 28 días, los resultados se analizaron estadísticamente con el fin de determinar la resistencia a la compresión.

El criterio de selección de la resistencia a compresión se realizó en base a los siguientes puntos:

- E060 Concreto Armado, donde se menciona que la resistencia individual no será menor en  $35\text{kg/cm}^2$  respecto del promedio.
- NTP 334.051 (2022), indica que el coeficiente de variación (Cv) como máximo es 7.7% y el rango de aceptación (d2s%) es 21.8%

#### 5.2.1.1 Análisis estadístico de la resistencia a compresión del mortero 1:2

##### a) Resistencia a la compresión del mortero 1:2:0%

Tabla N° 24: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:0%

Cantidad	n:	30	28	26
Suma	$\Sigma$ :	6937.04	6580.06	6173.22
Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	$f'c$ :	231.23	235.00	237.43
Desviación estándar	Ss	21.73	16.64	14.56
Coeficiente de variación	1s%:	9.40%	7.08%	6.13%
Valor Mínimo	:	167.25	199.54	212.54
Valor máximo	:	261.75	261.75	261.75
Rango	R:	94.50	62.22	49.21
Rango	d2s%	40.9%	26.5%	20.7%

(Fuente: Elaboración propia)

En base a los criterios de selección estadístico presentados en la Tabla N° 24, se observó que 26 roturas fueron resultados confiables de la dosificación 1:2:0% (muestra patrón), siendo el coeficiente de variación (1s%) de 6.13% menor del límite de 7.7% y el rango fue (d2s%) 20.7% menor del límite de 21.8%, con este análisis se lograron tener una resistencia a la compresión promedio  $f'c=237.43\text{kg/cm}^2$ .

b) Resistencia a la compresión del mortero 1:2:0.5%

Basado en los criterios de selección estadísticos, se muestra la Tabla N° 25, se observó que 27/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:2:0.5%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 6.32% menor del límite de 7.7% y el rango (d2s%) fue 20.6% menor del límite de 21.8%, con este análisis se lograron tener una resistencia a la compresión promedio  $f'c=258.15\text{kg/cm}^2$  e incremento del 8.72% de la resistencia con respecto a la muestra patrón (mortero 1:2:0.0%).

Tabla N° 25: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:0.5%

Cantidad	n:	30	29	27
Suma	$\Sigma$ :	7696.71	7494.40	6970.13
Promedio	$f'c$ :	256.56	258.43	258.15
Desviación estándar	Ss	21.21	18.90	16.32
Coeficiente de variación	1s%:	8.27%	7.31%	6.32%
Valor mínimo	:	202.32	222.75	237.65
Valor máximo	:	300.74	300.74	290.84
Rango	R:	98.43	77.99	53.19
Rango	d2s%	38.4%	30.2%	20.6%

(Fuente: Elaboración propia)

c) Resistencia a la compresión de dosificación 1:2:1.0%

Tabla N° 26: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:1%

Cantidad	n:	30	26	26
Suma	$\Sigma$ :	8117.60	7232.81	7234.05
Promedio	$f'c$ :	270.59	278.18	278.23
Desviación estándar	Ss	24.93	15.34	14.75
Coeficiente de variación	1s%:	9.21%	5.51%	5.30%
Valor mínimo	:	225.63	252.60	252.60
Valor máximo	:	300.70	300.70	300.70
Rango	R:	75.07	48.09	48.09
Rango	d2s%	27.7%	17.3%	17.3%

(Fuente: Elaboración propia)

En base a los criterios de selección estadístico realizado en la resistencia a la compresión de dosificación 1:2:1.0% y Tabla N° 26, se observó que 26/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:2:1%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 5.30% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 17.3% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar  $14.75\text{kg/cm}^2$ , con valor mínimo de

252.60kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 300.70kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia a la compresión promedio  $f'c=278.23\text{kg/cm}^2$ , donde se observó un incremento del 17.18% de la resistencia con respecto a la dosificación patrón(mortero 1:2:0.0%).

d) Resistencia a la compresión de dosificación 1:2:1.5%

En base a los criterios de selección estadístico realizado en la Tabla N° 27 se observó que 29/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:2:1.5%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 4.44% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 19.6% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar 12.80kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 261.39kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 317.78kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia a compresión promedio  $f'c=288.37\text{kg/cm}^2$ , donde se observó incremento del 21.45% de la resistencia con respecto a la dosificación patrón (mortero 1:2:0.0%).

Tabla N° 27: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días de la dosificación 1:2:1.5%

Cantidad	n:	30	30	29
Suma	$\Sigma$ :	8617.79	8617.79	8362.59
Promedio	$f'c$ :	287.26	287.26	288.37
Desviación estándar	Ss	13.96	13.96	12.80
Coeficiente de variación	1s%:	4.86%	4.86%	4.44%
Valor mínimo	:	255.20	255.20	261.39
Valor máximo	:	317.78	317.78	317.78
Rango	R:	62.58	62.58	56.39
Rango	d2s%	21.8%	21.8%	19.6%

(Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.1.2 Análisis comparativo del mortero 1:2 vs a/c

De las dosificaciones con la proporción de 1:2 con sus distintas adiciones de aditivo, se presentó la Tabla N° 28, con la relación de a/c (agua/cemento) y la resistencia promedio ( $f'c$ ), a medida del incremento del aditivo resultó la disminución de la relación a/c lo que implica el incremento de la resistencia a compresión.

Tabla N° 28: Resistencia a la compresión a los 28 días de la dosificación 1:2 en base a la relación a/c.

N°	Identificación de muestras	n	f'c_prom (Kg/cm²)	1s%:	d2s%	Análisis estadístico				a/c
						n	1s%:	d2s%	f'c (kg/cm²)	
1	1 : 2 : 0%	30	231.2	9.4%	40.9%	26	6.1%	20.7%	237.4	0.93
2	1 : 2 : 0.5%	30	256.6	8.3%	38.4%	27	6.3%	20.6%	258.2	0.83
3	1 : 2 : 1%	30	270.6	9.2%	27.7%	26	5.3%	17.3%	278.2	0.80
4	1 : 2 : 1.5%	30	287.3	4.9%	21.8%	29	4.4%	19.6%	288.4	0.76

(Fuente: Elaboración propia)

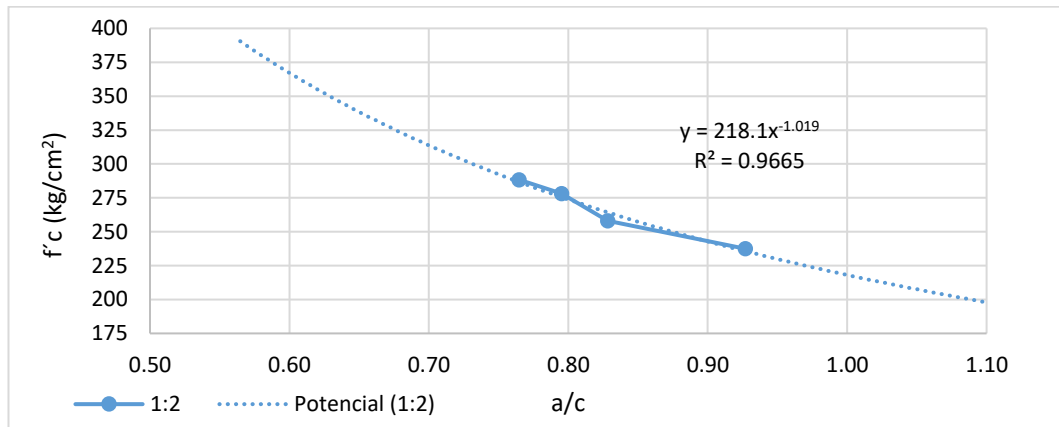


Figura N° 25: Representación gráfica de la resistencia a la compresión en base a la relación a/c para los morteros 1:2.

La Tabla N° 28 y la Figura N° 25 representaron una tendencia potencial de la relación a/c vs la resistencia, se presenta la siguiente expresión:

$$f'c_{1:2} = 218.10 \left( \frac{a}{c} \right)^{-1.019}$$

$$R^2 = 0.9665$$

Donde:

f'c<sub>1:2</sub> : Resistencia a la compresión de los morteros 1:2 (kg/cm²)

a/c : Relación agua/cemento

R² : Coeficiente de determinación

## 5.2.1.3 Análisis estadístico de la resistencia a compresión del mortero 1:3

a) Resistencia a la compresión del mortero 1:3:0.0%Tabla N° 29: *Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:0%*

Cantidad	n:	30	30	28
Suma	$\Sigma$ :	4158.33	4158.33	3880.19
Promedio	f'c:	138.61	138.61	138.58
Desviación estándar	Ss	8.10	8.10	6.44
Coeficiente de variación	1s%:	5.84%	5.84%	4.65%
Valor minino	:	119.28	119.28	127.11
Valor máximo	:	158.86	158.86	152.84
Rango	R:	39.59	39.59	25.73
Rango	d2s%	28.6%	28.6%	18.6%

(Fuente: Elaboración propia)

Los criterios de selección estadístico realizado en la Tabla N° 29, se observó que 28/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:3:0% (muestra patrón), siendo el coeficiente de variación (1s%) de 4.65% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 18.6% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar 6.44kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 127.11kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 152.84kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia a la compresión promedio f'c=138.58kg/cm<sup>2</sup>.

b) Resistencia a la compresión a los 28 días del mortero 1:3:0.5%Tabla N° 30: *Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:0.5%*

Cantidad	n:	30	30	30
Suma	$\Sigma$ :	5247.66	5247.66	5247.66
Promedio	f'c:	174.92	174.92	174.92
Desviación estándar	Ss	10.11	10.11	10.11
Coeficiente de variación	1s%:	5.8%	5.8%	5.8%
Valor mínimo	:	150.55	150.55	150.55
Valor máximo	:	188.12	188.12	188.12
Rango	R:	37.57	37.57	37.57
Rango	d2s%:	21.5%	21.5%	21.5%

(Fuente: Elaboración propia)

Los criterios de selección estadístico realizado en la Tabla N° 30 se observó que 30/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:3:0.5%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 5.80% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 21.5% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar 10.11kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 150.55kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia a la compresión promedio  $f'c=174.92\text{kg/cm}^2$ , e incremento del 26.23% en comparación la muestra patrón (mortero 1:3:0.0%).

c) Resistencia a la compresión a los 28 días del mortero 1:3:1.0%

Tabla N° 31: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:1%

Cantidad	n:	30	30	28
Suma	$\Sigma$ :	6229.55	6229.55	5818.28
Promedio	$f'c$ :	207.65	207.65	207.80
Desviación estándar	Ss	12.85	12.85	11.26
Coeficiente de variación	1s%:	6.2%	6.2%	5.4%
Valor mínimo	:	179.58	179.58	181.66
Valor máximo	:	231.70	231.70	225.47
Rango	R:	52.11	52.11	43.81
Rango	d2s%:	25.1%	25.1%	21.1%

(Fuente: Elaboración propia)

Los criterios de selección estadístico realizado en la Tabla N° 31 se observó que 28/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:3:1%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 5.40% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 21.1% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar de 11.26kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 225.47kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 225.47kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia a la compresión promedio  $f'c=207.80\text{kg/cm}^2$ , donde se observó un 49.95% de incremento de la resistencia con respecto a la muestra patrón.

d) Resistencia a la compresión a los 28 días del mortero 1:3:1.5%

Tabla N° 32: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:1.5%

Cantidad	n:	30	29	26
Suma	$\Sigma$ :	6553.76	6372.69	5794.65
Promedio	$f'c$ :	218.46	219.75	222.87
Desviación estándar	Ss	17.13	15.89	13.56
Coeficiente de variación	1s%:	7.8%	7.2%	6.1%

Valor mínimo	:	181.06	190.26	199.18
Valor máximo	:	246.88	246.88	246.88
Rango	R:	65.81	56.61	47.70
Rango	d2s%:	30.1%	25.8%	21.4%

(Fuente: Elaboración propia)

Los criterios de selección estadístico realizado en la Tabla N° 32 se observó que 28/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:3:1.5%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 6.1% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 21.4% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar 13.56kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 199.18kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 246.88 kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia a la compresión promedio  $f'c=222.87\text{kg/cm}^2$  donde se observó un 60.83% incremento de la resistencia con respecto a la muestra patrón (mortero 1:3:0.0%).

#### 5.2.1.4 Análisis comparativo de la dosificación 1:3 con a/c

Analizando la dosificación 1:3 en sus distintas adiciones, se presentó la Tabla N° 33, en base a la relación de a/c y la resistencia a la compresión promedio ( $f'c$ ), este último a medida de la adición del aditivo mejoró la resistencia y la relación a/c decreció.

Tabla N° 33: Resistencia a la compresión de la dosificación 1:3 en base a la relación a/c.

N°	Identificación de muestras	n	f'c_prom (Kg/cm²)	1s%:	d2s%	Análisis estadístico				a/c
						n	1s%:	d2s%	f'c (kg/cm²)	
1	Mortero 1:3 :0%	30	138.6	5.8%	28.6%	28	4.6%	18.6%	138.6	1.16
2	Mortero 1:3:0.5%	30	174.9	5.8%	21.5%	30	5.8%	21.5%	174.9	1.07
3	Mortero 1:3:1.0%	30	207.7	6.2%	25.1%	28	5.4%	21.1%	207.8	1.01
4	Mortero 1:3:1.5%	30	218.5	7.8%	30.1%	26	6.1%	21.4%	222.9	0.98

(Fuente: Elaboración propia)

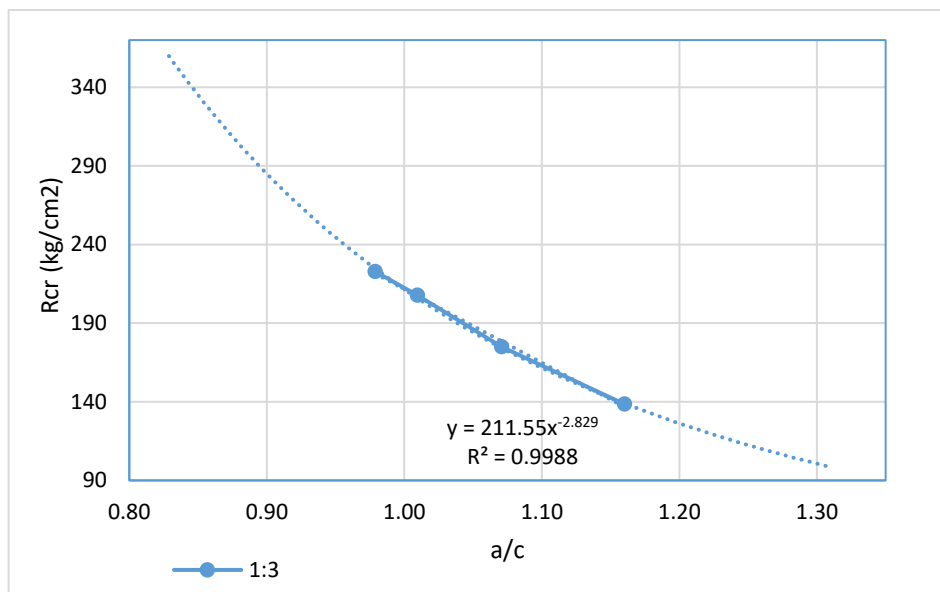


Figura N° 26: Representación gráfica de la resistencia a la compresión promedio en base a la relación  $a/c$  para los morteros de 1:3.

