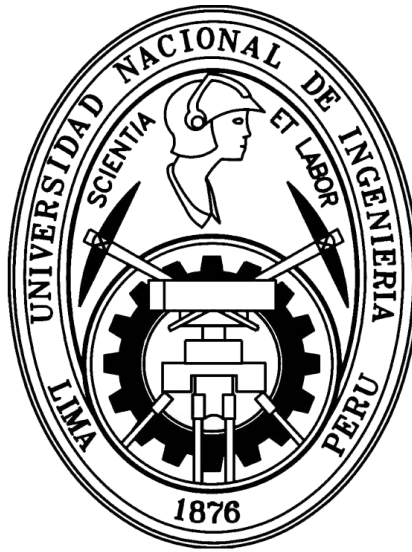


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DEL
GROUT CON ADICIÓN DE GRAVILLA PARA SU USO EN RELLENOS DE
ALBAÑILERÍA ARMADA”**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

MAVERICK BRANDON QUISPE TOLEDO

ID: 0009-0003-9597-5897

ASESORA

MSc. ANA VICTORIA TORRE CARRILLO

ID: 0000-0002-4531-4033

Lima- Perú

2025

DEDICATORIA

A mis padres, Bernabe y Glenda, por su amor sin reserva, su inagotable paciencia y su sabiduría, que ha guiado cada uno de mis pasos. Gracias a su ejemplo y apoyo constante he podido convertirme en la persona y el profesional que hoy soy. Su presencia en mi vida ha sido mi mayor fuente de inspiración y motivación para superar cada desafío y seguir creciendo.

A Brigitte, mi hermana, por su paciencia, comprensión y constante apoyo.

A Jair, mi hermano, quien siempre sigue mis pasos y me inspira a ser mejor.

A Morty, por ser parte de mi vida y brindarme su compañía.

Esta tesis es para ustedes, con todo mi amor y gratitud.

AGRADECIMIENTO

Desde que inicié el proceso de elaboración de mi tesis, se puso a prueba mi paciencia, constancia y dedicación. Se presentaron situaciones que me hicieron dudar, retos que pensé serían imposibles de superar y muchas experiencias de aprendizaje tanto a nivel personal como profesional. Cuanto más avanzaba en la tesis, más desafíos afrontaba y pude superarlos uno a uno, siendo el más grande de ellos el vencer mis propias limitaciones. Hoy, al concluir esta etapa, me siento transformado y agradecido de haber persistido en este camino de crecimiento y aprendizaje.

Agradezco a la Universidad Nacional de Ingeniería, mi alma mater, institución de alto prestigio donde conocí a grandes amigos, docentes y profesionales. Como egresado de la UNI, se me han abierto puertas que jamás imaginé.

La UNI siempre estará en mí y yo siempre estaré para la UNI.

Mi más sincero agradecimiento a mi asesora, la Dra. Ana Victoria Torre Carrillo, a quien admiro. Su tiempo, paciencia y amistad han sido invaluable, sin su guía esta tesis no habría sido posible.

Al personal técnico y administrativo del Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM-UNI), por todas las facilidades brindadas durante la realización de esta tesis.

A todos mis familiares que, de manera directa o indirecta, han aportado al desarrollo de esta investigación.

Y, finalmente, a mis amigos quienes me brindaron su tiempo y conocimiento.

ÍNDICE

Resumen	5
Abstract	7
Prólogo	9
Lista de tablas	10
Lista de figuras	14
Lista de símbolos y siglas	17
Capítulo I: Introducción	21
1.1. Problemática	21
1.1.1. Descripción de la problemática	21
1.1.2. Formulación del problema	25
1.1.3. Justificación del problema	26
1.2. Objetivos	29
1.2.1. Objetivo general	29
1.2.2. Objetivos específicos	29
Capítulo II: Marco teórico y conceptual	30
2.1. Antecedentes	30
2.1.1. Antecedentes internacionales	30
2.1.2. Antecedentes nacionales	33
2.2. Bases teóricas	35
2.2.1. Albañilería	35
2.2.2. Muro de albañilería armada	35
2.2.3. Grout para albañilería armada	36
2.2.3.1. Clasificación	37
2.2.3.2. Componentes para mezclas de grout	37
2.2.3.3. Composición volumétrica del grout	39
2.2.3.4. Tecnología y elaboración	40
2.2.3.5. Propiedades del grout en estado fresco	42
2.2.3.6. Propiedades del grout en estado endurecido	46
2.2.4. Análisis de costos unitarios	49
2.2.4.1. Tipos de trabajo presentes en una actividad	50
2.2.4.2. Velocidad de producción	50
2.2.4.3. Costo de mano de obra	50
2.2.4.4. Costo de materiales	51
2.2.4.5. Costo de equipos	51

2.3.	Metodología.....	51
2.3.1.	Hipótesis	51
2.3.1.1.	Hipótesis general.....	51
2.3.1.2.	Hipótesis específicas.....	51
2.3.2.	Operacionalización de variables	51
2.3.3.	Tipo de investigación.....	52
2.3.3.1.	Según su enfoque.	52
2.3.3.2.	Según su resultado	54
2.3.4.	Nivel de investigación.....	54
2.3.5.	Diseño de investigación.....	54
2.3.6.	Población de estudio	54
2.3.6.1.	Población	54
2.3.6.2.	Muestra	54
2.3.7.	Técnicas de recolección de datos	55
2.3.7.1.	Técnica	55
2.3.7.2.	Instrumentos	56
2.3.8.	Análisis estadísticos de datos.....	56
Capítulo III: Caracterización de las propiedades físicas de los agregados		
	para el grout	57
3.1.	Agregado fino: arena gruesa natural	57
3.1.1.	Granulometría	57
3.1.2.	Módulo de fineza	60
3.1.3.	Peso unitario suelto y compactado	60
3.1.4.	Contenido de humedad	61
3.1.5.	Peso específico y porcentaje de absorción.....	61
3.2.	Agregado grueso: gravilla	62
3.2.1.	Granulometría	64
3.2.2.	Módulo de fineza	67
3.2.3.	Peso unitario suelto y compactado	67
3.2.4.	Contenido de humedad	69
3.2.5.	Peso específico y porcentaje de absorción.....	69
Capítulo IV: Determinación de las proporciones de producción del grout		
	patrón y con adición de gravilla.....	74
4.1.	Relación agua/cemento para grouts	74
4.1.1.	Cemento Portland tipo I.....	75

4.1.2.	Ensayo fluidez con el cono Marsh	76
4.1.3.	Ensayo de consistencia en mezclas de grout	80
4.2.	Criterio para cálculo de proporciones de mezclas de grout	81
Capítulo V: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del grout.....		84
5.1.	Ensayos en estado fresco del grout	84
5.1.1.	Ensayo de consistencia de mezclas de grout	84
5.1.2.	Peso unitario de grout	86
5.1.3.	Obtención de rendimiento de mezclas de grout.....	87
5.1.4.	Ensayo de temperatura	88
5.1.5.	Ensayo de medición de pH.....	89
5.2.	Ensayos en estado endurecido del grout	91
5.2.1.	Muestreo de testigos prismáticos de grout	91
5.2.2.	Resistencia a la compresión de prismas de grout.....	96
5.2.3.	Muestreo de testigos tipo viga de grout	99
5.2.4.	Resistencia a la flexión de vigas de grout.....	101
Capítulo VI: Análisis de costos unitarios de rellenos de albañilería con grout con adición de gravilla.....		104
6.1.	Componentes del análisis de costos unitarios para grout	104
6.1.1.	Tipo de trabajo necesario para realizar mezclas de grout.....	104
6.1.2.	Velocidad de producción para mezclas de grout	104
6.1.3.	Determinación del costo hora hombre	106
6.1.4.	Determinación de costo de materiales.....	106
6.1.4.1.	Determinación de cantidad de materiales por metro cúbico	106
6.1.4.2.	Costo de materiales	107
6.1.5.	Costo de alquiler de equipo	107
6.2.	Costos unitarios de rellenos de grout.....	108
Capítulo VII: Análisis de resultados		114
7.1.	Análisis de los ensayos en estado fresco del grout.....	114
7.1.1.	Ensayo de consistencia para mezclas de grout.....	114
7.1.2.	Peso unitario de grout fresco.....	116
7.1.3.	Rendimiento de producción de grout fresco	117
7.1.4.	Temperatura de grout en estado fresco.....	118
7.1.5.	pH de grout fresco.....	119
7.2.	Análisis de los ensayos en estado endurecido del grout	120

7.2.1.	Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de testigos prismático.....	120
7.2.1.1.	Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días.....	120
7.2.1.2.	Mezclas de tipo GG1PX en comparación al patrón	124
7.2.1.3.	Mezclas de tipo GG2PX en comparación al patrón	125
7.2.1.4.	Mezclas de tipo GG3PX en comparación al patrón	126
7.2.1.5.	Mezclas de tipo GGXP1 en comparación al patrón	127
7.2.1.6.	Mezclas de tipo GGXP2 en comparación al patrón	128
7.2.1.7.	Mezclas de tipo GGXP3 en comparación al patrón	129
7.2.1.8.	Evolución de resistencia a la compresión de las mezclas de grout.....	130
7.2.2.	Ensayo de resistencia a la flexión de vigas de grout	134
7.2.2.1.	Relación entre resistencia a la compresión y módulo de rotura	135
7.3.	Análisis de resultados de costos unitarios de mezclas de grout.....	135
7.3.1.	Respecto a la velocidad de producción	135
7.3.2.	Respecto a los costos de los materiales.....	136
7.3.3.	Respecto al análisis de costos unitarios	137
7.3.4.	Relación entre costos unitarios y resistencia a la compresión de grout.....	138
Conclusiones		140
Recomendaciones		142
Referencias bibliográficas		144
Anexos		150

Resumen

En el Perú, existe un déficit habitacional tanto cuantitativo como cualitativo, abordado con métodos constructivos deficientes y prácticas autoconstruidas que no cumplen con las normativas peruanas vigentes, poniendo en riesgo la seguridad de las edificaciones. La albañilería armada surge como una alternativa sismorresistente y económica para reducir este déficit. Sin embargo, es crucial conocer las propiedades de sus componentes: bloques, mortero y grout, siendo este último fundamental para la integridad del sistema.

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar las propiedades físicas y mecánicas de mezclas de grout influenciadas por la adición de gravillas para su uso en rellenos de albañilería armada. Para ello, se caracterizaron las propiedades físicas de los agregados (arena gruesa y gravillas de distinta granulometría dentro del rango recomendado por la Norma E.070 de albañilería) y se utilizó en las mezclas el cemento Sol tipo I.

El grout patrón se diseñó con una proporción volumétrica de cemento y arena gruesa de 1:2,5, variando la relación agua/cemento entre 0,70 y 0,82. Los ensayos mostraron que con una relación agua/cemento de 0,75 se obtuvo un tiempo de flujo de 32,10 segundos, en el cono de Marsh y un asentamiento de 10,75 pulgadas en el cono de Abrams. Con estos resultados, se procedió a producir mezclas de grout con adición de gravillas G1, G2 y G3 en proporciones de 1, 1,5 y 2 veces el material cementante (P1, P2 y P3).

A cada mezcla en estado fresco se evaluó su consistencia, peso unitario, temperatura, contenido de pH y se prepararon testigos prismáticos y testigos de tipo viga utilizando bloques de concreto como moldes absorbentes. Los resultados experimentales de las mezclas de grout en estado fresco mostraron cómo la inclusión de gravilla afecta sus propiedades, manteniéndose dentro de los rangos recomendados por el Reglamento Nacional de Edificaciones.

En estado endurecido, el grout patrón superó la resistencia mínima de 140 kg/cm² exigida el Reglamento Nacional de Edificaciones. Las mezclas de grout con gravilla también se mantuvieron por encima de este valor, aunque presentaron menores resistencias en comparación con el grout patrón.

Finalmente, se realizó un análisis de costos unitarios comparando el grout patrón y las mezclas con gravilla, evaluando tanto el costo de producción como el desempeño en obra. Este análisis es clave para determinar la viabilidad económica de implementar estas mezclas en proyectos de albañilería armada, ofreciendo una solución eficiente y económica para la construcción.

Palabras clave: Albañilería, grout, gravilla, bloques, consistencia.

Abstract

In Peru, there is a housing deficit, both quantitative and qualitative, addressed with poor construction methods and self-built practices that do not comply with current Peruvian regulations, putting the safety of buildings at risk. Reinforced masonry emerges as a seismic-resistant and economical alternative to reduce this deficit. However, it is crucial to know the properties of its components: blocks, mortar and grout, the latter being fundamental for the integrity of the system.

The main objective of this research is to determine the physical and mechanical properties of grout mixtures influenced by the addition of gravel for use in reinforced masonry fills. To do this, the physical properties of the aggregates were characterized (coarse sand and gravel of different granulometry within the range recommended by Masonry Standard E.070) and type I Sol cement was used in the mixtures.

The grout pattern was designed with a volumetric proportion of cement and coarse sand of 1:2,5, varying the water/cement ratio between 0,70 and 0,82. The tests showed that with a water/cement ratio of 0,75, a flow time of 32,10 seconds was obtained in the Marsh cone and a settlement of 10,75 inches in the Abrams cone. With these results, grout mixtures were produced with the addition of gravel G1, G2 and G3 in proportions of 1, 1,5 and 2 times the cementitious material (P1, P2 and P3).

Each fresh mixture was evaluated for consistency, unit weight, temperature, and pH content, and prismatic cores and beam-type cores were prepared using concrete blocks as absorbent molds. The experimental results of the fresh grout mixtures showed how the inclusion of gravel affects their properties, remaining within the ranges recommended by the National Building Regulations.

In the hardened state, the grout pattern exceeded the minimum resistance of 140 kg/cm² required by the National Building Regulations. The grout mixtures with gravel also remained above this value, although they presented lower resistance compared to the standard grout.

Finally, a unit cost analysis was carried out comparing the pattern grout and the mixtures with gravel, evaluating both the production cost and on-site performance. This analysis is key to determining the economic viability of implementing these

mixtures in reinforced masonry projects, offering an efficient and economical solution for construction.

Key words: Masonry, grout, coarse, blocks, consistency.

Prólogo

La albañilería armada es un sistema constructivo ampliamente utilizado en la industria de la construcción, donde el grout juega un papel fundamental en la transferencia de cargas y la durabilidad de la estructura. En este contexto, la presente investigación se centró en evaluar la viabilidad de utilizar grout con adición de gravilla como una alternativa más económica y eficiente para rellenos de albañilería armada. A través de un exhaustivo programa experimental, se analizaron las propiedades físico-mecánicas de diferentes mezclas de grout, variando la proporción de gravilla y su granulometría.

Los resultados obtenidos demuestran que la adición de gravilla permite alcanzar resistencias a la compresión y flexión adecuadas para su uso en albañilería armada, cumpliendo con los requisitos establecidos en la Norma E.070. Además, se observó una reducción significativa en el costo de los materiales, sin comprometer las propiedades de trabajabilidad y durabilidad de las mezclas.

En conclusión, esta investigación demuestra el potencial de utilizar grout con adición de gravilla como una alternativa viable y económica para rellenos de albañilería armada. Los resultados obtenidos contribuyen a ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de este tipo de mezclas y brindan información valiosa para la toma de decisiones en el diseño y construcción de estructuras de albañilería armada.

Lista de tablas

Tabla N° 1: Material predominante en paredes exteriores en viviendas del Perú.	27
Tabla N° 2: Recopilación de resultados de resistencia a la compresión de grouts.....	31
Tabla N° 3: Dosificación en peso y relación agua/cemento en grouts.....	32
Tabla N° 4: Composiciones de grout evaluadas, en % de peso.	33
Tabla N° 5: Granulometría del agregado fino para grouts.....	38
Tabla N° 6: Granulometría de la gravilla.....	39
Tabla N° 7: Composición volumétrica del grout para albañilería armada.....	40
Tabla N° 8: Operación de variables.....	53
Tabla N° 9: Nomenclatura de mezclas de grout y parámetros de diseño.....	55
Tabla N° 10: Nomenclatura y cantidad de muestras para ensayos de compresión y flexión.....	55
Tabla N° 11: Análisis granulométrico de la arena gruesa y huso de la Norma E.070 para la producción de grouts.....	58
Tabla N° 12: Análisis granulométrico de la arena gruesa y límites del huso para la producción de concreto.....	59
Tabla N° 13: Peso unitario suelto del agregado fino.....	60
Tabla N° 14: Peso unitario compactado del agregado fino.....	61
Tabla N° 15: Contenido de humedad de agregado fino.....	61
Tabla N° 16: Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.....	61
Tabla N° 17: Configuración de porcentajes para la gravilla G1.....	63
Tabla N° 18: Configuración de porcentajes para la gravilla G2.....	63
Tabla N° 19: Configuración de porcentajes para la gravilla G3.....	63
Tabla N° 20: Análisis granulométrico de la gravilla G1.....	64
Tabla N° 21: Análisis granulométrico de la gravilla G2.....	65
Tabla N° 22: Análisis granulométrico de la gravilla G3.....	66
Tabla N° 23: Peso unitario suelto y compactado de la gravilla G1.....	68
Tabla N° 24: Peso unitario suelto y compactado de la gravilla G2.....	68
Tabla N° 25: Peso unitario suelto y compactado de la gravilla G3.....	69
Tabla N° 26: Contenido de humedad de las gravillas G1, G2 y G3.....	69
Tabla N° 27: Peso específico de la gravilla G1.....	70
Tabla N° 28: Peso específico de la parte gruesa de la gravilla G2.....	70
Tabla N° 29: Peso específico de la parte fina de la gravilla G2.....	71

Tabla N° 30: Ponderado de pesos específicos y porcentaje de absorción de la gravilla G2	71
Tabla N° 31: Peso específico de la parte gruesa de la gravilla G3.....	72
Tabla N° 32: Peso específico de la parte fina de la gravilla G3.....	72
Tabla N° 33: Ponderado del peso específico y porcentaje de absorción G3	73
Tabla N° 34: Pesos específicos y porcentajes de absorción de las gravillas G1, G2 y G3.....	73
Tabla N° 35: Ficha técnica de cemento Sol tipo I.....	76
Tabla N° 36: Conversión de proporciones de volumen a peso seco y húmedo ..	77
Tabla N° 37: Dosificación en peso de grout para ensayo del cono Marsh.....	78
Tabla N° 38: Tiempos de flujo a través del cono Marsh	79
Tabla N° 39: Resultado obtenido del ensayo de asentamiento con el cono de Abrams.....	80
Tabla N° 40: Características físicas de los agregados para producción de grout.....	82
Tabla N° 41: Resultado de conversión a proporción en peso húmedo	82
Tabla N° 42: Proporción en peso húmedo de cemento, arena, gravilla y agua ..	83
Tabla N° 43: Dosificación en peso de mezclas de grout para tandas de prueba de 70kg	83
Tabla N° 44: Resultados obtenidos del ensayo de consistencia del grout.....	85
Tabla N° 45: Resultados de peso unitario de mezclas de grout fresco.....	87
Tabla N° 46: Rendimiento de mezclas de grout	88
Tabla N° 47: Resultados de toma de temperatura en mezclas de grout fresco ..	89
Tabla N° 48: Resultados de medida de pH en mezclas de grout	90
Tabla N° 49: Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.....	96
Tabla N° 50: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días.	99
Tabla N° 51: Resultado de ensayo a flexión de vigas de grout	102
Tabla N° 52: Relación entre módulo de rotura y resistencia a la compresión...	103
Tabla N° 53: Listado de actividades y tipo de trabajo para rellenos con grout..	104
Tabla N° 54: Listado de actividades, tipo de trabajo y tiempo por actividad en grout de tipo GGXP1	105
Tabla N° 55: Listado de actividades, tipo de trabajo y tiempo por actividad en grout de tipo GGXP2	105
Tabla N° 56: Listado de actividades, tipo de trabajo y tiempo por actividad en grout de tipo GGXP3	105

Tabla N° 57: Velocidad de producción de mezclas de grout para 0.040 m ³	106
Tabla N° 58: Costo hora hombre de obreros de construcción Civil	106
Tabla N° 59: Dosificación de mezclas de grout por m ³ de mezcla.....	107
Tabla N° 60: Costo de materiales para producción de grout	107
Tabla N° 61: Costo de alquiler de equipos.....	108
Tabla N° 62: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GP - Patrón	108
Tabla N° 63: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG1P1	109
Tabla N° 64: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG2P1.....	109
Tabla N° 65: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG3P1.....	110
Tabla N° 66: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG1P2.....	110
Tabla N° 67: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG2P2	111
Tabla N° 68: Análisis de costos unitarios de relleno de GG3P2	111
Tabla N° 69: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG1P3.....	112
Tabla N° 70: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG2P3.....	112
Tabla N° 71: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG3P3.....	113
Tabla N° 72: Porcentajes de variación respecto al patrón del asentamiento	114
Tabla N° 73: Porcentaje de variación de Peso Unitario respecto al patrón	116
Tabla N° 74: Variación del rendimiento de mezclas respecto al patrón.....	117
Tabla N° 75: Porcentaje de variación de temperatura respecto al patrón.....	118
Tabla N° 76: Porcentaje de variación del pH respecto al patrón	119
Tabla N° 77: Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión a los 28 días	121
Tabla N° 78: Cantidad de agua retenida por los bloques de concreto.....	123
Tabla N° 79: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GG1PX	124
Tabla N° 80: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GG2PX.....	125
Tabla N° 81: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GG3PX	126
Tabla N° 82: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GGXP1	127
Tabla N° 83: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GGXP2	128
Tabla N° 84: Porcentaje de variación respecto al patrón de mezclas tipo GGXP3.....	129

Tabla N° 85: Variación de resistencia de las mezclas de grout respecto resistencia a los 28 días	130
Tabla N° 86: Influencia de la edad en la resistencia a la compresión de probetas	130
Tabla N° 87: Resistencia a la compresión de grout en moldes no absorbentes a las edades de 7,14 y 28 días	132
Tabla N° 88: Evolución de resistencia a la compresión de grout en moldes no absorbentes	133
Tabla N° 89: Comparativa entre resistencias de testigos en moldes absorbente y no absorbentes	134
Tabla N° 90: Porcentaje de variación de módulos de rotura respecto al patrón.....	134
Tabla N° 91: Porcentaje de variación de la velocidad de producción respecto al patrón	136
Tabla N° 92: Porcentaje de variación de costo de materiales respecto al patrón.....	137
Tabla N° 93: Variación de costos unitarios respecto al patrón	138
Tabla N° 94: Resistencias a la compresión a los 28 días y su costo unitario ...	138

Lista de figuras

Figura N° 1: Comparación de asentamientos de mezclas de concreto	30
Figura N° 2: Bloques de concreto alveolares fabricados por UNICON utilizados en esta investigación.....	34
Figura N° 3: Grout fluido en estado fresco	37
Figura N° 4: Huso granulométrico para arena gruesa para mezclas de grout	38
Figura N° 5: Ensayo de consistencia con el cono de Abrams al grout.....	40
Figura N° 6: Resistencia a la compresión del grout en razón al contenido de arena gruesa.....	41
Figura N° 7: Ensayo del cono de Marsh.....	43
Figura N° 8: Ensayo de peso unitario de grout fresco	44
Figura N° 9: Medida de la temperatura y pH del grout fresco.....	45
Figura N° 10: Testigos prismáticos de grout para ensayo a la compresión	46
Figura N° 11: Moldes para muestrear grout para albañilería armada.....	47
Figura N° 12: Viga de grout cargada a los dos tercios	48
Figura N° 13: Curva granulométrica de la arena gruesa y límites de huso para producción de morteros	58
Figura N° 14: Curva granulométrica de la arena gruesa y límites de huso para producción de concretos	59
Figura N° 15: Partículas que componen las gravillas	62
Figura N° 16: Gravilla G1, G2 y G3 conformadas para mezclas de grout	64
Figura N° 17: Curva granulométrica de la gravilla G1	65
Figura N° 18: Curva granulométrica de la gravilla G2	66
Figura N° 19: Curva granulométrica de la gravilla G3	67
Figura N° 20: Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua/cemento	75
Figura N° 21: Mezcladora de morteros	78
Figura N° 22: Equipo de ensayo cono Marsh para determinar el tiempo de flujo del grout	79
Figura N° 23: Tiempo de flujo en el cono Marsh vs relación a/c.....	80
Figura N° 24: Mezcla patrón posterior al ensayo de consistencia	81
Figura N° 25: Asentamientos del ensayo en el cono de Abrams.....	85
Figura N° 26: Resultados de peso unitario en mezclas de grout.....	87
Figura N° 27: Temperatura de concreto fresco	89
Figura N° 28: Resultados de toma de pH en mezclas de grout.....	91

Figura N° 29: Moldes de testigos prismáticos conformados con bloquetas de concreto	91
Figura N° 30: Testigo y molde para mezclas de grout.....	92
Figura N° 31: Dimensionamiento de testigos de grout	92
Figura N° 32: Testigo de grout cubierto con paños húmedos.....	93
Figura N° 33: Depresión de testigos de grout por pérdida de agua inicial	93
Figura N° 34: Refrendado de testigos de grout con mortero de bentonita y azufre.....	94
Figura N° 35: Testigos prismáticos de grout refrendados.....	94
Figura N° 36: Resistencia a la compresión en testigo prismático de grout	95
Figura N° 37: Testigo de grout GG1P1 posterior al ensayo de resistencia a la compresión	95
Figura N° 38: Evolución de la resistencia a la compresión de mezclas de grout GG1PX	97
Figura N° 39: Evolución de la resistencia a la compresión de mezclas de grout GG2PX	97
Figura N° 40: Evolución de la resistencia a la compresión de mezclas de grout GG3PX	98
Figura N° 41: Resistencia a la compresión de mezclas de grout a los 28 días...	99
Figura N° 42: Molde absorbente conformado por bloques de concreto forrados con papel toalla.....	100
Figura N° 43: Viga de grout para ensayo a flexión	100
Figura N° 44: Ensayo a la flexión de viga de grout.....	101
Figura N° 45: Módulos de rotura evaluados en vigas de grout.....	102
Figura N° 46: Resultados de costos unitarios de mezclas de grout.....	113
Figura N° 47: Porcentaje de variación de asentamiento de grout.....	115
Figura N° 48: Testigo prismático de grout GG1P3 con deficiencia de consolidación	116
Figura N° 49: Porcentajes de variación de peso unitario respecto al patrón	117
Figura N° 50: Porcentajes de variación de rendimiento respecto al patrón	118
Figura N° 51: Porcentaje de variación de la temperatura respecto al patrón....	119
Figura N° 52: Porcentaje de variación del pH respecto al patrón	120
Figura N° 53: Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto al patrón	121

Figura N° 54: Bloque de concreto húmedo en contacto con la mezcla de grout	122
Figura N° 55: Bloque húmedo posterior al desmolde de testigos de grout	123
Figura N° 56: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas de grout GG1PX	124
Figura N° 57: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas de grout GG2PX	125
Figura N° 58: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas de grout GG3PX	126
Figura N° 59: Porcentaje de variación respecto al patrón de mezclas de grout GGXP1	127
Figura N° 60: Porcentaje de variación respecto al patrón de mezclas de grout GGXP2	128
Figura N° 61: Porcentaje de variación respecto al patrón de mezclas de grout GGXP3	129
Figura N° 62: Desmolde de testigo de grout evidencia de humedad en los bloques	131
Figura N° 63: Toma de probetas con moldes no absorbentes	132
Figura N° 64: Evolución de resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días.....	133
Figura N° 65: Variación del módulo de rotura respecto al patrón	135
Figura N° 66: Comparativa de resistencia a la compresión y costo unitario de partidas de grout con adición de gravilla	139

Lista de símbolos y siglas

Símbolos

± : Más o menos

% : Porcentaje

” : Pulgada

Siglas

%abs : Porcentaje de absorción del agregado

%w : Porcentaje de humedad del agregado

°C : Grados centígrados

a/c : Relación agua cemento en peso

agua/cemento: Relación agua cemento en peso

A : Área promedio de testigo de grout

APU : Análisis de precios unitarios

ASEI : Asociación de Empresas Inmobiliarias del Perú

ASTM : American Society for Testing and Materials

Bls : Bolsa

C_{agua} : Corrección de agua por humedad y absorción de agregados

cm : Centímetro

DH : Día hombre

E.060 : Norma de concreto del Reglamento Nacional de Edificaciones

E.070 : Norma de albañilería del Reglamento Nacional de Edificaciones

f'c : Resistencia a la compresión

F'c : Resistencia a la compresión característica

G1 : Gravilla pegada al límite inferior del huso granulométrico

G2 : Gravilla en la parte media del huso granulométrico

G3	: Gravilla pegada al límite superior del huso granulométrico
GG1P1	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G1 en proporción P1
GG1P2	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G1 en proporción P2
GG1P3	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G1 en proporción P3
GG1PX	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G1 en las 3 diferentes proporciones.
GG2P1	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G2 en proporción P1
GG2P2	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G2 en proporción P2
GG2P3	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G2 en proporción P3
GG2PX	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G2 en las 3 diferentes proporciones.
GG3P1	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G3 en proporción P1
GG3P2	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G3 en proporción P2
GG3P3	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G3 en proporción P3
GG3PX	: Mezcla de grout compuesta por la gravilla G3 en las 3 diferentes proporciones.
GGXP1	: Mezcla de grout con gravilla en proporción P1 con las 3 diferentes gravillas
GGXP2	: Mezcla de grout con gravilla en proporción P2 con las 3 diferentes gravillas
GGXP3	: Mezcla de grout con gravilla en proporción P3 con las 3 diferentes gravillas
GP	: Mezcla de grout patrón
gr	: Gramo
HH	: Hora hombre
HM	: Hora máquina
IGV	: Impuesto general a las ventas

INACAL	: Instituto Nacional de Calidad
K	: Constante de relación de módulo de rotura y resistencia a la compresión
kg/cm ²	: Kilogramo por centímetro cuadrado.
kg/m ³	: Kilogramo por metro cúbico
LEM-UNI	: Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería
m ³	: Metro cúbico
MF	: Módulo de fineza
min	: Minuto
mm	: Milímetro
MPa	: Mega pascal
MR	: Módulo de rotura
NBR	: Norma Brasileira Regulamentadora
NTP	: Norma técnica peruana
P. U	: Peso unitario
P	: Carga de rotura máxima de falla
P1	: Proporción de gravilla una vez el material cementante
P ₁	: Peso de recipiente más muestra
P2	: Proporción de gravilla 1.5 veces el material cementante
P ₂	: Peso de recipiente
P3	: Proporción de gravilla 2 veces el material cementante
pH	: Medida del contenido de iones de la mezcla de grout
pie ³	: Pie cúbico
RNE	: Reglamento Nacional de Edificaciones
S/.	: Soles

S/. /m ³	: Soles por metro cúbico
Slump	: Medida de asentamiento
TNM	: Tamaño nominal máximo
UNICON	: Unión de concreteiras S.A.
V	: Volumen de recipiente conocido
σ	: Desviación estándar de los resultados de rotura

Capítulo I: Introducción

1.1. Problemática

1.1.1. Descripción de la problemática

En el Perú, el déficit habitación es un problema de vital importancia que aún no ha sido abordado de manera efectiva, se estima que el déficit habitacional en el país asciende a 1.8 millones de viviendas, con un 80% de déficit cualitativo y un 21% de déficit cuantitativo. (Acuña, 2023)

La región costa del Perú presenta más del 50% de los hogares del país esto debido al incremento en la migración de las regiones selva y sierra hacia la costa, debido a las oportunidades de desarrollo y crecimiento. (Fondo MiVivienda, 2013)

El Fondo MiVivienda (2016) recibió información de la empresa HGP Grout que realizó un estudio del déficit habitacional en Lima, que comprende 43 distritos, alcanzando 612,464 unidades de vivienda en el 2016. Respecto al déficit cualitativo este equivale al 59%, lo que representa 360,522 unidades habitacionales con malas condiciones de calidad en cuanto a sus materiales de construcción, hacinamiento y acceso a los principales servicios básicos.