La Figura N° 26, represento una tendencia potencial de la relación  $a/c$  vs la resistencia, se presenta la siguiente expresión:

$$f'_{c_{1:3}} = 211.22 \left( \frac{a}{c} \right)^{-2.829}$$

$$R^2 = 0.9988$$

Donde:

$f'_{c_{1:3}}$  : Resistencias a la compresión de los morteros de 1:3 (kg/cm²)

$a/c$  : Relación agua/cemento

$R^2$  : Coeficiente de determinación

#### 5.2.1.5 Análisis estadístico de la resistencia a compresión del mortero 1:4

##### a) Resistencia a la compresión con dosificación 1:4:0.0%

Tabla N° 34: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:4:0%

Cantidad	n:	30	30	29
Suma	$\Sigma$ :	2799.79	2799.79	2724.56
Promedio	$f'c$ :	93.33	93.33	93.95
Desviación estándar	Ss	5.50	5.50	4.39
Coeficiente de variación	1s%:	5.9%	5.9%	4.7%
Valor mínimo	:	75.23	75.23	82.62

Valor máximo	:	101.64	101.64	101.64
Rango	R:	26.42	26.42	19.02
Rango	d2s%:	28.3%	28.3%	20.2%

(Fuente: Elaboración propia)

Los criterios de selección estadístico realizado en la Tabla N° 34 se observó que 29/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:4:0% (muestra patrón), siendo el coeficiente de variación (1s%) de 4.7% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 20.2% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar 4.39kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 82.62kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 101.64 kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia a la compresión promedio  $f'c=93.95\text{kg/cm}^2$  como la muestra patrón (mortero 1:4:0.0%).

b) Resistencia a la compresión a los 28 días del mortero 1:4:0.5%

Tabla N° 35: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:4:0.5%

Cantidad	n:	30	30	29
Suma	$\Sigma$ :	3692.28	3692.28	3586.11
Promedio	$f'c$ :	123.08	123.08	123.66
Desviación estándar	Ss	6.52	6.52	5.78
Coeficiente de variación	1s%:	5.3%	5.3%	4.7%
Valor mínimo	:	106.18	106.18	115.20
Valor máximo	:	133.35	133.35	133.35
Rango	R:	27.17	27.17	18.15
Rango	d2s%:	22.1%	22.1%	14.7%

(fuente: Elaboración propia)

Los criterios de selección estadístico realizado a la Tabla N° 35, se observó que 29/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:4:0.5%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 4.7% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 14.7% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar 5.78kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 115.20kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 133.35 kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia promedio  $f'c=123.66\text{kg/cm}^2$ , se observó un 31.6% de incremento de la resistencia respecto de la muestra patrón.

c) Resistencia a la compresión a los 28 días del mortero 1:4:1.0%

Tabla N° 36: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:4:1%

Cantidad	n:	30	30	30
Suma	$\Sigma$ :	4070.24	4070.24	4070.24
Promedio	$f'c$ :	135.67	135.67	135.67
Desviación estándar	Ss	5.45	5.45	5.45
Coeficiente de variación	1s%:	4.0%	4.0%	4.0%
Valor mínimo	:	123.76	123.76	123.76
Valor máximo	:	146.65	146.65	146.65
Rango	R:	22.89	22.89	22.89
Rango	d2s%:	16.9%	16.9%	16.9%

(fuente: Elaboración propia)

Los criterios de selección estadístico realizado en la Tabla N° 36, se observó que 30/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:4:1%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 4.0% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 16.9% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar 5.45kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 123.76kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 146.65 kg/cm<sup>2</sup> con este análisis se lograron tener una resistencia promedio  $f'c=135.67\text{kg/cm}^2$ , se observó un 44.4% de incremento de la resistencia respecto de la muestra patrón.

d) Resistencia a la compresión con dosificación 1:4:1.5%

Tabla N° 37: Análisis estadísticos de las roturas a los 28 días del mortero 1:4:1.5%

Cantidad	n:	30	30	27
Suma	$\Sigma$ :	4497.77	4497.77	4061.96
Promedio	Rp:	149.93	149.93	150.44
Desviación estándar	Ss	11.10	11.10	9.45
Coeficiente de variación	1s%:	7.4%	7.4%	6.3%
Valor mínimo	:	130.36	130.36	136.94
Valor máximo	:	173.31	173.31	166.73
Rango	R:	42.95	42.95	29.79
Rango	d2s%:	28.6%	28.6%	19.8%

(fuente: Elaboración propia)

De los criterios de selección estadístico realizado en la Tabla N° 37, se observó que 27/30 roturas fueron resultados confiables del mortero 1:4:1.5%, siendo el coeficiente de variación (1s%) de 6.3% menor del límite de 7.7%, el rango fue (d2s%) 19.8% menor del límite de 21.8%, la desviación estándar 9.45kg/cm<sup>2</sup>, con valor mínimo de 136.94kg/cm<sup>2</sup> y valor máximo de 166.73 kg/cm<sup>2</sup> con este análisis

se lograron tener una resistencia compresión promedio  $f'c=150.44\text{kg/cm}^2$ , observándose un leve incremento de la resistencia respecto de la muestra 1:4:1%.

#### 5.2.1.6 Análisis comparativo de los morteros 1:4 vs a/c

Analizando la dosificación 1:4, para cada incremento del aditivo, la relación a/c tiende a disminuir; por ende, la resistencia a compresión mejora con respecto al patrón, se presentó la Tabla N°38 con las resistencias

Tabla N°38: Resistencia a la compresión de la dosificación 1:4 en base a la relación a/c

N°	Identificación de muestras	n	$f'c_{\text{prom}}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	1s%:	d2s%	Análisis estadístico				a/c
						n	1s%:	d2s%	$f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	
1	1 : 4 : 0%	30	93.3	5.9%	28.3%	29	4.7%	20.2%	94.0	1.44
2	1 : 4 : 0.5%	30	123.1	5.3%	22.1%	29	4.7%	14.7%	123.7	1.36
3	1 : 4 : 1%	30	135.7	4.0%	16.9%	30	4.0%	16.9%	135.7	1.30
4	1 : 4 : 1.5%	30	149.9	7.4%	28.6%	27	6.3%	19.8%	150.4	1.25

(Fuente: Elaboración propia)

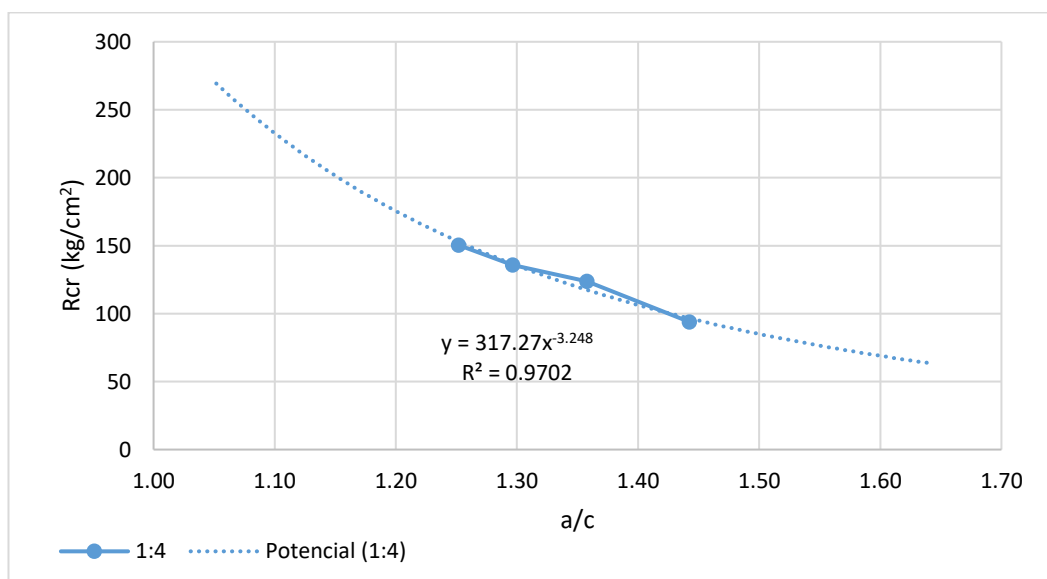


Figura N° 27: Representación gráfica de la resistencia a la compresión requerida en base a la relación a/c para la dosificación 1:4.

La Figura N° 27, representó una tendencia potencial de la relación a/c vs la resistencia a compresión, se presenta la siguiente expresión:

$$f'c_{1:4} = 317.27 \left( \frac{a}{c} \right)^{-3.248}$$

$$R^2 = 0.9702$$

Donde:

$f'_{c1:4}$  : Resistencia a la compresión requerida de los morteros 1:4 (kg/cm<sup>2</sup>)

a/c : Relación agua/cemento

$R^2$  : Coeficiente de determinación

### 5.2.2 Resistencia a flexión

Las resistencias a flexión se realizaron a los 3 días, 7 días y 28 días, se mostraron los resultados resumen en la Tabla N°39 y Figura N° 28.

Tabla N°39: Análisis de resultados de la resistencia a flexión

N°	Identificación de muestras	Resistencia a flexión (kg/cm <sup>2</sup> )			$\Delta\%R_f$	a/c
		7 días	14 días	28 días		
1	Mortero 1:2:0.0%	32.04	49.80	64.8		0.93
2	Mortero 1:2:0.5%	48.87	57.91	68.5	5.8%	0.83
3	Mortero 1:2:1.0%	64.76	63.64	72.5	11.8%	0.80
4	Mortero 1:2:1.5%	64.55	71.14	74.9	15.5%	0.76
5	Mortero 1:3:0.0%	22.44	38.74	49.4		1.16
6	Mortero 1:3:0.5%	36.68	37.76	54.0	9.3%	1.07
7	Mortero 1:3:1.0%	36.88	43.26	55.1	11.6%	1.01
8	Mortero 1:3:1.5%	44.08	50.11	58.9	19.2%	0.98
9	Mortero 1:4:0.0%	20.74	23.20	26.2		1.44
10	Mortero 1:4:0.5%	22.48	26.46	30.5	16.5%	1.36
11	Mortero 1:4:1.0%	29.42	29.72	36.7	40.0%	1.30
12	Mortero 1:4:1.5%	27.09	33.22	44.4	69.5%	1.25

(Fuente: Elaboración propia)

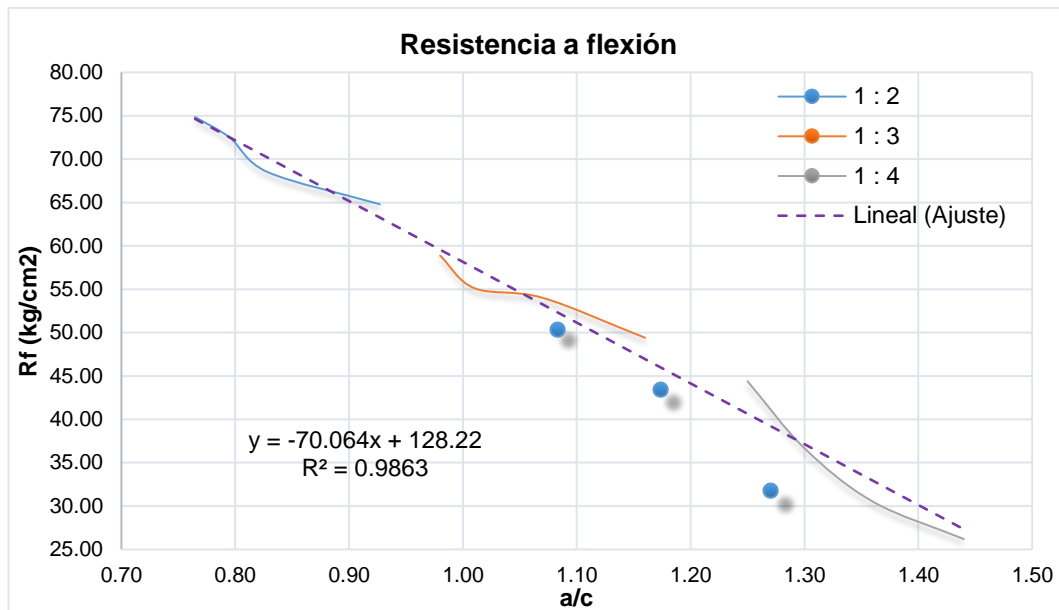


Figura N° 28: Vista grafica del ajuste lineal de la resistencia a flexión

De esta dosificación 1:2 con adiciones de aditivo Sikament 306 en 0%, 0.5%, 1% y 1.5% del peso del cemento, se observó que a medida se incrementa el aditivo hay una mejora de la resistencia a flexión de 64.79kg/cm<sup>2</sup>, 68.52kg/cm<sup>2</sup>, 72.47kg/cm<sup>2</sup> y 74.85kg/cm<sup>2</sup> respectivamente ensayados a los 28 días (ver Tabla N°39) siendo los incrementos mínimos de 5.8% y máximo de 15.5% de la resistencia a flexión.

De los morteros 1:3:0%, 1:3:0.5%, 1:3:1% y 1:3:1.5% con adiciones de aditivo Sikament 306 en peso del cemento, se observó que a medida del incrementó del aditivo un mejoramiento leve de la resistencia a los 3 y 7 días, pero a los 28 días se obtuvo valores de 49.40kg/cm<sup>2</sup>, 54.01kg/cm<sup>2</sup>, 55.13kg/cm<sup>2</sup> y 58.87kg/cm<sup>2</sup>, siendo su incrementó del 9.3%, 11.6% y 19.2% por cada adición.

De los morteros 1:4:0%, 1:4:0.5%, 1:4:1% y 1:4:1.5% con adiciones de aditivo SIKAMENT-306 en peso del cemento, a medida que se adicionó el aditivo se observó un mejoramiento leve de la resistencia a los 3 y 7 días, pero a los 28 días fueron de 26.19kg/cm<sup>2</sup>, 30.52kg/cm<sup>2</sup>, 36.67kg/cm<sup>2</sup> y 44.39kg/cm<sup>2</sup>, para todo ello los incrementos del mínimo con 16.5% y máximo 69.5% siendo estos incrementos mayores a los de 1:2 y 1:3

De los 12 diseños se ejecutó una regresión lineal de la resistencia a flexión vs la relación agua/cemento (a/c) siendo el coeficiente de determinación del 98.6% se obtuvo la siguiente expresión:

$$Rf = -70.064 \left[ \frac{a}{c} \right] + 128.22$$

Donde:

Rf : Resistencia a flexión (kg/cm<sup>2</sup>)

a/c : Relación agua cemento

### 5.3 TRAMO DE PRUEBA DE LA INYECCIÓN DEL MORTERO FLUIDO

El mortero 1:2:1.5% cumple las especificaciones de las normas y requerimientos del proyecto de un mortero fluido y de resistencia  $f'c > 280 \text{ kg/cm}^2$ , para lo cual se eligió un tramo de 20m de aplicación a fin llenar las zonas vacías.

Para el proyecto, se utilizó un método de identificación de zonas vacías basado en la respuesta acústica. Un sonido compacto indica que la estructura está completamente llena, mientras que la presencia de eco evidencia la existencia de vacíos detrás del revestimiento de los anillos de acero.

Se presenta los resultados de la resistencia y del martillo Schmidt en las siguientes tabla N°40 y 41

Tabla N°40: Relación de golpes con el martillo Schmidt en tramo 1+100 a 1+120

Tramo	Golpe de con el martillo Schmidt (Sonido)	
	Antes	Reinyección con mortero 1:2:1.5%
0	Compacto	Compacto
1	Compacto	Compacto
2	Compacto	Compacto
3	Compacto	Compacto
4	Compacto	Compacto
5	Eco	Compacto
6	Eco	Compacto
7	Eco	Compacto
8	Eco	Compacto
9	Eco	Compacto
10	Eco	Compacto

11	Eco	Compacto
12	Compacto	Compacto
13	Compacto	Compacto
14	Compacto	Compacto
15	Eco	Compacto
16	Eco	Compacto
17	Eco	Compacto
18	Eco	Compacto
19	Eco	Compacto
20	Eco	Compacto

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°41: Resistencia a la compresión del tramo de aplicación

Estructura	Elemento (Descripción)	Pozo N°	Fecha Vaciado	Edad (días)	Resistencia kg/cm²
Tunnel Liner	690 - 1	2	20-12-20	28	315.8
			20-12-20	28	329.0
			20-12-20	28	290.5
Tunnel Liner	690 - 1	2	27-12-20	28	297.0
			27-12-20	28	294.0
			27-12-20	28	305.1
			27-12-20	28	291.3

(Fuente: Elaboración propia)

En el tramo de aplicación, se utilizó mortero fluido con una dosificación de 1:2:1.5%, el cual fue inyectado en las zonas con vacíos. Posteriormente, se evaluó el llenado completo de la sección mediante el Martillo de Schmidt, donde un golpe compacto indica la ausencia de espacios entre el anillo de revestimiento y la excavación. Además, se verificaron la fluidez y la resistencia del mortero, asegurando que cumplieran con los estándares establecidos por la normativa.

Finalmente, se concluye que el mortero se distribuyó de manera uniforme, lo que contribuye a una adecuada distribución de los esfuerzos en el revestimiento, garantizando así la estabilidad del túnel.

## CONCLUSIONES

- La consistencia del mortero fue evaluada mediante el ensayo de cono Marsh, logrando la fluidez adecuada, lo que contribuyó a la mejora de sus propiedades en estado fresco.
- La exudación en todas las proporciones del mortero, la tendencia fue a la disminución, lo cual se debió a que el aditivo dispersó las partículas de cemento de manera más uniforme y eficiente en la mezcla, rompiendo la red capilar. Además, la exudación permisible fue del 2%, y con ello se requirió como mínimo la adición de un 0.5% del aditivo plastificante en todas las proporciones de los morteros.
- Las resistencias a compresión mínimas requeridas según especificaciones para este tipo de morteros de relleno serán superiores a 140 kg/cm<sup>2</sup>, cumpliéndose este criterio en las dosificaciones 1:2, 1:3 y 1:4:1.5%.
- El diseño 1:2:1.5% cumplió con los requerimientos del Tunnel Liner para un mortero fluido con una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup>, por lo que se concluyó que esta dosificación era la más adecuada para estabilizar el revestimiento del Tunnel Liner del proyecto.
- El aumento de las propiedades físicas y mecánicas se debe a la adición del aditivo plastificante, actuando como un dispersivo de las partículas cementantes y se da la hidratación con la mezcla del agua, además, reduce el agua manteniendo la fluidez.
- En el tramo de aplicación 1+100 a 1+120, se utilizó mortero fluido con la dosificación de 1:2:1.5%, el cual fue inyectado en las zonas con vacíos. Posteriormente, se evaluó el llenado completo de la sección mediante el Martillo de Schmidt, donde un golpe compacto indica la ausencia de espacios entre el anillo de revestimiento y la excavación. Además, se verificaron la fluidez y la resistencia del mortero, asegurando que cumplieran con los estándares establecidos por la normativa y el proyecto.
- Finalmente, se concluye que el mortero se distribuyó de manera uniforme, lo que contribuye a una adecuada distribución de los esfuerzos en el revestimiento, garantizando así la estabilidad del túnel.

---

## RECOMENDACIONES

- Las proporciones analizadas varían de 1:2, 1:3 y 1:4. Se recomienda evaluar las propiedades físicas y mecánicas para proporciones mayores a fin de analizar el comportamiento en estado fresco y endurecido.
- La consistencia se evaluó mediante el cono Marsh para un tiempo determinado de flujo. Se recomienda realizar comparaciones utilizando el cono de Abrams, midiendo el diámetro de la expansión del mortero.
- Se sugiere añadir cal al mortero para mejorar la cohesión y reducir la segregación.
- Este estudio representa una propuesta de diseño a nivel experimental. Se recomienda utilizar una bomba estacionaria para inyectar el material en las cavidades de los túneles y evaluar la fluidez en distancias mayores a 100 m. Además, se sugiere medir la resistencia mecánica mediante extracciones diamantinas y tomar muestras en estado fresco

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alanya, J. (2017). *Comportamiento del mortero con aditivo expansivo para resanes en obras de Ingeniería Civil* [Tesis de Pregrado, Universidad nacional de ingeniería]. Alicia.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_4a0769ac04a1b416b3407b99598ab313](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_4a0769ac04a1b416b3407b99598ab313).
- Ben, G. H., En-Rong. L., Zhi Q. Z. y Yu Zhang (2021). Failure modes of highway tunnel with voids behind the lining roof. ScienceDirect. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 117(15), 290-302.  
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104147>
- Chilón, E. & Huamán, M. (2019). *Determinación del Revestimiento del Tunnel Liner Mediante el Modelamiento Geotécnico Aplicando el Método de Elementos Finitos, en el Distrito de La Perla Callao*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. UPEU.  
<https://repositorio.upeu.edu.pe/items/3d96d878-995b-4db6-9283-e6b39ba180a9>
- Cuenca, B. (2009). *Túneles en suelos con énfasis en carreteras*. [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de México]. Repositorio facultad de ingeniería.  
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/2910>
- Echeverria, J. (2013). *Interacción suelo-túnel, con revestimiento sometido a carga anisotrópica*. [Tesis maestría, Universidad nacional de Colombia]. Repositorio universidad Nacional.  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20279>
- Gonzáles, L., Ferrer, M., Ortuño, L. & Oteo, N. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson educación.  
[https://www.academia.edu/50773034/INGENIERIA\\_GEOLOGICA\\_GONZALEZ\\_DE\\_VALLEJO](https://www.academia.edu/50773034/INGENIERIA_GEOLOGICA_GONZALEZ_DE_VALLEJO)
- Guzmán, D. (1994). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Bhandar Editores.

- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill / Interamericana Editores, s.a. de c.v.  
<https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Jiménez, R. (2000). *Efectos de la incorporación del aditivo super-fluidificante sobre las propiedades del concreto utilizando el cemento portland tipo I*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_388f90fa24bae7f072f64610c4723dad](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_388f90fa24bae7f072f64610c4723dad)
- Luque, R. (2001), *Análisis y propiedades del concreto por influencia de un aditivo fluidificante utilizando cemento portland tipo IP*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_c7692a5bc9b72b97cea18b25fa4d960d](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_c7692a5bc9b72b97cea18b25fa4d960d)
- Marquina, E. (2016). *Análisis de la resistencia a compresión del Grout con adición de SIKAMENT – 290N*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca.  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1000>
- Martínez, A. (2012), *Evaluación del comportamiento del mortero de inyección en túneles*. [Tesis de pregrado, Universidad central de Venezuela]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Caracas.  
<http://saber.ucv.ve/handle/10872/13536?mode=full>
- Melis, M. (2011). *Proyecto y construcción de túneles y metros en suelos y rocas blandas o muy rotas*. Printed Spain.  
<https://arquitecturaviva.com/libros/apuntes-de-introduccion-al-proyecto-y-construccion-de-tuneles-y-metros-en-suelos-y-rocas-blandas-o-muy-rotas#lg=1&slide=0>
- Mena, J. (2004). *Variación en las características de fluidez en mezclas de concreto mediante la modificación de aditivo y agua para la obtención de*

*un concreto Autocompactable*. [Tesis de pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio TEC.  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/250/tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mohamed, S. (2010). Optimization of Cement Grouts Containing Silica Fume and Viscosity Modifying Admixture. *ASCE*, 22(4), 332 – 342.  
<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0000026>

Nieto, R. (2007). *Análisis comparativo de concretos con aditivo reductores de agua: Complementación utilizando el aditivo GLENIUN 3030 NS en concretos autonivelantes*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_d8ec4e5a526c3f90d4c153f51e6b1dbb](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_d8ec4e5a526c3f90d4c153f51e6b1dbb)

Otárola, D. (1995). *Estudio del mortero preparado con fines de reparación; para su aplicación en elementos estructurales*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de ingeniería]. Alicia.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_87b709d439b48c127db6c9374e8e6532/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_87b709d439b48c127db6c9374e8e6532/Details)

Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología de concreto*. Colegios de Ingenieros del Perú Consejo Nacional.

Pérez, L. (2019). *Determinación de las propiedades físico mecánicas del grout con aditivo autocompactante en la ciudad de Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.  
<https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/2995>

Perforaciones Horizontales (2017). *Ficha Técnica de la metodología de excavación Tunnel Liner*. Edición N°01.

Pinillos, L. (2015). *Túneles en macizos calcáreos Karstificados: Impacto en las obras subterráneas de los fenómenos Kársticos, su evaluación y tratamientos*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Fundación Dialnet.

[https://oa.upm.es/36261/1/Luis%20Manuel\\_Pinillos\\_Lorenzana\\_01de06.pdf](https://oa.upm.es/36261/1/Luis%20Manuel_Pinillos_Lorenzana_01de06.pdf)

Quispe, L. (1994). *Estudio del mortero fluido y concreto fluido*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_52a716a4ed3f226423d560c8a4fa2f28](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_52a716a4ed3f226423d560c8a4fa2f28)

Rivera, G. (2013). *Concreto Simple*, Universidad del Cauca.  
<https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>

Rojas, K. (2016). *Análisis comparativo del mortero seco en condiciones producidos y recomendadas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Alicia.  
[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_485a5e94eda205161a06600f98c8f479](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_485a5e94eda205161a06600f98c8f479)

Sánchez de Guzmán. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero (5ta ed.)*. Bhandar Editores.  
<https://www.ingenieriaconstruccioncolombia.com/descargas/>

Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (2020). *Norma E-070 Albañilería*.  
<https://drive.google.com/file/d/15N2ZQwZGegdoui4rrjTR6uq5bITu7uyv/view>

Sfriso, A. (2010). *Una experiencia de patología de túneles: el caso de la III Cloaca Máxima*. SAIG.  
<https://saig.org.ar/wp-content/uploads/2015/02/ART-17.pdf>

Silva, O. (sf), Mortero de relleno para mampostería. *360 en concreto*. 1(3).  
<https://360enconcreto.com/blog/detalle/mortero-relleno-para-mamposteria/>

Sonebi, M. (2010), Optimization of Cement Grouts Containing Silica Fume and Viscosity Modifying Admixture. *Revista de materiales en ingeniería civil*,

22(4).

[https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000026](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000026)

Soto, J. (2004). *Estudio de las características de los morteros y su aplicación en la región selva con cemento portland tipo I*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería Civil]. Alicia.

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI\\_bfed6865d0b1e29988e8d38d8af41d4e/Details](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UUNI_bfed6865d0b1e29988e8d38d8af41d4e/Details)

Tagle, C. (2019). *Análisis comparativo de las propiedades físico – mecánicas de un mortero patrón; y un mortero sustituyendo el peso del cemento con ceniza en porcentaje de 5%, 10% y 15% elaborado con Cunyac y Pisac – Cusco 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Andina del Cusco]. Alicia.

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI\\_169cafaab2dd4b019887329f3325e2d3](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI_169cafaab2dd4b019887329f3325e2d3)

Wang, J., Huang, H. , Xie X. & Antonio B. (2013). Void-induced liner deformation and stress redistribution. *ScienceDirect*. 40(6). 263-276.

<https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.10.008>

Yongxing Zhang, Yufeng Shi, Yiding Zhao y Junsheng Yang (2017). Damage in Concrete Lining of an Operational Tunnel. *American Society of Civil Engineers (ASCE)*. 31(4).

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001032](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001032)

Zanabria, J. & Salazar, E. (2018), *Determinación de las propiedades físicas y mecánicas del concreto líquido fino “Grout” adicionado con limaduras de acero 2%, 5% y 10% en comparación a un concreto líquido patrón convencional - Cusco 2018*. [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Cusco]. Alicia.

[https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI\\_85bfd33f605c96ec3e61cba9ace2501e](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UACI_85bfd33f605c96ec3e61cba9ace2501e)

## **ANEXOS A**

### **PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MORTEROS**

Tabla A-1.-Peso unitario del mortero en su estado fresco

N°	Dosificación Mortero	Volumen Molde (ml)	Wi (g)	Peso Unitario (g/cm <sup>3</sup> )	Peso Unitario (kg/m <sup>3</sup> )
1			807.70	2.019	
2	1 : 2 : 0%	400	808.90	2.022	2023.9
3			812.10	2.030	
4			820.00	2.050	
5	1 : 2 : 0.5%	400	813.80	2.035	2040.8
6			815.10	2.038	
7			832.20	2.081	
8	1 : 2 : 1.0%	400	833.00	2.083	2083.3
9			834.70	2.087	
10			827.40	2.069	
11	1 : 2 : 1.5%	400	831.30	2.078	2077.4
12			834.20	2.086	
13			813.30	2.033	
14	1 : 3 : 0.0%	400	815.20	2.038	2035.0
15			813.50	2.034	
16			818.80	2.047	
17	1 : 3 : 0.5%	400	832.00	2.080	2063.4
18			825.30	2.063	
19			827.90	2.070	
20	1 : 3 : 1.0%	400	834.80	2.087	2080.8
21			834.20	2.086	
22			837.70	2.094	
23	1 : 3 : 1.5%	400	837.40	2.094	2094.1
24			837.80	2.095	
25			824.30	2.061	
26	1 : 4 : 0%	400	823.50	2.059	2060.8
27			825.10	2.063	
28			826.30	2.066	
29	1 : 4 : 0.5%	400	829.90	2.075	2072.8
30			831.10	2.078	
31			827.70	2.069	
32	1 : 4 : 1.0%	400	827.70	2.069	2079.4
33			839.90	2.100	
34	1 : 4 : 1.5%	400	826.30	2.066	2064.2

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 2.- Exudación del mortero de 1:2 más la adición del aditivo.