Actualmente, el déficit habitacional en Lima es parcialmente cubierto por la construcción informal, caracterizada por la ejecución de viviendas sin la supervisión técnica mínima requerida, sin controles adecuados durante su desarrollo y, en la mayoría de los casos, con deficiencias en su calidad constructiva. Este tipo de construcciones ejecutadas empíricamente no aplican lo mínimo de las normativas de construcción peruana, constituyendo finalmente, viviendas inseguras incrementando el déficit cualitativo de viviendas, exponiendo a la población al riesgo sísmico. (Palacios, 2023)

De acuerdo con Sanchez (2021) el Fondo MiVivienda ha concentrado su atención en la periferia de Lima Metropolitana, dejando de lado barrios consolidados como es el caso del distrito del Rímac. El Rímac es un distrito que presenta gran deterioro en la calidad de sus viviendas.

El distrito del Rímac representa el 0.95% del déficit habitacional de toda Lima Metropolitana, que equivale a 5,818 unidades de viviendas, siendo este uno de los distritos más tugurizado de la capital, con viviendas deterioradas por los años

y que expone a sus habitantes a condiciones de baja calidad de vida y seguridad sísmica.

La albañilería estructural, es una de las alternativas de construcción más usada en nuestro país, como alternativa económica y sencilla, sistema impulsado en el país para reducir el déficit habitacional en el país. Sin embargo, el déficit no ha sido enfrentado de manera adecuada, generando actualmente la construcción informal o la “Autoconstrucción”, lo que significa que no existe la supervisión ni apoyo técnico en la construcción produciéndose vicios constructivos que terminan haciendo vulnerable a una estructura. (Chávez & Seminario, 2014)

La albañilería armada contempla la utilización de, principalmente, tres componentes: bloques de concreto o arcilla, mortero para unir los bloques al ser apilados y el grout que funge de integrador de la albañilería armada con los refuerzos de acero que se encuentran en los alveolos de los bloques. El grout para albañilería armada necesita propiedades específicas, como su alta fluidez, para funja de integrador entre la albañilería y el acero de refuerzo en el interior de esta.

El grout para rellenos de albañilería armada se define como como una mezcla de material cementante y agua, con o sin agregados, se utiliza para rellenar espacios vacíos o cavidades para garantizar la continuidad entre los elementos de la edificación. Una de sus propiedades importantes en estado fresco es una consistencia fluida que permita su colocación sin que se produzca la segregación de los contribuyentes. La Norma ASTM C476 establece las dosificaciones volumétricas para grout de relleno de albañilería armada lo cual resulta conveniente para pequeñas cantidades de grout mezcladas en obra, estos grout tienen un alto contenido de cemento y tienen tendencia a producir altas resistencias. (National Ready Mixed Concrete Association, 2020)

Investigadores del departamento de Ingeniería Civil de la Universidad Federal de Viçosa en Brasil, publicaron una investigación de la interacción del grout, el mortero y de los bloques de concreto usados para conformar albañilería armada y como las propiedades de cada componente influyen en la resistencia a la compresión y la rigidez de la albañilería, además concluyeron que existe una interacción compleja debido a su naturaleza no homogénea de cada componente e independiente del tipo de bloque de concreto, el módulo de elasticidad de la

albañilería armada aumento en relación directa con un aumento en la resistencia a la compresión del grout de relleno. (Guedes et al., 2018)

Los investigadores Parsekian et al. (2012) indican que el grout debe contar con un alto slump y alta relación agua/cemento, por lo que el slump del grout debe ajustarse teniendo en cuenta la absorción de los bloques y las condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura y el tamaño de los alveolos. La Norma E.070 de albañilería hace menciones de proporciones volumétricas de material cementante y agregados, pero no menciona la cantidad de agua a utilizar en la mezcla de grout siendo esta relación importante para lograr una fluidez adecuada en estado fresco y condiciona la resistencia final en estado endurecido.

En la misma línea de investigación la revista IBRACON de estructuras y materiales publica la investigación de Camacho et al. (2015), mencionan que las propiedades del grout en estado fresco influyen en el comportamiento de la albañilería armada: Una consolidación incompleta, una contracción plástica excesiva y la incompatibilidad en la deformación del grout y del bloque de albañilería son factores que influyen en el comportamiento estructural de la albañilería armada.

Los tesisistas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Chávez & Seminario (2014) utilizan un grout con gravilla en su investigación de albañilería estructural sin mortero. El grout utilizado fue dosificado en proporción volumétrica 1:2½:1½ (cemento: arena gruesa: gravilla), dosificación que está dentro de los márgenes recomendados por la Norma técnica de albañilería E.070, sin embargo, no se obtuvo una fluidez adecuada por lo que los tesisistas tuvieron que modificar la dosificación, decidieron añadir más agua y cemento sin modificar la relación agua/cemento, así logrando la fluidez necesaria con un mayor consumo de cemento. Incrementar agua y cemento a la proporción volumétrica inicial altera la proporción, se puede suponer que las propiedades de los agregados influyeron en las propiedades finales del grout, aunque la tesis no menciona que relación agua/cemento usaron esta no fue suficiente para lograr la trabajabilidad adecuada. El desconocimiento de las propiedades del grout y como estas se ven alteradas por el uso de gravillas puede llevar a tomar decisiones cuestionables, deficiencias en la mezcla y un mayor consumo de cemento.

Heredia & Peñaloza (2021) describe que uno de los retos que demanda la utilización de concretos, es que diariamente existen deficiencias en la trabajabilidad y fluidez

de la mezcla, deficiencias que ocasionan dificultades al colocar y consolidar el concreto en obra, y generando la necesidad de reemplado con agua en cantidades no controladas alterando la resistencia final del concreto. (p. 12) El replanteo con agua del grout por pérdida de trabajabilidad y fluidez, afecta directamente en la resistencia final del grout, ya que se altera la relación agua/cemento recuperando fluidez. En el caso de mantener la relación agua/cemento, se incrementa el consumo del material cementante haciendo más costosa la mezcla.

Gallegos & Casabonne (2005) mencionan que el grout al igual que el concreto convencional tiene el objetivo de lograr una mayor resistencia, sin embargo, el grout debe contar con una elevada trabajabilidad a nivel de un líquido. Estos objetivos contradictorios traen problemas durante su producción en obra, pudiéndose contar con un grout con una trabajabilidad adecuada en estado fresco, pero no alcanzar la resistencia necesaria.

Melo (2011), menciona la albañilería armada como un sistema constructivo económico. Siendo este un sistema constructivo tradicional en Brasil aún causa dificultades a los constructores y diseñadores al momento de diseñar, ejecutar y controlar adecuadamente la albañilería armada. Esto se debe a una falta de divulgación de las propiedades de los materiales que lo componen, al poco conocimiento técnico apropiado y a la falta de normas técnicas nacionales que obstaculizan el desarrollo.

Esta problemática se comparte con la realidad del país: el Reglamento Nacional de Edificaciones, cuya última versión fue publicada en el año 2006, solo proporciona la dosificación por volúmenes de material cementante y agregados, mas no indica valores referenciales de relación agua/cemento ni cómo este valor interactúa con las granulometrías de los agregados mencionados en la normativa, o cómo la variación de la granulometría de los agregados modifica las propiedades en estado fresco y endurecido. Esta falta de información dificulta la toma de decisiones respecto a la producción de grout en obra.

Ante las complicaciones que conlleva el uso a granel de arena gruesa, gravilla y cemento, en el mercado peruano se comercializa grout para mampostería de diferentes marcas, pero sus fichas técnicas comerciales no proporcionan una descripción detallada de su composición. La marca Quikrete Perú S.A. (2021a)

comercializa el producto Concrelito líquido Quikrete, definido por la marca como grout grueso, su ficha técnica indica una dosificación en peso de 60% de arena gruesa y 40% de piedra chancada, sin información de la cantidad de material cementante. Por otro lado, la misma marca Quikrete Perú S.A. (2021b) recomienda el uso como grout fino su producto Supermortero 1:4 Quikrete, el cual está compuesto por una parte de cemento y cuatro partes de arena gruesa, no especifica si la dosificación es en peso o en volumen, si asumimos que la dosificación es en volumen, este ya no cumpliría con el Reglamento Nacional de Edificaciones y tampoco con la NTP 399.609:2018.

Además, la Compañía Minera Luren S.A. (2021) tiene su producto embolsado llamado Concreto llenado de alveolos de muros estructurales, la ficha técnica del producto indica claramente la composición volumétrica del grout que cumple con el Reglamento Nacional de Edificaciones y la NTP 399.609:2018. No obstante, no especifica la cantidad de agua necesaria para su preparación. Aun así, garantiza una resistencia a la compresión de 180 kg/cm², superando la resistencia mínima requerida de 140 kg/cm² según la Norma E.070 de albañilería.

La comercialización de productos cementicios embolsados que cuentan con fichas técnicas deficientes o de posible composición que no cumple con la normativa técnica peruana, puede ser catalogado como producto engañoso, de deficiente rendimiento estructural y su posible uso contribuya al aumento de la vulnerabilidad de las edificaciones en el país.

1.1.2. Formulación del problema

El déficit habitacional en el Perú, estimado en 1.8 millones de viviendas, se encuentra profundamente agravado por la prevalencia de construcciones informales que no cumplen con los estándares técnicos mínimos. Estas edificaciones, caracterizadas por su inseguridad y baja calidad, representan un peligro significativo, especialmente en zonas de alta vulnerabilidad sísmica. En el distrito del Rímac, donde el déficit cualitativo equivale a 5,818 unidades de vivienda y siendo este uno de los distritos más tugurizados de la capital, el uso inadecuado de materiales y la falta de cumplimiento normativo incrementan la fragilidad de las viviendas.

Aunque la albañilería armada se promueve como una solución constructiva económica y eficiente, persisten importantes limitaciones debido a la insuficiencia

de conocimientos técnicos y la ausencia de normativas detalladas sobre el grout, un componente clave en estas estructuras. Problemas como la incorrecta dosificación, la falta de control en las propiedades del grout en estado fresco y endurecido, y la deficiente compatibilidad con los materiales empleados en la albañilería armada obstaculizan la mejora en la calidad y seguridad de las viviendas.

Frente a esta situación, nos planteamos los siguientes problemas:

Problema general

- ¿Cómo influye la adición de gravilla en las propiedades físicas, mecánicas y económicas del grout utilizado en la albañilería armada, y cómo esta modificación puede contribuir a mejorar la calidad y eficiencia constructiva frente al déficit habitacional en el distrito del Rímac?

Problemas específicos

- ¿Cómo influyen las propiedades físicas de los agregados en la calidad, y desempeño del grout con adición de gravilla en la albañilería armada en el distrito del Rímac?
- ¿Cuáles son las proporciones aceptables de gravilla en la mezcla de grout para mantener sus propiedades físico-mecánicas en valores aceptables para su uso en la albañilería armada en el distrito del Rímac?
- ¿Cómo afectan las variaciones en la proporción de gravilla en la mezcla de grout a sus propiedades físico-mecánicas en valores aceptables para su uso en la albañilería armada en el distrito del Rímac?
- ¿Qué impacto tiene la adición de gravilla en los costos unitarios de los rellenos de albañilería armada en el distrito del Rímac?

1.1.3. Justificación del problema

El Perú vive actualmente un crecimiento agigantado en la construcción de viviendas de material noble, de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017) y como se observa en la Tabla N° 1 entre los censos del 2007 y del 2017 el crecimiento en la construcción de viviendas de material noble ha sido de más de 1 millón 306 mil 647 viviendas en el periodo intercensal. Este crecimiento es una oportunidad para dar a conocerla albañilería armada, capacitar

en los procedimientos constructivos adecuados y determinar las propiedades adecuadas de los componentes de la albañilería armada.

Por el canal Perú Construye TV, Ramírez (2023) menciona la entrevista que tuvo su programa con el presidente de la Asociación de Empresas Inmobiliarias del Perú (ASEI), donde indica que el déficit cuantitativo es de 500,000 viviendas en el país, y respecto al déficit cualitativo es de 1'300,000 viviendas con muy poca calidad. Este déficit se muestra como ventana de oportunidad a la incorporación e inversión en métodos de construcción más económicos, sismorresistentes y de buena calidad.

Tabla N° 1: Material predominante en paredes exteriores en viviendas del Perú

Material predominante en las paredes exteriores	Censo 1993		Censo 2007		Censo 2017		Variación Intercensal 2007-2017		Incremento anual	Tasa de crecimiento promedio anual
	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%	Absoluto	%		
Total	4 427 517	100,0	6 400 131	100,0	7 698 900	100,0	1 298 769	20,3	129 877	1,9
Ladrillo o bloque de cemento	1 581 355	35,7	2 991 627	46,7	4 298 274	55,8	1 306 647	43,7	130 665	3,7
Piedra o sillar con cal o cemento	54 247	1,2	33 939	0,5	43 170	0,6	9 231	27,2	923	2,4
Adobe o tapia	1 917 885	43,3	2 229 715	34,8	2 148 494	27,9	-81 221	-3,6	-8 122	-0,4
Quincha (caña con barro)	207 543	4,7	183 862	2,9	164 538	2,1	-19 324	-10,5	-1 932	-1,1
Piedra con barro	136 964	3,1	106 823	1,7	77 593	1,0	-29 230	-27,4	-2 923	-3,1
Madera (pona, tornillo etc.)	310 379	7,0	617 742	9,7	727 778	9,5	110 036	17,8	11 004	1,7
Otro material 1/	219 144	4,9	236 423	3,7	239 053	3,1	2 630	1,1	263	0,1

Fuente (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017)

Por lo que la albañilería armada se muestra como alternativa ya que las estructuras construidas con este sistema de albañilería son prácticas, económicas y de buen desempeño ante eventos sísmicos. Dado que no requieren encofrados la albañilería armada es muy competitiva contra el concreto reforzado y la albañilería confinada que también requiere de encofrados. Este sistema no se limita solo a viviendas, ya que en Estados Unidos se han construido desde edificios de 23 pisos hasta viviendas unifamiliares. (The Brick Industry, 1996)

Arrieta & Peñaherrera (2001) en su investigación de bloques de concreto para albañilería armada, recomiendan la masificación de la albañilería armada en la construcción de viviendas multifamiliares, campamentos mineros y la misma autoconstrucción. Mejorar la difusión de este sistema ya que tiene diversas ventajas durante el proceso de construcción: mayor rendimiento de bloquetas por metro cuadrado en comparación con el asentado de ladrillo cerámico disminuye la cantidad de mano de obra debido a una menor cantidad de bloquetas apiladas para conformar un muro, además de la reducción significativa del mortero en el asentamiento, brindando un abaratamiento de los costos de producción.

Chávez & Seminario (2014), desarrollaron su tesis con respecto a la construcción de albañilería armada sin mortero, conocido como albañilería de junta seca, tecnología que abarata significativamente en el proceso constructivo ya que estos muros no requieren mortero, la construcción es aún más rápida y el apilamiento de muros más sencillo. Los muros son levantados completamente y rellenados con grout en una sola jornada, por lo que el grout toma papel importante en la capacidad de la albañilería armada de junta seca. Los investigadores tuvieron problemas de trabajabilidad con la proporción usada para producir grout, lo cual los llevó a tomar decisión de incorporar una mayor cantidad de agua y cemento para obtener la trabajabilidad necesaria. Este tipo de decisiones son muy comunes en obra, por lo que se presenta la oportunidad de aportar al conocimiento del comportamiento del grout y sus propiedades físico-mecánicas.

Guedes et al. (2018), en su investigación reflexionan que independiente del bloque de concreto, el grout toma relevancia en la resistencia de la albañilería. La trabajabilidad del grout siendo una de las principales propiedades en estado fresco, puede condicionar las propiedades en estado endurecido, conocer el comportamiento de las dosificaciones del grout ayudará a tomar decisiones durante el proceso de construcción en obra.

Ferreira et al. (2024), en su investigación de caracterización de las propiedades del grout, resaltan que actualmente no existe pautas para el diseño de mezclas de grouts, estos productos se preparan siguiendo los conceptos para preparar concretos convencionales a base de cemento portland. Existe la necesidad de investigar y comprender varias propiedades de los grouts desde el enfoque de diseño de mezcla y, en consecuencia, la producción de grout ecoeficientes. Ante estos obstáculos se presenta la demanda de estudios técnico-científicos que ayudarán a desarrollar pautas de diseño de grout.

Según Nidheesh & Kumar (2019), la industria del cemento es una de las más perjudiciales para el medio ambiente debido a la elevada emisión de dióxido de carbono (CO_2) durante la producción de clínker. En los últimos años, las emisiones de CO_2 asociadas a la producción de cemento han aumentado en más de 4 millones de toneladas métricas. Reducir el uso de cemento en las mezclas de grout puede disminuir significativamente la huella de carbono en la construcción de viviendas con albañilería armada, ya que el grout utilizado en estas construcciones suele contener altos niveles de cemento.

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2024) emitió un informe que muestra el aumento constante del costo del cemento en Lima Metropolitana desde 2017. En enero de 2021, el precio del cemento era de 23.29 soles, mientras que en enero de 2024 alcanzó los 30.19 soles, lo que representa un incremento del 29.6%. Este aumento ha sido sostenido. Reducir el uso de cemento en las mezclas de grout podría aliviar los costos de los materiales de construcción sin comprometer la calidad y resistencia de la mezcla. Además, conocer las propiedades físicas y mecánicas del grout al aumentar el contenido de gravilla permitiría optimizar el consumo de cemento en las mezclas.

El grout toma papel de gran importancia en su aporte a la resistencia de la albañilería armada, conocer sus propiedades físico-mecánicas y como estas propiedades varían acorde a los agregados utilizados faculta a los diseñadores y constructores información necesaria para facilitar la producción y la toma decisiones al utilizar grout en sus edificaciones, además implicar una optimización en el uso del cemento, material que para ser producido tiene un impacto en el medio ambiente y que actualmente sus costos se encuentran en alza.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Determinar las propiedades físico-mecánicas del grout influenciado por la gravilla y su viabilidad económica para su uso en rellenos de albañilería armada en el distrito del Rímac.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades físicas de los agregados para el grout para su uso en relleno de albañilería armada en el distrito del Rímac.
- Determinar las proporciones de producción del grout patrón y con adición de gravilla para su uso en relleno de albañilería armada en el distrito del Rímac.
- Evaluar las propiedades físico-mecánicas del grout para su uso en relleno de albañilería armada en el distrito del Rímac.
- Analizar los costos unitarios de rellenos de albañilería con grout con adición de gravilla para su uso en relleno de albañilería armada en el distrito del Rímac.

Capítulo II: Marco teórico y conceptual

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

National Ready Mixed Concrete Association (2020), define el grout como una mezcla de material cementante y agua, con o sin agregados, dosificada para obtener una consistencia que permita su colocación sin que se produzca la segregación de los contribuyentes. El grout se utiliza para rellenar espacios vacíos o cavidades para garantizar la continuidad entre los elementos de la edificación, para los grouts de mampostería, la Norma ASTM C476 establece las dosificaciones por volumen lo cual resulta conveniente para pequeñas cantidades de grout mezcladas en obra, estos grout tienen un alto contenido de cemento y tienen tendencia a producir altas resistencias. La consistencia de los grouts afecta su resistencia y otras propiedades, es de extremo importante que la consistencia del grout permita el llenado de los espacios vacíos sin segregación de sus ingredientes. La consistencia del grout para mampostería puede ser medida con un cono de asentamiento (ASTM C143), y se sugiere que los asentamientos estén entre 8 a 11 pulgadas (20 a 28 cm). Se aprecia en la Figura N° 1 el revenimiento de los concretos entre ellos el del grout.

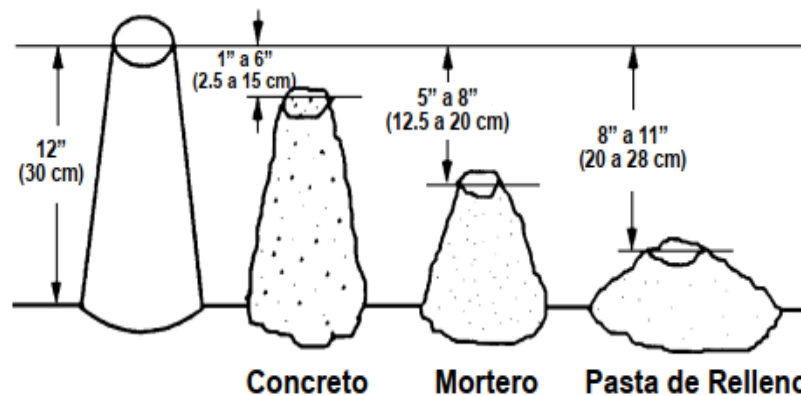


Figura N° 1: Comparación de asentamientos de mezclas de concreto
(National Ready Mixed Concrete Association, 2020)

Melo (2011), referencia la albañilería armada como un sistema económico y constructivamente tradicional en Brasil. Aun así, gran parte de los diseñadores y constructores de albañilería armada tienen dificultades para diseñar, ejecutar y controlar, debido a la poca divulgación de las propiedades de sus componentes, conocimiento de técnicas apropiadas y la compatibilidad de los proyectos. Su

investigación tiene como objetivo desarrollar un programa experimental para contribuir a las especificaciones de la albañilería armada a base de bloques cerámicos comprendiendo la resistencia de primas y muros en diferentes combinaciones de bloque, mortero y grout con sus principales relaciones de interacción.

La investigación menciona la Norma técnica brasilera NBR15812-1 que especifica que la lechada debe tener una resistencia igual o mayor a la resistencia del bloque y no debe ser inferior a 15 MPa y se presenta la Tabla N° 2 donde se recopila de los resultados de la resistencia a la compresión de la lechada obtenidos por varios investigadores.

Tabla N° 2: Recopilación de resultados de resistencia a la compresión de grouts

Autor	Traço	Teor de água	Cimento (tipo)	Forma C.P.	Valor Característico (f_{gk})	N° de ensaios	Valor Médio Resistência (f_b)	Desvio Padrão (s)	Coeficiente de Variação (CV)
	(Cim: Cal: Areia: Pedrisco)								
FUSCO, CAMACHO (1994)	1: 0: 3,06: 2,94	0,952	n/d	Cilíndrico 15x30	n/d	3	13,08	n/d	n/d
	1: 0: 2,48: 5,52	0,822					15,59		
	1: 0: 1,90: 2,21	0,637					22,6		
MENDES, ROMAN (1998)	1: 0: 1,98: 1,98	0,6	CP I -S-32	Cilíndrico 7,5x15	23,54	6	28,32	2,9	10,23
	1: 0: 3,08: 2,72	1			12,07		13,94		
	1: 0,05: 3,25: 3,5	1,06			n/d		7,98		
GROHMAN (2006)	1: 0,05: 2,25: 2,5	0,78	CP I -S-32	Cilíndrico 10x20	n/d	3	16,47	n/d	n/d
	1: 0,05: 1,25: 1,75	0,57					24,38		

Fuente (Melo, 2011)

Camacho et al. (2015) investigaron la interacción que tiene los componentes de la albañilería armada, evaluando el comportamiento estructural, la resistencia a la compresión axial y deformabilidad de mamposterías de bloques armados, variando la resistencia de los bloques, el grout y la resistencia del acero de refuerzo. Con respecto al grout los investigadores hacen uso de dos grout de resistencias 17MPa y 30MPa, se presenta la Tabla N° 3 donde se indica las proporciones usadas y la resistencia alcanzada, ambas con revenimientos de $200\pm 30\text{mm}$. Acorde a los ensayos realizados a los bloques sin grout y con grout, los resultados arrojan un aumento significativo de los prismas con grout, sin embargo, el grout de mayor resistencia representó variaciones menores en la resistencia final del prisma. Acorde a los resultados de la investigación el grout de 17MPa tuvo un mejor comportamiento con relación al grout de mayor resistencia, el aumento de la resistencia del grout representó variaciones menores en la resistencia de los prismas evaluados.

Tabla N° 3: Dosificación en peso y relación agua/cemento en grouts

ESPECIMEN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (MPa)	PROPORCIONES (en peso)	RELACIÓN A/C
Grout	17	1.00:1.83:2.17	0.67
Grout	30	1.00:1.20:1.80	0.55

Fuente (Camacho et al., 2015)

Hamid et al. (2013) en su investigación determinan las propiedades mecánicas de la mampostería con relleno y sin relleno alveolar para este fin utiliza dos bloques de concreto distintos, un mortero de resistencia a la compresión 13.1MPa y el grout fino de proporciones de 1:2.78:0.74 en peso de cemento, arena y agua. La relación agua/cemento usado del grout se eligió para lograr la suficiente trabajabilidad, un buen flujo del grout y que no presente segregación durante el vertido. Los investigadores utilizaron bloques de concreto para conformar los moldes para los ensayos, además del uso de una varilla de acero para compactar la lechada y obtener una buena unión entre la lechada y los bloques de concreto. Este grout alcanzó una resistencia a la compresión de 23.4MPa (238.61kg/cm²). El grout en conjunto con la albañilería alveolar, en comparación a la albañilería alveolar sin grout, aumentó la resistencia a la compresión, la resistencia al corte y la resistencia a la tracción en un 32%, 280% y 168%, respectivamente.

Ferreira et al. (2024) en su investigación resaltan la función del grout como un material que es aplicable en la mejora de las propiedades mecánicas de la albañilería estructural y siendo su principal función integrar las barras de acero dentro de la albañilería alveolar. A pesar del diseño inadecuado de la mezcla, el uso del grout se considera una solución adecuada para mejorar las propiedades de la mampostería estructural, para cumplir este objetivo el grout debe presentar las siguientes propiedades: Compatibilidad entre los componentes de la albañilería (grout, mortero, acero), adherencia entre el bloque de concreto y las barras de acero, efectos controlados de la contracción, tasa lenta de absorción por los bloques, fluidez adecuada para llenar el bloque sin ninguna imposición adicional de vibración y una adecuada resistencia mecánica mínimo 15MPa. Los investigadores analizaron 4 composiciones de grout con gravilla, acorde a la Tabla N° 4. Cada dosificación corresponde a un diseño de mezcla con el objetivo de obtener diferentes resistencias a la compresión, se estimaba obtener 15, 20, 25, 30MPa. Todas las composiciones mantuvieron la misma proporción de agua a sólidos, para aumentar la resistencia mecánica, la estrategia fue reducir la relación

agua/cemento; es decir, aumentar la cantidad de cemento manteniendo la cantidad de agua y reduciendo la cantidad de arena.

Tabla N° 4: Composiciones de grout evaluadas, en % de peso.

Nombre.	(MPa)	CONT. DE CEMENTO (kg/m ³)	CEMENTO (%)	ARENA (%)	GRAVILLA (%)	AGUA (%)	a/c (peso)
G15	15	381.0	18.8	36.2	45.0	10.9	0.6
G20	20	410.0	20.2	34.8	45.0	10.9	0.5
G25	25	444.0	21.6	32.4	46.0	10.8	0.5
G30	30	495.0	24.0	30.0	46.0	10.8	0.5

Fuente (Ferreira et al., 2024)

Matallana (2019), menciona que la trabajabilidad del concreto depende en gran medida de la arena presente en la mezcla ya que este material es el encargado de lubricar el agregado grueso. Por otro lado, durante el proceso de fraguado la pasta de cemento experimenta pérdida de humedad originando contracciones, lo que a su vez genera esfuerzos de tracción acompañados de la aparición de fisuras, al introducir agregado grueso a la pasta se crea una superficie de adherencia lo cual originan la disminución de las contracciones mitigando la formación de fisuras. Además, expone que si un concreto tiene una inadecuada granulometría (granulometría discontinua), puede producir concretos poco trabajables, propensos a segregación o a la exudación, con baja resistencia, permeables y baja durabilidad. (p. 71)

2.1.2. Antecedentes nacionales

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2006) define la albañilería armada como la albañilería reforzada interiormente con varillas de acero distribuidas vertical y horizontalmente, e integrada con grout de tal manera que los diferentes componentes actúen conjuntamente para resistir los refuerzos, estos muros también se les conoce como muros armados. La unidad de albañilería alveolar es definida como una unidad sólida o hueca con alveolos o celdas de tamaño suficiente para alojar el refuerzo vertical, estas unidades son empleadas en la construcción de los muros armados. En la Figura N° 2 se presenta las unidades alveolares de concreto, fabricados por UNICON utilizadas en esta investigación.



Figura N° 2: Bloques de concreto alveolares fabricados por UNICON utilizados en esta investigación
(Nota: Fotografía propia)

San Bartolomé et al. (2018) define los muros de albañilería armada a los muros que llevan refuerzo en el interior de la albañilería, generalmente este refuerzo se encuentra distribuido a lo largo de la altura del muro (refuerzo horizontal) como el longitudinal (refuerzo vertical). Para integrar el refuerzo con la albañilería es necesario rellenar los alvéolos de la albañilería con grout. El grout usado para el relleno de los alveolos, debe contar una consistencia similar a una sopa espesa de sémola, con un revenimiento (slump) comprendido entre 8 a 11 pulgadas. La intención de emplear este gran revenimiento es que el concreto pueda circular y llenar todos los intersticios del muro para de este modo favorezca la integración entre el refuerzo y la albañilería.

De acuerdo con Velásquez & Zíngara (2023) el grout es usado en el vaciado de secciones extremadamente delgadas, su implementación bajo el agua, en estructuras con escaso espacios por la densidad de los aceros de refuerzo y su idoneidad en lugares donde no es posible utilizar métodos tradicionales de consolidación (vibración convencional de concreto). (p. 37) Los muros armados de albañilería hacen uso de unidades alveolares, cuyos alveolos son espacios reducidos para el refuerzo de acero vertical y el vaciado del concreto para la

integración del refuerzo y la albañilería, por lo que el concreto a usar debe ser fluido con un asentamiento adecuado.

Rivva (2000) menciona que para un mismo contenido de pasta emplear agregados de perfil esférico (cantos rodados) tiende a disminuir la consistencia. De la misma forma los agregados con polvo, o con costras disminuyen la consistencia debido al aumento de la demanda de agua con la consiguiente disminución de la trabajabilidad al tomar el agua de la mezcla. Los agregados secos y altamente porosos pueden disminuir la consistencia haciendo la mezcla más seca. (p. 209). Con respecto a la gravilla, los altos contenidos de este, piedra de 3/8" (9.52mm) a 3/16" (4.76mm), producen un incremento en los vacíos entre las partículas del agregado, dando por resultado una disminución importante en la trabajabilidad al ser el mortero insuficiente para llenar el exceso de vacíos. (p. 207)

Gallegos & Casabonne (2005) mencionan que el grout es elaborado con los mismos ingredientes que se usan para producir concreto y tiene el mismo objetivo lograr la mayor resistencia; sin embargo, se busca también una elevada trabajabilidad a nivel de un líquido, lo que se demuestra mediante la prueba de consistencia con el cono de Abrams, en el que deben contar con una medida de asentamiento no menor a 200mm. Esta condición demanda contenidos de agua elevados, las relaciones agua/cemento deben estar comprendidas entre 0.8 y 1.2. De mantenerse la relación agua cemento elevada el grout generará un concreto muy poroso y de escasa resistencia.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Albañilería

La Albañilería conocida también como mampostería se define como un conjunto de unidades trabadas o adheridas entre sí con mortero de barro o de cemento. Las unidades pueden ser de origen natural o artificial, siendo los más usados las piedras, adobes, tapias, ladrillos y bloques. Este sistema de construcción fue creado por el hombre debido a la necesidad de satisfacer sus necesidades, principalmente como viviendas. (San Bartolomé et al., 2018)

2.2.2. Muro de albañilería armada

Los muros de albañilería armada se distinguen por tener refuerzo de acero dentro de la albañilería. Este refuerzo suele ser distribuido tanto a lo largo de la longitud

del muro como a lo largo de su altura. El refuerzo vertical se coloca en los canales de la unidad o en la junta horizontal, dependiendo del diámetro del acero de refuerzo; el refuerzo horizontal se coloca en los canales de la unidad o en la junta horizontal. Es necesario colocar grout en los alvéolos de los bloques para unir el refuerzo con la albañilería.(San Bartolomé et al., 2018)

Por otro lado, la Norma E.070 de albañilería especifica que cuando la edificación está ubicada en las zonas sísmicas 2 o 3, todas las celdas de los bloques correspondientes a los muros portantes deben llenarse de grout, contengan o no refuerzo vertical, para evitar la trituración de los bloques vacíos que causarían una fuerte degradación de resistencia en el muro.(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

2.2.3. Grout para albañilería armada

De acuerdo con Gallegos & Casabonne (2005), con el fin de lograr la integración de la armadura de albañilería los alvéolos de las unidades se llenan con concreto el cual para ser vaciado debe tener una elevada trabajabilidad. El nombre en inglés de este concreto de elevada trabajabilidad es grout, y el American Concrete Institute lo define como una mezcla de materiales cementicios y agua, con o sin agregados en proporciones tales que se obtiene una consistencia líquida sin segregación de sus contribuyentes.