Dosificación Mortero	Hora	V1 (ml)	V2 (ml)	Vg (ml)	Vw (ml)	Exudación	Exudación Final
1 : 2 : 0%	15:05:00		800.0	800.0		0.0%	
	15:20:00		805.0	795.0		1.3%	
	15:35:00		804.0	791.0		1.6%	
	15:50:00	800.0	804.0	788.0	19.7	2.0%	2.5%
	16:05:00		804.0	787.0		2.1%	
	17:05:00		804.0	787.0		2.1%	
	18:05:00		804.0	787.0		2.1%	
1 : 2 : 0.5%	15:40:00		805.0	805.0		0.0%	
	15:55:00		805.0	800.0		0.6%	
	16:10:00		803.0	795.0		1.0%	
	16:25:00	805.0	803.0	792.0	15.6	1.4%	1.9%
	16:40:00		803.0	790.0		1.6%	
	17:40:00		803.0	788.0		1.9%	
	18:40:00		803.0	788.0		1.9%	
1 : 2 : 1%	09:10:00		804.0	804.0		0.0%	
	09:25:00		807.0	800.0		0.9%	
	09:40:00		807.0	799.0		1.0%	
	09:55:00	804.0	805.0	794.0	11.0	1.4%	1.4%
	10:10:00		805.0	791.0		1.7%	
	11:10:00		803.0	790.0		1.6%	
	12:10:00		803.0	790.0		1.6%	
1 : 2 : 1.5%	09:10:00		808.0	808.0		0.0%	
	09:25:00		808.0	805.0		0.4%	
	09:40:00		807.0	800.0		0.9%	
	09:55:00	808.0	806.0	799.0	7.5	0.9%	0.9%
	10:10:00		805.0	798.0		0.9%	
	11:10:00		804.0	795.0		1.1%	
	12:10:00		802.0	795.0		0.9%	

(Fuente: Elaboración propia)

Donde:

- V<sub>1</sub> : Volumen de la muestra al inicio.
- V<sub>2</sub> : Volumen en la superficie superior de la capa de agua.
- V<sub>g</sub> : Volumen en la superficie superior de la lechada.
- V<sub>w</sub> : volumen de agua decantada.

Tabla A- 3.- Exudación para 1:3 con distintos porcentajes de adiciones del aditivo.

Dosificación mortero	Hora	V1 (ml)	V2 (ml)	Vg (ml)	Vw (ml)	Exudación	Exudación Final
1 : 3 : 0%	10:12:00		823.0	823.0		0.0%	
	10:27:00		822.0	814.0		1.0%	
	10:42:00		821.0	809.0		1.5%	
	10:57:00	823.0	819.0	805.0	19.5	1.7%	2.4%
	11:12:00		818.0	800.0		2.2%	
	12:12:00		818.0	800.0		2.2%	
	13:12:00		818.0	800.0		2.2%	
	10:30:00		807.0	807.0		0.0%	
1 : 3 : 0.5%	10:45:00		810.0	805.0		0.6%	
	11:00:00		810.0	800.0		1.2%	
	11:15:00	807.0	810.0	800.0	14.5	1.2%	1.8%
	11:30:00		810.0	797.0		1.6%	
	12:30:00		810.0	796.0		1.7%	
	13:30:00		810.0	796.0		1.7%	
	12:15:00		810.0	810.0		0.0%	
	12:30:00		810.0	806.0		0.5%	
1 : 3 : 1%	12:45:00		810.0	805.0		0.6%	
	13:00:00	810.0	810.0	803.0	10.0	0.9%	1.2%
	13:15:00		810.0	802.0		1.0%	
	14:15:00		809.0	800.0		1.1%	
	15:15:00		808.0	800.0		1.0%	
	12:50:00		810.0	810.0		0.0%	
	13:05:00		810.0	808.0		0.2%	
	13:20:00		809.0	805.0		0.5%	
1 : 3 : 1.5%	13:35:00	810.0	809.0	804.0	7.0	0.6%	0.9%
	13:50:00		809.0	802.0		0.9%	
	14:50:00		809.0	802.0		0.9%	
	15:50:00		809.0	802.0		0.9%	

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 4.-Exudación de 1:4 con distintos porcentajes de adiciones del aditivo.

Dosificación mortero	Hora	V1 (ml)	V2 (ml)	Vg (ml)	Vw (ml)	Exudación	Exudación Final
1 / 4 / 0%	10:45:00		810.0	810.0		0.0%	
	11:00:00		809.0	800.0		1.1%	
	11:15:00		809.0	798.0		1.4%	
	11:30:00	810.0	808.0	792.0	17.3	2.0%	2.1%
	11:45:00		807.0	790.0		2.1%	
	12:45:00		806.0	788.0		2.2%	
	13:45:00		804.0	788.0		2.0%	
	11:30:00		804.0	803.0		0.1%	
1 / 4 / 0.5%	11:45:00		804.0	800.0		0.5%	
	12:00:00		804.0	797.0		0.9%	
	12:15:00	804.0	804.0	794.0	13.5	1.2%	1.7%
	12:30:00		804.0	791.0		1.6%	
	13:30:00		804.0	790.0		1.7%	
	14:30:00		804.0	790.0		1.7%	
	12:27:00		810.0	810.0		0.0%	
	12:42:00		807.0	806.0		0.1%	
1 / 4 / 1%	12:57:00		807.0	803.0		0.5%	
	13:12:00	810.0	807.0	802.0	10.0	0.6%	1.2%
	13:27:00		806.0	800.0		0.7%	
	14:27:00		805.0	798.0		0.9%	
	15:27:00		805.0	798.0		0.9%	
	09:42:00		800.0	800.0		0.0%	
	09:57:00		802.0	800.0		0.3%	
	10:12:00		802.0	800.0		0.3%	
1 / 4 / 1.5%	10:27:00	800.0	803.0	800.0	7.2	0.4%	0.9%
	10:42:00		802.0	800.0		0.3%	
	11:42:00		800.0	792.0		1.0%	
	12:42:00		800.0	792.0		1.0%	

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 5.- Relación de ensayos a la compresión de mortero para la dosificación 1:2:0%.

N°	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 2 : 0%	05/08/22	3	08/08/22	3038.8	118.2
2	1 : 2 : 0%	05/08/22	3	08/08/22	2908.2	114.0
3	1 : 2 : 0%	05/08/22	3	08/08/22	3346.7	131.5
4	1 : 2 : 0%	05/08/22	3	08/08/22	2879.7	112.7
5	1 : 2 : 0%	05/08/22	7	12/08/22	4537.7	174.8
6	1 : 2 : 0%	05/08/22	7	12/08/22	4446.0	171.6
7	1 : 2 : 0%	05/08/22	7	12/08/22	4619.3	178.3
8	1 : 2 : 0%	05/08/22	7	12/08/22	4772.3	187.9
9	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6587.4	254.8
10	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5402.5	207.3
11	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6558.8	250.2
12	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5708.4	223.0
13	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5647.2	216.3
14	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6344.7	242.0
15	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	4886.5	189.7
16	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6334.5	244.0
17	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6622.0	259.7
18	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6206.0	237.7
19	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6728.1	261.8
20	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6091.8	236.1
21	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	4435.8	167.3
22	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5431.0	212.5
23	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5728.8	222.0
24	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6165.2	237.0
25	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6175.4	239.8
26	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5486.1	213.9
27	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6611.8	258.3
28	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6114.2	236.0
29	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6175.4	238.4
30	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5119.0	199.5
31	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5794.0	225.9
32	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6236.6	244.6
33	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5855.2	226.4
34	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5869.5	227.0
35	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6230.5	240.0
36	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6318.2	242.5
37	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	5808.3	223.3
38	1 : 2 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	6797.4	260.3

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 6.- Relación de ensayos a la compresión de mortero para la dosificación  
1:2:0.5%.

N°	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	3	08/08/22	3505.8	133.3
2	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	3	08/08/22	3677.1	141.2
3	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	3	08/08/22	2991.9	115.0
4	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	3	08/08/22	3179.5	123.4
5	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	7	12/08/22	4874.2	188.8
6	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	7	12/08/22	4976.2	192.4
7	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	7	12/08/22	5017.0	192.8
8	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	7	12/08/22	4955.8	191.3
9	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6189.7	238.9
10	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6236.6	241.2
11	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6201.9	239.4
12	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	5736.9	222.8
13	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6252.9	244.7
14	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	5210.8	202.3
15	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6144.8	237.7
16	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	7034.0	274.7
17	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	7221.6	279.8
18	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	7415.4	290.8
19	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6683.2	262.6
20	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6703.6	259.8
21	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	7158.4	280.7
22	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6913.7	264.8
23	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6434.4	247.4
24	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	7262.4	279.2
25	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6740.3	259.7
26	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6591.4	254.9
27	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6334.5	246.9
28	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6944.3	270.2
29	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6257.0	243.4
30	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6271.3	243.0
31	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6236.6	239.8
32	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6970.8	270.7
33	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6813.7	265.6
34	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6199.9	240.7
35	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6634.3	255.6
36	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	7745.8	300.7
37	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	7388.9	285.8
38	1 : 2 : 0.5%	05/08/22	28	02/09/22	6556.8	253.1

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 7.- Relación de ensayos a la compresión de mortero para la dosificación  
1:2:1.0%.

N°	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 2 : 1%	06/08/22	3	09/08/22	3954.5	153.5
2	1 : 2 : 1%	06/08/22	3	09/08/22	3334.5	130.5
3	1 : 2 : 1%	06/08/22	3	09/08/22	3742.4	147.3
4	1 : 2 : 1%	06/08/22	3	09/08/22	3985.1	154.1
5	1 : 2 : 1%	06/08/22	7	13/08/22	5465.7	211.8
6	1 : 2 : 1%	06/08/22	7	13/08/22	5414.7	211.1
7	1 : 2 : 1%	06/08/22	7	13/08/22	5384.1	212.0
8	1 : 2 : 1%	06/08/22	7	13/08/22	5567.7	216.6
9	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6505.8	252.6
10	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	5967.4	235.4
11	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	5822.6	225.6
12	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	5792.0	227.6
13	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7032.0	272.0
14	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7309.3	288.3
15	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6685.3	257.6
16	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7101.3	278.5
17	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7109.5	280.5
18	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7588.7	296.4
19	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6463.0	254.9
20	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6630.2	257.4
21	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6491.5	259.7
22	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7164.5	281.5
23	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7466.4	293.4
24	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6985.1	271.2
25	1 : 2 : 1%	05/08/22	28	02/09/22	7244.1	283.5
26	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7623.4	297.2
27	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6840.3	265.6
28	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6766.8	263.3
29	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	6609.8	264.5
30	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7698.9	300.7
31	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7168.6	276.7
32	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7170.6	275.2
33	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7758.0	300.1
34	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7274.7	293.4
35	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7268.5	281.1
36	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7423.5	289.9
37	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	7566.3	297.9
38	1 : 2 : 1%	06/08/22	28	03/09/22	5123.1	196.2

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 8.- Relación de ensayos a la compresión de mortero para la dosificación  
1:2:1.5%.

N°	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	3	09/08/22	4443.9	171.2
2	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	3	09/08/22	5072.1	196.2
3	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	3	09/08/22	4062.6	159.0
4	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	3	09/08/22	4062.6	159.6
5	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	7	13/08/22	5934.8	231.3
6	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	7	13/08/22	5843.0	227.3
7	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	7	13/08/22	5761.4	224.1
8	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	7	13/08/22	5894.0	229.3
9	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7284.9	289.1
10	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7187.0	281.3
11	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7535.7	293.7
12	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7087.0	289.3
13	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7217.6	278.6
14	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7519.4	298.4
15	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7625.4	299.0
16	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7401.1	285.1
17	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7476.6	302.4
18	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7056.4	283.5
19	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7478.6	289.8
20	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7350.1	289.4
21	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7835.5	303.6
22	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7403.1	285.2
23	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	8216.9	317.8
24	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7005.5	278.0
25	1 : 2 : 1.5%	05/08/22	28	02/09/22	7719.3	298.5
26	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7737.6	303.4
27	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7772.3	300.6
28	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7093.1	274.9
29	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	6679.1	261.4
30	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	6615.9	264.7
31	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	6546.6	255.2
32	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7372.6	286.3
33	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7025.8	276.0
34	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7578.5	297.2
35	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	6648.6	271.0
36	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7219.6	277.6
37	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7747.8	300.2
38	1 : 2 : 1.5%	06/08/22	28	03/09/22	7136.0	286.7

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 9.-Relación de ensayos a la compresión de mortero para la dosificación 1:3:0%.

Nº	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 3 : 0%	09/08/22	3	12/08/22	1855.9	71.6
2	1 : 3 : 0%	09/08/22	3	12/08/22	2157.7	82.5
3	1 : 3 : 0%	09/08/22	3	12/08/22	1711.1	66.0
4	1 : 3 : 0%	09/08/22	3	12/08/22	1915.0	73.3
5	1 : 3 : 0%	09/08/22	7	16/08/22	2730.8	105.4
6	1 : 3 : 0%	09/08/22	7	16/08/22	2855.2	110.4
7	1 : 3 : 0%	09/08/22	7	16/08/22	2688.0	103.3
8	1 : 3 : 0%	09/08/22	7	16/08/22	2977.6	114.7
9	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3583.3	138.0
10	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3630.2	140.7
11	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3819.9	149.8
12	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3467.0	132.8
13	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3375.3	131.1
14	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3580.2	141.0
15	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3381.4	132.1
16	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3705.7	143.6
17	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3424.2	132.2
18	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3481.3	136.5
19	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3628.2	141.2
20	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3579.2	140.6
21	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3966.7	149.9
22	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3797.4	144.0
23	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3648.5	138.9
24	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3699.5	143.4
25	1 : 3 : 0%	05/08/22	28	02/09/22	3648.5	140.8
26	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3564.9	138.1
27	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3620.0	137.3
28	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3766.8	143.2
29	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3403.8	132.7
30	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3473.2	133.5
31	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3071.4	119.3
32	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3356.9	128.6
33	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3983.0	152.8
34	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	4115.6	158.9
35	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3677.1	140.6
36	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3338.6	127.1
37	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3426.3	130.7
38	1 : 3 : 0%	09/08/22	28	06/09/22	3662.8	139.2

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 10.-Relación de ensayos a la compresión de mortero para la dosificación  
1:3:0.5%.