En la Norma E.070 de albañilería, define al grout como un material de consistencia fluida, como se observa en la Figura N° 3, que resulta de mezclar cemento, agregado y agua, pudiéndose adicionar cal hidratada normalizada en una proporción que no exceda de 1/10 del volumen de cemento u otros aditivos que no disminuya la resistencia o que originen corrosión del acero de refuerzo. Para la elaboración de grout de albañilería, se debe tener en cuenta las NTP 399.609:2018 y 399.608:2018. El grout cumple la función de integrar el refuerzo con la albañilería en un solo conjunto estructural.(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)



Figura N° 3: Grout fluido en estado fresco
(Nota: Fotografía propia)

2.2.3.1. Clasificación

La norma E.070 de albañilería, clasifica el grout en fino y grueso. El grout fino se usará cuando la dimensión menor de los alvéolos de la unidad de albañilería sea inferior a 60mm y el grout grueso se usará cuando la dimensión menor de los alvéolos sea igual o mayor a 60mm. La diferencia entre el grout fino y el grueso se encuentra en su composición, el grout fino está conformado por material cementante y arena fina, por otro parte el grout grueso tiene la conformación del grout fino adicionado de gravilla de tamaño máximo 9.5mm de diámetro. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

2.2.3.2. Componentes para mezclas de grout

Materiales aglomerantes

Consta del uso de cemento portland o cementos normalizados, y el uso de cal hidratada con las consideraciones de que cumplan las Normas Técnicas Peruanas. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

Cemento Portland o cemento adicionado normalizados y cal hidratada normalizada de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas.

Agregado fino

Compuesto por arena gruesa, la Norma E.070 de albañilería recomienda la granulometría mostrada en la Tabla N°5.

Tabla N° 5: Granulometría del agregado fino para grouts

GRANULOMETRÍA DE LA ARENA GRUESA		
TAMIZ ASTM		% QUE PASA
N°	mm	
N°4	4.75	100
N°8	2.36	95 a 100
N°16	1.18	70 a 100
N°30	0.60	40 a 75
N°50	0.30	10 a 35
N°100	0.15	2 a 15
N°200	0.075	menos de 2

Fuente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

Se presenta en la Figura N°4 el huso granulométrico recomendado para la producción de grout.

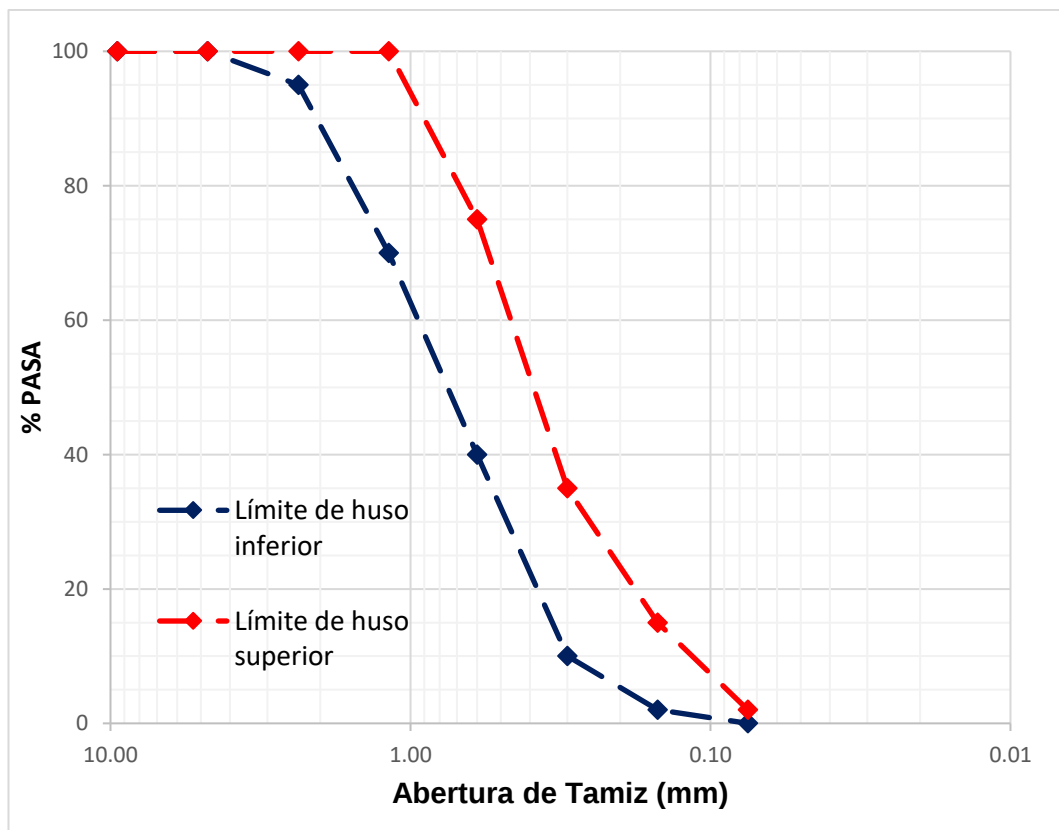


Figura N° 4: Huso granulométrico para arena gruesa para mezclas de grout
(Nota: Elaboración propia)

Agregado grueso para mezclas de grout

De acuerdo con la Norma E.070 de albañilería, para producir mezclas de grout se hace uso de gravilla o también conocido como confitillo. Es recomendable que el huso granulométrico de la gravilla se encuentre dentro del huso presentado en la Tabla N° 6. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

La gravilla o confitillo pertenece al grupo de los agregados gruesos, que según Matallana (2019) el tamaño de las partículas se encuentra entre los 19mm y 4.75mm.

El uso de gravilla como agregado grueso en mezclas de grout se debe a los espacios reducidos de los alveolos a rellenar que no permite la consolidación tradicional mediante equipos como los vibradores de concreto, por lo que la mezcla debe fluir sin interrupción y llenar los espacios, esto limita el tamaño del agregado grueso haciendo uso de tamaños menores a 1/2 pulgada.

Para esta investigación nos basaremos en el huso granulométrico recomendado por la norma técnica peruana.

Tabla N° 6: Granulometría de la gravilla

GRANULOMETRÍA DE LA GRAVILLA		
TAMIZ ASTM		% QUE PASA
N°	mm	
1/2"	12.7	100
3/8"	9.53	85 a 100
N° 4	4.75	10 a 30
N° 8	2.36	0 a 10
N° 16	1.18	0 a 5

Fuente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

Agua

El agua debe ser potable y libre de sustancias, ácidos, álcalis y materia orgánica.

2.2.3.3. Composición volumétrica del grout

La Norma E.070 de albañilería indican la composición volumétrica del grout que se presenta en la Tabla N° 7, el cual tienen que ser batidos mecánicamente con agua potable hasta lograr la consistencia de un líquido uniforme, sin segregación de los agregados, con un revenimiento medido en el Cono de Abrams

comprendido entre 225mm y 275mm.(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

Tabla N° 7: Composición volumétrica del grout para albañilería armada

COMPOSICIÓN VOLUMÉTRICA DEL CONCRETO LÍQUIDO O GROUT				
GROUT	CEMENTO	CAL	ARENA	GRAVILLA
FINO	1	0 a 1/10	2 1/4 a 3 veces de la suma de los volúmenes de los aglomerantes	-
GRUESO	1	0 a 1/10	2 1/4 a 3 veces de la suma de los volúmenes de los aglomerantes	1 a 2 veces de la suma de los volúmenes de los aglomerantes

Fuente (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

2.2.3.4. Tecnología y elaboración

De acuerdo con Gallegos & Casabonne (2005) el grout se elabora con los mismos ingredientes que se usan para producir concreto convencional, ambas constituciones tienen el mismo objetivo de lograr la mayor resistencia; sin embargo, con el grout se busca también una elevada trabajabilidad al nivel de un líquido, esta trabajabilidad se demuestra mediante la prueba de consistencia con el cono de Abrams, un grout con buena trabajabilidad debe obtener por lo menos 200mm de asentamiento como se visualiza en la Figura N°5.



Figura N° 5: Ensayo de consistencia con el cono de Abrams al grout.
(Nota: Fotografía propia)

Esta condición de asentamiento demanda relaciones agua/cemento elevadas, entre 0.8 y 1.2, lo que condiciona al aumento del uso de agua y que dependan del módulo de fineza de la arena. Estos objetivos contradictorios (búsqueda de una resistencia alta y un grado de fluidez alto) definen su tecnología. Si la relación agua/cemento es elevada, y permanece así, el producto final será un concreto muy poroso y de escasa resistencia. Pero esto no ocurre al colocarse el grout en las unidades de albañilería alveolar ya que estas que son muy absorbentes y retienen gran parte del agua excedente, dejando al grout con una relación agua/cemento final del orden de 0.5 a 0.6.

Gallegos y Casabonne (2005) mencionan la multitud de ensayos realizados que resumen el comportamiento del grout fino en la Figura N° 6 se muestra la comparación de las resistencias a la compresión de prismas de grout versus la composición del grout y con la cantidad de agua necesaria para obtener el asentamiento adecuado. Como en todo concreto, el grout debe utilizarse a favor de la economía y de la menor contracción de fragua, el tamaño más grande y la mayor cantidad de agregado.

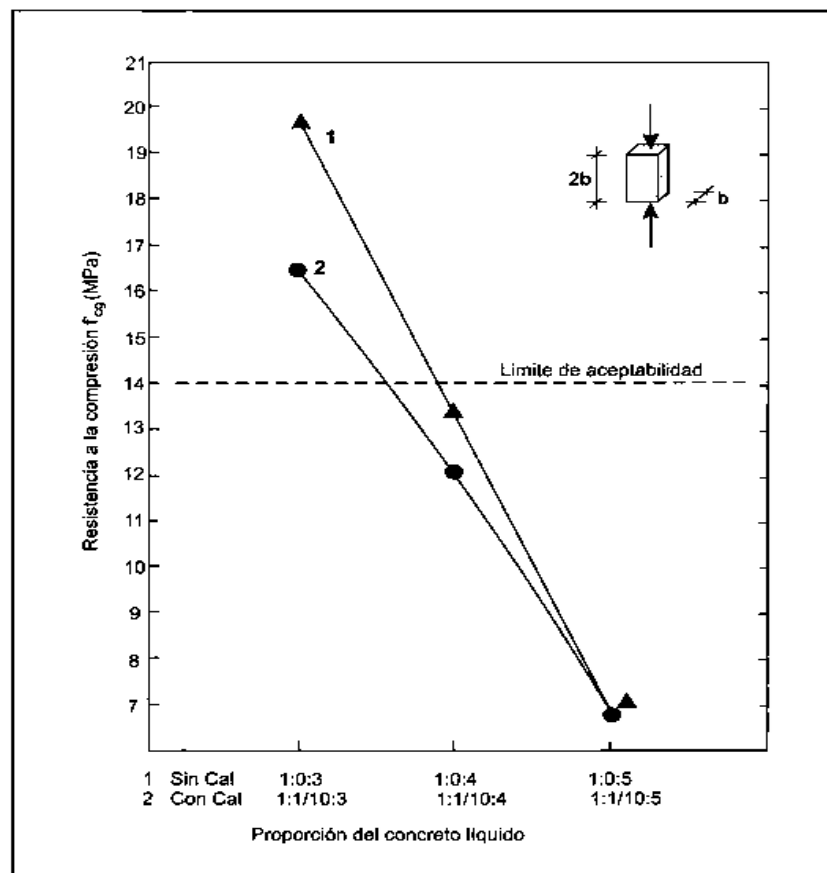


Figura N° 6: Resistencia a la compresión del grout en razón al contenido de arena gruesa.

Fuente (Gallegos & Casabonne, 2005)

2.2.3.5. Propiedades del grout en estado fresco

Trabajabilidad

La trabajabilidad es el grado de facilidad con la que las mezclas de cemento hidráulico pueden ser compactado, colocado, mezclado, transportado y terminado sin que pierda su homogeneidad (que no exude o segregue excesivamente). El nivel de fluidez, sequedad o humedad de la mezcla se conoce como consistencia. La plasticidad es la característica que permite que la mezcla cambie de forma y se forme lentamente cuando se pone en estado fresco. (Matallana, 2019)

Fluidez

Según Matallana Rodríguez (2020), hace mención que la trabajabilidad de una mezcla de concreto es influenciada por una gran cantidad de factores, siendo uno de los más importantes la cuantía de agua, que le da la fluidez. La fluidez de la pasta depende de las cantidades relativas de agua y material cementante, pues ella es la que facilita el movimiento de los agregados. Pastas con poco contenido de agua se tornan rígidas y poco trabajables, pues hay escaso lubricante entre las partículas del agregado. En el caso de pastas con contenidos bajos de material cementante y alta cantidad de agua se convierten en mezclas fluidas, pero con tendencia a la segregación y exudación.

Ensayo de fluidez con el Cono Marsh

De acuerdo con Benaicha et al. (2015) el ensayo del cono Marsh es un método estandarizado para caracterizar la fluidez de las pastas de cemento. El método de ensayo parte de medir el tiempo de flujo a través de un cono estandarizado para un volumen dado de lechada.

El ensayo del cono Marsh se desarrolla de acuerdo con la Norma ASTM C939, en el cual describe la utilización de un cono estandarizado, como se muestra en la Figura N°7, por el cual fluiría un volumen de grout o lechada con agregado menor al tamiz N°8, y se mide el tiempo de flujo. El procedimiento es recomendable para tiempos de flujo menores a 35 segundos. (American Society for Testing and Materials, 2016)



Figura N° 7: Ensayo del cono de Marsh
(Nota: Fotografía propia)

De acuerdo con Roussel & Le Roy (2005), el ensayo del cono de Marsh se basa en el principio de registrar el tiempo necesario para que la sustancia medida salga del cono. Este tiempo es relacionado con el valor de fluidez del material evaluado, cuando mayor sea el tiempo de flujo, menor será la fluidez.

Consistencia

De acuerdo con Matallana Rodríguez (2020) la consistencia viene a ser la única característica mensurable, para lo cual se realiza el ensayo de asentamiento en el cono de Abrams.

Ensayo de consistencia

De acuerdo con la NTP 399.609:2018, el grout debe ser mezclado y contar con una caída de flujo entre 200 mm a 280 mm (7.87 a 11.02 pulgadas) y esta debe ser determinada por el método de prueba según NTP 399.035:2022.

La NTP 339.035:2022 describe en ensayo de la medición de asentamiento de mezclas de concreto hidráulico, en la que una muestra de concreto fresco se coloca en un molde en forma de cono trunco y es compactado con una varilla. El molde se retira hacia arriba permitiendo que el concreto se asiente. La distancia vertical entre la posición inicial y final, medida en el centro de la superficie superior

del concreto, se informa como el asentamiento del concreto. (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2022)

La Norma C 1019 detalla las pruebas estándar para muestreo y ensayos de grouts para mampostería, indica que el asentamiento para todos los grouts, con excepción de grouts autocompactantes, se mide y registra de acuerdo con los requisitos que indica la Norma C143C/C143M, dicha norma detalla el ensayo estándar del cono de Abrams. (American Society for Testing and Materials, 2024)

Peso unitario y rendimiento de mezclas de grout

La densidad del grout se define como la masa por unidad de volumen. Esta propiedad depende de la masa y de la proporción en que participa cada uno de los diferentes elementos constructivos del grout. (Matallana, 2019)

Ensayo de peso unitario de grout en estado fresco

De acuerdo con a la NTP 339.046:2019, se describe el proceso de toma de muestra para cálculo de la densidad (peso unitario), haciendo uso de un contenedor de capacidad volumétrica conocida, donde se coloca el concreto fresco en capas las cuales deben ser varilladas para una mejor compactación del concreto, y finalmente enrasadas hasta el nivel del contenedor, de esta manera se tiene el peso y volumen del concreto fresco, como se observa en la Figura N° 8. (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2019)



Figura N° 8: Ensayo de peso unitario de grout fresco
(Nota: Fotografía propia)

Rendimiento de mezclas de grout

Se define el rendimiento de las mezclas de grout como la relación entre la masa pesada para producir una tanda de grout en kilogramos, dividida entre el peso unitario de la mezcla en estado fresco en kg/m^3 .

Temperatura

De acuerdo con la Norma E.060 de concreto, la temperatura de las mezclas de concreto en estado fresco no debe causar dificultades tales como pérdida rápida de asentamiento, incremento potencial de fisuración por contracción plástica, reducción de tiempos de fraguado inicial y final. La temperatura máxima de colocación del concreto será de 30°C . (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

Ensayo de temperatura en concreto fresco

La NTP 339.184:2021, detalla el método correcto de toma de temperatura en concretos frescos recién mezclados. Para una correcta medición el contenedor del concreto fresco debe proporcionar al menos 3 pulgadas de concreto en todas sus direcciones alrededor del sensor del dispositivo de medición de temperatura, como se visualiza en la Figura N° 9. (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2021)



Figura N° 9: Medida de la temperatura y pH del grout fresco
(Nota: Elaboración propia)

pH del grout

El pH del grout alcanza valores entre 12 y 13, lo que hace al grout un material alcalino. Esta propiedad toma importancia para el concreto reforzado, ya que el recubrimiento del concreto sobre el acero le sirve como medio de protección contra la corrosión. (Matallana, 2019)

Para esta investigación se realizó la medida del pH con el pHmetro de marca OHAUS ST20, como se visualizó en la Figura N° 9.

2.2.3.6. Propiedades del grout en estado endurecido

Resistencia a la compresión

Gallegos y Casabonne (2005) refiere que la resistencia a la compresión del grout se realiza a los 28 días de edad en un equipo de compresión. Los testigos del grout son prismáticos de base cuadrada cuya relación lado altura es de 1 a 2, como se observa en la Figura N°10.



Figura N° 10: Testigos prismáticos de grout para ensayo a la compresión
(Nota: Fotografía propia)

Método de ensayo de resistencia a la compresión de testigos de grout

La NTP 399.623:2015 describe el método de muestreo y ensayo de mezclas de grout para obtener su resistencia a la compresión como se detalla a continuación:

- a) Los moldes deben estar constituidos con unidades de albañilería que se usarán durante la construcción o investigación, preparando un espacio de sección cuadrada de 76mm a más por lado.
- b) Colocar un bloque no absorbente en la parte inferior para obtener las medidas requeridas de altura de las mezclas de grout.
- c) Se debe cubrir las superficies de las unidades que estarán en contacto con un testigo de grout como una capa delgada de material permeable, como por ejemplo papel toalla, para facilitar la absorción de agua de la unidad de albañilería.
- d) Realizar el llenado de los moldes en dos capas de igual altura, compactando cada capa 15 veces con una varilla a modo de pisón.
- e) Enrasar la superficie superior con una espátula para producir una superficie plana sin irregularidades mayores de 3mm. Cubrir inmediatamente con un material absorbente como una tela o papel toalla húmeda para mantener la humedad en la superficie del testigo.
- f) Dentro de los 30 minutos posterior al llenado, adicionar suficiente grout sin removerlo para rellenar las depresiones causadas por la pérdida de agua por absorción de las unidades de albañilería.
- g) Desmoldar los moldes entre las 24 a 48 horas después del vaciado.

Se muestra en la Figura N°11 el concepto de la conformación de moldes para el muestreo de mezclas de grout.

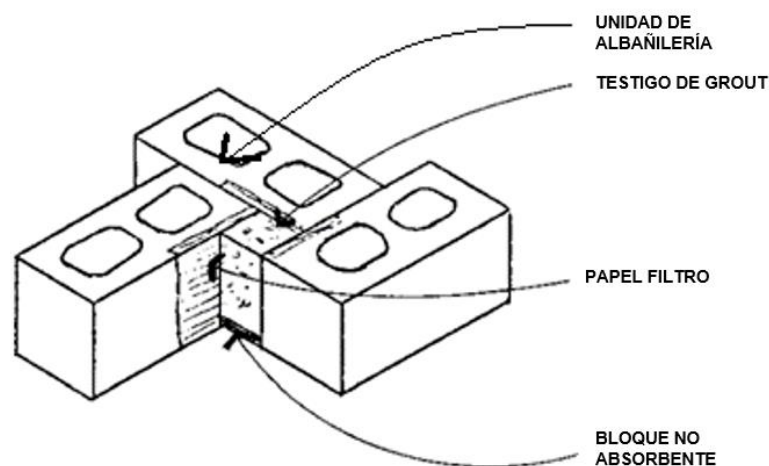


Figura N° 11: Moldes para muestrear grout para albañilería armada
(Nota: Elaboración propia)

- h) Para obtener la resistencia se realiza el ensayo en un equipo de compresión, previamente registrando las dimensiones del testigo.
- i) Se realiza el refrendado de los testigos de acuerdo con la NTP 339.037:2015.
- j) Se realiza en ensayo de rotura en estado húmedo a una velocidad de 5 toneladas por minuto, y se registra la carga de rotura final.

Obtenido los valores de carga máxima de falla de los testigos prismáticos de grout y con las dimensiones medidas de los prismas, se obtiene la resistencia del grout utilizando la ecuación (1).

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

f'_c : Resistencia a la compresión en kg/cm^2

P : Carga máxima de falla en kg

A : Área promedio en cm^2

Resistencia a la flexión y módulo de rotura

De acuerdo con Matallana (2019) la resistencia a la flexión, también llamado módulo de rotura se obtiene evaluando viguetas de tamaño estándar a una fuerza que cause flexión en el testigo, cargada a los tercios o en el punto medio.

Se visualiza en la Figura N° 12 una viga de grout cargada a los 2 tercios.



Figura N° 12: Viga de grout cargada a los dos tercios
(Nota: Fotografía propia)

El método de ensayo es descrito por la NTP 339.078:2022 de una viga simplemente apoyada cargada a los tercios entre los apoyos. Para obtener el módulo de rotura se utiliza la ecuación (2).

$$MR = \frac{P.L}{bh^2} \quad (2)$$

Donde:

MR : Módulo de rotura (kg/cm²)

P : Carga máxima de rotura (kg)

L : Longitud efectiva de la viga (cm)

b : ancho promedio de la viga en la sección de falla (cm)

h : alto promedio de la viga en la sección de falla (cm)

Relación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura

De acuerdo con Matallana (2019), el módulo de rotura de una mezcla de concreto se encuentra entre el 11% y el 23% de la resistencia a la compresión. Además del uso de la ecuación (3), la cual proporciona valores aproximados relacionados entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura.

$$MR = K * \sqrt{f'c} \quad (3)$$

Donde:

MR : Módulo de rotura en kg/cm²

f'c : Resistencia a la compresión en kg/cm²

K : Constante que depende de la mezcla

Sánchez (2001) hace mención que los valores aproximados de K se encuentran entre 2.0 y 2.7. Además, recomienda la realización de ensayos para obtener el valor de K para los casos específicos de mezclas.

2.2.4. Análisis de costos unitarios

De acuerdo con Venero (2020), el análisis de costos unitarios o análisis de precios unitarios (APU) es una herramienta útil y sencilla para conocer el costo que se incurre en una actividad, este análisis de costos unitarios contempla y relaciona el

rendimiento de producción por día o jornada, las cuadrillas de personal obrero, los materiales de construcción involucrados, los equipos utilizados y las herramientas manuales.

2.2.4.1. Tipos de trabajo presentes en una actividad

De acuerdo con Ghio (2001) define tres tipos de trabajo que se pueden presentar durante la ejecución de una actividad.

Trabajo productivo (TP)

Comprende trabajo que aporta directamente sobre la producción de la actividad, genera valor directamente en la ejecución de la actividad.

Trabajo contributorio (TC)

Comprende trabajos que sirven de apoyo, que se dan previos a los trabajos productivos, también durante. No aportan valor directo a la producción de la actividad, pero son necesarios y son consideradas pérdidas.

Trabajo no contributorio (TNC)

Comprenden actividades o trabajos que no generan valor, siendo estas pérdidas directas. No se pueden ser catalogadas como trabajo contributorio o trabajo productivo, generan pérdida directamente.

2.2.4.2. Velocidad de producción

De acuerdo con Venero (2020), la velocidad de producción es expresada como la relación de una cantidad de trabajo sobre el tiempo necesario para realizarlo (cantidad de producción sobre tiempo). Usualmente es confundido este término rendimiento.

Para el análisis de costos unitarios de esta investigación se utilizará la velocidad de producción como rendimiento de las partidas de relleno de mezclas de grout.

2.2.4.3. Costo de mano de obra

El costo de mano de obra se realiza en base a la tarifa de salarios que son acordados por la Federación de Trabajadores en Construcción Civil. Valor de costo de mano de obra que se expresa en costo hora hombre.

2.2.4.4. Costo de materiales

El costo de materiales se basa en el precio mercado actual sin IGV y la cantidad que incurrirá por unidad de producción. En el caso de las mezclas de grout mezclas de grout se usará el valor de metro cúbico de mezcla de grout (m^3), por lo que los materiales involucrados en la producción de grout deben estar relacionados en su cantidad para producir un metro cúbico.

2.2.4.5. Costo de equipos

El costo de equipos se basa en el precio de alquiler por día de los equipos que están involucrados en la actividad.

2.3. Metodología

2.3.1. Hipótesis

2.3.1.1. Hipótesis general

- Mediante la determinación de las propiedades físico-mecánicas de grout con adición de gravilla, se logra determinar que propiedades en estado fresco y endurecido se ven afectadas una vez adicionadas las gravillas en diferentes proporciones y granulometrías para su uso en los rellenos de albañilería armada en el distrito del Rímac.

2.3.1.2. Hipótesis específicas

- Las propiedades físicas de los agregados como la granulometría influyen significativamente en el desempeño del grout, reduciendo la resistencia a la compresión en estado endurecido y su asentamiento en estado fresco.
- Se obtienen proporciones adecuadas de gravilla agregada al grout, sin que este reduzca significativamente el desempeño del grout.
- El incremento de la cantidad de gravilla en las mezclas de grout afectan sus propiedades físico- mecánico. Reduciendo su resistencia a la compresión y mejorando sus propiedades físicas en estado fresco.
- La adición de gravilla en la mezcla de grout reduce los costos unitarios de los rellenos de albañilería armada.

2.3.2. Operacionalización de variables

Se presenta la Tabla N° 8 de la operación de variables independientes y dependientes.

2.3.3. Tipo de investigación

2.3.3.1. Según su enfoque.

Cuantitativa. La investigación es cuantitativa, según Hernández et al. (2014) las investigaciones cuantitativas parten de una idea que va acotándose, se derivan objetivos y se generan las preguntas de investigación, además, los antecedentes preceden a la construcción del marco teórico. De las preguntas de investigación se plantea las hipótesis y se determinan las variables que intervendrán en la investigación y se traza un plan para probarlas (diseño de investigación). Este tipo de enfoque refleja el impulso de medir y estimar magnitudes de los problemas o fenómenos de la investigación.

Tabla N° 8: Operación de variables

Variable Independiente	Dimensión	Indicador	Indicadores
Parámetros y propiedades de la gravilla	Cantidad	% del Cemento	Cantidad de gravilla en función a la cantidad de cemento
	Tamaño	Módulo de fineza	Distribución del tamaño de partículas de un material sólido
Variables Dependiente	Dimensión	Indicador	Indicadores
Propiedades físico-mecánicas del concreto en estado fresco	Consistencia	Asentamiento (pulg)	Medida de asentamiento del grout mediante ensayo con el cono de Abrams
	Temperatura	°C	Medida de temperatura con termómetro
	pH	Alcalinidad	Medida de concentración de iones de hidrógeno mediante un pH metro
	Peso Unitario	kg/m ³	Relación entre masa de grout entre volumen
Propiedades físico-mecánicas del concreto en estado endurecido	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	Carga final de rotura sobre área de testigo
	Resistencia a la flexión	kg/cm ²	Carga final de rotura de viga a los tercios

(Nota: Elaboración propia)

2.3.3.2. Según su resultado

Aplicada. Según Murillo (2008), la investigación aplicada también nombrada práctica o empírica, se basa en la aplicación de conocimientos existentes adquiridos por el investigador, y que durante el proceso de investigación se adquieren más conocimiento, después de implementar y sistematizar la práctica. Este tipo de investigación da como resultado una forma organizada, estricta y sistemática de conocer la realidad.

2.3.4. Nivel de investigación

El nivel es descriptivo-correlacional, la investigación descriptiva busca especificar propiedades, las características y los perfiles del objeto de estudio o fenómenos que se somete a análisis. Se pretende medir y recoger información las tendencias de un grupo o población. Por otro lado, la investigación correlacional tiene como finalidad conocer la relación o grado de asociación que existe entre dos o más variables en una muestra o contexto particular. (Hernández et al., 2014)

2.3.5. Diseño de investigación

El diseño de investigación es experimental ya que de acuerdo con Hernández et al. (2014) la investigación experimental se basa en la manipulación intensional, intervención o estímulo experimentales, de una o más variables independientes para posterior analizar las consecuencias que tiene sobre una o más variables dependientes.

2.3.6. Población de estudio

2.3.6.1. Población

De acuerdo con Hernández et al. (2017) la población es el conjunto de todos los elementos que comparten características y especificaciones a las que se refiere la investigación.

Esta investigación toma como población al grout para albañilería armada.

2.3.6.2. Muestra

Esta investigación toma como muestra los grout para albañilería armada que se encuentran dentro de los rangos de dosificación que refiere la Norma E.070 de albañilería, por lo que en las Tablas N° 9 y N° 10 se muestra su distribución en parámetros de diseño y cantidad de ensayos.

Tabla N° 9: Nomenclatura de mezclas de grout y parámetros de diseño

NOMENCLATURA DE GROUT	PROPORCIONES VOLUMÉTRICA			TIPO DE GRAVILLA
	CEMENTO	ARENA	GRAVILLA	
	(C: A: G)			
GP	1.0	2.5	-	-
GG1P1	1.0	2.5	1.0	G1
GG1P2	1.0	2.5	1.5	G1
GG1P3	1.0	2.5	2.0	G1
GG2P1	1.0	2.5	1.0	G2
GG2P2	1.0	2.5	1.5	G2
GG2P3	1.0	2.5	2.0	G2
GG3P1	1.0	2.5	1.0	G3
GG3P2	1.0	2.5	1.5	G3
GG3P3	1.0	2.5	2.0	G3

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 10: Nomenclatura y cantidad de muestras para ensayos de compresión y flexión

Nomenclatura de mezcla	Ensayo a la compresión de prismas			Ensayo de flexión en vigas
	Cantidad de testigos prismáticos			Cantidad de vigas
	7 días	14 días	28 días	28 días
GP	3	3	3	1
GG1P1	3	3	3	1
GG1P2	3	3	3	1
GG1P3	3	3	3	1
GG2P1	3	3	3	1
GG2P2	3	3	3	1
GG2P3	3	3	3	1
GG3P1	3	3	3	1
GG3P2	3	3	3	1
GG3P3	3	3	3	1

(Nota: Elaboración propia)

2.3.7. Técnicas de recolección de datos

2.3.7.1. Técnica

La técnica de recolección de datos son los experimentos. Un experimento en una investigación se manipula intencionalmente una o más variables independientes siendo estas supuestas causas y se analizan las consecuencias que tienen sobre una o más variables dependientes las cuales son registradas y analizadas.