N°	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	3	12/08/22	3028.6	115.3
2	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	3	12/08/22	2906.2	111.7
3	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	3	12/08/22	2530.9	97.3
4	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	3	12/08/22	2963.3	114.2
5	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	7	16/08/22	3589.4	138.3
6	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	7	16/08/22	3630.2	139.8
7	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	7	16/08/22	3497.6	134.7
8	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	7	16/08/22	3762.8	144.7
9	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	5027.2	188.1
10	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4919.1	186.9
11	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4439.8	167.4
12	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4557.1	170.6
13	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4042.2	153.4
14	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4358.3	164.7
15	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	2849.1	106.8
16	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4705.0	177.4
17	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4837.5	183.5
18	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4923.2	185.7
19	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	5035.4	187.1
20	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4778.4	181.2
21	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4860.0	184.3
22	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4231.8	161.5
23	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4376.6	167.0
24	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4395.0	167.7
25	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4719.3	174.3
26	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4911.0	187.4
27	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4584.6	176.6
28	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4776.4	180.8
29	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	3976.9	150.6
30	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4727.4	177.9
31	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4647.9	179.1
32	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4509.2	169.4
33	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4380.7	168.4
34	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4839.6	182.5
35	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4574.5	175.2
36	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4384.8	165.4
37	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4407.2	167.2
38	1 : 3 : 0.5%	09/08/22	28	06/09/22	4837.5	183.1

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 11.- Relación de ensayos a la compresión de mortero 1:3:1.0%.

Nº	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 3 : 1%	24/08/22	3	27/08/22	3458.9	134.8
2	1 : 3 : 1%	24/08/22	3	27/08/22	3279.4	125.8
3	1 : 3 : 1%	24/08/22	3	27/08/22	2969.4	115.3
4	1 : 3 : 1%	24/08/22	3	27/08/22	3191.7	123.0
5	1 : 3 : 1%	24/08/22	7	31/08/22	3936.1	153.7
6	1 : 3 : 1%	24/08/22	7	31/08/22	3864.7	148.6
7	1 : 3 : 1%	24/08/22	7	31/08/22	3997.3	154.6
8	1 : 3 : 1%	24/08/22	7	31/08/22	4079.9	156.3
9	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5337.2	206.8
10	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5167.9	199.1
11	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5365.8	206.7
12	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5614.6	218.9
13	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5749.2	222.8
14	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5145.5	194.8
15	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	4855.9	179.6
16	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5265.8	206.5
17	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5198.5	196.0
18	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5579.9	218.8
19	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5066.0	200.2
20	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5773.6	222.4
21	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5524.8	212.5
22	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5102.7	194.7
23	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5296.4	206.1
24	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5402.5	211.0
25	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	4929.3	190.3
26	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5190.4	200.0
27	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5908.2	231.7
28	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5818.5	225.5
29	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5790.0	220.9
30	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	4762.1	181.7
31	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5514.6	210.4
32	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5488.1	214.8
33	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5435.1	204.9
34	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5955.1	222.5
35	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5651.3	216.5
36	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5059.8	194.2
37	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5520.7	210.6
38	1 : 3 : 1%	24/08/22	28	21/09/22	5422.9	208.9

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 12.- Relación de ensayos a la compresión de mortero 1:3:1.5%.

N°	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm²)
1	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	3	27/08/22	2928.6	111.7
2	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	3	27/08/22	2838.9	109.2
3	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	3	27/08/22	3087.7	119.4
4	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	3	27/08/22	1937.5	73.3
5	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	7	31/08/22	4211.4	161.0
6	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	7	31/08/22	4129.9	159.1
7	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	7	31/08/22	4374.6	167.2
8	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	7	31/08/22	4333.8	165.3
1	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5847.1	229.8
2	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5761.4	219.8
3	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	6332.4	246.9
4	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5418.8	212.9
5	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5643.1	218.7
6	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5392.3	212.3
7	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	4931.4	192.2
8	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	6254.9	240.1
9	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5404.5	211.5
10	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	6189.7	241.3
11	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5712.5	222.7
12	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	6220.3	243.4
13	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5055.8	195.6
14	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5229.1	204.3
15	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5433.1	209.0
16	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5800.1	220.5
17	1 : 3 : 1.5%	05/08/22	28	02/09/22	5979.6	234.0
18	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5802.2	226.7
19	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5843.0	228.2
20	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	4672.3	181.1
21	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5159.8	199.2
22	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5512.6	208.3
23	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	4890.6	190.3
24	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5610.5	215.3
25	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5790.0	224.8
26	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5090.4	199.6
27	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	6206.0	241.0
28	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5763.4	223.8
29	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	5824.6	227.1
30	1 : 3 : 1.5%	24/08/22	28	21/09/22	6018.4	233.7

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 13.- Relación de ensayos a la compresión de mortero 1:4:0%.

N°	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 4 : 0%	26/08/22	3	29/08/22	1101.3	42.2
2	1 : 4 : 0%	26/08/22	3	29/08/22	966.7	37.2
3	1 : 4 : 0%	26/08/22	3	29/08/22	1356.2	51.8
4	1 : 4 : 0%	26/08/22	3	29/08/22	1282.8	49.3
5	1 : 4 : 0%	26/08/22	7	02/09/22	1164.5	45.0
6	1 : 4 : 0%	26/08/22	7	02/09/22	1456.2	55.4
7	1 : 4 : 0%	26/08/22	7	02/09/22	1162.5	43.9
8	1 : 4 : 0%	26/08/22	7	02/09/22	1735.6	66.9
9	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2380.0	90.1
10	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2553.4	97.2
11	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2553.4	96.1
12	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2300.5	87.6
13	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2400.4	92.8
14	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2418.8	94.1
15	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2351.5	92.4
16	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2559.5	98.6
17	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2567.6	99.9
18	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2608.4	101.5
19	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2384.1	92.4
20	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2669.6	101.6
21	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2296.4	87.5
22	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2347.4	92.1
23	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2367.8	91.2
24	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2445.3	94.0
25	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2378.0	91.1
26	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2480.0	94.3
27	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2565.6	100.0
28	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2431.0	95.1
29	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2355.5	92.2
30	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2355.5	91.6
31	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2361.7	90.8
32	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	1937.5	75.2
33	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2408.6	94.1
34	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2537.1	97.9
35	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2090.4	82.6
36	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2416.7	91.7
37	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2547.3	98.1
38	1 : 4 : 0%	26/08/22	28	23/09/22	2494.2	95.9

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 14.- Relación de ensayos a la compresión del mortero de 1:4:0.5%.

Nº	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	3	29/08/22	1321.6	50.9
2	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	3	29/08/22	1635.6	63.8
3	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	3	29/08/22	1427.6	55.3
4	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	3	29/08/22	1460.2	56.8
5	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	7	02/09/22	2090.4	80.9
6	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	7	02/09/22	1862.0	70.8
7	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	7	02/09/22	1784.5	68.3
8	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	7	02/09/22	1876.3	72.3
9	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3412.0	130.5
10	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3077.5	119.3
11	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3108.1	115.7
12	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3279.4	124.4
13	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3452.8	131.5
14	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3308.0	123.6
15	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3232.5	123.1
16	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3301.8	124.6
17	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3128.5	117.1
18	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3142.8	121.3
19	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3577.2	133.4
20	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3442.6	129.1
21	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3238.6	120.1
22	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3136.7	118.1
23	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3083.6	115.9
24	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3083.6	115.2
25	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3102.0	116.3
26	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3140.7	117.3
27	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3214.1	120.3
28	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3348.8	127.0
29	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3212.1	122.6
30	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3308.0	126.2
31	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3505.8	132.2
32	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3295.7	127.5
33	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3303.9	124.1
34	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	2879.7	106.2
35	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3201.9	119.6
36	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3493.6	133.0
37	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3513.9	132.5
38	1 : 4 : 0.5%	26/08/22	28	23/09/22	3314.1	124.5

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 15.- Relación de ensayos a la compresión de mortero del 1:4:1.0%.

Nº	Identificación mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 4 : 1%	06/09/22	3	09/09/22	1631.6	63.5
2	1 : 4 : 1%	06/09/22	3	09/09/22	1448.0	55.8
3	1 : 4 : 1%	06/09/22	3	09/09/22	1550.0	60.1
4	1 : 4 : 1%	06/09/22	3	09/09/22	1509.2	58.3
5	1 : 4 : 1%	06/09/22	7	13/09/22	2161.8	83.9
6	1 : 4 : 1%	06/09/22	7	13/09/22	2192.4	85.3
7	1 : 4 : 1%	06/09/22	7	13/09/22	2253.6	87.0
8	1 : 4 : 1%	06/09/22	7	13/09/22	2131.2	82.6
9	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3607.8	138.7
10	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3756.6	144.2
11	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3573.1	138.5
12	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3509.9	133.7
13	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3734.2	142.5
14	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3257.0	123.8
15	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3589.4	133.8
16	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3524.1	133.9
17	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3432.4	129.0
18	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3777.0	146.7
19	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3683.2	139.5
20	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3483.4	135.3
21	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3591.4	138.9
22	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3550.7	136.8
23	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3699.5	143.4
24	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3416.1	134.0
25	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3683.2	136.3
26	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3624.1	142.4
27	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3548.6	136.7
28	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3285.5	128.6
29	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3668.9	137.8
30	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3540.5	135.6
31	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3371.2	129.9
32	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3267.2	124.2
33	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3463.0	131.6
34	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3518.0	134.0
35	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3460.9	133.9
36	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3403.8	131.4
37	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3577.2	139.2
38	1 : 4 : 1%	06/09/22	28	04/10/22	3642.4	136.6

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 16.- Relación de ensayos a la compresión de mortero 1:4:1.5%.

Nº	Identificación de mortero	Fecha de obtención	Días	Fecha de ensayo	Carga Máxima (kg)	Resistencia a compresión (kg/cm²)
1	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	3	09/09/22	1662.1	65.8
2	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	3	09/09/22	1772.3	69.8
3	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	3	09/09/22	1825.3	71.9
4	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	3	09/09/22	1829.4	72.6
5	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	7	13/09/22	2422.9	93.3
6	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	7	13/09/22	2322.9	91.3
7	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	7	13/09/22	2233.2	87.4
8	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	7	13/09/22	2396.3	94.0
9	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4401.1	162.3
10	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3946.3	146.6
11	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4301.2	158.9
12	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3677.1	137.3
13	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3732.2	142.7
14	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3970.8	150.6
15	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3644.5	136.9
16	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3530.3	132.1
17	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3664.9	139.0
18	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3807.6	147.6
19	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3722.0	139.8
20	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3874.9	143.4
21	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3978.9	149.5
22	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3744.4	142.9
23	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4417.4	164.7
24	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4189.0	157.1
25	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4193.1	158.1
26	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4095.2	152.1
27	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4605.0	173.3
28	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4288.9	156.8
29	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3972.8	147.6
30	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3842.3	144.7
31	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3489.5	130.4
32	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3952.4	148.8
33	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4288.9	165.2
34	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4156.4	156.7
35	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3862.7	144.3
36	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	3654.7	137.3
37	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4319.5	166.7
38	1 : 4 : 1.5%	06/09/22	28	04/10/22	4390.9	164.4

(fuente: Elaboración propia)

Tabla A- 17.- Criterio de selección de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:0%

N°	Identificación mortero	días	F'ci (kg/cm <sup>2</sup> )	F'ci>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'ci-F'c <=d2s% kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 2 : 0%	28	254.76	254.8	254.8
2	1 : 2 : 0%	28	207.30	207.3	-
3	1 : 2 : 0%	28	250.20	250.2	250.2
4	1 : 2 : 0%	28	222.95	223.0	223.0
5	1 : 2 : 0%	28	216.27	216.3	216.3
6	1 : 2 : 0%	28	242.03	242.0	242.0
7	1 : 2 : 0%	28	189.73	-	-
8	1 : 2 : 0%	28	244.02	244.0	244.0
9	1 : 2 : 0%	28	259.67	259.7	259.7
10	1 : 2 : 0%	28	237.68	237.7	237.7
11	1 : 2 : 0%	28	261.75	261.8	261.8
12	1 : 2 : 0%	28	236.06	236.1	236.1
13	1 : 2 : 0%	28	167.25	-	-
14	1 : 2 : 0%	28	212.54	212.5	212.5
15	1 : 2 : 0%	28	222.00	222.0	222.0
16	1 : 2 : 0%	28	237.04	237.0	237.0
17	1 : 2 : 0%	28	239.77	239.8	239.8
18	1 : 2 : 0%	28	213.85	213.9	213.9
19	1 : 2 : 0%	28	258.25	258.3	258.3
20	1 : 2 : 0%	28	236.02	236.0	236.0
21	1 : 2 : 0%	28	238.36	238.4	238.4
22	1 : 2 : 0%	28	199.54	199.5	-
23	1 : 2 : 0%	28	225.85	225.9	225.9
24	1 : 2 : 0%	28	244.55	244.6	244.6
25	1 : 2 : 0%	28	226.44	226.4	226.4
26	1 : 2 : 0%	28	227.00	227.0	227.0
27	1 : 2 : 0%	28	240.02	240.0	240.0
28	1 : 2 : 0%	28	242.47	242.5	242.5
29	1 : 2 : 0%	28	223.31	223.3	223.3
30	1 : 2 : 0%	28	260.34	260.3	260.3

(fuente: Elaboración propia)

Donde:

$f'_{ci}$  : Resistencia a compresión individual

$f'_c$  : Resistencia compresión promedio

$R_s$  : Rango superior

$R_i$  : Rango inferior

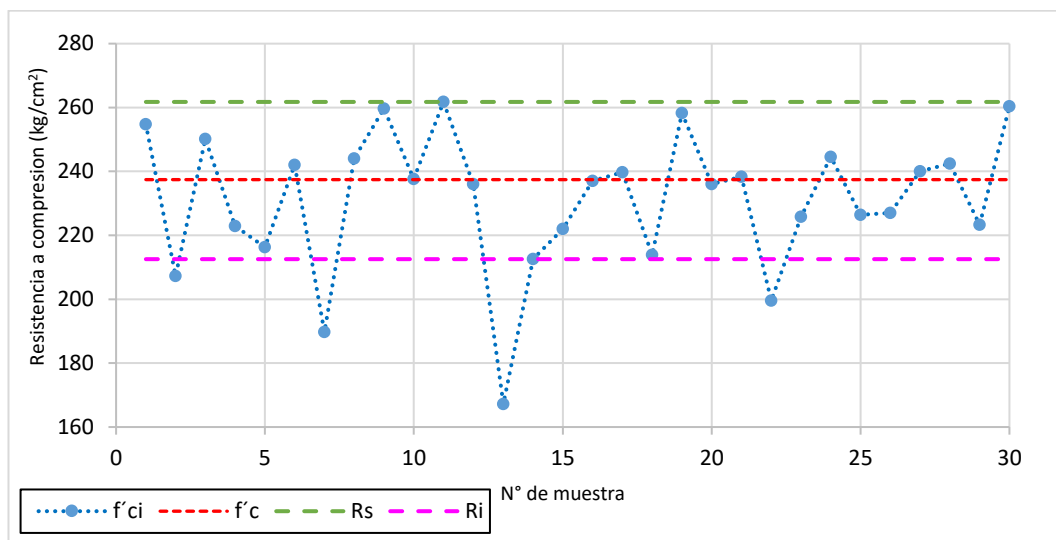


Figura A-1.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:2:0%.