2.3.7.2. Instrumentos

Los instrumentos que se usarán en esta investigación para la recolección de información de datos son:

- Ensayos físicos y mecánicos.
- Instrumentos estandarizados para ensayos de mezclas de concreto en estado fresco.
- Métodos de ensayo descritos en Normas Técnicas Peruanas.
- Uso de equipos de hidráulicos para ensayos físicos.
- Observación controlada.
- Registro de datos en formatos.
- Registro de datos en tablas de Excel.
- Formatos en Excel para llenado de datos.

2.3.8. Análisis estadísticos de datos

Se desarrollará en base a la estadística descriptiva, mediante tablas gráficos e imágenes que serán generados en Excel. De acuerdo con Posada (2016) la estadística descriptiva se centra en mostrar datos a través de tablas y gráficos para resumir o explicar cómo se comportan, sin hacer suposiciones sobre ellos ya que provienen de una muestra de la población.

Capítulo III: Caracterización de las propiedades físicas de los agregados para el grout

Este capítulo contiene las características físicas de los agregados para producir grout mediante procedimientos y ensayos estandarizados. Se reportan las propiedades físicas de la arena gruesa y las gravillas (granulometría, módulo de fineza, peso unitario suelto, peso unitario compactado, porcentaje de absorción, porcentaje de humedad y peso específico) obtenidos en Lima Metropolitana.

Se presenta en el Anexo A, el panel fotográfico de los ensayos realizados en el LEM-UNI a los agregados.

3.1. Agregado fino: arena gruesa natural

El agregado fino utilizado para la producción de las mezclas de grout de esta investigación, fue arena gruesa procedente de la cantera Trapiche en el distrito de Comas en Lima, siendo esta arena de origen natural.

Se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a la arena gruesa.

3.1.1. Granulometría

La granulometría se determina en base a la NTP 400.012:2021. La Norma E.070 de albañilería recomienda que la arena gruesa para mezclas de grout debe pertenecer al huso granulométrico que se presentó en la Tabla N° 5.

Se presenta en la Tabla N° 11 los resultados obtenidos del ensayo de granulometría.

Tabla N° 11: Análisis granulométrico de la arena gruesa y huso de la Norma E.070 para la producción de grouts

Tamiz	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Retenido acum.	%Pasa	Límites	
					Inf.	Sup.
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/8"	3.10	0.52	0.52	99.48	100	100
N°4	16.70	2.78	3.30	96.70	100	100
N°8	64.30	10.70	14.00	86.00	95	100
N°16	116.60	19.41	33.41	66.59	70	100
N°30	148.70	24.75	58.17	41.83	40	75
N°50	123.20	20.51	78.67	21.33	10	35
N°100	67.00	11.15	89.83	10.17	2	15
FONDO	61.10	10.17	100.00	0.00	0	2
TOTAL	600.70	100.00				

(Nota: Elaboración propia)

En la Figura N° 13 se muestran la curva granulométrica de la arena gruesa y los límites de los husos granulométricos recomendados por la Norma E.070 para albañilería.

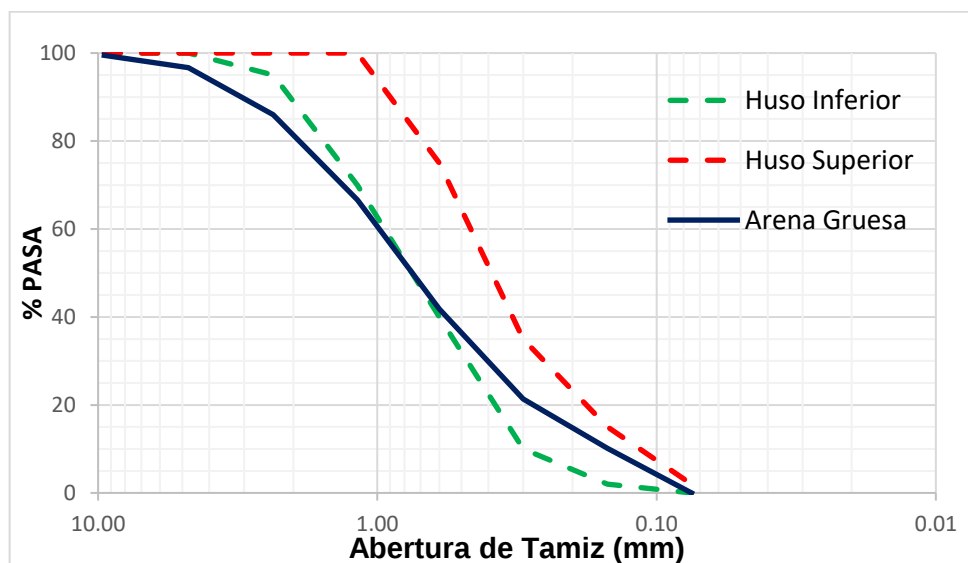


Figura N° 13: Curva granulométrica de la arena gruesa y límites de huso para producción de morteros

(Nota: Elaboración propia)

Como se observa en la Figura N° 13, la granulometría de la arena no se encuentra dentro del huso establecido para la producción de morteros recomendado por la Norma E.070 de albañilería. Como el grout es un tipo de concreto, se evaluó la curva granulométrica de la arena utilizando el huso recomendado para agregados finos según la NTP 400.037:2021 para la producción de concretos.

Se presenta la Tabla N° 12 donde se muestra el análisis granulométrico de la arena gruesa con los límites de huso recomendados para la producción de concretos.

Tabla N° 12: Análisis granulométrico de la arena gruesa y límites del huso para la producción de concreto

Tamiz	Peso retenido (g)	% Retenido	% Retenido acum.	%Pasa	Límites	
					Inf.	Sup.
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
3/8	3.10	0.52	0.52	99.48	100	100
N°4	16.70	2.78	3.30	96.70	95	100
N°8	64.30	10.70	14.00	86.00	80	100
N°16	116.60	19.41	33.41	66.59	50	85
N°30	148.70	24.75	58.17	41.83	25	60
N°50	123.20	20.51	78.67	21.33	5	30
N°100	67.00	11.15	89.83	10.17	0	10
FONDO	61.10	10.17	100.00	0.00	0	2
TOTAL	600.70	100.00				

(Nota: Elaboración propia)

En la Figura N° 14 se muestra la curva granulométrica de la arena gruesa y los límites de los husos granulométrica recomendados por la NTP 400.037:2021 para la producción de concretos.

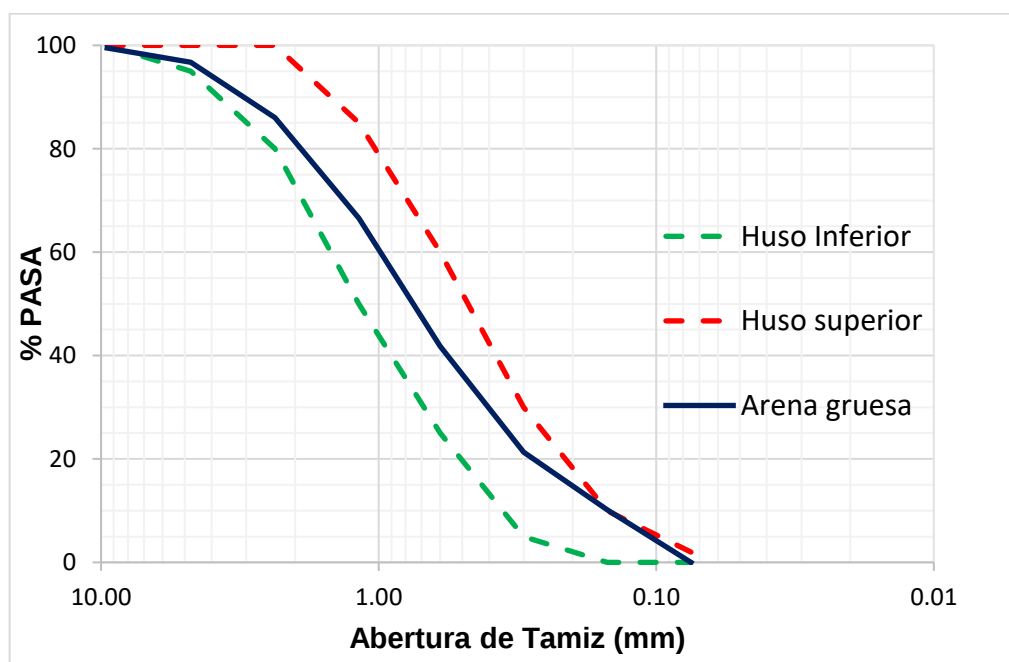


Figura N° 14: Curva granulométrica de la arena gruesa y límites de huso para producción de concretos

(Nota: Elaboración propia)

Como se observa en la Figura N° 14 el agregado fino se encuentra dentro de la curva granulométrica, en la malla N° 100, se observa ligeramente un exceso de partículas de arena, al ser un valor pequeño se puede considerar dentro del error permisible asociado al ensayo, que es inferior al 2% de acuerdo con la NTP 400.012:2021.

3.1.2. Módulo de fineza

Para el cálculo del módulo de fineza se utilizó los datos obtenidos en el ensayo de granulometría del agregado fino. Sumando los porcentajes retenidos acumulados de determinadas mallas de acuerdo con la ecuación (4).

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acum. re. (N}^\circ 100, \text{N}^\circ 50, \text{N}^\circ 30, \text{N}^\circ 16, \text{N}^\circ 8, \text{N}^\circ 4, 3/8", 3/4, 1 1/2")}{100} \quad (4)$$

Reemplazando se obtuvo:

$$MF = \frac{89.83 + 78.67 + 58.17 + 33.41 + 14 + 3.30 + 0.52}{100} = 2.78$$

El valor obtenido del módulo de fineza del agregado fino no se encuentra en los límites recomendados por la Norma E.070, valores entre 1.6 y 2.5 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

Por otro lado, la NTP 400.037:2021 establece límites permitidos de módulo de fineza más amplios cuando la arena es usada para la producción de concreto, entre 2.3 y 3.1.

3.1.3. Peso unitario suelto y compactado

La determinación del Peso unitario suelto y compactado se determina realizando el ensayo acorde a la NTP 400.017:2020. Los datos obtenidos en el laboratorio se presentan en las Tabla N° 13 y N° 14.

Tabla N° 13: Peso unitario suelto del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de la muestra y el recipiente	kg	5.94
Peso del recipiente	kg	1.57
Peso de la muestra	kg	4.37
Volumen del recipiente	m ³	0.003
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1543

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 14: Peso unitario compactado del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de la muestra y el recipiente	kg	6.57
Peso del recipiente	kg	1.57
Peso de la muestra	kg	4.99
Volumen del recipiente	m ³	0.003
Peso Unitario Suelto	kg/m ³	1765

(Nota: Elaboración propia)

3.1.4. Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad se realizó acorde a la NTP 400.017:2020, los datos obtenidos en laboratorio se presentan en la Tabla N°15.

Tabla N° 15: Contenido de humedad de agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de la muestra y el recipiente	gr	791.6
Peso del recipiente	gr	280.4
Peso de la muestra	gr	511.2
Peso de la muestra seca y el recipiente	gr	781.9
Peso de la muestra seca	gr	501.5
Peso del agua perdida	gr	9.7
Contenido de humedad	%	1.93

(Nota: Elaboración propia)

3.1.5. Peso específico y porcentaje de absorción

La NTP 400.022:2021 especifica el procedimiento para el ensayo de peso específico y el porcentaje de absorción de los agregados finos. Se presentan los resultados en la Tabla N° 16.

Tabla N° 16: Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de la arena en estado SSS	gr	500.00
Peso de la arena en estado SSS + Peso de la fiola + peso del agua	gr	1006.60
Peso del balón	gr	193.10
Peso del agua	gr	313.50
Peso de la arena seca al horno	gr	494.60
Volumen del balón	cm ³	500.00
Peso específico de masa (Pe)		2.65
Peso específico de masa SSS (PeS)		2.68
Peso específico aparente (Pea)		2.73
Porcentaje de absorción	%	1.09

(Nota: Elaboración propia)

3.2. Agregado grueso: gravilla

El agregado grueso considerado para la producción de grout consistió en gravilla de 3/8" de TNM. La gravilla utilizada en esta investigación fue producida en una planta de chancado en Puente Piedra distrito de Lima Metropolitana.

En esta investigación se conformaron 03 tipos de gravilla de diferentes granulometrías identificadas como G1, G2 y G3. Las tres gravillas se encuentran dentro del huso granulométrico recomendado por la Norma E.070 de albañilería para la producción de grout.

Para la obtención de los tres tipos de gravilla se realizó el zarandeo de la gravilla inicialmente adquirida, utilizando de las mallas de tamaño 3/8", N°4, N°8 y N°16 como se observa en la Figura N° 15.



Figura N° 15: Partículas que componen las gravillas
(Nota: Fotografía propia)

Para lograr las tres composiciones granulométricas de la gravilla, dentro del rango que indica la E.070 de albañilería, se presentan las tres configuraciones de gravillas en las Tablas N° 17, N° 18 y N° 19.

En la Tabla N° 17 se configuró las partículas para lograr la distribución granulométrica de límite inferior del huso recomendado por la Norma E.070 para las gravillas de tipo G1.

Tabla N° 17: Configuración de porcentajes para la gravilla G1

Gravilla G1		
Tamiz	% Acumulado que pasa	% Retenido por tamiz
1/2"	100.00	0.00
3/8"	85.00	15.00
N°4	10.00	75.00
N°8	0.00	10.00
N°16	0.00	0.00

(Nota: Elaboración propia)

En la Tabla N° 18 se configuró las partículas para lograr la distribución granulométrica en la parte media del huso recomendado por la Norma E.070 para las gravillas de tipo G2.

Tabla N° 18: Configuración de porcentajes para la gravilla G2

Gravilla G2		
Tamiz	% Acumulado que pasa	% Retenido por tamiz
1/2"	100.00	0.00
3/8"	92.50	7.50
N°4	20.00	72.50
N°8	2.50	17.50
N°16	0.00	2.50

(Nota: Elaboración propia)

En la Tabla N° 19 se configuró las partículas para lograr la distribución granulométrica de límite superior del huso recomendado por la Norma E.070 para las gravillas de tipo G3.

Tabla N° 19: Configuración de porcentajes para la gravilla G3

Gravilla G3		
Tamiz	% Acumulado que pasa	% Retenido por tamiz
1/2"	100.00	0.00
3/8"	100.00	0.00
N°4	30.00	70.00
N°8	5.00	25.00
N°16	0.00	5.00

(Nota: Elaboración propia)

Finalmente, en la Figura N° 16 se presenta las 3 muestras de gravillas utilizadas en la investigación. Se aprecia que la gravilla G3 es la configuración

granulométrica más fina de las tres configuraciones, y por otro lado la gravilla G1 es la configuración granulométrica más gruesa las tres gravillas. A estas gravillas conformadas se le realizaron sus características físicas.



Figura N° 16: Gravilla G1, G2 y G3 conformadas para mezclas de grout
(Nota: Fotografía propia)

3.2.1. Granulometría

Para las mezclas de grout el RNE recomienda que la granulometría de la gravilla se encuentre dentro del huso granulométrico recomendado en la Norma E.070 de albañilería presentado en la Tabla N° 6.

Granulometría Gravilla G1

Se presenta la Tabla N° 20 con los análisis granulométricos de la gravilla G1.

Tabla N° 20: Análisis granulométrico de la gravilla G1

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASO	HUSO LÍMITES	
					Inf.	Sup.
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	151.70	15.15	15.15	84.85	85.00	100.00
N°4	743.10	74.20	89.35	10.65	10.00	30.00
N°8	99.80	9.97	99.31	0.69	0.00	5.00
N°16	0.00	0.00	99.31	0.69	0.00	0.00
FONDO	6.90	0.69	100.00	0.00		
TOTAL	1001.50	100.00				

(Nota: Elaboración propia)

En la Figura N° 17 se presenta la curva granulométrica de la gravilla G1 la cual se observa que se encuentra pegada al límite inferior del huso granulométrico.

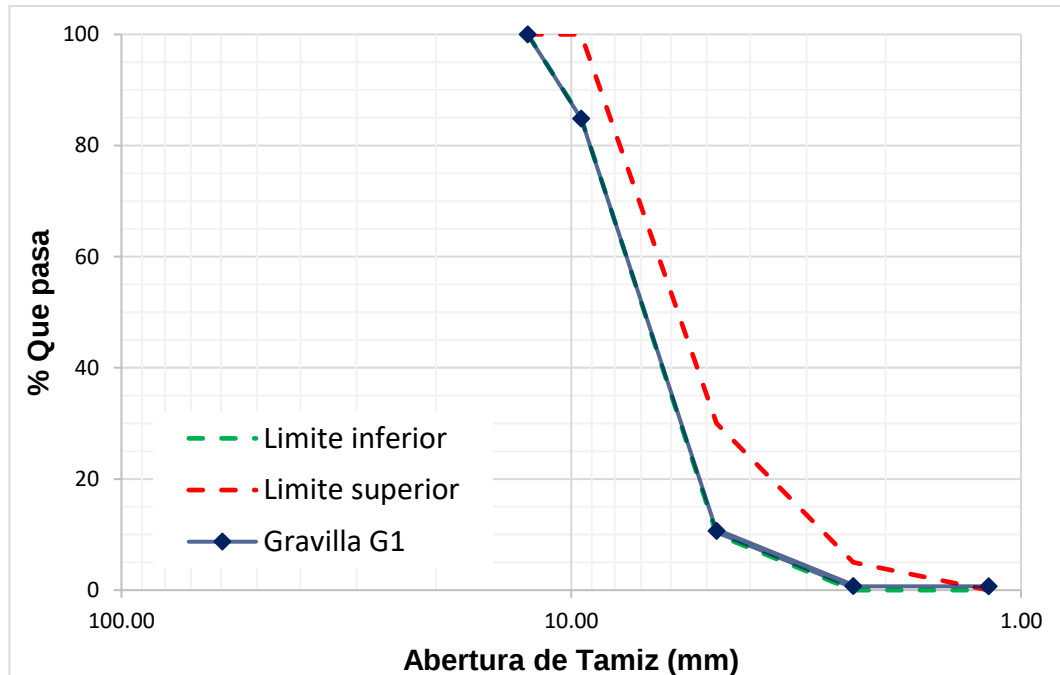


Figura N° 17: Curva granulométrica de la gravilla G1
(Nota: Elaboración propia)

Granulometría Gravilla G2

Se presenta la Tabla N° 21 con los análisis granulométricos de la gravilla G2.

Tabla N° 21: Análisis granulométrico de la gravilla G2

TAMIZ	PESO RETENIDO (G)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASO	HUSO LÍMITES	
					INF.	SUP.
1/2"	0.00	0.00	0.00	100	100.00	100.00
3/8"	73.30	7.31	7.31	92.69	85.00	100.00
N°4	721.70	71.99	79.30	20.70	10.00	30.00
N°8	176.40	17.60	96.90	3.10	0.00	5.00
N°16	25.50	2.54	99.44	0.56	0.00	0.00
FONDO	5.60	0.56	100.00	0.00		
TOTAL	1002.50	100.00				

En la Figura N° 18 se presenta la curva granulométrica de la gravilla G2, la cual se encuentra en la zona intermedia entre el límite superior e inferior.

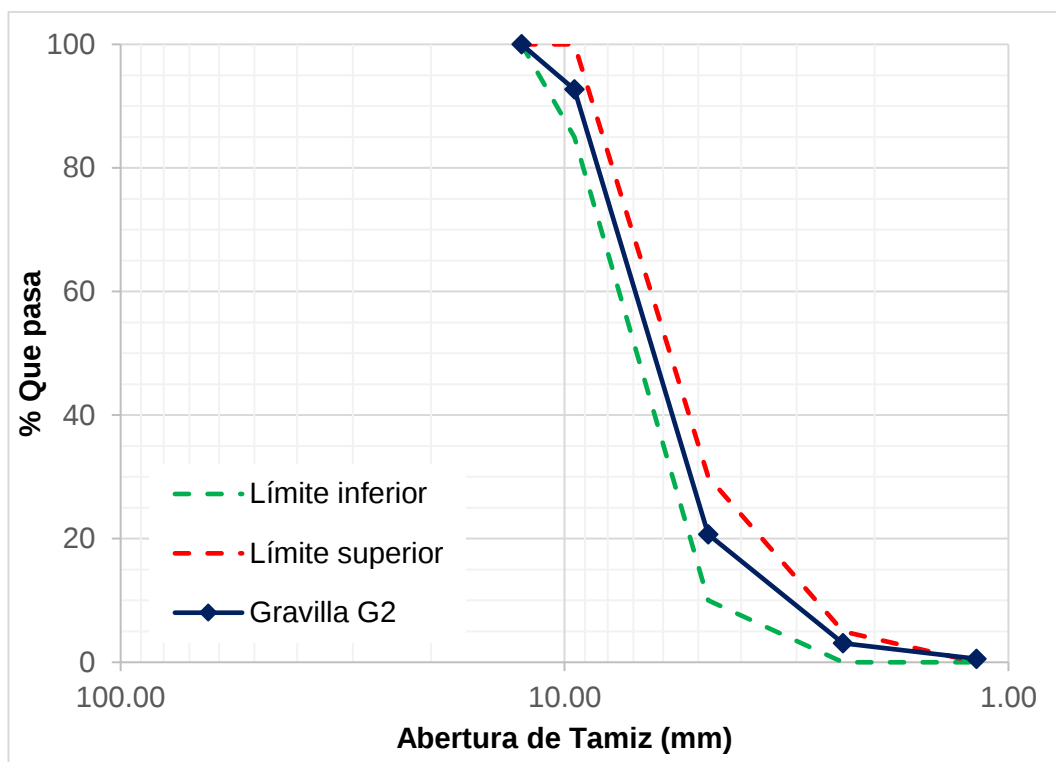


Figura N° 18: Curva granulométrica de la gravilla G2
(Nota: Elaboración propia)

Granulometría Gravilla G3

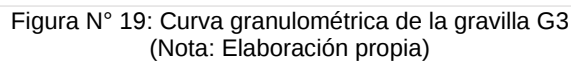
Se presenta la Tabla N° 22 con los análisis granulométricos de la gravilla G2.

Tabla N° 22: Análisis granulométrico de la gravilla G3

TAMIZ	PESO RETENIDO (G)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASO	HUSO LÍMITES	
					INF.	SUP.
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	85.00	100.00
N°4	699.80	69.58	69.58	30.42	10.00	30.00
N°8	248.70	24.73	94.30	5.70	0.00	5.00
N°16	52.20	5.19	99.49	0.51	0.00	0.00
FONDO	5.10	0.51	100.00	0.00		
TOTAL	1005.80	100.00				

(Nota: Elaboración propia)

En la Figura N° 19 se presenta la curva granulométrica de la gravilla G3, la cual se encuentra en la zona intermedia entre el límite superior e inferior.



Gravilla G1

En la Tabla N° 23 se presenta los datos obtenidos en el laboratorio, los cuales han sido procesados para obtener los valores de peso unitario suelto y peso unitario compactado de la gravilla G1.

Tabla N° 23: Peso unitario suelto y compactado de la gravilla G1

DESCRIPCIÓN	UND	P.U. S	P.U.C
		Cantidad	Cantidad
Peso de la muestra y el recipiente	kg	5.52	5.94
Peso del recipiente	kg	1.57	1.57
Peso de la muestra	kg	3.95	4.37
Volumen del recipiente	m ³	0.0028	0.0028
Peso Unitario	kg/m³	1395	1544

(Nota: Elaboración propia)

Gravilla G2

En la Tabla N° 24 se presenta los datos obtenidos en el laboratorio, los cuales han sido procesados para obtener los valores de peso unitario suelto y peso unitario compactado de la gravilla G2.

Tabla N° 24: Peso unitario suelto y compactado de la gravilla G2

DESCRIPCIÓN	UND	P.U. S	P.U.C
		Cantidad	Cantidad
Peso de la muestra y el recipiente	kg	5.53	5.93
Peso del recipiente	kg	1.57	1.57
Peso de la muestra	kg	3.96	4.36
Volumen del recipiente	m ³	0.0028	0.0028
Peso Unitario	kg/m³	1398	1542

(Nota: Elaboración propia)

Gravilla G3

En la Tabla N° 25 se presenta los datos obtenidos en el laboratorio, los cuales han sido procesados para obtener los valores de peso unitario suelto y peso unitario compactado de la gravilla G3.

Tabla N° 25: Peso unitario suelto y compactado de la gravilla G3

DESCRIPCIÓN	UND	P.U. S	P.U.C
		Cantidad	Cantidad
Peso de la muestra y el recipiente	kg	5.46	5.90
Peso del recipiente	kg	1.57	1.57
Peso de la muestra	kg	3.89	4.33
Volumen del recipiente	m ³	0.0028	0.0028
Peso Unitario	kg/m³	1373	1530

(Nota: Elaboración propia)

3.2.4. Contenido de humedad

El ensayo de contenido de humedad se realizó acorde a la NTP 400.017:2020, los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio de las gravillas G1, G2 y G3 se presentan en la Tabla N° 26.

Tabla N° 26: Contenido de humedad de las gravillas G1, G2 y G3

DESCRIPCIÓN	UND	Gravilla G1	Gravilla G2	Gravilla G3
		Cantidad	Cantidad	Cantidad
Peso de la muestra y el recipiente	gr	585.90	587.70	650.50
Peso del recipiente	gr	135.00	138.80	138.00
Peso de la muestra	gr	450.90	448.90	512.50
Peso de la muestra seca y el recipiente	gr	583.10	585.00	646.40
Peso de la muestra seca	gr	448.10	446.20	508.40
Peso del agua perdida	gr	2.80	2.70	4.10
Contenido de humedad	%	0.62	0.61	0.81

(Nota: Elaboración propia)

3.2.5. Peso específico y porcentaje de absorción

Gravilla G1

Para el cálculo peso específico y absorción de gravilla G1 se realizó el procedimiento de acuerdo con la NTP 400.021:2020 ya que solo está compuesta por la parte gruesa como se observó en el análisis granulométrico de la gravilla G1 mostrada en la Tabla N° 20.

Se presenta la Tabla N° 27 con los datos obtenidos en laboratorio y procesados para obtener el peso específico y el porcentaje de absorción de la gravilla G1.

Tabla N° 27: Peso específico de la gravilla G1

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de muestra secada al horno	gr	3937.40
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr	4000.20
Peso de la muestra saturada sumergida en agua	gr	2613.60
Peso específico de masa		2.84
Peso específico de masa saturada superficialmente seca		2.88
Peso específico aparente		2.97
Porcentaje de absorción	%	1.59

(Nota: Elaboración propia)

Gravilla G2 y Gravilla G3

Para el cálculo del peso específico y el porcentaje de absorción de las gravillas G2 y G3 se tuvo en cuenta que estas gravillas están compuestas por partículas de agregado grueso (partículas de tamaños retenidos en mallas 3/8", N°4 y N°8) y agregado fino (partículas de tamaños retenidos en la malla N°16 y el fondo). Por lo que se utilizó el método de ensayo que describe la NTP 400.022:2021 para obtener el peso específico y el porcentaje de absorción de la parte fina de la gravilla y la NTP 400.021:2021 para obtener el peso específico y el porcentaje de absorción de la parte gruesa. Con estos datos se calculó el promedio ponderado del peso específico y el porcentaje de absorción para cada gravilla.

En la Tabla N° 28 se presenta los datos obtenidos en los ensayos a la parte gruesa de la gravilla G2 y los resultados obtenidos del peso específico y el porcentaje de absorción.

Tabla N° 28: Peso específico de la parte gruesa de la gravilla G2

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de muestra secada al horno	gr	3939.40
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr	4001.80
Peso de la muestra saturada sumergida en agua	gr	2614.70
Peso específico de masa		2.84
Peso específico de masa saturada superficialmente seca		2.89
Peso específico aparente		2.97
Porcentaje de absorción	%	1.58

(Nota: Elaboración propia)

En la Tabla N° 29 se presenta los datos obtenidos en los ensayos a la parte fina de la gravilla G2 y los resultados obtenidos del peso específico y el porcentaje de absorción.

Tabla N° 29: Peso específico de la parte fina de la gravilla G2

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de arena superficialmente seca	gr	430.00
Peso de la arena superficialmente seca + Peso del balón + peso del agua	gr	960.90
Peso del balón	gr	193.10
Peso del agua	gr	267.80
Peso de la arena seca al horno	gr	423.30
Volumen del balón	ml	500.00
Peso específico de masa		2.61
Peso específico de masa saturada superficialmente seca		2.65
Peso específico aparente		2.72
Porcentaje de absorción	%	1.58

(Nota: Elaboración propia)

De acuerdo con el análisis granulométrico de la gravilla G2, presentada en la Tabla N° 21, se conoce el contenido de la parte gruesa y parte fina de la misma. Se presenta el cálculo del promedio ponderado para obtener los pesos específicos y el porcentaje de absorción en la Tabla N° 30.

Tabla N° 30: Ponderado de pesos específicos y porcentaje de absorción de la gravilla G2

DESCRIPCIÓN	PARTE GRUESA 96.9%	PARTE FINA 3.1%	RESULTADOS (P.E y %Abs) G2
Peso específico de masa	2.84	2.61	2.83
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	2.89	2.65	2.88
Peso específico aparente	2.97	2.72	2.97
Porcentaje de absorción	1.58%	1.58%	1.58%

(Nota: Elaboración propia)

En la Tabla N° 31 se presenta los datos obtenidos en los ensayos a la parte gruesa de la gravilla G3 y los resultados obtenidos del peso específico y el porcentaje de absorción.

Tabla N° 31: Peso específico de la parte gruesa de la gravilla G3

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de muestra secada al horno	gr	3941.50
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr	4003.10
Peso de la muestra saturada sumergida en agua	gr	2615.60
Peso específico de masa		2.84
Peso específico de masa saturada superficialmente seca		2.89
Peso específico aparente		2.97
Porcentaje de absorción	%	1.56

(Nota: Elaboración propia)

En la Tabla N° 32 se presenta los datos obtenidos en los ensayos a la parte fina de la gravilla G3 y los resultados obtenidos del peso específico y el porcentaje de absorción.

Tabla N° 32: Peso específico de la parte fina de la gravilla G3

DESCRIPCIÓN	UND	CANTIDAD
Peso de arena superficialmente seca	gr	430.00
Peso de la arena superficialmente seca + Peso del balón + peso del agua	gr	960.90
Peso del balón	gr	193.10
Peso del agua	gr	267.80
Peso de la arena seca al horno	gr	423.30
Volumen del balón	ml	500.00
Peso específico de masa		2.61
Peso específico de masa saturada superficialmente seca		2.65
Peso específico aparente		2.72
Porcentaje de absorción	%	1.58

(Nota: Elaboración propia)

De acuerdo con la granulometría de la gravilla G3, presentada en la Tabla N° 22, se conoce el contenido de la parte gruesa y parte fina de la misma. Se presenta el cálculo del promedio ponderado para obtener los pesos específicos y el porcentaje de absorción en la Tabla N° 33.

Tabla N° 33: Ponderado del peso específico y porcentaje de absorción G3

DESCRIPCIÓN	PARTE GRUESA	PARTE FINA	RESULTADOS (P.E y %Abs) G3
	94.3%	5.7%	
Peso específico de masa	2.84	2.61	2.83
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	2.89	2.65	2.87
Peso específico aparente	2.97	2.72	2.96
Porcentaje de absorción	1.56%	1.58%	1.56%

(Nota: Elaboración propia)

Se presenta la Tabla N° 34 en la cual se resumen los resultados obtenidos de los pesos específicos y los porcentajes de absorción de las gravillas G1, G2 y G3.

Tabla N° 34: Pesos específicos y porcentajes de absorción de las gravillas G1, G2 y G3

DESCRIPCIÓN	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN		
	GRAVILLA G1	GRAVILLA G2	GRAVILLA G3
Peso específico de masa	2.84	2.83	2.83
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	2.88	2.88	2.87
Peso específico aparente	2.97	2.97	2.96
Porcentaje de absorción	1.59 %	1.58 %	1.56 %

(Nota: Elaboración propia)

Capítulo IV: Determinación de las proporciones de producción del grout patrón y con adición de gravilla

En este capítulo se desarrolla los criterios utilizados para el diseño de las mezclas de grout previos a la producción de grout en laboratorio, utilizando los datos obtenidos en el Capítulo III. Para estos cálculos nos basaremos en las proporciones recomendadas por la Norma E.070 de albañilería y una relación agua/cemento elevada acorde a la literatura técnica existente.

Con el objetivo de estudiar la influencia de las gravillas en las propiedades del grout, se utilizó como grout patrón la proporción volumétrica en estado suelto de cemento y arena de 1:2.5 constantes, como menciona la Norma E.070 de albañilería, y a esta proporción añadir gravilla de diferentes granulometrías en proporciones 1, 1.5 y 2 veces el volumen del material cementante.

Se presenta en el Anexo A, fotografías del ensayo de cono Marsh a las mezclas de grout patrón.

4.1. Relación agua/cemento para grouts

Para poder estudiar la influencia de las gravillas en el grout, se determinó utilizar una relación agua/cemento constante en todas las mezclas de grout utilizadas en esta investigación.

Para definir esta cantidad de agua se consideró las condiciones que deben de tener los grout: una consistencia elevada y una resistencia a la compresión mínima de 140 kg/cm^2 .

De acuerdo con la Norma E.070 de albañilería la cantidad de agua utilizada para la producción de grout debe ser tal que la mezcla tenga una consistencia entre 225mm a 275mm (8.85" a 10.82").(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006)

Se recomiendan la utilización de relaciones agua/cemento elevadas, para lograr la consistencia adecuada, que se encuentre entre valores de 0.8 a 1.2, dependientes principalmente del módulo de fineza de la arena. (Gallegos & Casabonne, 2005)

Para lograr la resistencia mínima a la compresión de 140 kg/cm^2 esta investigación se referenció en base a la Figura N° 20, la cual recomienda una relación

agua/cemento entre 0.7 y 0.8 para obtener resistencias entre 140 kg/cm² y 150 kg/cm². (Sánchez, 2001)

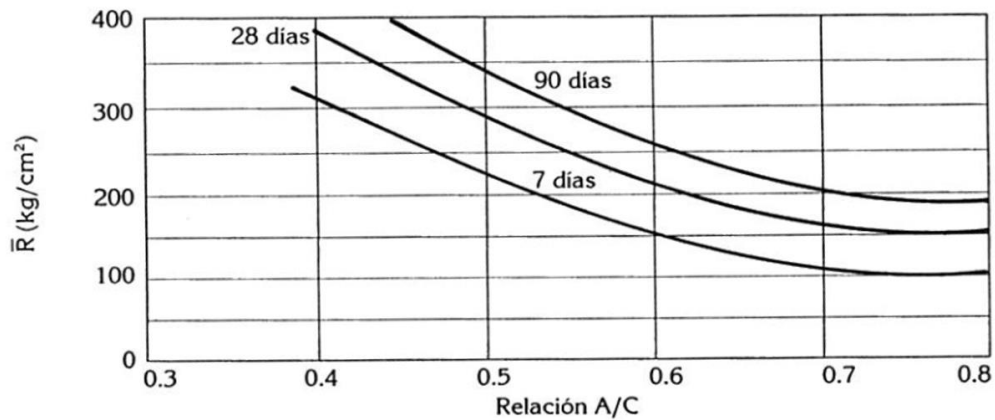


Figura N° 20: Relación entre la resistencia a la compresión y la relación agua/cemento
Fuente (Sánchez, 2001)

Finalmente, para definir la relación agua/cemento de las mezclas de grout, se realizó el ensayo del cono Marsh donde se evaluó el tiempo de flujo del grout patrón según los detalles del método de ensayo indicado en la Norma ASTM C939.

4.1.1.1. Cemento Portland tipo I

Para esta investigación se utilizó el cemento Portland tipo I de la marca Sol en presentación de bolsas de 42.5 kg equivalente a 1pie³. Este producto cumple con los estándares de las NTP 334.009:2023 y ASTM C-150 (Unión Andina de Cementos, 2024).

Se presenta en la Tabla N° 35 las propiedades brindadas en la ficha técnica del producto brindado por el fabricante.

Tabla N° 35: Ficha técnica de cemento Sol tipo I

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR	REQUISITOS NTP 334.009:2023
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie específica	m ² /kg	323	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.13	No especifica
Resistencia a la compresión			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm ²	303	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm ²	382	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm ²	449	Mínimo 285
Tiempo de Fraguado			
Fraguado Vicat inicial	min	129	Mínimo 45
Composición Química			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5
Fases Mineralógicas			
C ₂ S	%	12	No especifica
C ₃ S	%	55	No especifica
C ₃ A	%	10	No especifica
C ₄ AF	%	10	No especifica

Fuente (Unión Andina de Cementos, 2024)

4.1.2. Ensayo fluidez con el cono Marsh

Para definir la relación agua/cemento se evaluó 8 diferentes mezclas de grout, de proporciones 1:2.5 (cemento: arena), utilizando el ensayo del cono Marsh. De esta manera evaluar los tiempos de flujo menores a 35 segundos como recomienda la Norma ASTM C939.

Haciendo uso de las ecuaciones (5) y (6), los datos de las propiedades físicas de la arena gruesa obtenidas en el Capítulo III y las características del cemento Sol

tipo I, se obtuvo la Tabla N° 36 donde se visualiza la conversión de proporciones de las mezclas de grout.

$$PP_{\text{Húmedo}} = \frac{PV_{\text{Húmedo}}}{42.5\text{kg}} \cdot \left(\frac{1\text{m}^3}{35.3147\text{pie}^3}\right) (PUS_{\text{arena}}) \quad (5)$$

$$PP_{\text{Seco}} = \frac{PP_{\text{Húmedo}}}{1+w\%} \quad (6)$$

Donde:

$PP_{\text{Húmedo}}$: Proporción en Peso Húmedo (escalar)

$PV_{\text{Húmedo}}$: Proporción en Volumen Húmedo (escalar)

PP_{Seco} : Proporción en Peso Seco (escalar)

PUS_{arena} : Peso unitario suelto de la arena (kg/m^3)

$w\%$: Contenido de humedad

Tabla N° 36: Conversión de proporciones de volumen a peso seco y húmedo

DESCRIPCIÓN	COMPOSICIÓN	
	CEMENTO	ARENA
Proporción volumen húmedo ($PV_{\text{Húmedo}}$)	1.00	2.50
Proporción peso húmedo ($PP_{\text{Húmedo}}$)	1.00	2.57
Proporción peso seco (PP_{Seco})	1.00	2.52

(Nota: Elaboración propia)

Usando de la Ecuación N° 7 se realizó la corrección de contenido de agua por humedad y absorción.

$$C_{\text{agua}} = (P_{\text{Seco}}) \cdot (\%w - \%abs) \dots (7)$$

Donde:

C_{agua} : Corrección de agua por humedad y absorción de agregados (kg)

P_{Seco} : Peso seco del agregado (kg)

$\%w$: Porcentaje de humedad del agregado

$\%abs$: Porcentaje de absorción del agregado

Se presenta la Tabla N° 37 donde se visualiza los pesos de cada componente de las mezclas para evaluar la relación entre el coeficiente de agua/cemento y su fluidez a través del cono Marsh.

Tabla N° 37: Dosificación en peso de grout para ensayo del cono Marsh

GROUT	a/c	CEMENTO (gr)	ARENA (gr)	AGUA (gr)	CORRECCIÓN DE AGUA (gr)	AGUA CORRE. (gr)
Grout 1	0.82	1000	2570.6	820.0	21.2	798.8
Grout 2	0.80	1000	2570.6	800.0	21.2	778.8
Grout 3	0.78	1000	2570.6	780.0	21.2	758.8
Grout 4	0.76	1000	2570.6	760.0	21.2	738.8
Grout 5	0.75	1000	2570.6	750.0	21.2	728.8
Grout 6	0.74	1000	2570.6	740.0	21.2	718.8
Grout 7	0.72	1000	2570.6	720.0	21.2	698.8
Grout 8	0.70	1000	2570.6	700.0	21.2	678.8

(Nota: Elaboración propia)

Se realizaron las mezclas utilizando una mezcladora de morteros de marca Forney con capacidad de 4.7 litros, como se visualiza en la Figura N° 21.



Figura N° 21: Mezcladora de morteros
(Nota: Fotografía propia)

Se realizaron los ensayos de tiempo de flujo en el cono Marsh como se muestra en la Figura N° 22.



Figura N° 22: Equipo de ensayo cono Marsh para determinar el tiempo de flujo del grout
(Nota: Fotografía propia)

Se presenta la Tabla N° 38, donde se visualiza los tiempos de flujo para cada mezcla de grout. Como se observa para valores de relación agua/cemento inferiores a 0.74 se obtiene tiempos mayores a 35 segundos. La Norma ASTM C 939, menciona que para tiempos de flujo mayores a 35 segundos los valores obtenidos en el cono Marsh no son válidos. A partir de esta información se decidió utilizar la relación agua/cemento de 0.75 obteniéndose de esta manera un tiempo de 32.10 segundos de flujo a través del cono Marsh.

Tabla N° 38: Tiempos de flujo a través del cono Marsh

TIPO DE MEZCLA	RELACIÓN a/c	TIEMPO DE FLUJO (Seg)
Grout 1	0.82	16.19
Grout 2	0.80	20.16
Grout 3	0.78	22.80
Grout 4	0.76	24.50
Grout 5	0.75	32.10
Grout 6	0.74	35.90
Grout 7	0.72	51.23
Grout 8	0.70	63.40

(Nota: Elaboración propia)

Se presenta la Figura N° 23, en la cual se visualiza la tendencia de los tiempos de flujo a través del cono Marsh con respecto a la relación agua/cemento

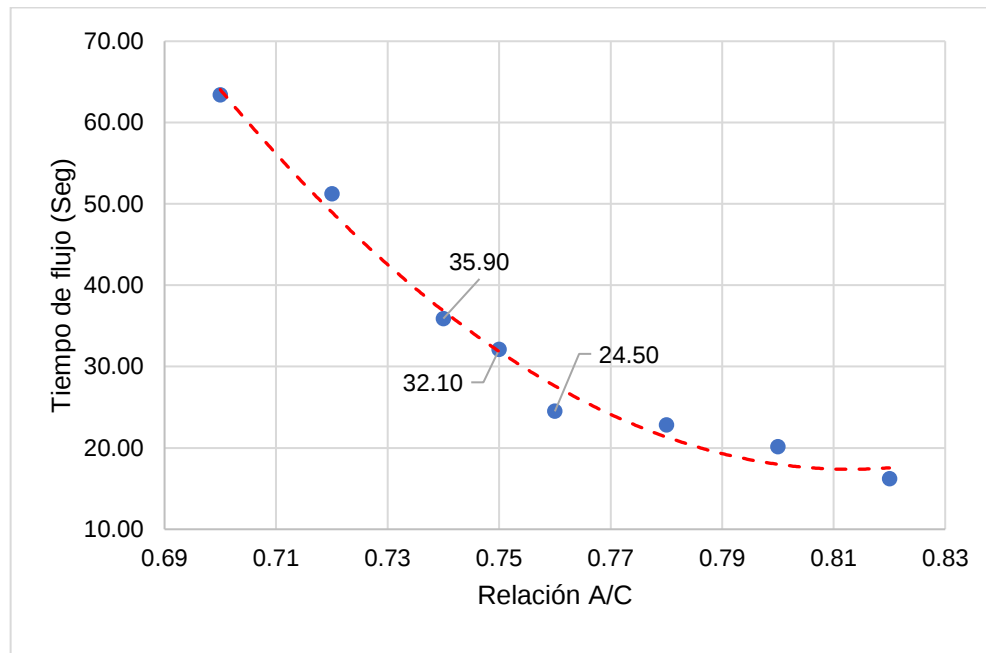


Figura N° 23: Tiempo de flujo en el cono Marsh vs relación a/c
(Nota: Elaboración propia)

4.1.3. Ensayo de consistencia en mezclas de grout

Utilizando la relación a/c obtenido en 4.1.2. se obtuvo la consistencia (slump) mediante el ensayo descrito en la NTP 399.035:2022 "Concreto. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico". Esta relación de agua/cemento, será considerada como parte de la mezcla patrón del grout, en la Tabla N° 39 se presenta los resultados de consistencia obtenido.

Tabla N° 39: Resultado obtenido del ensayo de asentamiento con el cono de Abrams

TIPO DE MEZCLA	RELACIÓN a/c	PROPORCIÓN EN PESO SECO			Slump (pulg)
		CEMENTO	ARENA	AGUA	
Grout GP	0.75	1.00	2.52	0.75	10.75"

(Nota: Elaboración propia)

En forma visual no se observó segregación o exudación en la mezcla, como se visualiza en la Figura N° 24.



Figura N° 24: Mezcla patrón posterior al ensayo de consistencia
(Nota: Fotografía propia)

De acuerdo con la NTP 399.609:2018 Especificaciones normalizada para grout de albañilería, el valor de consistencia se debe encontrar entre 8" y 11".(Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2018) El valor obtenido y mostrado en la Tabla N° 39, se encuentra en el límite superior del rango mencionado en la norma.

De la misma forma la Norma E.070 de albañilería indica que el grout debe tener un asentamiento comprendido entre 8.86" y 10.83".(Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2006). El valor obtenido sigue encontrándose en el límite superior.

Finalmente, después de realizadas las pruebas de fluidez del cono Marsh y el ensayo de consistencia, se llega a seleccionar que la relación agua/cemento es de 0.75.

4.2. Criterio para cálculo de proporciones de mezclas de grout

Se presenta la Tabla N° 40 como resumen de las características físicas de los agregados obtenido en el Capítulo III, datos con los cuales se convirtieron las proporciones de volumen a peso húmedo.

Tabla N° 40: Características físicas de los agregados para producción de grout

DESCRIPCIÓN	UND	ARENA GRUESA	GRAVILL A G1	GRAVILL A G2	GRAVILL A G3
Peso unitario suelto PUS	kg/m ³	1543	1395	1398	1372
Peso unitario compacto PUC	kg/m ³	1765	1544	1542	1530
Peso Específico	-	2.65	2.84	2.83	2.83
Módulo de fineza	-	2.78	3.05	2.85	2.65
% de absorción	%	1.09	1.60	1.58	1.56
% de humedad	%	1.93	0.63	0.61	0.81

(Nota: Elaboración propia)

Utilizado los datos de proporciones en volumen presentadas anteriormente en la Tabla N° 9 se diseñaron diez mezclas de grout para esta investigación, estas proporciones se convirtieron a proporciones en peso húmedo aplicando la Ecuación N° 5, y se presentan los valores obtenidos en la Tabla N° 41 con los resultados de la conversión de proporción volumétrica a proporción en peso húmedo.

Tabla N° 41: Resultado de conversión a proporción en peso húmedo

NOMENCLATURA		PROPORCIÓN EN VOLUMEN HÚMEDO	PROPORCIÓN EN PESO HÚMEDO
TIPO DE GRAVILLA	TIPO DE GROUT	CEMENTO: ARENA: GRAVILLA	CEMENTO: ARENA: GRAVILLA
Sin gravilla	GP	1.00: 2.50: 0.00	1.00: 2.57: 0.00
Gravilla G1	GG1P1	1.00: 2.50: 1.00	1.00: 2.57: 0.93
	GG1P2	1.00: 2.50: 1.50	1.00: 2.57: 1.39
	GG1P3	1.00: 2.50: 2.00	1.00: 2.57: 1.86
Gravilla G2	GG2P1	1.00: 2.50: 1.00	1.00: 2.57: 0.93
	GG2P2	1.00: 2.50: 1.50	1.00: 2.57: 1.40
	GG2P3	1.00: 2.50: 2.00	1.00: 2.57: 1.86
Gravilla G3	GG3P1	1.00: 2.50: 1.00	1.00: 2.57: 0.91
	GG3P2	1.00: 2.50: 1.50	1.00: 2.57: 1.37
	GG3P3	1.00: 2.50: 2.00	1.00: 2.57: 1.83

(Nota: Elaboración propia)

A partir de la relación agua/cemento obtenido en 4.1.2. y relacionada con la consistencia en 4.1.3., se obtuvo la cantidad de agua para cada mezcla manteniendo constante el valor de 0.75 y se corrigió la cantidad de agua usando

las Ecuaciones N° 5 y N° 6 corrección realizada por factores de humedad y absorción.

Se obtiene la Tabla N° 42, en la que se visualiza las proporciones en peso húmedo de cemento, arena, gravilla y la cantidad de agua en proporción corregida por contenido de humedad y absorción de los agregados.

Tabla N° 42: Proporción en peso húmedo de cemento, arena, gravilla y agua

PROPORCIÓN EN PESO HÚMEDO		
	Cemento: Arena: Gravilla	Proporción de agua
Sin gravilla	1.00:2.57:0.00	0.73
Gravilla G1	1.00:2.57:0.93	0.74
	1.00:2.57:1.39	0.74
	1.00:2.57:1.86	0.75
Gravilla G2	1.00:2.57:0.93	0.74
	1.00:2.57:1.40	0.74
	1.00:2.57:1.86	0.75
Gravilla G3	1.00:2.57:0.91	0.74
	1.00:2.57:1.37	0.74
	1.00:2.57:1.83	0.74

(Nota: Elaboración propia)

Se presenta la Tabla N° 43 de las dosificaciones de 70 kilos de grout por tipo de mezcla.

Tabla N° 43: Dosificación en peso de mezclas de grout para tandas de prueba de 70kg

Tipo de gravilla	Nomenclatura de mezcla	Dosificación en peso tanda de 70kg				Peso total de grout (kg)
		CEMENTO (kg)	ARENA (kg)	GRAVILLA (kg)	AGUA (kg)	
Sin gravilla	GP	16.28	41.84	0.00	11.88	70.00
Gravilla G1	GG1P1	13.36	34.33	12.42	9.89	70.00
	GG1P2	12.28	31.56	17.07	9.09	70.00
	GG1P3	11.33	29.11	21.07	8.50	70.00
Gravilla G2	GG2P1	13.36	34.33	12.42	9.89	70.00
	GG2P2	12.26	31.51	17.16	9.07	70.00
	GG2P3	11.33	29.11	21.07	8.50	70.00
Gravilla G3	GG3P1	13.41	34.46	12.20	9.92	70.00
	GG3P2	12.32	31.67	16.88	9.12	70.00
	GG3P3	11.40	29.3	20.86	8.44	70.00

(Nota: Elaboración propia)

Capítulo V: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas del grout

El presente capítulo contiene una breve descripción de los ensayos realizados a las mezclas de grout además de los resultados obtenidos en los ensayos realizados al grout en estado fresco y endurecido.

Se presenta en el Anexo A, fotografías de los ensayos realizados a mezclas de grout en estado fresco y endurecido.

Se presenta en el Anexo B y C, los resultados obtenidos de los ensayos de compresión y flexión a testigos de mezclas de grout.

5.1. Ensayos en estado fresco del grout

5.1.1. Ensayo de consistencia de mezclas de grout

La Norma E.070 de albañilería indica realizar el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams acorde a la NTP 339.035:2022 para clasificar los grout.

Equipo utilizado

- Cono de Abrams
- Barra compactadora
- Cinta métrica
- Cucharón

Procedimiento

- Humedecer el molde y colocarlo sobre una superficie plana, rígida, nivelada y no absorbente.
- Con la muestra obtenida, rellenar el molde vaciando el grout obtenido en tres capas, de modo que cada capa corresponda aproximadamente a la tercera parte del volumen del molde.
- Cada capa se compacta aplicando 25 golpes con la barra compactadora distribuyendo uniformemente en toda la sección de la capa.
- El molde se llena en exceso antes de compactar la última capa, y una vez compactada se nivela con la misma barra compactadora.

- Inmediatamente se retira el molde del concreto, levantándolo cuidadosamente en dirección vertical.
- Se mide inmediatamente el asentamiento, determinado por la diferencia entre la altura del molde y el centro desplazado de la cara superior del cono deformado.

Resultados de laboratorio

Se presenta la Tabla N° 44 y la Figura N° 25 en la que se muestran los resultados obtenidos de los ensayos de consistencia realizado a las mezclas de grout.

Tabla N° 44: Resultados obtenidos del ensayo de consistencia del grout

PROPORCIONES DE GROUT (Cemento: Arena: Gravilla)	TIPO DE GROUT	ASENTAMIENTO (pulg)
Grout 1:2.5:0	GP	10.75
Grout 1:2.5:1	GG1P1	10.25
	GG2P1	10.25
	GG3P1	10.50
Grout 1:2.5:1.5	GG1P2	9.50
	GG2P2	9.50
	GG3P2	9.75
Grout 1:2.5:2	GG1P3	9.00
	GG2P3	8.50
	GG3P3	8.75

(Nota: Elaboración propia)

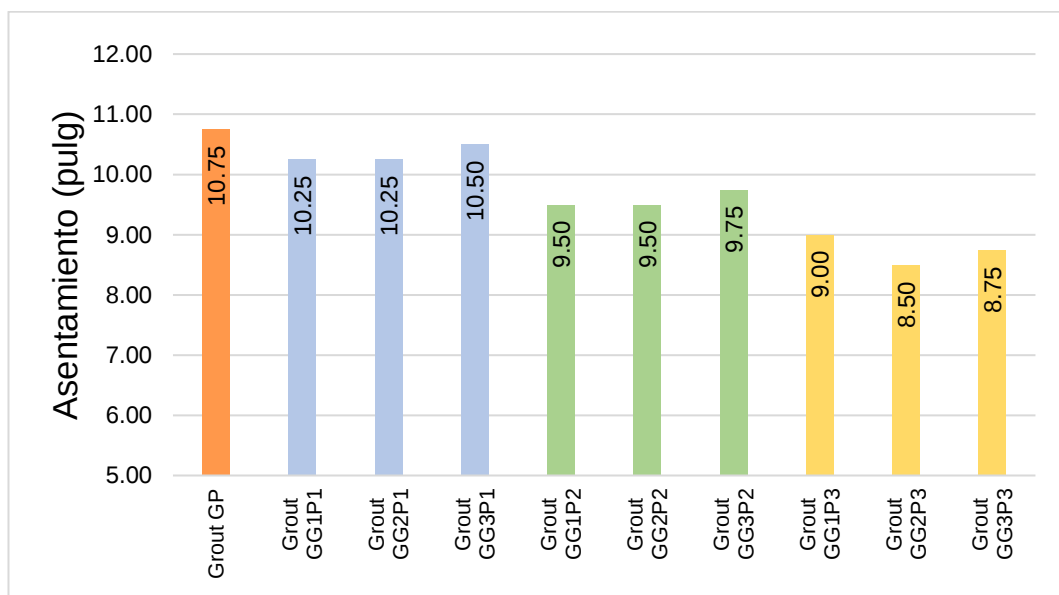


Figura N° 25: Asentamientos del ensayo en el cono de Abrams
(Nota: Elaboración propia)

5.1.2. Peso unitario de grout

Es el peso del grout que ocupa un volumen determinado expresado en kg/m^3 , para esto se utilizó un recipiente de volumen estandarizado. Este procedimiento se realizó en base a la NTP 339.046:2019.

Equipo utilizado

- Mezcladora de concreto
- Recipiente de volumen conocido
- Pisón o compactador
- Balanza con aproximación a 0.5gr

Procedimiento

- Colocar el grout recién mezclado en el recipiente normalizado en 3 capas, con una compactación de 25 golpes cada una, uniformemente distribuido con ayuda del pisón.
- En la última capa proceder a enrasar con la espátula, teniendo cuidado el límite superior del recipiente.
- Pesar el recipiente con la mezcla.

Expresión de los resultados

Para el cálculo del peso unitario se utilizó la ecuación (8).

$$P. U. = \frac{P_1 - P_2}{V} (8)$$

Donde:

P.U: Peso unitario grout fresco (kg/m^3)

P₁: Recipiente + mezcla de grout (kg)

P₂: Recipiente (kg)

V: Volumen de recipiente conocido (m^3)

Resultados de laboratorio

Se presenta la Tabla N° 45 y la Figura N° 26, donde se presenta los resultados del ensayo de peso unitarios en las diferentes mezclas de grout estudiadas.

Tabla N° 45: Resultados de peso unitario de mezclas de grout fresco

PROPORCIÓN (C: A: G)	TIPO DE GROUT	PESO UNITARIO (kg/m ³)
Grout 1:2.5:0	GP	2075
Grout 1:2.5:1	GG1P1	2256
	GG2P1	2267
	GG3P1	2239
Grout 1:2.5:1.5	GG1P2	2312
	GG2P2	2300
	GG3P2	2277
Grout 1:2.5:2	GG1P3	2329
	GG2P3	2342
	GG3P3	2280

(Nota: Elaboración propia)

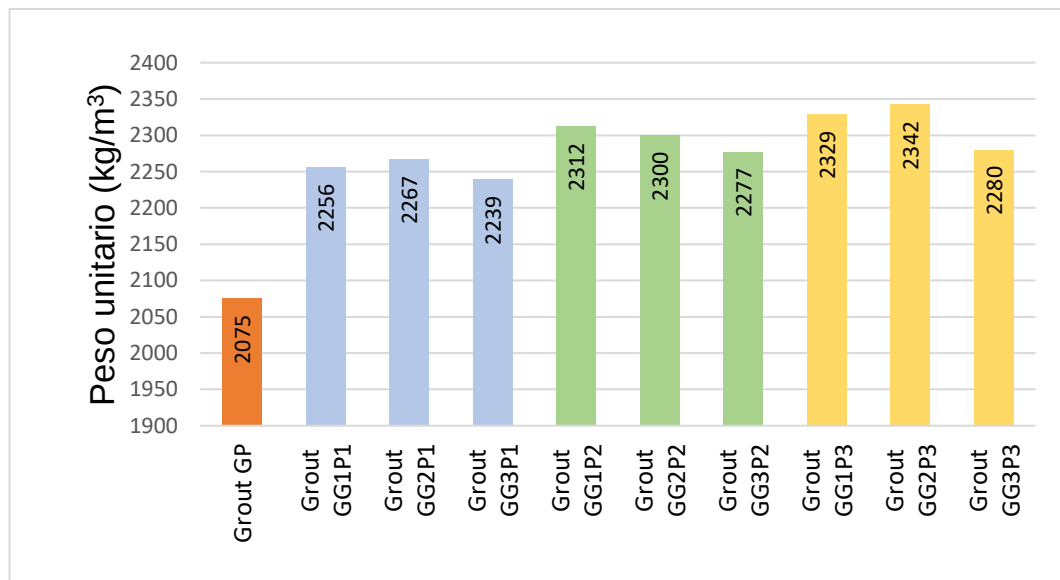


Figura N° 26: Resultados de peso unitario en mezclas de grout
(Nota: Elaboración propia)

5.1.3. Obtención de rendimiento de mezclas de grout

Se presenta la Tabla N° 46 con los rendimientos de las mezclas, obtenido haciendo uso de los datos mostrados en las Tabla N° 43 y N° 45.

Tabla N° 46: Rendimiento de mezclas de grout

TIPO DE GRAVILLA	TIPO DE GROUT	PESO TOTAL DE GROUT (kg)	PESO UNITARIO (kg/m ³)	RENDIMIENTO (m ³)
Sin gravilla	GP	70.00	2075	0.034
Gravilla G1	GG1P1	70.00	2256	0.031
	GG1P2	70.00	2267	0.031
	GG1P3	70.00	2239	0.031
Gravilla G2	GG2P1	70.00	2312	0.030
	GG2P2	70.00	2300	0.030
	GG2P3	70.00	2277	0.031
Gravilla G3	GG3P1	70.00	2329	0.030
	GG3P2	70.00	2342	0.030
	GG3P3	70.00	2280	0.031

(Nota: Elaboración propia)

5.1.4. Ensayo de temperatura

La toma de temperatura de grout se realizó en un recipiente que contenga la mezcla y permita el uso del termómetro acorde a la NTP 339.184:2021.

Equipo utilizado

- Mezcladora de concreto
- Recipiente
- Dispositivo de medida de temperatura

Procedimiento

- Colocar el grout recién mezclado en un recipiente que permita que el sensor esté sumergido un mínimo de 75mm.
- Dejar introducido el dispositivo en el grout fresco por lo menos 2 minutos a continuación, leer y registrar con una precisión de 0.5°C.

Expresión de los resultados

$$\text{Temperatura (C}^\circ\text{)} = T$$

Donde:

T : Medida de la temperatura en grados centígrados

Resultados de laboratorio

Se presenta la Tabla N° 47 y la Figura N° 27, donde se muestran los resultados obtenidos del ensayo de toma de temperatura en las diferentes mezclas de grout fresco estudiadas.

Tabla N° 47: Resultados de toma de temperatura en mezclas de grout fresco

PROPORCIÓN (C: A: G)	TIPO DE GROUT	TEMPERATURA (°C)
Grout 1:2.5:0	GP	21.8°
Grout 1:2.5:1	GG1-P1	21.7°
	GG2-P1	21.5°
	GG3-P1	22.0°
Grout 1:2.5:1.5	GG1-P2	21.9°
	GG2-P2	22.1°
	GG3-P2	21.8°
Grout 1:2.5:2	GG1-P3	21.3°
	GG2-P3	20.9°
	GG3-P3	21.2°

(Nota: Elaboración propia)

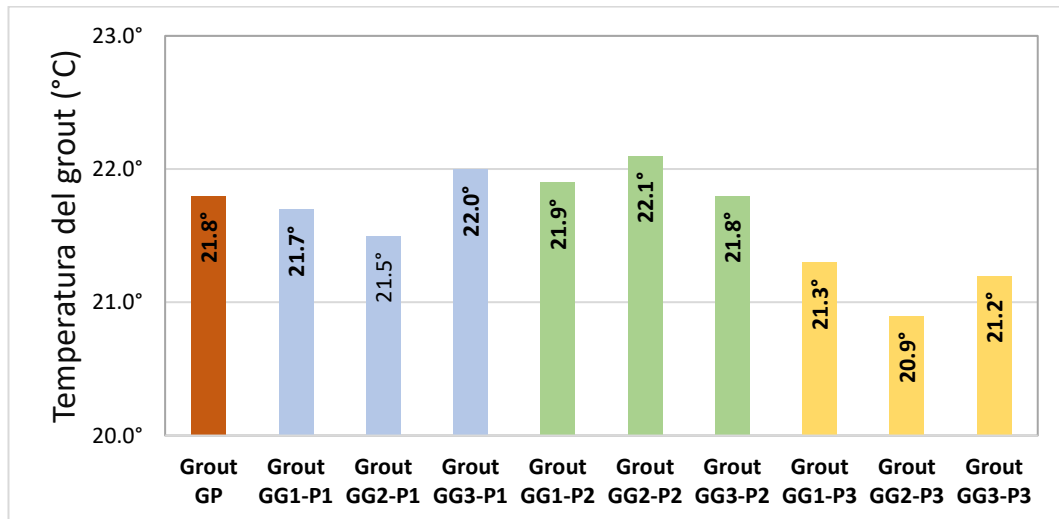


Figura N° 27: Temperatura de concreto fresco
(Nota: Elaboración propia)

5.1.5. Ensayo de medición de pH

La medición de pH del grout se realizó con un pHmetro el cual indica la acidez o alcalinidad de una solución o mezcla.

Equipo utilizado

- Mezcladora de concreto
- Recipiente
- Dispositivo de medida de pH (pHmetro)

Procedimiento

- Colocar el grout recién mezclado en un recipiente que permita que el sensor esté sumergido.
- Dejar introducido el dispositivo en el grout fresco por lo menos 2 minutos a continuación, leer y registrar.