Tabla A-18.-Criterio de selección de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:0.5%

N°	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 2 : 0.5%	28	238.91	238.9	238.9
2	1 : 2 : 0.5%	28	241.19	241.2	241.2
3	1 : 2 : 0.5%	28	239.39	239.4	239.4
4	1 : 2 : 0.5%	28	222.75	222.8	-
5	1 : 2 : 0.5%	28	244.71	244.7	244.7
6	1 : 2 : 0.5%	28	202.32	-	-
7	1 : 2 : 0.5%	28	237.65	237.7	237.7
8	1 : 2 : 0.5%	28	274.73	274.7	274.7
9	1 : 2 : 0.5%	28	279.84	279.8	279.8
10	1 : 2 : 0.5%	28	290.78	290.8	290.8
11	1 : 2 : 0.5%	28	262.59	262.6	261.8
12	1 : 2 : 0.5%	28	259.77	259.8	259.8
13	1 : 2 : 0.5%	28	280.69	280.7	280.7
14	1 : 2 : 0.5%	28	264.77	264.8	264.8
15	1 : 2 : 0.5%	28	247.40	247.4	247.4
16	1 : 2 : 0.5%	28	279.22	279.2	279.2
17	1 : 2 : 0.5%	28	259.66	259.7	259.7
18	1 : 2 : 0.5%	28	254.92	254.9	254.9
19	1 : 2 : 0.5%	28	246.92	246.9	246.9
20	1 : 2 : 0.5%	28	270.16	270.2	270.2
21	1 : 2 : 0.5%	28	243.44	243.4	243.4
22	1 : 2 : 0.5%	28	243.01	243.0	243.0
23	1 : 2 : 0.5%	28	239.78	239.8	239.8
24	1 : 2 : 0.5%	28	270.65	270.7	270.7
25	1 : 2 : 0.5%	28	265.60	265.6	265.6
26	1 : 2 : 0.5%	28	240.72	240.7	240.7
27	1 : 2 : 0.5%	28	255.57	255.6	255.6
28	1 : 2 : 0.5%	28	300.74	300.7	-
29	1 : 2 : 0.5%	28	285.77	285.8	285.8
30	1 : 2 : 0.5%	28	253.08	253.1	253.1

(fuente: Elaboración propia)

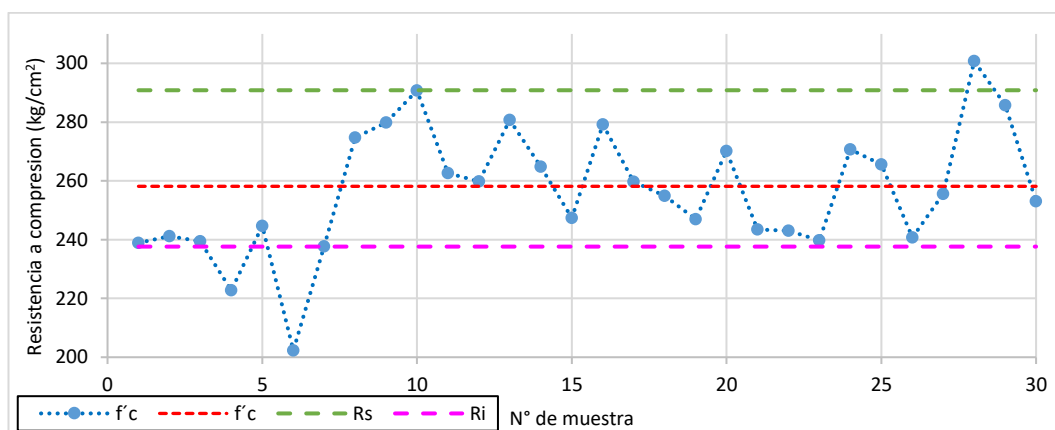


Figura A- 2.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:2:0.5%.

Tabla A- 19.-Criterio de selección de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:1%

N°	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 2 : 1%	28	252.60	252.6	252.6
2	1 : 2 : 1%	28	235.40	-	-
3	1 : 2 : 1%	28	225.63	-	-
4	1 : 2 : 1%	28	227.57	-	-
5	1 : 2 : 1%	28	271.95	272.0	272.0
6	1 : 2 : 1%	28	288.33	288.3	288.3
7	1 : 2 : 1%	28	257.56	257.6	257.6
8	1 : 2 : 1%	28	278.46	278.5	278.5
9	1 : 2 : 1%	28	280.45	280.5	280.5
10	1 : 2 : 1%	28	296.41	296.4	290.8
11	1 : 2 : 1%	28	254.94	254.9	261.8
12	1 : 2 : 1%	28	257.43	257.4	257.4
13	1 : 2 : 1%	28	259.70	259.7	259.7
14	1 : 2 : 1%	28	281.50	281.5	281.5
15	1 : 2 : 1%	28	293.36	293.4	293.4
16	1 : 2 : 1%	28	271.21	271.2	271.2
17	1 : 2 : 1%	28	283.50	283.5	283.5
18	1 : 2 : 1%	28	297.16	297.2	297.2
19	1 : 2 : 1%	28	265.58	265.6	265.6
20	1 : 2 : 1%	28	263.28	263.3	263.3
21	1 : 2 : 1%	28	264.46	264.5	264.5
22	1 : 2 : 1%	28	300.70	300.7	300.7
23	1 : 2 : 1%	28	276.69	276.7	276.7
24	1 : 2 : 1%	28	275.16	275.2	275.2
25	1 : 2 : 1%	28	300.06	300.1	300.1
26	1 : 2 : 1%	28	293.36	293.4	293.4
27	1 : 2 : 1%	28	281.11	281.1	281.1
28	1 : 2 : 1%	28	289.94	289.9	289.9
29	1 : 2 : 1%	28	297.91	297.9	297.9
30	1 : 2 : 1%	28	196.20	-	-

(Fuente: Elaboración Propia)

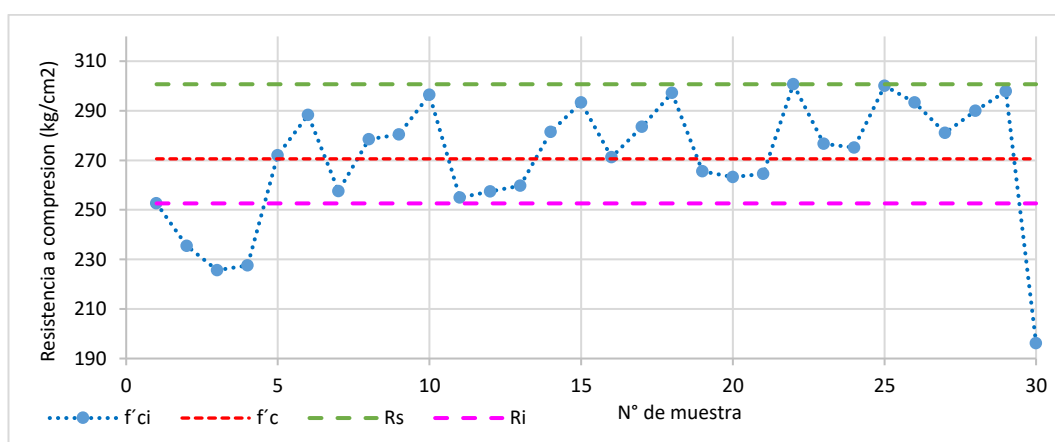


Figura A-3.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:2:1.0%.

Tabla A-20.- Criterio de selección de las roturas a los 28 días del mortero 1:2:1.5%.

N°	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 2 : 1.5%	28	289.11	289.1	289.1
2	1 : 2 : 1.5%	28	281.26	281.3	281.3
3	1 : 2 : 1.5%	28	293.74	293.7	293.7
4	1 : 2 : 1.5%	28	289.27	289.3	289.3
5	1 : 2 : 1.5%	28	278.60	278.6	278.6
6	1 : 2 : 1.5%	28	298.39	298.4	298.4
7	1 : 2 : 1.5%	28	299.04	299.0	299.0
8	1 : 2 : 1.5%	28	285.11	285.1	285.1
9	1 : 2 : 1.5%	28	302.37	302.4	302.4
10	1 : 2 : 1.5%	28	283.45	283.5	283.5
11	1 : 2 : 1.5%	28	289.80	289.8	289.8
12	1 : 2 : 1.5%	28	289.37	289.4	289.4
13	1 : 2 : 1.5%	28	303.63	303.6	303.6
14	1 : 2 : 1.5%	28	285.19	285.2	285.2
15	1 : 2 : 1.5%	28	317.78	317.8	317.8
16	1 : 2 : 1.5%	28	278.00	278.0	278.0
17	1 : 2 : 1.5%	28	298.53	298.5	298.5
18	1 : 2 : 1.5%	28	303.44	303.4	303.4
19	1 : 2 : 1.5%	28	300.59	300.6	300.6
20	1 : 2 : 1.5%	28	274.86	274.9	274.9
21	1 : 2 : 1.5%	28	261.39	261.4	261.4
22	1 : 2 : 1.5%	28	264.74	264.7	264.7
23	1 : 2 : 1.5%	28	255.20	255.2	-
24	1 : 2 : 1.5%	28	286.26	286.3	286.3
25	1 : 2 : 1.5%	28	276.04	276.0	276.0
26	1 : 2 : 1.5%	28	297.20	297.2	297.2
27	1 : 2 : 1.5%	28	270.97	271.0	271.0
28	1 : 2 : 1.5%	28	277.57	277.6	277.6
29	1 : 2 : 1.5%	28	300.23	300.2	300.2
30	1 : 2 : 1.5%	28	286.68	286.7	286.7

(fuente: Elaboración propia)

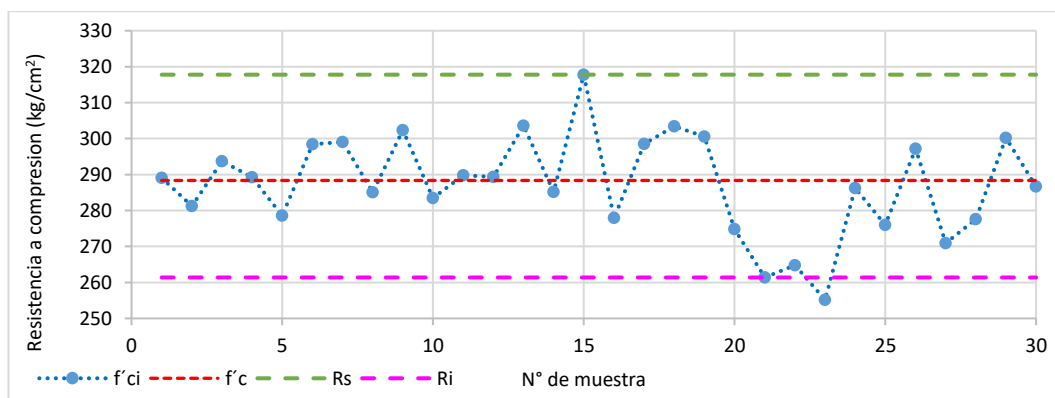


Figura A- 4.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:2:1.5%.

Tabla A- 21.-Criterio de selección de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:0%

Nº	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 3 : 0%	28	138.04	138.0	138.0
2	1 : 3 : 0%	28	140.67	140.7	140.7
3	1 : 3 : 0%	28	149.79	149.8	149.8
4	1 : 3 : 0%	28	132.78	132.8	132.8
5	1 : 3 : 0%	28	131.05	131.1	131.1
6	1 : 3 : 0%	28	140.96	141.0	141.0
7	1 : 3 : 0%	28	132.07	132.1	132.1
8	1 : 3 : 0%	28	143.59	143.6	143.6
9	1 : 3 : 0%	28	132.18	132.2	132.2
10	1 : 3 : 0%	28	136.51	136.5	136.5
11	1 : 3 : 0%	28	141.15	141.2	141.2
12	1 : 3 : 0%	28	140.63	140.6	140.6
13	1 : 3 : 0%	28	149.86	149.9	149.9
14	1 : 3 : 0%	28	144.02	144.0	144.0
15	1 : 3 : 0%	28	138.91	138.9	138.9
16	1 : 3 : 0%	28	143.37	143.4	143.4
17	1 : 3 : 0%	28	140.83	140.8	140.8
18	1 : 3 : 0%	28	138.14	138.1	138.1
19	1 : 3 : 0%	28	137.31	137.3	137.3
20	1 : 3 : 0%	28	143.16	143.2	143.2
21	1 : 3 : 0%	28	132.68	132.7	132.7
22	1 : 3 : 0%	28	133.54	133.5	133.5
23	1 : 3 : 0%	28	119.28	119.3	-
24	1 : 3 : 0%	28	128.57	128.6	128.6
25	1 : 3 : 0%	28	152.84	152.8	152.8
26	1 : 3 : 0%	28	158.86	158.9	-
27	1 : 3 : 0%	28	140.56	140.6	140.6
28	1 : 3 : 0%	28	127.11	127.1	127.1
29	1 : 3 : 0%	28	130.70	130.7	130.7
30	1 : 3 : 0%	28	139.19	139.2	139.2

(fuente: elaboración propia)

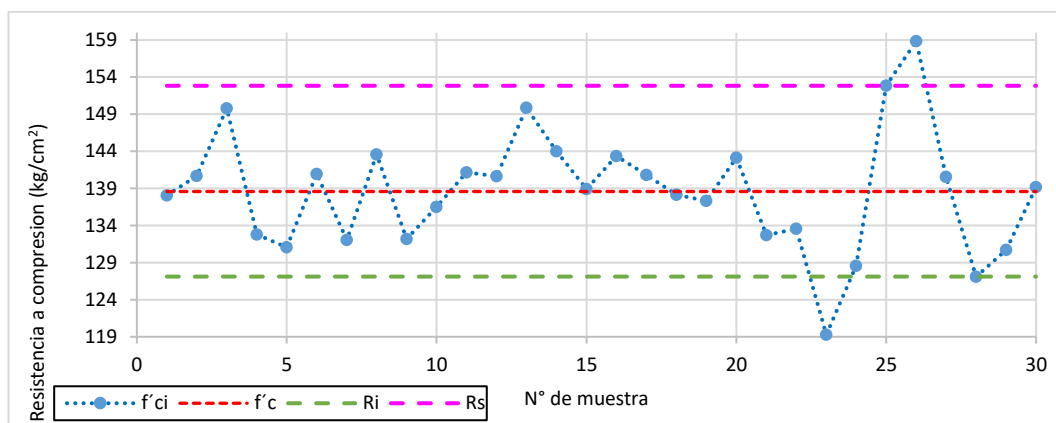


Figura A- 5.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:3:0.0%.