Expresión de los resultados

$$\text{Contenido de iones} = \text{pH}$$

Donde:

pH: Medida del contenido de iones de la mezcla de grout

Resultados de laboratorio

Se presenta la Tabla N° 48 y la Figura N° 28, donde se presenta los resultados del ensayo de toma de pH en las diferentes mezclas de grout estudiadas.

Tabla N° 48: Resultados de medida de pH en mezclas de grout

TIPO DE GROUT (C: A: G)	Tipo de Mezcla	pH
Grout 1:2.5:0	GP	12.89
	GG1-P1	12.81
Grout 1:2.5:1	GG2-P1	12.78
	GG3-P1	12.72
	GG1-P2	12.71
Grout 1:2.5:1.5	GG2-P2	12.69
	GG3-P2	12.65
	GG1-P3	12.64
Grout 1:2.5:2	GG2-P3	12.62
	GG3-P3	12.61

(Nota: Elaboración propia)

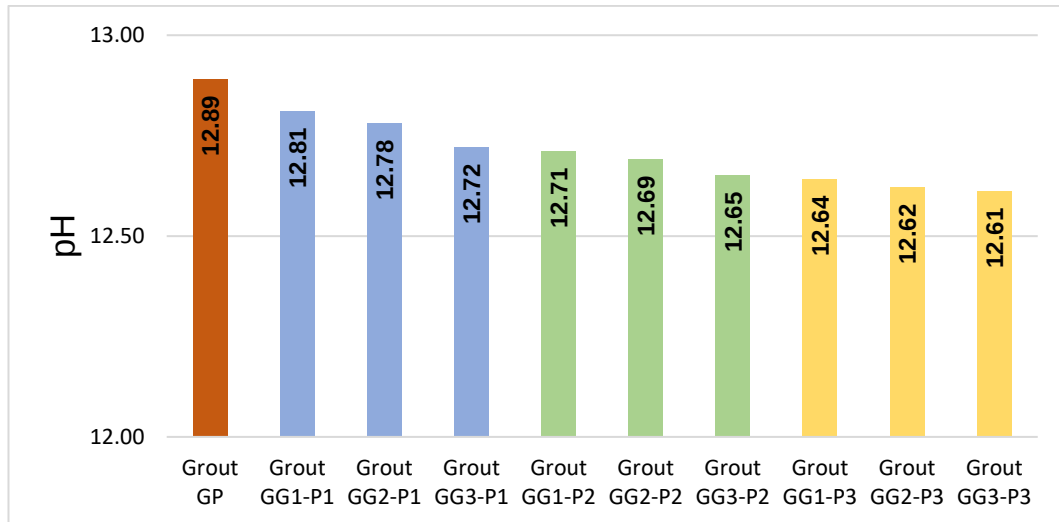


Figura N° 28: Resultados de toma de pH en mezclas de grout
(Nota: Elaboración propia)

5.2. Ensayos en estado endurecido del grout

5.2.1. Muestreo de testigos prismáticos de grout

Para realizar los ensayos de resistencia a la compresión, se realizó el muestreo de testigos prismáticos de grout de acuerdo con la NTP 399.623:2015 revisada el año 2015, las cuales se describen a continuación:

- Se usó unidades de albañilería como moldes como se visualiza en la Figura N° 29.



Figura N° 29: Moldes de testigos prismáticos conformados con bloquetas de concreto
(Nota: Fotografía propia)

- En la Fig. 30 se observa las unidades son cubiertas con papel toalla para permitir la absorción del exceso de agua que presenta las mezclas de grout además de permitir el desmolde y el uso de espaciadores no absorbentes para definir el tamaño del testigo.

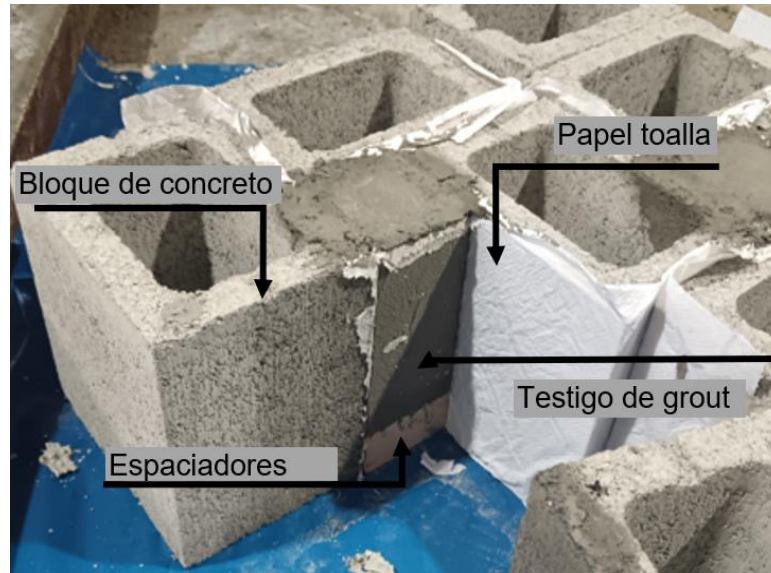


Figura N° 30: Testigo y molde para mezclas de grout
(Nota: Fotografía propia)

- Las muestras fueron de tamaño 76mm x 152mm, como se visualiza en la Fig. 31. Para el llenado de moldes se realizaron en dos capas de la misma altura y fueron varillados 15 veces ingresando ligeramente media pulgada en la capa anterior.

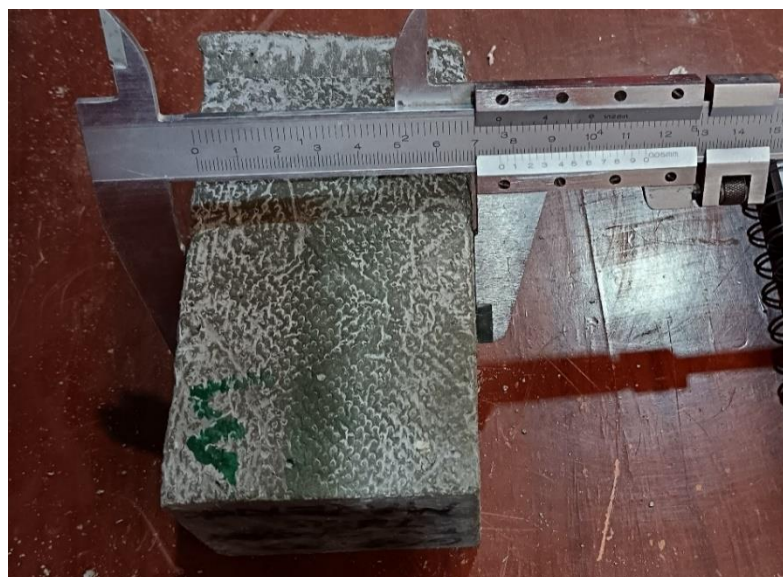


Figura N° 31: Dimensionamiento de testigos de grout
(Nota: Fotografía propia)

- Se produjo una superficie plana nivelada con el borde superior de los bloques de concreto sin depresiones mayores a 1/8 de pulgada. Una vez concluida se procedió a cubrir con un material absorbente húmedo como se visualiza en la Figura N° 32.



Figura N° 32: Testigo de grout cubierto con paños húmedos
(Nota: Fotografía propia)

- A los 30 minutos posteriores del llenado del molde, se agregó suficiente mezcla de grout sin varilla para rellenar la depresión causada por la pérdida inicial de agua, como se visualiza en la Figura N° 33. Inmediatamente cubrir con el material húmedo absorbente.

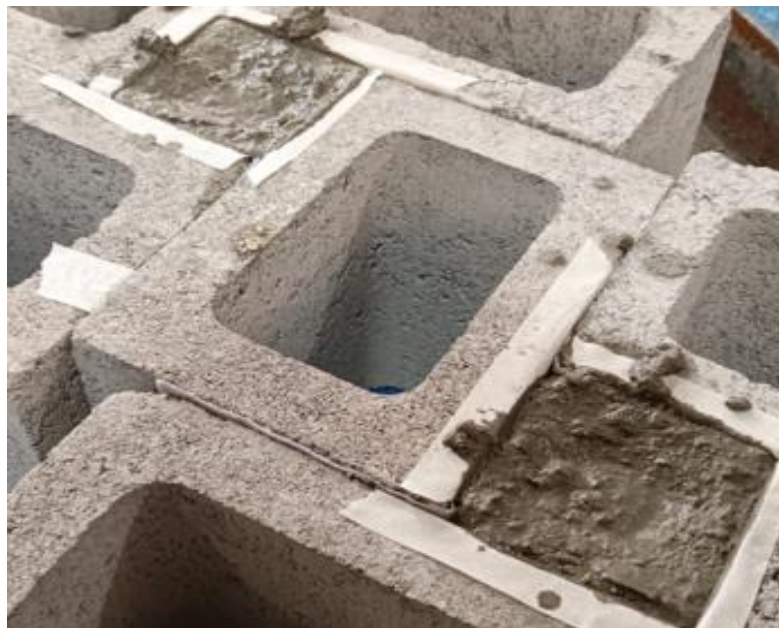


Figura N° 33: Depresión de testigos de grout por pérdida de agua inicial
(Nota: Fotografía propia)

- Se desmoldó los testigos a las 24 horas del vaciado para posterior mantener húmedas hasta el día del ensayo, para este fin se colocó las muestras en un tanque de almacenamiento de agua.
- Se realiza el refrendado mediante capping de las muestras para nivelar los testigos, lo cual se visualiza en las Figura N° 34 y Figura N° 35.



Figura N° 34: Refrendado de testigos de grout con mortero de bentonita y azufre
(Nota: Fotografía propia)



Figura N° 35: Testigos prismáticos de grout refrendados
(Nota: Fotografía propia)

- Se realizó el ensayo a la compresión en condiciones húmedas a una velocidad de 5 toneladas por minuto en el Maquina ELE International del LEM, como se visualiza en la Figura N° 36. Hasta la rotura del prisma como se observa en la Figura N° 37.



Figura N° 36: Resistencia a la compresión en testigo prismático de grout
(Nota: Fotografía propia)



Figura N° 37: Testigo de grout GG1P1 posterior al ensayo de resistencia a la compresión
(Nota: Fotografía propia)

5.2.2. Resistencia a la compresión de prismas de grout

La característica predominante en el grout es su resistencia a la compresión, para esta investigación se realizó muestras prismáticas de 76mm de ancho y 152mm de altura, utilizando como moldes bloques de concreto. El método de muestreo y ensayo de las mezclas de grout fue descrito a detalle en 2.2.3.6.

Resultados de laboratorio

Para cada mezcla de grout se ensayó los testigos a los 7, 14 y 28 días de curado, 3 testigos por edad como se detalló en la Tabla N° 10. Para obtener la resistencia por tipo de mezcla y edad, se utilizó la Ecuación N° 1 con los resultados de carga de rotura y las medidas tomadas de los testigos prismáticos, se promedió las resistencias obtenidas y se muestran en la Tabla N° 49.

Tabla N° 49: Resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días.

TIPO DE GROUT	PROPORCIÓN VOL.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
		7 d	14 d	28 d
GP	1.0:2.5:0.0	223	238	268
GG1-P1	1.0:2.5:1.5	187	207	234
GG1-P2	1.0:2.5:2.0	175	198	228
GG1-P3	1.0:2.5:2.0	168	193	225
GG2-P1	1.0:2.5:1.0	197	217	244
GG2-P2	1.0:2.5:1.5	192	213	239
GG2-P3	1.0:2.5:2.0	183	208	230
GG3-P1	1.0:2.5:1.0	200	221	247
GG3-P2	1.0:2.5:1.5	191	216	240
GG3-P3	1.0:2.5:2.0	187	213	235

(Nota: Elaboración propia)

El la Figura N° 38, se muestra la evolución de las resistencias a la compresión de las mezclas de grout de tipo GG1PX.

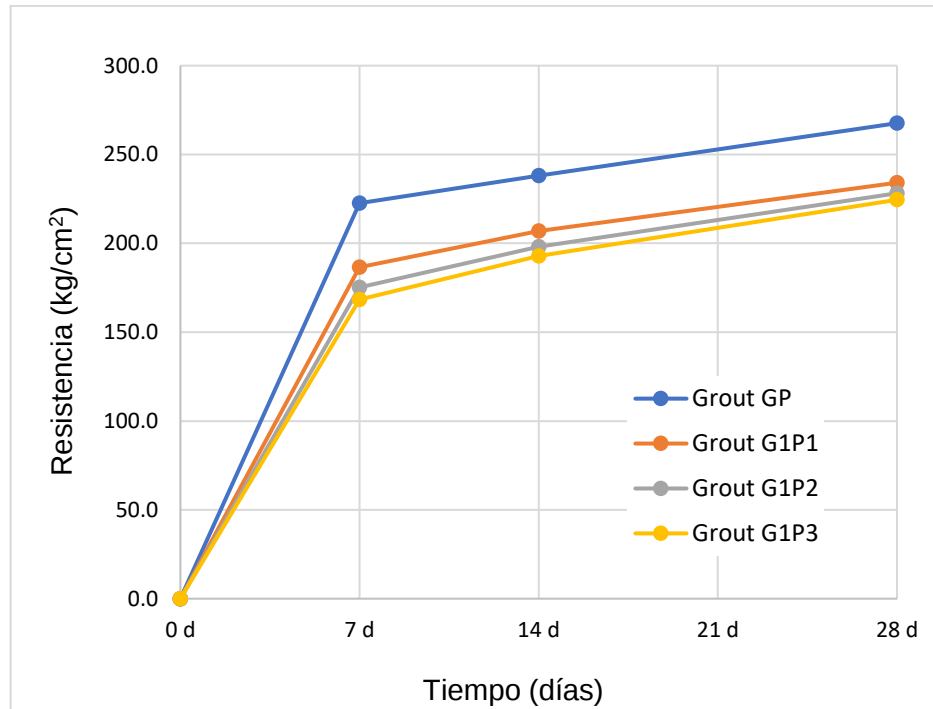


Figura N° 38: Evolución de la resistencia a la compresión de mezclas de grout GG1PX
(Nota: Elaboración propia)

En la Figura N° 39, se muestra la evolución de las resistencias a la compresión de las mezclas de grout de tipo GG2PX.

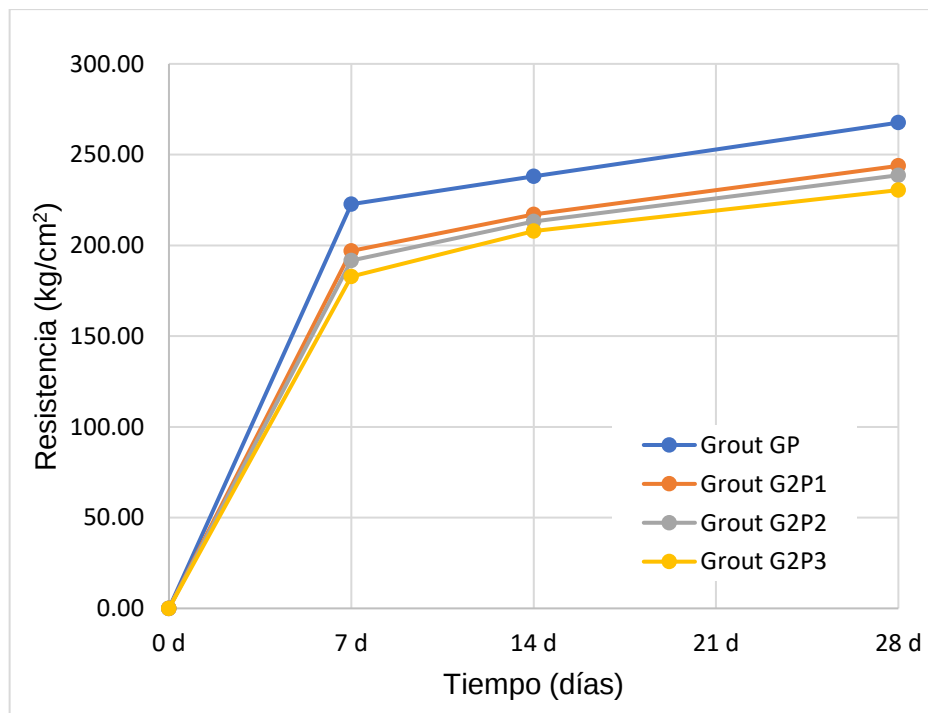


Figura N° 39: Evolución de la resistencia a la compresión de mezclas de grout GG2PX
(Nota: Elaboración propia)

En la Figura N° 40, se muestra la evolución de las resistencias a la compresión de las mezclas de grout de tipo GG2PX.

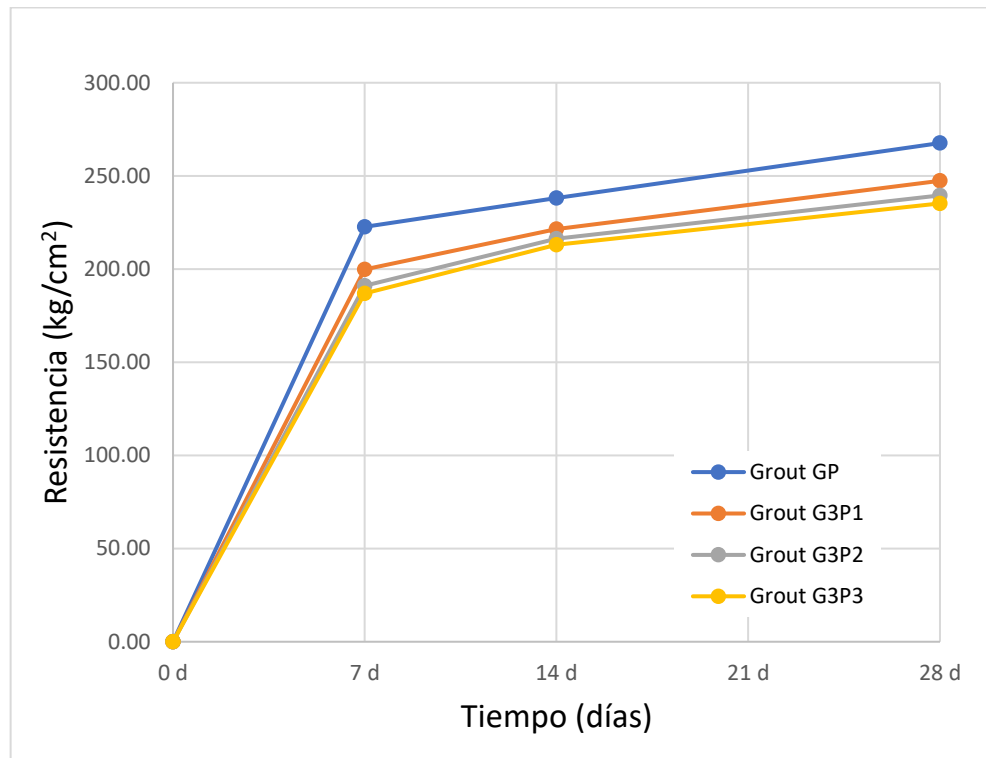


Figura N° 40: Evolución de la resistencia a la compresión de mezclas de grout GG3PX
(Nota: Elaboración propia)

Resultados de resistencia característica a la compresión a los 28 días

De acuerdo con Gallegos & Casabonne (2005), la propiedad de la resistencia a la compresión del grout es obtenida a los 28 días haciendo uso de la Ecuación (9).

$$F'_c = \bar{f}'_c - 1.3\sigma \quad (9)$$

Donde:

F'_c : Resistencia característica de rotura de mezclas de grout.

$\bar{f}'_c$: Promedio de los resultados de las roturas a los 28 días .

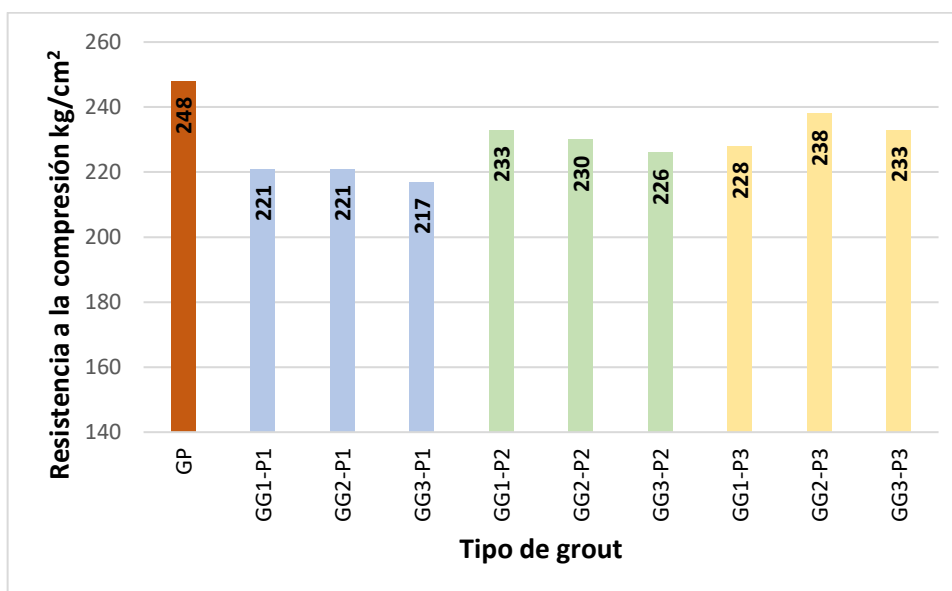
σ : Desviación estándar de los resultados de rotura.

Se presenta la Tabla N° 50 y la Figura N° 41 donde se muestran la resistencia promedio, la desviación estándar y la resistencia a la compresión característica de cada mezcla de grout.

Tabla N° 50: Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días.

MEZCLA	PROPORCIÓN	f'_c (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	F'_c (kg/cm ²)
GP	1.0:2.5:0.0	267.63	14.81	248
GG1-P1	1.0:2.5:1.0	234.10	9.75	221
GG1-P2	1.0:2.5:1.5	228.18	4.84	221
GG1-P3	1.0:2.5:2.0	224.52	5.83	217
GG2-P1	1.0:2.5:1.0	243.82	8.00	233
GG2-P2	1.0:2.5:1.5	238.64	6.81	230
GG2-P3	1.0:2.5:2.0	230.46	3.11	226
GG3-P1	1.0:2.5:1.0	247.37	14.56	228
GG3-P2	1.0:2.5:1.5	239.53	0.94	238
GG3-P3	1.0:2.5:2.0	235.24	1.31	233

(Nota: Elaboración propia)

Figura N° 41: Resistencia a la compresión de mezclas de grout a los 28 días
(Nota: Elaboración propia)

5.2.3. Muestreo de testigos tipo viga de grout

En esta investigación se realizó moldes absorbentes, para los testigos tipo viga, con las unidades de albañilería, ya que el grout contiene un excedente de agua que le da sus características de fluidez y asentamiento, el excedente de agua debe ser absorbida por la albañilería de esta manera se aproxime a su condición de aplicación en obra como se visualiza en la Figura N° 42, el molde del testigo de viga constituida por bloques de concreto forrados con papel toalla para facilitar la

absorción del agua en exceso y su desmolde, y en el fondo el espaciador no absorbente para dar a la viga su tamaño estándar de 50x15x15 cm.



Figura N° 42: Molde absorbente conformado por bloques de concreto forrados con papel toalla
(Nota: Fotografía propia)

Para realizar el llenado del molde de viga, se realizó siguiendo las recomendaciones de la NTP 339.033:2021, la cual indica para vigas de ancho 150mm de ancho realizar el llenado en dos capas con un promedio de 53 golpes por capa (la norma técnica peruana indica 1 golpe cada 14cm²).

Se visualiza la Figura N° 43 la viga de grout compactada en estado fresco. En los 30 minutos posteriores al vaciado se realizó el rellenado de la depresión causada por la pérdida inicial de agua causada por la absorción de los bloques. Para posterior con una espátula nivelar la superficie y cubrir con paños húmedos. Posterior a ello se desmoldó entre las 24 a 48 horas posteriores al vaciado.



Figura N° 43: Viga de grout para ensayo a flexión
(Nota: Fotografía propia)

5.2.4. Resistencia a la flexión de vigas de grout

Para determinar el módulo de rotura, se realizó el ensayo de acuerdo con la NTP 339.078:2022, haciendo uso del equipo en ensayo universal TOKYOKOKI SEIZOSHO del LEM-UNI, con los dispositivos adecuados para realizar el ensayo a flexión con las cargas a los dos tercios, como se visualiza en la Figura N° 44. Cargando las vigas hasta su rotura anotando los resultados de carga máxima soportada por las vigas.



Figura N° 44: Ensayo a la flexión de viga de grout
(Nota: Fotografía propia)

Las 10 vigas de diferentes mezclas de grout presentaron su línea de falla en el tercio central. Por lo que los módulos de rotura se calcularon haciendo uso de la Ecuación N° 2 presentada en el Capítulo II.

Resultados de laboratorio al ensayo a flexión

La cantidad de ensayos a flexión se muestran en la Tabla N° 10, un testigo tipo viga por mezclas a 28 días de curado. Se muestran los resultados obtenidos en laboratorio en la Tabla N° 51 y en la Figura N° 45.

Tabla N° 51: Resultado de ensayo a flexión de vigas de grout

TIPO DE GROUT (C: A: G)	TIPO DE GROUT	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm ²)
1:2.5:0	GP	42.96
1:2.5:1	GG1P1	40.87
	GG2P1	41.21
	GG3P1	41.32
1:2.5:1.5	GG1P2	38.96
	GG2P2	40.17
	GG3P2	40.42
1:2.5:2	GG1P3	38.44
	GG2P3	39.75
	GG3P3	40.03

(Nota: Elaboración propia)

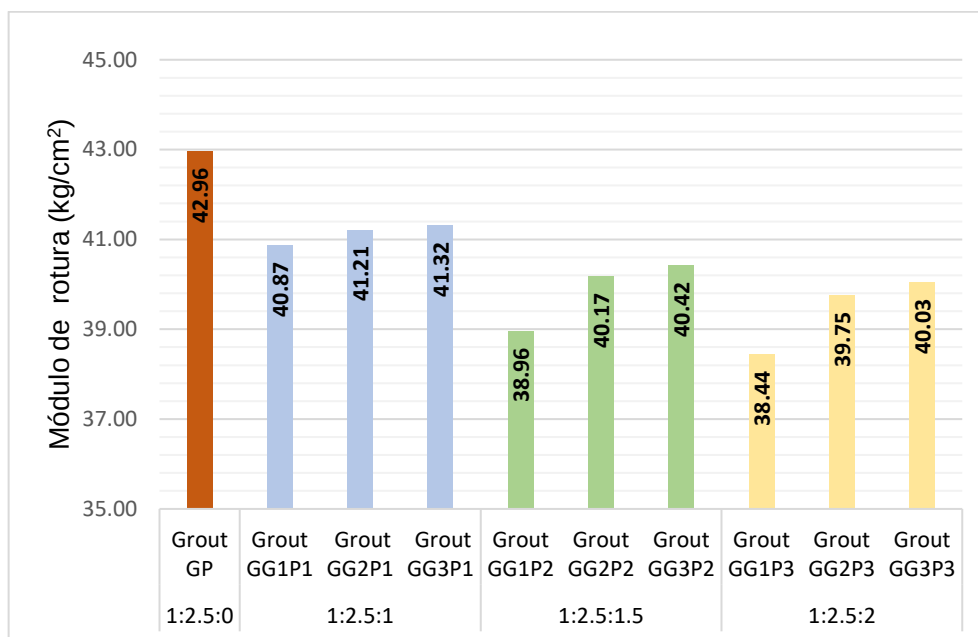


Figura N° 45: Módulos de rotura evaluados en vigas de grout

(Nota: Elaboración propia)

Relación entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura

Se presenta la Tabla N° 52 con los datos de resistencia a la compresión de las mezclas de grout mostrados en la Tabla N° 49 y los valores de Módulo de rotura mostrados en la Tabla N° 51 en la cual se visualiza la relación porcentual entre ambos resultados.

Tabla N° 52: Relación entre módulo de rotura y resistencia a la compresión

TIPO DE MEZCLA	f'_c (kg/cm ²)	MÓDULO DE ROTURA (kg/cm ²)	f'_c/MR (%)	$K = MR/\sqrt{f'_c}$
GP	268	42.96	16.1%	2.63
GG1-P1	234	40.87	17.5%	2.67
GG2-P1	244	41.21	16.9%	2.64
GG3-P1	247	41.32	16.7%	2.63
GG1-P2	228	38.96	17.1%	2.58
GG2-P2	239	40.17	16.8%	2.60
GG3-P2	240	40.42	16.9%	2.61
GG1-P3	225	38.44	17.1%	2.57
GG2-P3	230	39.75	17.2%	2.62
GG3-P3	235	40.03	17.0%	2.61

(Nota: Elaboración propia)

Capítulo VI: Análisis de costos unitarios de rellenos de albañilería con grout con adición de gravilla

En este capítulo se desarrolla el análisis de costos unitarios que representa los rellenos de alveolos de albañilería armada para cada tipo de mezcla.

6.1. Componentes del análisis de costos unitarios para grout

El costo de un proceso constructivo es una de las partes más importante en el rubro de la construcción. Es importante tener conocimiento de los beneficios económicos que traen consigo la utilización de alternativas diferentes en la composición de una partida.

6.1.1. Tipo de trabajo necesario para realizar mezclas de grout

Se presenta en la Tabla N° 53 las actividades necesarias para el relleno de mezclas de grout en alveolos de albañilería armada y su clasificación por tipo de trabajo productivo, contributorio y no contributorio.

Tabla N° 53: Listado de actividades y tipo de trabajo para rellenos con grout

LISTADO DE ACTIVIDADES	TIPO DE TRABAJO
Carga a mezcladora	Trabajo contributorio (TC)
Preparación de grout	Trabajo contributorio (TC)
Llenado de mezcla de grout	Trabajo productivo (TP)
Consolidación de grout con varilla	Trabajo productivo (TP)
Orden y limpieza de herramientas	Trabajo contributorio (TC)
Tiempos de espera	Trabajo no contributorio (TNC)

(Nota: Elaboración propia)

6.1.2. Velocidad de producción para mezclas de grout

Para obtener la velocidad de producción, se tomó los tiempos aproximados que incurren las actividades mostradas en la tabla N° 53 para cada tipo de mezclas de grout en el laboratorio para el relleno de los testigos prismáticos y tipo viga, se consideró la intervención de dos obreros, un operario y un oficial, y no se consideró los tiempos en los ensayos.

Se muestra la Tabla N° 54, 55 y 56, en las que se visualiza los tiempos incurridos en la ejecución de relleno de testigos de grout.

Tabla N° 54: Listado de actividades, tipo de trabajo y tiempo por actividad en grout de tipo GGXP1

LISTADO DE ACTIVIDADES	TIPO DE TRABAJO	TIEMPO POR ACTIVIDAD (minutos)			
		GP	GG1P1	GG2P1	GG3P1
Carga a mezcladora	TC	1.0	1.0	1.0	1.0
Preparación de grout	TC	4.0	4.0	4.0	4.0
Llenado de mezcla de grout	TP	3.0	3.5	3.5	3.5
Consolidación de grout con varilla	TP	1.0	1.0	1.0	1.0
Orden y limpieza de herramientas	TC	1.0	1.0	1.0	1.0
Tiempos de espera	TNC	1.0	1.0	1.0	1.0
Total		11.0	11.5	11.5	11.5

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 55: Listado de actividades, tipo de trabajo y tiempo por actividad en grout de tipo GGXP2

LISTADO DE ACTIVIDADES	TIPO DE TRABAJO	TIEMPO POR ACTIVIDAD (minutos)			
		GP	GG1P2	GG2P2	GG3P2
Carga a mezcladora	TC	1.0	1.0	1.0	1.0
Preparación de grout	TC	4.0	4.0	4.0	4.0
Llenado de mezcla de grout	TP	3.0	3.5	3.5	3.5
Consolidación de grout con varilla	TP	1.0	1.3	1.3	1.3
Orden y limpieza de herramientas	TC	1.0	1.0	1.0	1.0
Tiempos de espera	TNC	1.0	1.0	1.0	1.0
Total		11.0	11.8	11.8	11.8

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 56: Listado de actividades, tipo de trabajo y tiempo por actividad en grout de tipo GGXP3

LISTADO DE ACTIVIDADES	TIPO DE TRABAJO	TIEMPO POR ACTIVIDAD (minutos)			
		GP	GG1P3	GG2P3	GG3P3
Carga a mezcladora	TC	1.0	1.0	1.0	1.0
Preparación de grout	TC	4.0	4.0	4.0	4.0
Llenado de mezcla de grout	TP	3.0	3.5	3.5	3.5
Consolidación de grout con varilla	TP	1.0	1.5	1.5	1.5
Orden y limpieza de herramientas	TC	1.0	1.0	1.0	1.0
Tiempos de espera	TNC	1.0	1.0	1.0	1.0
Total		11.0	12.0	12.0	12.0

(Nota: Elaboración propia)

Se presenta la Tabla N° 57, donde se resume las velocidades de producción con 8 horas de jornada diaria y un volumen de llenado de 40 litros (0.04m³).

Tabla N° 57: Velocidad de producción de mezclas de grout para 0.040 m³

TIPO DE GROUT	CANT. m ³	TIEMPO			VELOCIDAD DE PRODUCCIÓN	
		min	hora	día	m ³ /h	m ³ /d
GP	0.04	11.0	0.18	0.02	0.22	1.75
GG1P1	0.04	11.5	0.19	0.02	0.21	1.67
GG2P1	0.04	11.5	0.19	0.02	0.21	1.67
GG3P1	0.04	11.5	0.19	0.02	0.21	1.67
GG1P2	0.04	11.8	0.20	0.02	0.20	1.63
GG2P2	0.04	11.8	0.20	0.02	0.20	1.63
GG3P2	0.04	11.8	0.20	0.02	0.20	1.63
GG1P3	0.04	12.0	0.20	0.03	0.20	1.60
GG2P3	0.04	12.0	0.20	0.03	0.20	1.60
GG3P3	0.04	12.0	0.20	0.03	0.20	1.60

(Nota: Elaboración propia)

6.1.3. Determinación del costo hora hombre

Se presenta la Tabla N° 58, en la que se determinó el costo de hora hombre de cada categoría de obrero.

Tabla N° 58: Costo hora hombre de obreros de construcción Civil

CONCEPTOS	OPERARIOS	OFICIAL	PEON
Remuneración básica	84.70	66.45	59.80
Bonificación Unificada de Construcción (32%RB)	27.10	19.94	17.94
Leyes y beneficios sociales sobre la RB (112.96%)	95.68	75.06	67.55
Leyes y beneficios sociales sobre el BUC (12%)	3.25	2.39	2.15
Bonificación por movilidad	8.00	8.00	8.00
Costo día hombre (DH) S/.	218.73	171.84	155.44
Costo hora hombre (HH) S/.	27.34	21.48	19.43

Fuente (Federación de trabajadores en construcción civil del Perú, 2024)

6.1.4. Determinación de costo de materiales

6.1.4.1. Determinación de cantidad de materiales por metro cúbico

Para obtener la cantidad de materiales por m³ de mezcla de grout se utilizó la dosificación mostrada en la Tabla N° 43, los rendimientos obtenidos en la Tabla N° 46 y sus propiedades físicas de los agregados mostrados en la Tabla N° 40. Se presenta la Tabla N° 59 donde se muestra la dosificación por m³ de grout.

Tabla N° 59: Dosificación de mezclas de grout por m³ de mezcla

TIPO DE GRAVILLA	NOMEM_ CLATURA	DOSIFICACIÓN DE GROUT x M ³			
		CEMENTO (bls)	ARENA (m ³)	GRAVILLA (m ³)	AGUA (lts)
Sin gravilla	GP	11.35	0.80	0.00	352.28
Gravilla G1	GG1P1	10.13	0.72	0.29	318.58
	GG1P2	9.36	0.66	0.40	294.34
	GG1P3	8.52	0.60	0.48	271.72
Gravilla G2	GG2P1	10.38	0.73	0.29	326.56
	GG2P2	9.48	0.67	0.40	298.03
	GG2P3	8.67	0.61	0.49	276.35
Gravilla G3	GG3P1	10.50	0.74	0.30	330.22
	GG3P2	9.70	0.69	0.41	305.13
	GG3P3	8.74	0.62	0.49	274.78

(Nota: Elaboración propia)

6.1.4.2. Costo de materiales

Para esta investigación se cotizó los materiales en las ferreterías próximas al LEM-UNI, se muestran los costos de materiales en la Tabla N° 60.

Con respecto al costo del agua, el Lima el costo de agua potable es de 3.27 soles.(Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima, 2024)

Tabla N° 60: Costo de materiales para producción de grout

MATERIALES	UNIDAD	COSTO (S/.)
Cemento Sol tipo I	bls	25.00
Arena gruesa	m ³	56.00
Gravilla	m ³	56.78
Agua	m ³	3.27

(Nota: Elaboración propia)

6.1.5. Costo de alquiler de equipo

Se presenta en la Tabla N° 61 el costo por hora máquina de una mezcladora de 9pie³ de capacidad.

Tabla N° 61: Costo de alquiler de equipos

EQUIPO	COSTO X HM (S/.)
Mezcladora de concreto de 9 pie ³ – 8HP	10.05

Fuente (Konstrutecnia, 2024)

6.2. Costos unitarios de rellenos de grout

Se presenta las Tablas N° 62 a la N° 71 con los análisis de costos unitarios por cada tipo de mezcla de grout.

Tabla N° 62: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GP - Patrón

Actividad	Relleno de Grout Patrón GP Proporción en volumen 1:2.5 (Cemento: Arena) - Para Albañilería Armada					
Rendimiento	1.75	m ³ /día			Unidad	m ³
Descripción	Und.	Cuadr.	Cant.	Precio	Parcial	Total
Materiales						329.70
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		11.35	25.00	283.75	
Arena gruesa	m ³		0.80	56.00	44.80	
Agua	m ³		0.35	3.27	1.15	
Mano de obra						223.18
Operario	hh	1.00	4.57	27.34	124.98	
Oficial	hh	1.00	4.57	21.48	98.19	
Equipo						22.97
Mezcladora de concreto 9 pie ³ - 8 HP	hm	0.50	2.29	10.05	22.97	
Costo unitario (S/. /m³)						575.85

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 63: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG1P1

Actividad	Relleno de grout GG1P1 Proporción en volumen 1:2.5:1 (Cemento: Arena: Gravilla G1) - Para Albañilería Armada				
Rendimiento	1.67	m³/día		Unidad	m³
Recursos	Und.	Cuadr.	Cant.	Precio	Parcial Total
Material					311.08
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		10.13	25.00	253.25
Arena gruesa	m³		0.72	56.00	40.32
Gravilla G1	m³		0.29	56.78	16.47
Agua	m³		0.32	3.27	1.04
Mano de obra					233.87
Operario	hh	1.00	4.79	27.34	130.97
Oficial	hh	1.00	4.79	21.48	102.90
Equipo					24.07
Mezcladora de concreto 9 pie³ - 8 HP	HM	0.50	2.40	10.05	24.07
Costo unitario (S/. /m³)					569.02
(Nota: Elaboración propia)					

Tabla N° 64: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG2P1

Actividad	Relleno de Grout GG2P1 Proporción en volumen 1:2.5:1 (Cemento: Arena: Gravilla G2) - Para Albañilería Armada				
Rendimiento	1.67	m³/día		Unidad	m³
Recursos	Und.	Cuadr.	Cant.	Precio	Parcial Total
Material					317.91
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		10.38	25.00	259.50
Arena gruesa	m³		0.73	56.00	40.88
Gravilla G2	m³		0.29	56.78	16.47
Agua	m³		0.33	3.27	1.07
Mano de obra					233.87
Operario	hh	1.00	4.79	27.34	130.97
Oficial	hh	1.00	4.79	21.48	102.90
Máquina					24.07
Mezcladora de concreto 9 pie³ - 8 HP	HM	0.50	2.40	10.05	24.07
Costo unitario (S/. /m³)					575.85
(Nota: Elaboración propia)					

Tabla N° 65: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG3P1

Actividad	Relleno de grout GG3P1 Proporción en volumen 1:2.5:1 (Cemento: Arena: Gravilla G2) - Para Albañilería Armada				
Rendimiento	1.67	m ³ /día		Unidad	m ³
Recursos	Und.	Cuadri.	Cant.	Precio	Parcial Total
Material					322.05
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		10.50	25.00	262.50
Arena gruesa	m ³		0.74	56.00	41.44
Gravilla G3	m ³		0.30	56.78	17.03
Agua	m ³		0.33	3.27	1.08
Mano de obra					233.87
Operario	hh	1.00	4.79	27.34	130.97
Oficial	hh	1.00	4.79	21.48	102.90
Máquina-Equipo					24.07
Mezcladora de concreto 9 pie ³ - 8 HP	HM	0.50	2.40	10.05	24.07
Costo unitario (S/. /m³)					579.99

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 66: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG1P2

Actividad	Relleno de grout GG1P2 Proporción en volumen 1:2.5:1.5 (Cemento: Arena: Gravilla G1) - Para Albañilería Armada				
Rendimiento	1.63	m ³ /día		Unidad	m ³
Recursos	Und.	Cuadri.	Cant.	Precio	Parcial Total
Material					294.63
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		9.36	25.00	234.00
Arena gruesa	m ³		0.66	56.00	36.96
Gravilla G1	m ³		0.40	56.78	22.71
Agua	m ³		0.29	3.27	0.96
Mano de obra					239.61
Operario	HH	1.00	4.91	27.34	134.18
Oficial	HH	1.00	4.91	21.48	105.42
Equipo					24.66
Mezcladora de concreto 9 pie ³ - 8 HP	HM	0.50	2.45	10.05	24.66
Costo unitario (S/. /m³)					558.90

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 67: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG2P2

Actividad	Relleno de grout GG2P2 Proporción en volumen 1:2.5:1.5 (Cemento: Arena: Gravilla G2) - Para Albañilería Armada				
Rendimiento	1.63	m³/día			Unidad m³
Recursos	Und.	Cuadri.	Cant.	Precio	Parcial Total
Material					298.21
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		9.48	25.00	237.00
Arena gruesa	m³		0.67	56.00	37.52
Gravilla G2	m³		0.40	56.78	22.71
Agua	m³		0.30	3.27	0.98
Mano de obra					239.61
Operario	HH	1.00	4.91	27.34	134.18
Oficial	HH	1.00	4.91	21.48	105.42
Equipo					24.66
Mezcladora de concreto 9 pie³ - 8 HP	HM	0.50	2.45	10.05	24.66
Costo unitario (S/. /m³)					562.48
(Nota: Elaboración propia)					

Tabla N° 68: Análisis de costos unitarios de relleno de GG3P2

Actividad	Relleno de grout GG3P2 Proporción en volumen 1:2.5:1.5 (Cemento: Arena: Gravilla G2) - Para Albañilería Armada				
Rendimiento	1.63	m³/día			Unidad m³
Recursos	Und.	Cuadri.	Cant.	Precio	Parcial Total
Material					305.42
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		9.70	25.00	242.50
Arena gruesa	m³		0.69	56.00	38.64
Gravilla G3	m³		0.41	56.78	23.28
Agua	m³		0.31	3.27	1.00
Mano de obra					239.61
Operario	HH	1.00	4.91	27.34	134.18
Oficial	HH	1.00	4.91	21.48	105.42
Equipo					24.66
Mezcladora de concreto 9 pie³ - 8 HP	HM	0.50	2.45	10.05	24.66
Costo unitario (S/. /m³)					569.69
(Nota: Elaboración propia)					

Tabla N° 69: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG1P3

Actividad	Relleno de grout GG1P3 Proporción en volumen 1:2.5:2 (Cemento: Arena: Gravilla G1) - Para Albañilería Armada					
Rendimiento	1.60 m ³ /día		Unidad m ³			
Recursos	Und.	Cuadri.	Cant.	Precio	Parcial	Total
Material						274.74
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		8.52	25.00	213.00	
Arena gruesa	m ³		0.60	56.00	33.60	
Gravilla G1	m ³		0.48	56.78	27.25	
Agua	m ³		0.27	3.27	0.89	
Mano de obra						244.10
Operario	HH	1.00	5.00	27.34	136.70	
Oficial	HH	1.00	5.00	21.48	107.40	
Equipo						25.13
Mezcladora de concreto 9 pie ³ - 8 HP	HM	0.50	2.50	10.05	25.13	
Costo unitario (S/. /m³)						543.97

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 70: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG2P3

Actividad	Relleno de grout GG2P3 Proporción en volumen 1:2.5:2 (Cemento: Arena: Gravilla G2) - Para Albañilería Armada					
Rendimiento	1.60 m ³ /día		Unidad m ³			
Recursos	Und.	Cuadri.	Cant.	Precio	Parcial	Total
Material						279.64
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		8.67	25.00	216.75	
Arena gruesa	m ³		0.61	56.00	34.16	
Gravilla G2	m ³		0.49	56.78	27.82	
Agua	m ³		0.28	3.27	0.90	
Mano de obra						244.10
Operario	HH	1.00	5.00	27.34	136.70	
Oficial	HH	1.00	5.00	21.48	107.40	
Equipo						25.13
Mezcladora de concreto 9 pie ³ - 8 HP	HM	0.50	2.50	10.05	25.13	
Costo unitario (S/. /m³)						548.86

(Nota: Elaboración propia)

Tabla N° 71: Análisis de costos unitarios de relleno de grout GG3P3

Partida	Relleno de grout GG3P3 Proporción en volumen 1:2.5:2 (Cemento: Arena: Gravilla G3) - Para Albañilería Armada					
Rendimiento	1.60	m ³ /día			Unidad	m ³
Recursos	Und.	Cuadri.	Cant.	Precio	Parcial	Total
Material						281.94
Cemento 42.5kg SOL Tipo I	bls		8.74	25.00	218.50	
Arena gruesa	m ³		0.62	56.00	34.72	
Gravilla G3	m ³		0.49	56.78	27.82	
Agua	m ³		0.27	3.27	0.90	
Mano de obra						244.10
Operario	HH	1.00	5.00	27.34	136.70	
Oficial	HH	1.00	5.00	21.48	107.40	
Equipo						25.13
Mezcladora de concreto 9 pie ³ - 8 HP	HM	0.50	2.50	10.05	25.13	
Costo unitario (S/. /m³)						551.17

(Nota: Elaboración propia)

Se presenta la Figura N° 46, los resultados de los costos unitarios donde se visualiza de manera resumida los costos unitarios por m³ de relleno de albañilería con grout.

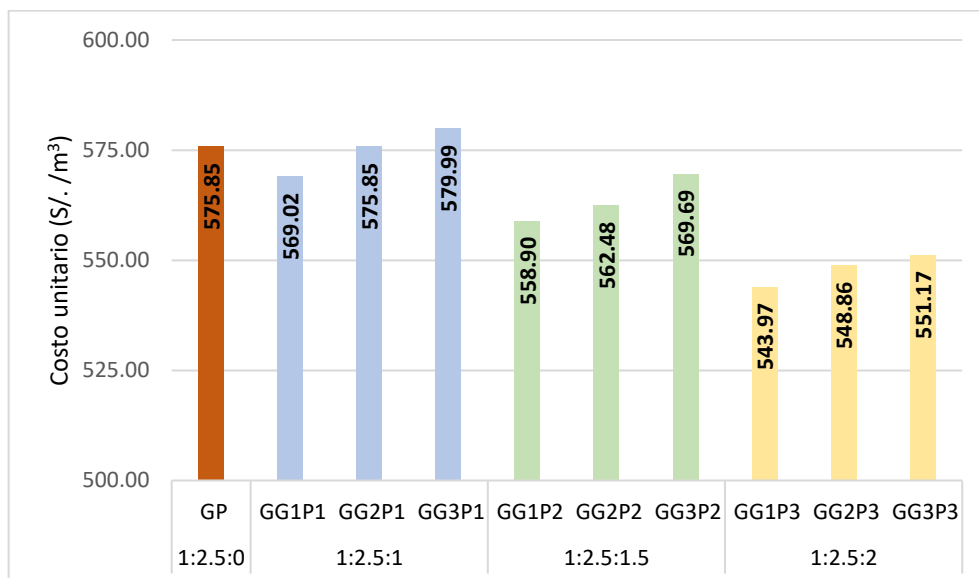


Figura N° 46: Resultados de costos unitarios de mezclas de grout
(Nota: Elaboración propia)

Capítulo VII: Análisis de resultados

Este capítulo se presenta el análisis y comentarios sobre los resultados obtenidos de los ensayos realizados a las mezclas de grout en estado fresco y endurecido para las tres diferentes gravillas y en diferentes proporciones. Se obtuvo tablas y gráficos comparativos con respecto a la muestra patrón.

7.1. Análisis de los ensayos en estado fresco del grout

7.1.1. Ensayo de consistencia para mezclas de grout

En la Tabla N° 72 y el Figura N° 47, se presenta los valores de variación del asentamiento presente en cada mezcla con la adición de las tres diferentes gravillas (G1, G2 y G3) y en las 3 proporciones diferentes (P1, P2 y P3).

Tabla N° 72: Porcentajes de variación respecto al patrón del asentamiento

PROPORCIONES DE MEZCLA (C: A: G)	TIPO DE GROUT	ASENTAMIENTO (pulg)	VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN (%)
1:2.5:0	GP	10.75	100.00
1:2.5:1	GG1P1	10.25	95.35
	GG2P1	10.25	95.35
	GG3P1	10.50	97.67
1:2.5:1.5	GG1P2	9.50	88.37
	GG2P2	9.50	88.37
	GG3P2	9.75	90.70
1:2.5:2	GG1P3	9.00	83.72
	GG2P3	8.50	79.07
	GG3P3	8.75	81.40

(Nota: Elaboración propia)

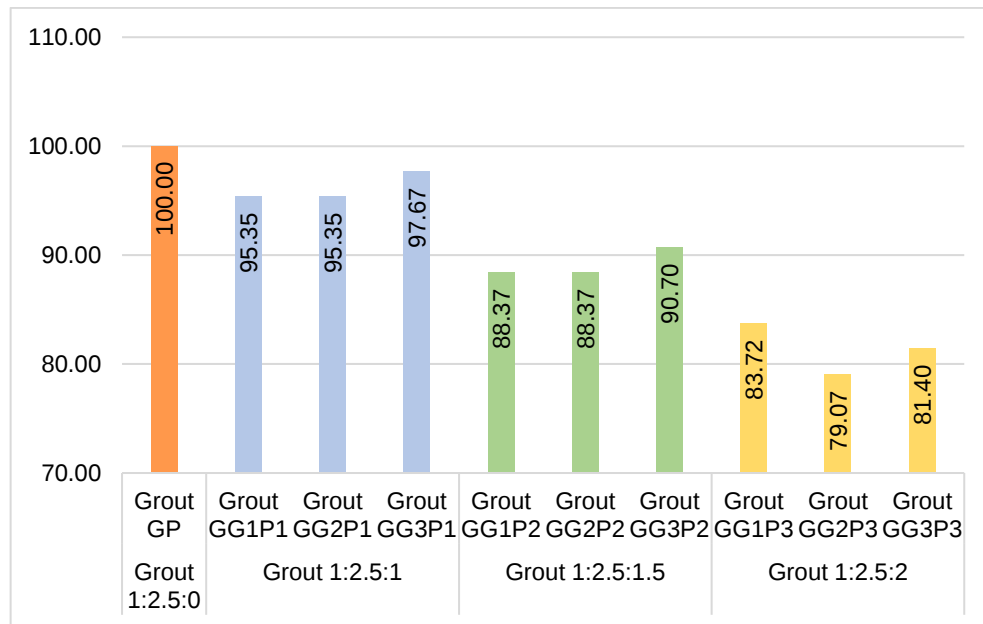


Figura N° 47: Porcentaje de variación de asentamiento de grout
(Nota: Elaboración propia)

De acuerdo con los datos presentados en la Tabla N° 72 y la Figura N° 47, las gravillas en proporción P1 redujeron el asentamiento en un promedio de 3.87%, las gravillas en proporción P2, redujeron el asentamiento en promedio un 10.85%, y las gravillas en proporción P3, redujeron el asentamiento en un promedio de 18.6%.

La gravilla G3 redujo en menor medida el asentamiento en las proporciones P1 y P2, para la mezcla de grout con gravillas en proporción P3 la menor reducción se dio con la gravilla G1.

La Norma E.070 de albañilería y la NTP 399.623:2018 definen el rango de asentamiento para mezclas de grout entre 8 a 11 pulgadas, las 10 mezclas de grout se encuentran en el rango recomendado por las normas peruanas.

Para las mezclas de tipo GGXP3, mezcla de grout de tres diferentes gravillas en proporción P3, muestran asentamientos inferiores a 9 pulgadas, durante la toma de muestra se observó una menor fluidez y una necesidad de mayor fuerza durante la consolidación con el uso con la varilla aun así realizada la consolidación se presentó testigos prismáticos con deficiencia en la consolidación en las esquinas, como se visualiza en la Figura N° 48.



Figura N° 48: Testigo prismático de grout GG1P3 con deficiencia de consolidación
(Nota: Fotografía propia)

7.1.2. Peso unitario de grout fresco

Se presenta la Tabla N° 73 y la Figura N° 49 donde se muestra los valores de variación del peso unitario respecto al patrón.

Tabla N° 73: Porcentaje de variación de Peso Unitario respecto al patrón

PROPORCIÓN DE MEZCLA (C: A: G)	TIPO DE GROUT	PESO UNITARIO (kg/m ³)	VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN (%)
1:2.5:0	GP	2075	100.00
1:2.5:1	GG1P1	2256	108.71
	GG2P1	2267	109.26
	GG3P1	2239	107.90
1:2.5:1.5	GG1P2	2312	111.44
	GG2P2	2300	110.82
	GG3P2	2277	109.73
1:2.5:2	GG1P3	2329	112.25
	GG2P3	2342	112.87
	GG3P3	2280	109.87

(Nota: Elaboración propia)

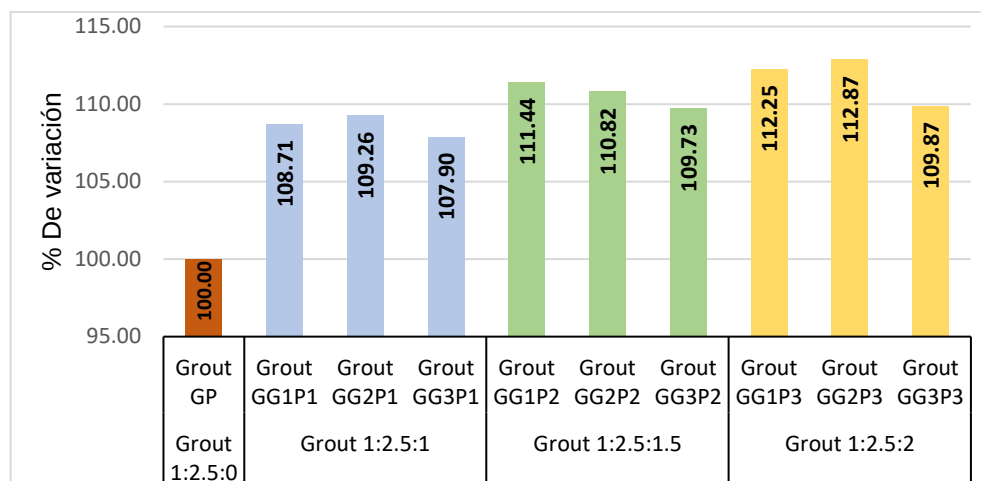


Figura N° 49: Porcentajes de variación de peso unitario respecto al patrón
(Nota: Elaboración propia)

Se presenta un menor peso unitario para las mezclas del grout de tipo GG3PX, conformadas por gravilla tipo G3 en las tres diferentes proporciones (P1, P2 y P3), esto debido a que la gravilla G3 presenta partículas de menor tamaño, no presenta partículas de tamaño 3/8" como si contiene las gravillas G1 y G2. Se considera también que la gravilla G3 presenta un menor módulo de fineza, que de acuerdo con Palomino (2019) a menor módulo de fineza menor peso en una mezcla de mortero.

7.1.3. Rendimiento de producción de grout fresco

Se presenta en la Tabla N° 74 y la Figura N° 50, la variación de los rendimientos de mezcla de grout.

Tabla N° 74: Variación del rendimiento de mezclas respecto al patrón

PROPORCIÓN DE MEZCLA (C: A: G)	TIPO DE GROUT	RENDIMIENTO (m³)	VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN (%)
1:2.5:0	GP	0.034	100.0%
1:2.5:1	GG1P1	0.031	92.0%
	GG2P1	0.030	89.7%
	GG3P1	0.030	89.1%
1:2.5:1.5	GG1P2	0.031	91.5%
	GG2P2	0.030	90.2%
	GG3P2	0.030	88.6%
1:2.5:2	GG1P3	0.031	92.7%
	GG2P3	0.031	91.1%
	GG3P3	0.031	91.0%

(Nota: Elaboración propia)

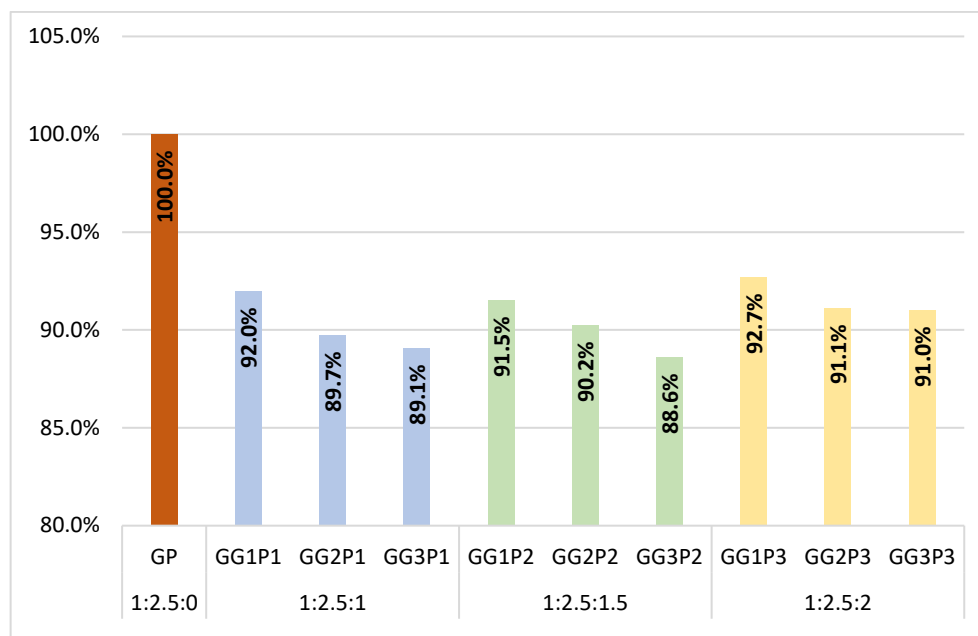


Figura N° 50: Porcentajes de variación de rendimiento respecto al patrón
(Nota: Elaboración propia)

7.1.4. Temperatura de grout en estado fresco

La Tabla N° 75 y la Figura N° 51 muestra la variación de la temperatura del grout en estado fresco. Se aprecia una reducción de temperaturas para las mezclas con mayor contenido de gravilla. De acuerdo con Euclid Chemical Toxement (2020) la incorporación de gravillas puede reducir los calores de hidratación generados por la reacción del cemento y el agua, evitando así fisuras o desprendimientos.

Tabla N° 75: Porcentaje de variación de temperatura respecto al patrón

PROPORCIÓN DE MEZCLA (C: A: G)	TIPO DE GROUT	TEMPERATURA (°C)	VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN (%)
1:2.5:0	GP	21.8°	100.00
1:2.5:1	GG1-P1	21.7°	99.54
	GG2-P1	21.5°	98.62
	GG3-P1	22.0°	100.92
1:2.5:1.5	GG1-P2	21.9°	100.46
	GG2-P2	22.1°	101.38
	GG3-P2	21.8°	100.00
1:2.5:2	GG1-P3	21.3°	97.71
	GG2-P3	20.9°	95.87
	GG3-P3	21.2°	97.25

(Nota: Elaboración propia)

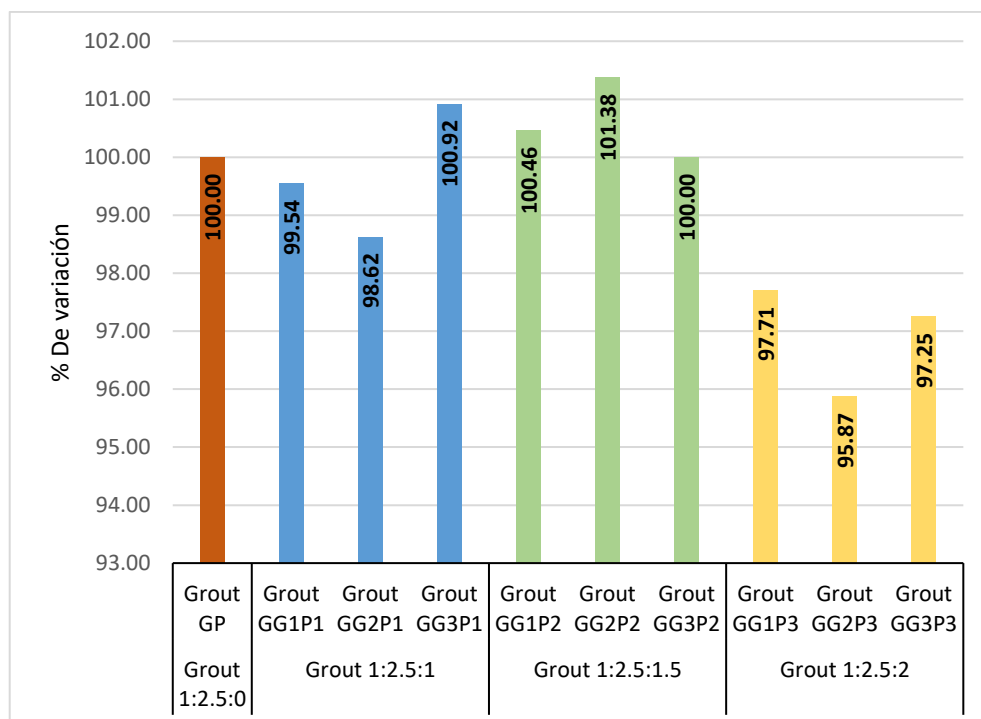


Figura N° 51: Porcentaje de variación de la temperatura respecto al patrón
(Nota: Elaboración propia)

7.1.5. pH de grout fresco

La Tabla N° 76 y la Figura N° 52 muestra la variación del pH del grout en estado fresco. Los valores se encuentran en el rango de 12 a 13 de valor de pH que es el recomendado de mezclas de grout en contacto con estructuras con acero.