Tabla A- 22.-Criterio de selección de las roturas a los 28 días del mortero 1:3:0.5%

N°	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 3 : 0.5%	28	188.12	188.1	188.1
2	1 : 3 : 0.5%	28	186.94	186.9	186.9
3	1 : 3 : 0.5%	28	167.41	167.4	167.4
4	1 : 3 : 0.5%	28	170.57	170.6	170.6
5	1 : 3 : 0.5%	28	153.35	153.4	153.4
6	1 : 3 : 0.5%	28	164.70	164.7	164.7
7	1 : 3 : 0.5%	28	183.32	183.3	183.3
8	1 : 3 : 0.5%	28	177.43	177.4	177.4
9	1 : 3 : 0.5%	28	183.51	183.5	183.5
10	1 : 3 : 0.5%	28	185.68	185.7	185.7
11	1 : 3 : 0.5%	28	187.05	187.1	187.1
12	1 : 3 : 0.5%	28	181.24	181.2	181.2
13	1 : 3 : 0.5%	28	184.34	184.3	184.3
14	1 : 3 : 0.5%	28	161.45	161.5	161.5
15	1 : 3 : 0.5%	28	166.97	167.0	167.0
16	1 : 3 : 0.5%	28	167.67	167.7	167.7
17	1 : 3 : 0.5%	28	174.33	174.3	174.3
18	1 : 3 : 0.5%	28	187.38	187.4	187.4
19	1 : 3 : 0.5%	28	176.62	176.6	176.6
20	1 : 3 : 0.5%	28	180.81	180.8	180.8
21	1 : 3 : 0.5%	28	150.55	150.6	150.6
22	1 : 3 : 0.5%	28	177.94	177.9	177.9
23	1 : 3 : 0.5%	28	179.05	179.1	179.1
24	1 : 3 : 0.5%	28	169.41	169.4	169.4
25	1 : 3 : 0.5%	28	168.43	168.4	168.4
26	1 : 3 : 0.5%	28	182.54	182.5	182.5
27	1 : 3 : 0.5%	28	175.19	175.2	175.2
28	1 : 3 : 0.5%	28	165.36	165.4	165.4
29	1 : 3 : 0.5%	28	167.17	167.2	167.2
30	1 : 3 : 0.5%	28	183.12	183.1	183.1

(fuente: Elaboración propia)

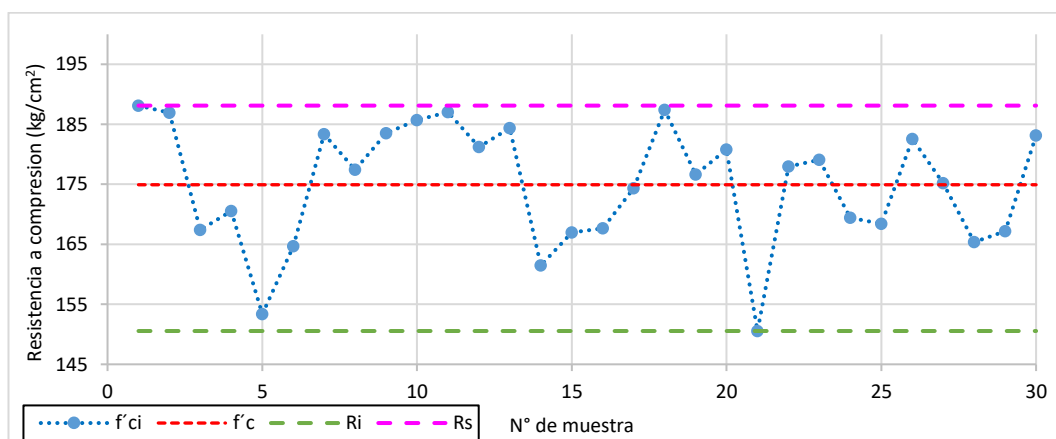


Figura A- 6.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:3:0.5%.

Tabla A- 23.- Criterio de selección de las roturas a los 28 días de la dosificación 1:3:1%

N°	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 3 : 1%	28	206.83	206.8	206.8
2	1 : 3 : 1%	28	199.10	199.1	199.1
3	1 : 3 : 1%	28	206.71	206.7	206.7
4	1 : 3 : 1%	28	218.86	218.9	218.9
5	1 : 3 : 1%	28	222.78	222.8	222.8
6	1 : 3 : 1%	28	194.76	194.8	194.8
7	1 : 3 : 1%	28	179.58	179.6	-
8	1 : 3 : 1%	28	206.50	206.5	206.5
9	1 : 3 : 1%	28	196.01	196.0	196.0
10	1 : 3 : 1%	28	218.80	218.8	218.8
11	1 : 3 : 1%	28	200.24	200.2	200.2
12	1 : 3 : 1%	28	222.44	222.4	222.4
13	1 : 3 : 1%	28	212.46	212.5	212.5
14	1 : 3 : 1%	28	194.65	194.7	194.7
15	1 : 3 : 1%	28	206.05	206.1	206.1
16	1 : 3 : 1%	28	211.03	211.0	211.0
17	1 : 3 : 1%	28	190.28	190.3	190.3
18	1 : 3 : 1%	28	199.95	200.0	200.0
19	1 : 3 : 1%	28	231.70	231.7	-
20	1 : 3 : 1%	28	225.47	225.5	225.5
21	1 : 3 : 1%	28	220.92	220.9	220.9
22	1 : 3 : 1%	28	181.66	181.7	181.7
23	1 : 3 : 1%	28	210.38	210.4	210.4
24	1 : 3 : 1%	28	214.78	214.8	214.8
25	1 : 3 : 1%	28	204.94	204.9	204.9
26	1 : 3 : 1%	28	222.50	222.5	222.5
27	1 : 3 : 1%	28	216.48	216.5	216.5
28	1 : 3 : 1%	28	194.17	194.2	194.2
29	1 : 3 : 1%	28	210.63	210.6	210.6
30	1 : 3 : 1%	28	208.91	208.9	208.9

(fuente: Elaboración propia)

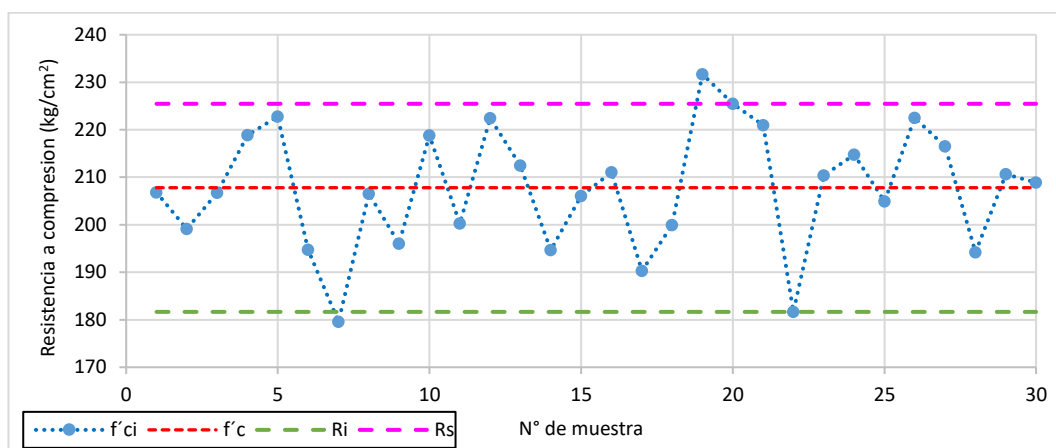


Figura A- 7.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:3:1.0%%.

Tabla A- 24.- Criterio de selección de las roturas a los 28 días de la dosificación 1:3:1.5%

N°	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 3 : 1.5%	28	229.75	229.8	229.8
2	1 : 3 : 1.5%	28	219.78	219.8	219.8
3	1 : 3 : 1.5%	28	246.88	246.9	246.9
4	1 : 3 : 1.5%	28	212.92	212.9	212.9
5	1 : 3 : 1.5%	28	218.70	218.7	218.7
6	1 : 3 : 1.5%	28	212.28	212.3	212.3
7	1 : 3 : 1.5%	28	192.23	192.2	-
8	1 : 3 : 1.5%	28	240.05	240.1	240.1
9	1 : 3 : 1.5%	28	211.51	211.5	211.5
10	1 : 3 : 1.5%	28	241.31	241.3	241.3
11	1 : 3 : 1.5%	28	222.68	222.7	222.7
12	1 : 3 : 1.5%	28	243.43	243.4	243.4
13	1 : 3 : 1.5%	28	195.55	195.6	-
14	1 : 3 : 1.5%	28	204.25	204.3	204.3
15	1 : 3 : 1.5%	28	208.95	209.0	209.0
16	1 : 3 : 1.5%	28	220.48	220.5	220.5
17	1 : 3 : 1.5%	28	234.01	234.0	234.0
18	1 : 3 : 1.5%	28	226.65	226.7	226.7
19	1 : 3 : 1.5%	28	228.21	228.2	228.2
20	1 : 3 : 1.5%	28	181.06	-	-
21	1 : 3 : 1.5%	28	199.18	199.2	199.2
22	1 : 3 : 1.5%	28	208.31	208.3	208.3
23	1 : 3 : 1.5%	28	190.26	190.3	-
24	1 : 3 : 1.5%	28	215.34	215.3	215.3
25	1 : 3 : 1.5%	28	224.82	224.8	224.8
26	1 : 3 : 1.5%	28	199.62	199.6	199.6
27	1 : 3 : 1.5%	28	240.98	241.0	241.0
28	1 : 3 : 1.5%	28	223.78	223.8	223.8
29	1 : 3 : 1.5%	28	227.08	227.1	227.1
30	1 : 3 : 1.5%	28	233.69	233.7	233.7

(fuente: Elaboración propia)

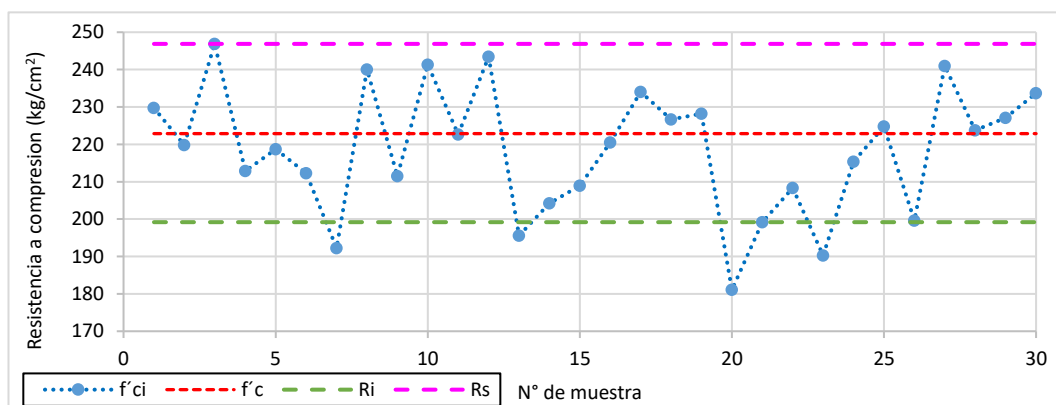


Figura A- 8.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:3:1.5%.

Tabla A- 25.- Criterio de selección de las roturas a los 28 días de la dosificación 1:4:0%

N°	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 4 : 0%	28	90.11	90.1	90.1
2	1 : 4 : 0%	28	97.23	97.2	97.2
3	1 : 4 : 0%	28	96.11	96.1	96.1
4	1 : 4 : 0%	28	87.60	87.6	87.6
5	1 : 4 : 0%	28	92.84	92.8	92.8
6	1 : 4 : 0%	28	94.10	94.1	94.1
7	1 : 4 : 0%	28	92.39	92.4	92.4
8	1 : 4 : 0%	28	98.61	98.6	98.6
9	1 : 4 : 0%	28	99.89	99.9	99.9
10	1 : 4 : 0%	28	101.48	101.5	101.5
11	1 : 4 : 0%	28	92.39	92.4	92.4
12	1 : 4 : 0%	28	101.64	101.6	101.6
13	1 : 4 : 0%	28	87.45	87.5	87.5
14	1 : 4 : 0%	28	92.05	92.1	92.1
15	1 : 4 : 0%	28	91.21	91.2	91.2
16	1 : 4 : 0%	28	94.02	94.0	94.0
17	1 : 4 : 0%	28	91.07	91.1	91.1
18	1 : 4 : 0%	28	94.26	94.3	94.3
19	1 : 4 : 0%	28	100.01	100.0	100.0
20	1 : 4 : 0%	28	95.14	95.1	95.1
21	1 : 4 : 0%	28	92.19	92.2	92.2
22	1 : 4 : 0%	28	91.64	91.6	91.6
23	1 : 4 : 0%	28	90.80	90.8	90.8
24	1 : 4 : 0%	28	75.23	75.2	-
25	1 : 4 : 0%	28	94.07	94.1	94.1
26	1 : 4 : 0%	28	97.93	97.9	97.9
27	1 : 4 : 0%	28	82.62	82.6	82.6
28	1 : 4 : 0%	28	91.67	91.7	91.7
29	1 : 4 : 0%	28	98.14	98.1	98.1
30	1 : 4 : 0%	28	95.89	95.9	95.9

(fuente: Elaboración propia)

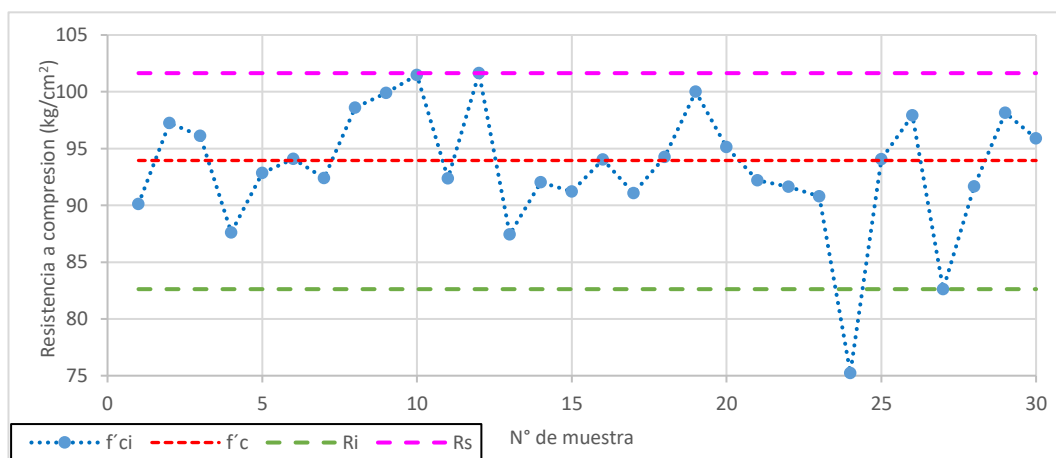


Figura A- 9.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:4:0.0%.

Tabla A- 26.- Criterio de selección de las roturas a los 28 días de la dosificación 1:4:0.5%

Nº	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 4 : 0.5%	28	130.45	130.5	130.5
2	1 : 4 : 0.5%	28	119.26	119.3	119.3
3	1 : 4 : 0.5%	28	115.66	115.7	115.7
4	1 : 4 : 0.5%	28	124.41	124.4	124.4
5	1 : 4 : 0.5%	28	131.51	131.5	131.5
6	1 : 4 : 0.5%	28	123.59	123.6	123.6
7	1 : 4 : 0.5%	28	123.10	123.1	123.1
8	1 : 4 : 0.5%	28	124.60	124.6	124.6
9	1 : 4 : 0.5%	28	117.14	117.1	117.1
10	1 : 4 : 0.5%	28	121.32	121.3	121.3
11	1 : 4 : 0.5%	28	133.35	133.4	133.4
12	1 : 4 : 0.5%	28	129.13	129.1	129.1
13	1 : 4 : 0.5%	28	120.12	120.1	120.1
14	1 : 4 : 0.5%	28	118.10	118.1	118.1
15	1 : 4 : 0.5%	28	115.88	115.9	115.9
16	1 : 4 : 0.5%	28	115.20	115.2	115.2
17	1 : 4 : 0.5%	28	116.33	116.3	116.3
18	1 : 4 : 0.5%	28	117.32	117.3	117.3
19	1 : 4 : 0.5%	28	120.30	120.3	120.3
20	1 : 4 : 0.5%	28	127.04	127.0	127.0
21	1 : 4 : 0.5%	28	122.56	122.6	122.6
22	1 : 4 : 0.5%	28	126.22	126.2	126.2
23	1 : 4 : 0.5%	28	132.19	132.2	132.2
24	1 : 4 : 0.5%	28	127.47	127.5	127.5
25	1 : 4 : 0.5%	28	124.13	124.1	124.1
26	1 : 4 : 0.5%	28	106.18	106.2	-
27	1 : 4 : 0.5%	28	119.64	119.6	119.6
28	1 : 4 : 0.5%	28	133.04	133.0	133.0
29	1 : 4 : 0.5%	28	132.53	132.5	132.5
30	1 : 4 : 0.5%	28	124.50	124.5	124.5

(fuente: Elaboración propia)

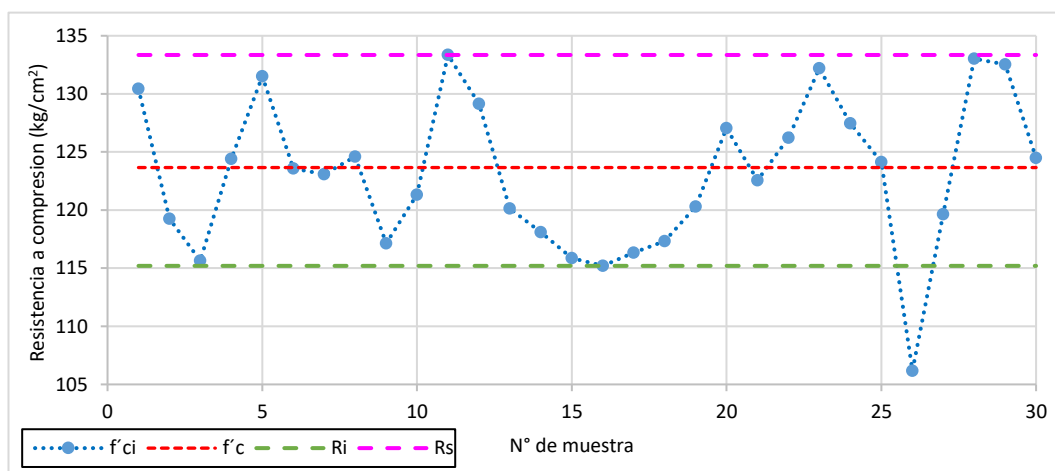


Figura A- 10.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:4:0.5%.

Tabla A- 27.- Criterio de selección de las roturas a los 28 días de la dosificación 1:4:1.0%

Nº	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 4 : 1%	28	138.71	138.7	138.7
2	1 : 4 : 1%	28	144.15	144.2	144.2
3	1 : 4 : 1%	28	138.46	138.5	138.5
4	1 : 4 : 1%	28	133.66	133.7	133.7
5	1 : 4 : 1%	28	142.46	142.5	142.5
6	1 : 4 : 1%	28	123.76	123.8	123.8
7	1 : 4 : 1%	28	133.82	133.8	133.8
8	1 : 4 : 1%	28	133.94	133.9	133.9
9	1 : 4 : 1%	28	128.95	129.0	129.0
10	1 : 4 : 1%	28	146.65	146.7	146.7
11	1 : 4 : 1%	28	139.45	139.5	139.5
12	1 : 4 : 1%	28	135.25	135.3	135.3
13	1 : 4 : 1%	28	138.90	138.9	138.9
14	1 : 4 : 1%	28	136.79	136.8	136.8
15	1 : 4 : 1%	28	143.36	143.4	143.4
16	1 : 4 : 1%	28	133.95	134.0	134.0
17	1 : 4 : 1%	28	136.26	136.3	136.3
18	1 : 4 : 1%	28	142.40	142.4	142.4
19	1 : 4 : 1%	28	136.70	136.7	136.7
20	1 : 4 : 1%	28	128.58	128.6	128.6
21	1 : 4 : 1%	28	137.82	137.8	137.8
22	1 : 4 : 1%	28	135.61	135.6	135.6
23	1 : 4 : 1%	28	129.88	129.9	129.9
24	1 : 4 : 1%	28	124.19	124.2	124.2
25	1 : 4 : 1%	28	131.60	131.6	131.6
26	1 : 4 : 1%	28	133.97	134.0	134.0
27	1 : 4 : 1%	28	133.86	133.9	133.9
28	1 : 4 : 1%	28	131.38	131.4	131.4
29	1 : 4 : 1%	28	139.16	139.2	139.2
30	1 : 4 : 1%	28	136.56	136.6	136.6

(Fuente: Elaboración propia)

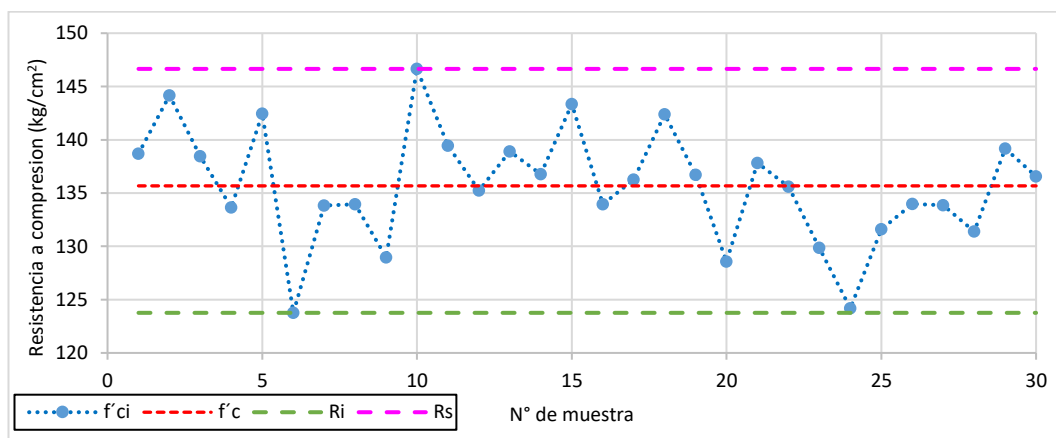


Figura A- 11.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:4:1.0%.

Tabla A- 28.- Criterio de selección de las roturas a los 28 días de la dosificación 1:4:1.5%

N°	Identificación mortero	días	F'c (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c>=F'cp-35 (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c-F'cp <=d2s% (kg/cm <sup>2</sup> )
1	1 : 4 : 1.5%	28	162.29	162.3	162.3
2	1 : 4 : 1.5%	28	146.57	146.6	146.6
3	1 : 4 : 1.5%	28	158.90	158.9	158.9
4	1 : 4 : 1.5%	28	137.31	137.3	137.3
5	1 : 4 : 1.5%	28	142.67	142.7	142.7
6	1 : 4 : 1.5%	28	150.63	150.6	150.6
7	1 : 4 : 1.5%	28	136.94	136.9	136.9
8	1 : 4 : 1.5%	28	132.14	132.1	-
9	1 : 4 : 1.5%	28	139.03	139.0	139.0
10	1 : 4 : 1.5%	28	147.55	147.6	147.6
11	1 : 4 : 1.5%	28	139.84	139.8	139.8
12	1 : 4 : 1.5%	28	143.42	143.4	143.4
13	1 : 4 : 1.5%	28	149.47	149.5	149.5
14	1 : 4 : 1.5%	28	142.85	142.9	142.9
15	1 : 4 : 1.5%	28	164.67	164.7	164.7
16	1 : 4 : 1.5%	28	157.05	157.1	157.1
17	1 : 4 : 1.5%	28	158.11	158.1	158.1
18	1 : 4 : 1.5%	28	152.13	152.1	152.1
19	1 : 4 : 1.5%	28	173.31	173.3	-
20	1 : 4 : 1.5%	28	156.83	156.8	156.8
21	1 : 4 : 1.5%	28	147.61	147.6	147.6
22	1 : 4 : 1.5%	28	144.65	144.7	144.7
23	1 : 4 : 1.5%	28	130.36	130.4	-
24	1 : 4 : 1.5%	28	148.79	148.8	148.8
25	1 : 4 : 1.5%	28	165.22	165.2	165.2
26	1 : 4 : 1.5%	28	156.74	156.7	156.7
27	1 : 4 : 1.5%	28	144.28	144.3	144.3
28	1 : 4 : 1.5%	28	137.32	137.3	137.3
29	1 : 4 : 1.5%	28	166.73	166.7	166.7
30	1 : 4 : 1.5%	28	164.35	164.4	164.4

(fuente: Elaboración propia)

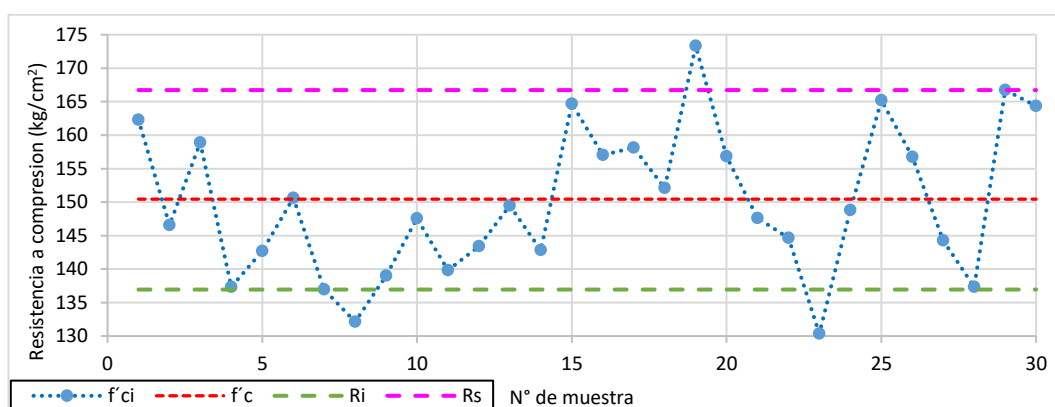


Figura A- 12.- Representación gráfica de la resistencia a compresión para la dosificación 1:4:1.5%.

## **ANEXOS B**

### **PANEL FOTOGRÁFICO**



1.-Cuarteo de la muestra



2.-Tamizado de la muestra por la malla N°8



3.-Pesado de muestra para la granulometría y humedad.



4.-Tamizado del agregado fino.

Figura B-1.- Procedimiento de análisis granulométrico por tamizado.



Figura B- 2.- Mezclado mecánico del mortero fluido



Figura B- 3.-Medida de fluidez en el cono Marshs.



Figura B- 4.- Peso unitario del mortero fresco



Figura B- 5.- Maquina uniaxial – resistencia a compresión.



Figura B- 6.-Maquina uniaxial – resistencia a la flexión



Figura B- 7.-Ensayo de exudación de la muestra del mortero



Figura B- 8.- Vista del proceso del método de excavación "Tunnel Liner" e inyección del mortero fluido.

## **ANEXOS C**

### **MATRIZ DE CONSISTENCIA Y OPERACIONALIZACIÓN**

Tabla C-1.- Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variable Independiente
¿Cuál es la mezcla óptima de mortero fluido con aditivo plastificante para la estabilización del Tunnel Liner en Santa Anita, Lima?	Evaluar y determinar la mezcla óptima de mortero fluido con aditivo plastificante para la estabilización del Tunnel Liner. Santa Anita - Lima.	El mortero que se seleccionará en el estudio permitirá estabilizar el Tunnel liner rellenando adecuadamente los vacíos, fisuras y grietas presentadas en el revestimiento.	Mortero fluido
Problemas Específicos	Objetivos Específicos		variables Dependientes
¿Qué mortero cumple con los requisitos de fluidez (según el cono Marsh), exudación controlada y resistencia adecuada para su aplicación en inyecciones en el revestimiento del Tunnel Liner?	Evaluar y seleccionar un mortero que cumpla con los requisitos de fluidez (según el cono Marsh), exudación controlada y resistencia adecuada para su aplicación en inyecciones en el revestimiento de Tunnel Liner.		Propiedades físicas y mecánicas
¿Cómo se comporta el mortero seleccionado al ser aplicado en un tramo del túnel y cuáles son los resultados obtenidos?	Aplicar el mortero seleccionado en un tramo del túnel y verificar los resultados.		

Tabla C- 2.- Matriz de operacionalización de variables

Variables de investigación	Definición conceptual	Operacionalización			Metodología
		Dimensiones	Indicador	Instrumento	
Independiente	Mortero fluido	Es una mezcla de cemento, agregado fino y agua de características autocompactante, autonivelante, fluido y consistencia plástica, es usado como relleno en espacio estrechos (Sánchez de Guzmán, 2001).	Dosificación mortero	Morteros 1:2; 1:3 y 1:4	Alcance de la investigación Teórico
					Nivel de la investigación Explicativo
			Dosificación - aditivo	Porcentaje: 0%, 0.5%, 1.0% y 1.5%	Enfoque de la investigación Cuantitativo
					Diseño de la investigación Cuasiexperimental
Dependiente	Propiedades físicas y mecánicas	Características de un material que se puede observar o medir sin cambiar la sustancia, relacionadas con sus posibilidades de transmitir y resistir fuerzas o deformaciones.	Fluidez	Método de prueba estándar para flujo de lechada (ASTM C939)	Población Diseños de mortero con proporciones de 1:2, 1:3 y 1:4 más adición de aditivo 0.5%, 1.0% y 1.5% para cada uno, siendo un total de 12 diseños.  Muestra 456 Cubos y 144 vigas de los 12 diseños
			Resistencia a Flexión	Resistencia a flexión de mortero de cemento (ASTM C348)	
			Resistencia a Compresión	Resistencia a compresión de mortero de cemento (ASTM C109)	
			Exudación	Exudación de lechadas (ASTM C940)	