Tabla N° 76: Porcentaje de variación del pH respecto al patrón

PROPORCIÓN DE MEZCLA (C: A: G)	TIPO DE GROUT	pH	VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN (%)
1:2.5:0	GP	12.89	100.00
1:2.5:1	GG1-P1	12.81	99.38
	GG2-P1	12.78	99.15
	GG3-P1	12.72	98.68
1:2.5:1.5	GG1-P2	12.71	98.60
	GG2-P2	12.69	98.45
	GG3-P2	12.65	98.14
1:2.5:2	GG1-P3	12.64	98.06
	GG2-P3	12.62	97.91
	GG3-P3	12.61	97.83

(Nota: Elaboración propia)

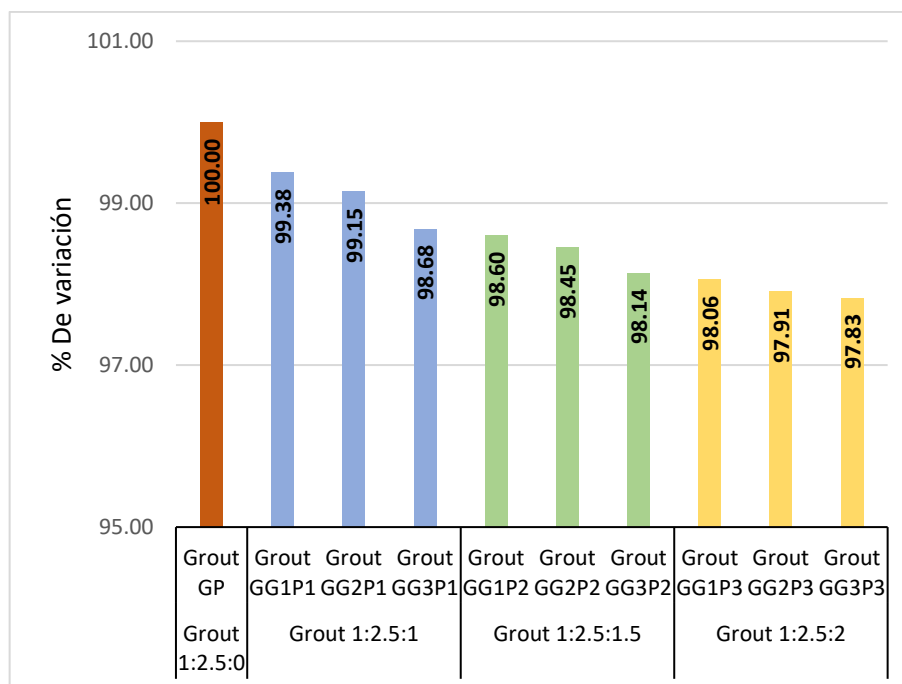


Figura N° 52: Porcentaje de variación del pH respecto al patrón
(Nota: Elaboración propia)

Se visualiza una reducción del contenido de pH en mayor medida para las gravillas en proporción P3, esto se debe a un menor contenido de cemento en las mezclas con mayor contenido de gravillas.

7.2. Análisis de los ensayos en estado endurecido del grout

7.2.1. Resultados de ensayo de resistencia a la compresión de testigos prismático

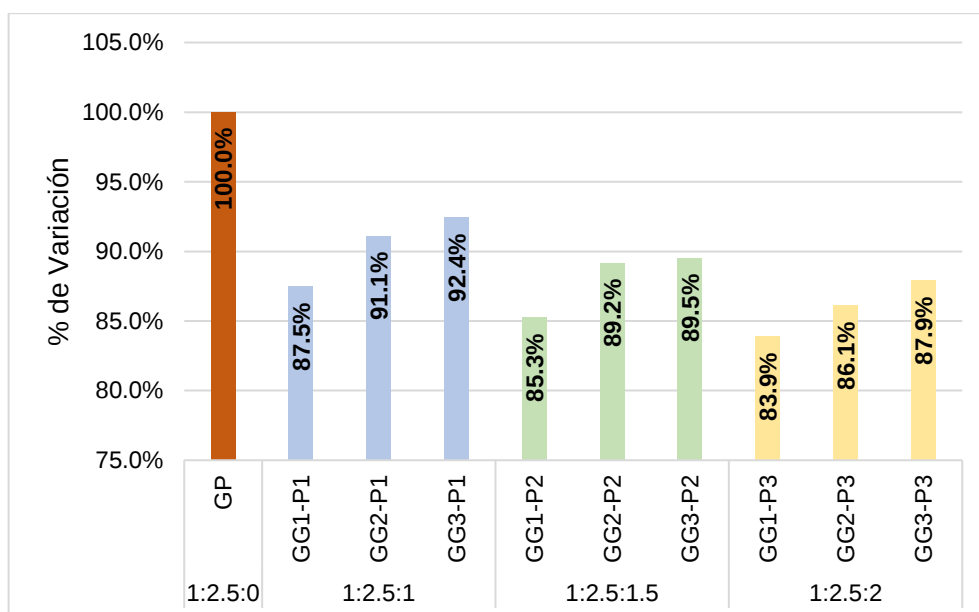
7.2.1.1. Resultados de resistencia a la compresión a los 28 días

Se presenta la Tabla N° 77 y la Figura N° 53, donde se muestra los resultados de resistencia a los 28 días y su variación respecto al grout GP patrón.

Tabla N° 77: Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión a los 28 días

PROPORCIÓN	TIPO DE GROUT	f'c (kg/cm ²)	% Variación
1:2.5:0	GP	268	100.0%
1:2.5:1	GG1-P1	234	87.5%
	GG2-P1	244	91.1%
	GG3-P1	247	92.4%
1:2.5:1.5	GG1-P2	228	85.3%
	GG2-P2	239	89.2%
	GG3-P2	240	89.5%
1:2.5:2	GG1-P3	225	83.9%
	GG2-P3	230	86.1%
	GG3-P3	235	87.9%

(Nota: Elaboración propia)

Figura N° 53: Variación de la resistencia a la compresión a los 28 días respecto al patrón
(Nota: Elaboración propia)

La resistencia a la compresión, a los 28 días, de las mezclas de grout presentadas en la Tabla N° 77 presentan una resistencia mayor al mínimo requerido por la Norma E.070 de albañilería que es de 140kg/cm², cabe mencionar que los valores se encuentran por encima de los valores de resistencia requerida (f'cr) de 210kg/cm² que resulta de la suma de los valores de la resistencia buscada 140kg/cm² y el factor de corrección 70kg/cm² como indica la Norma E.060 de concreto.

Los valores de resistencia son elevados para una relación agua/cemento de 0.75, que según Gallegos & Casabonne (2005) de mantenerse el contenido alto de agua en la mezcla de grout generaría mayor porosidad al evaporarse durante el proceso de endurecimiento del grout, por lo que la unidad de albañilería utilizada en la construcción o investigación toma un papel importante al absorber el exceso de agua. Se ha visualizado, durante el llenado de testigos, que las paredes que no están en contacto con la mezcla humedad propia de la rápida absorción por parte de los bloques como se visualiza en la Figura N° 54.



Figura N° 54: Bloque de concreto húmedo en contacto con la mezcla de grout
(Nota: Fotografía propia)

También se observa en la Figura N° 55 los bloques de concreto, utilizado como moldes de testigos, presentaron humedad posterior al desmolde de los testigos de grout. De la misma forma en la Figura N° 33, presentada previamente, se visualizó una depresión de los testigos de grout causada por la acelerada pérdida de agua del grout en contacto con los bloques de concreto.



Figura N° 55: Bloque húmedo posterior al desmolde de testigos de grout
(Nota: Fotografía propia)

Para verificar la cantidad aproximada de agua absorbida por los bloques, se pesó los bloques de concreto seco antes de ser usado como moldes y posterior al desmolde de los testigos.

Se presenta la Tabla N° 78, con los datos obtenidos en laboratorio y el resultado de la retención de agua por área.

Tabla N° 78: Cantidad de agua retenida por los bloques de concreto

PESO DE BLOQUE SECO (kg)	PESO DE BLOQUE HÚMEDO (kg)	AGUA RETENIDA EN EL BLOQUE (gr)	AREA DE CONTACTO CON EL GROUT FRESCO (cm ²)	RETENCIÓN DE AGUA POR ÁREA (gr/cm ²)
12.62	12.67	50	585	0.085
13.04	13.09	50	585	0.085
11.98	12.04	60	585	0.103
12.50	12.58	80	585	0.137

(Nota: Elaboración propia)

La cantidad de agua promedio retenida por cm² es de 0.1025gr/cm², que para un testigo de grout que tiene un área de contacto de 462.08cm² los bloques absorbieron un aproximado de 47gr de agua, reduciendo así su relación agua/cemento. Cabe mencionar que estos valores son aproximados no se ha considerado en esta verificación otros factores de pérdida de agua, como la evaporación durante el fraguado y endurecimiento.

7.2.1.2. Mezclas de tipo GG1PX en comparación al patrón

Se presenta la Tabla N° 79 y la Figura N° 56, donde se muestra la comparación de las resistencias a la compresión de las mezclas de grout tipo GG1PX, mezcla de grout de gravilla G1 en tres proporciones P1, P2 y P3, comparadas con el grout patrón GP.

Tabla N° 79: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GG1PX

EDAD (días)	GP (kg/cm ²)	Grout GG1P1 (kg/cm ²)	Grout GG1P2 (kg/cm ²)	Grout GG1P3 (kg/cm ²)
7	223	187	175	168
14	238	207	198	193
28	268	234	228	225
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100.0	83.8	78.7	75.6
14	100.0	86.9	83.2	81.1
28	100.0	87.5	85.3	83.9

(Nota: Elaboración propia)

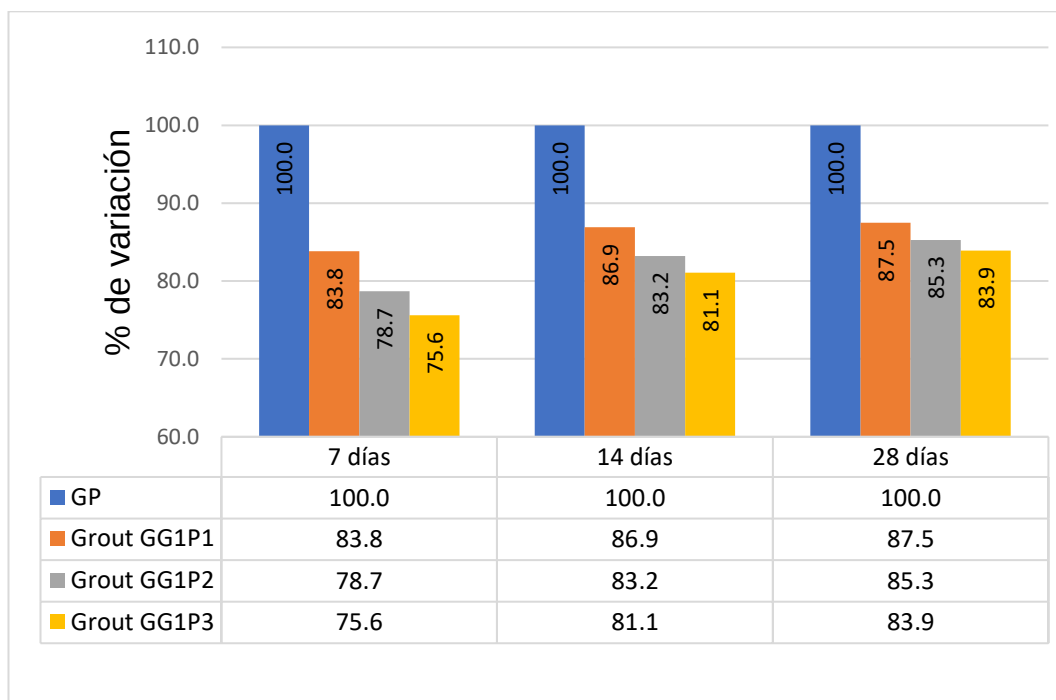


Figura N° 56: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas de grout GG1PX

(Nota: Elaboración propia)

Se obtuvo una reducción de la resistencia a la compresión a los 28 días de 12.5% para la proporción P1, de 14.7% en la proporción P2 y de 16.1% para la proporción P3. Siendo el grout GG1P3 de menor resistencia.

7.2.1.3. Mezclas de tipo GG2PX en comparación al patrón

Se presenta la Tabla N° 80 y la Figura N° 57, donde se muestra la comparación de las resistencias a la compresión de las mezclas de grout tipo GG2PX, mezcla de grout de gravilla G2 en tres proporciones P1, P2 y P3, comparadas con el grout patrón GP.

Tabla N° 80: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GG2PX

EDAD (días)	GP (kg/cm ²)	Grout GG2P1 (kg/cm ²)	Grout GG2P2 (kg/cm ²)	Grout GG2P3 (kg/cm ²)
7	223	197	192	183
14	238	217	213	208
28	268	244	239	230
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100.0	88.5	86.1	82.2
14	100.0	91.2	89.6	87.4
28	100.0	91.1	89.2	86.1

(Nota: Elaboración propia)

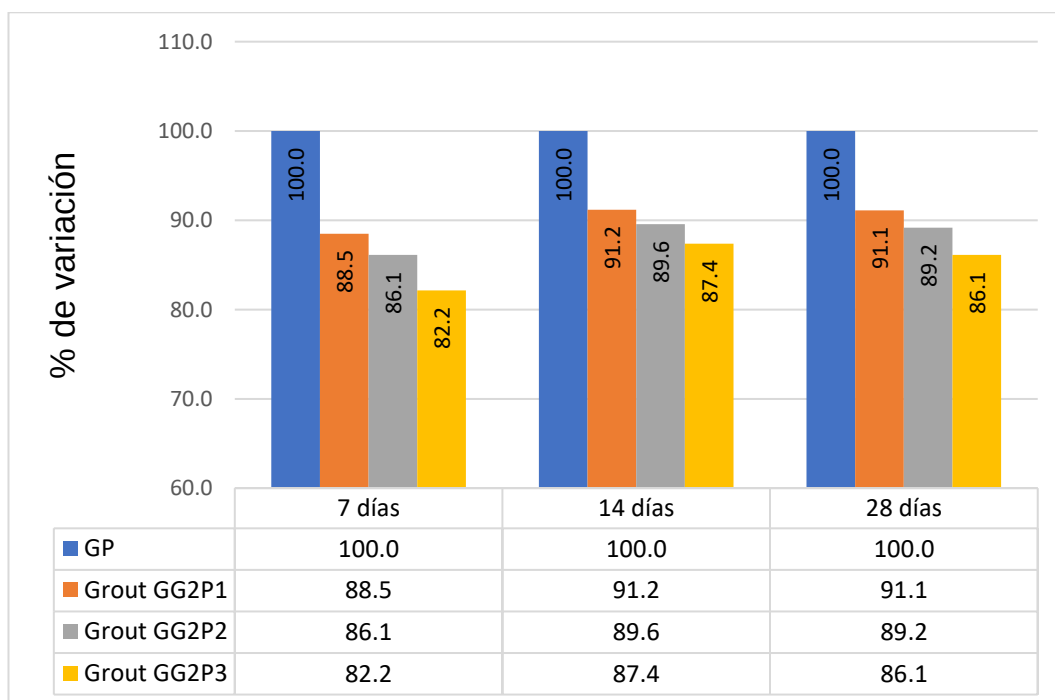


Figura N° 57: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas de grout GG2PX

(Nota: Elaboración propia)

Se obtuvo una reducción de la resistencia a la compresión a los 28 días de 8.9 % para la proporción P1, de 10.8% en la proporción P2 y de 13.1% para la proporción P3. Siendo el grout GG2P3 de menor resistencia.

7.2.1.4. Mezclas de tipo GG3PX en comparación al patrón

Se presenta la Tabla N° 81 y la Figura N° 58, donde se muestra la comparación de las resistencias a la compresión de las mezclas de grout tipo GG3PX, mezcla de grout de gravilla G3 en tres proporciones P1, P2 y P3, comparadas con el grout patrón GP.

Tabla N° 81: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GG3PX

EDAD (días)	GP (kg/cm ²)	Grout GG3P1 (kg/cm ²)	Grout GG3P2 (kg/cm ²)	Grout GG3P3 (kg/cm ²)
7	223	200	191	187
14	238	221	216	213
28	268	247	240	235
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100.0	89.7	85.8	84.0
14	100.0	93.0	90.8	89.5
28	100.0	92.4	89.5	87.9

(Nota: Elaboración propia)

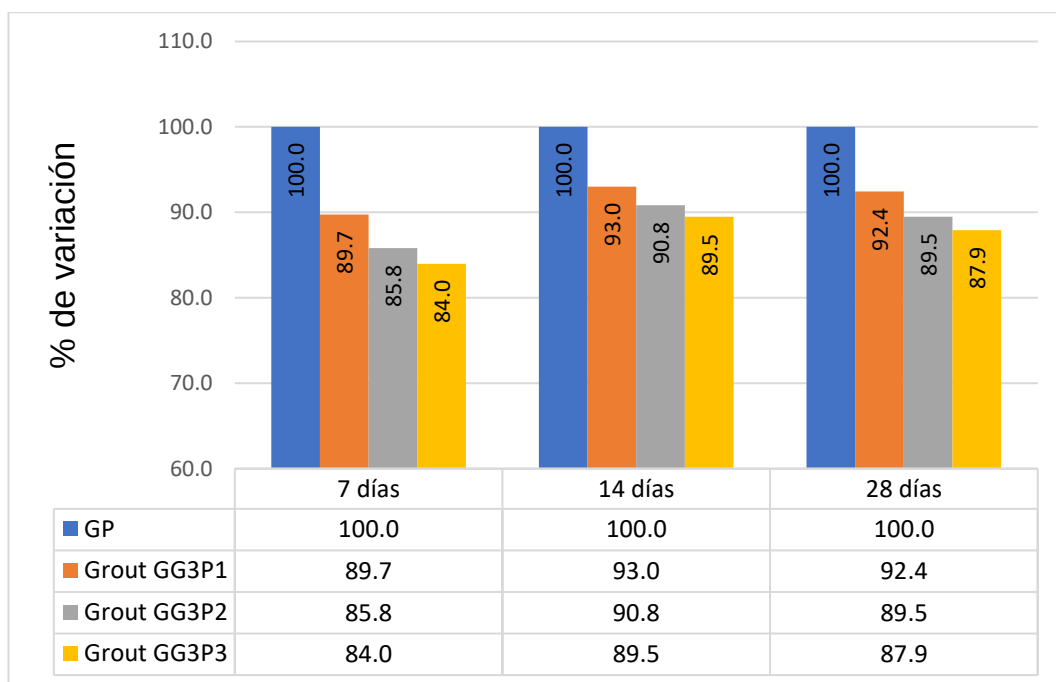


Figura N° 58: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas de grout GG3PX

(Nota: Elaboración propia)

Se obtuvo una reducción de la resistencia a la compresión a los 28 días de 7.6 % para la proporción P1, de 10.5% en la proporción P2 y de 12.1% para la proporción P3. Siendo el grout GG3P3 de menor resistencia.

7.2.1.5. Mezclas de tipo GGXP1 en comparación al patrón

Se presenta la Tabla N° 82 y la Figura N° 59, donde se muestra las resistencias a la compresión respecto al patrón de las mezclas de grout de configuración GGXP1, quiere decir varía entre las gravillas G1, G2 y G3 y se mantiene la proporción P1 constante.

Tabla N° 82: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GGXP1

EDAD (días)	GP (kg/cm ²)	GG1P1 (kg/cm ²)	GG2P1 (kg/cm ²)	GG3P1 (kg/cm ²)
7	223	187	197	200
14	238	207	217	221
28	268	234	244	247
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100.0	83.8	88.5	89.7
14	100.0	86.9	91.2	93.0
28	100.0	87.5	91.1	92.4

(Nota: Elaboración propia)

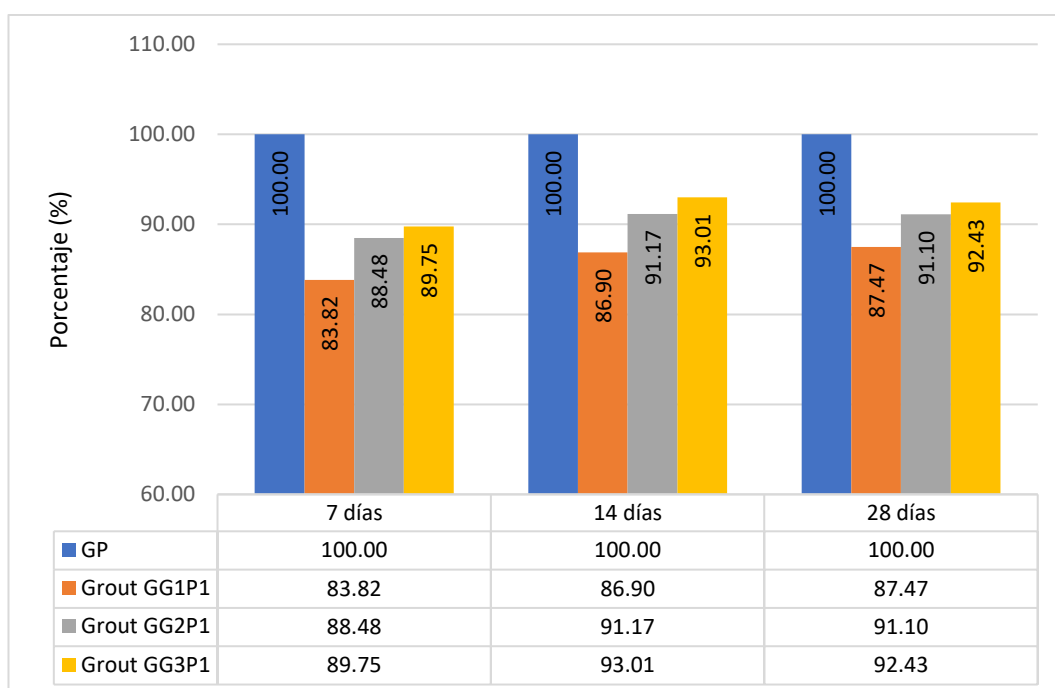


Figura N° 59: Porcentaje de variación respecto al patrón de mezclas de grout GGXP1
(Nota: Elaboración propia)

Las tres gravillas en proporción P1 reducen la resistencia a la compresión de la mezcla de grout, la gravilla G3 presenta una menor reducción de resistencia, de acuerdo con Palomino (2019) un módulo de fineza menor responde a una resistencia mayor, la gravilla G3 presenta un menor módulo de fineza ya que no presenta partículas de tamaño 3/8".

7.2.1.6. Mezclas de tipo GGXP2 en comparación al patrón

Se presenta la Tabla N° 83 y la Figura N° 60, donde se muestra las resistencias a la compresión respecto al patrón de las mezclas de grout de configuración GGXP1, quiere decir varía entre las gravillas G1, G2 y G3 y se mantiene la proporción P2 constante.

Tabla N° 83: Porcentaje de variación de la resistencia respecto al patrón de mezclas tipo GGXP2

EDAD (días)	GP (kg/cm ²)	GG1P2 (kg/cm ²)	GG2P2 (kg/cm ²)	GG3P2 (kg/cm ²)
7	223	175	192	191
14	238	198	213	216
28	268	228	239	240
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100.0	78.7	86.1	85.8
14	100.0	83.2	89.6	90.8
28	100.0	85.3	89.2	89.5

(Nota: Elaboración propia)

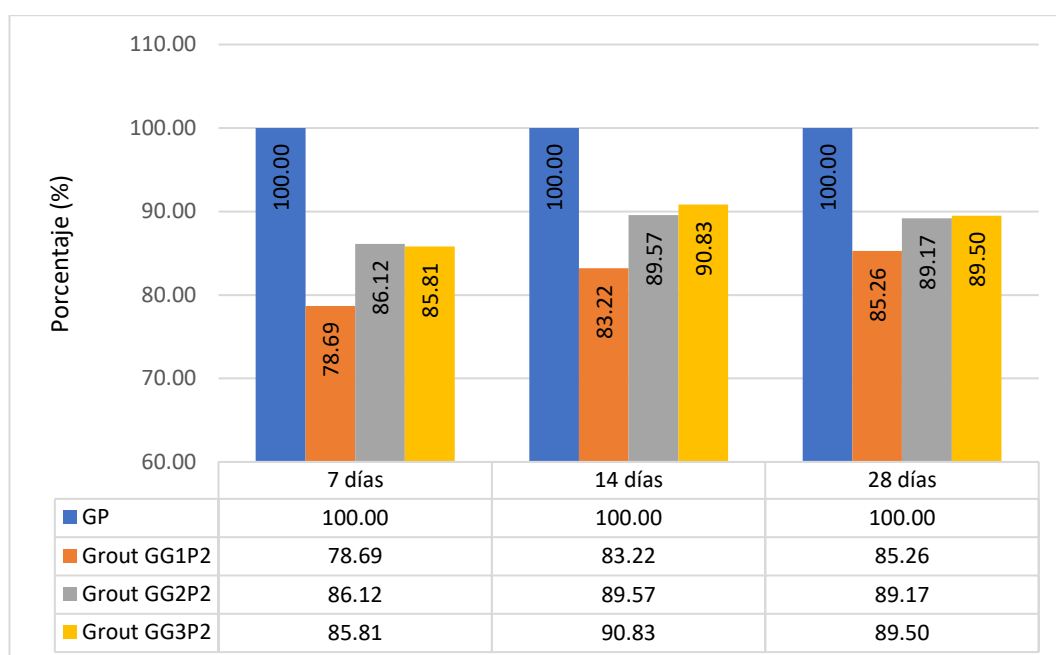


Figura N° 60: Porcentaje de variación respecto al patrón de mezclas de grout GGXP2
(Nota: Elaboración propia)

De la misma forma que las mezclas de grout de proporción de gravilla P1 visto en 6.2.1.5., la gravilla G3 presenta una menor reducción de resistencia, influenciado por su módulo de fineza.

7.2.1.7. Mezclas de tipo GGXP3 en comparación al patrón

Se presenta la Tabla N° 84 y la Figura N° 61, donde se muestra las resistencias a la compresión respecto al patrón de las mezclas de grout de configuración GGXP1, quiere decir varía entre las gravillas G1, G2 y G3 y se mantiene la proporción P2 constante.

Tabla N° 84: Porcentaje de variación respecto al patrón de mezclas tipo GGXP3

EDAD (días)	GP (kg/cm ²)	GG1P3 (kg/cm ²)	GG2P3 (kg/cm ²)	GG3P3 (kg/cm ²)
7	223	168	183	187
14	238	193	208	213
28	268	225	230	235
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100.0	75.6	82.2	84.0
14	100.0	81.1	87.4	89.5
28	100.0	83.9	86.1	87.9

(Nota: Elaboración propia)

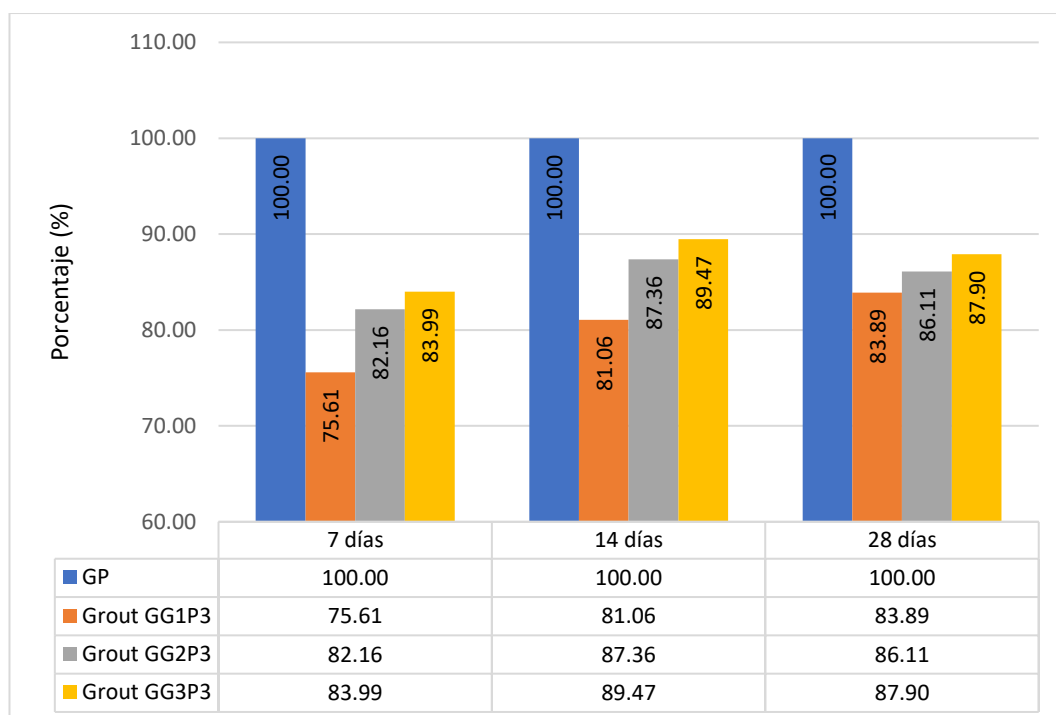


Figura N° 61: Porcentaje de variación respecto al patrón de mezclas de grout GGXP3
(Nota: Elaboración propia)

De la misma forma que las mezclas de grout de proporción de gravilla P1 y P2, la gravilla G3 presenta una menor reducción de resistencia, influenciado por su módulo de fineza.

7.2.1.8. Evolución de resistencia a la compresión de las mezclas de grout

En la Tabla N° 85 se presenta la variación de la resistencia a la compresión de los testigos de primas de grout a los 7 y 14 días, respecto a la resistencia a los 28 días.

Tabla N° 85: Variación de resistencia de las mezclas de grout respecto resistencia a los 28 días

TIPO DE GROUT	PROPORCIÓN DE MEZCLA	% DE VARIACIÓN RESPECTO A LOS 28 DIAS DE CADA MEZCLA DE GROUT			
		0 d	7 d	14 d	28 d
GP	1:2.5:0	0.00	83.18	88.95	100.00
GG1-P1	1:2.5:1	0.00	79.71	88.36	100.00
GG1-P2	1:2.5:1.5	0.00	76.78	86.82	100.00
GG1-P3	1:2.5:2	0.00	74.97	85.94	100.00
GG2-P1	1:2.5:1	0.00	80.79	89.01	100.00
GG2-P2	1:2.5:1.5	0.00	80.34	89.35	100.00
GG2-P3	1:2.5:2	0.00	79.36	90.24	100.00
GG3-P1	1:2.5:1	0.00	80.77	89.50	100.00
GG3-P2	1:2.5:1.5	0.00	79.75	90.27	100.00
GG3-P3	1:2.5:2	0.00	79.48	90.54	100.00

(Nota: Elaboración propia)

Se presenta una evolución acelerada de la resistencia a los 7 días. En promedio a los 7 días se presentó un 79.51% respecto a su resistencia a los 28 días y a los 14 días presentó un 88.90% respecto a su resistencia a los 28 días. De la Roz et al. (2020) presenta la Tabla N° 86, donde se visualiza la evolución de las resistencias a la compresión de probetas de concreto dependiendo del tipo de concreto usado a los 7 días, 14 días, 28 días, 3 meses, 1 año y más de 2 años.

Tabla N° 86: Influencia de la edad en la resistencia a la compresión de probetas

TIPO DE CEMENTO	RESISTENCIA RELATIVA					
	7 d	14 d	28 d	3 m.	1 a	> 2 a
Normal	0.70	0.88	1.00	1.12	1.18	1.20
De alta resistencia inicial	0.80	0.92	1.00	1.10	1.15	1.15
De endurecimiento lento	-	0.70	1.00	1.40	1.60	1.60

Fuente(De la Roz et al., 2020)

Esta investigación se hizo uso del cemento portland tipo I de la marca sol, se esperaba tener un desarrollo a los 7 y 14 días similar al mostrado en la Tabla N° 86 para cemento normal, se obtuvo una resistencia más alta a los 7 días un promedio de 79.51% y con respecto a la resistencia los 14 días el valor se aproxima al mostrado por Roz Martinez en la Tabla N° 86 para cemento de alta resistencia inicial, para las diferentes mezclas de grout.

Esto se podría explicar debido a la absorción del exceso de agua de las mezclas de grout por parte de los bloques de concreto usados como moldes, de esta manera acelerando el proceso de fraguado y endurecimiento del concreto en sus edades tempranas. La absorción del exceso de agua involucra una reducción de poros en el concreto generado por el contenido de agua aumentando así su resistencia. (Sturgeon et al., 2013) Se visualiza en la Figura N° 62 la absorción del exceso de agua de los bloques en las caras del testigo de grout.



Figura N° 62: Desmolde de testigo de grout evidencia de humedad en los bloques
(Nota: Fotografía propia)

Para contrastar los resultados, se tomó muestras de grout patrón GP y de grout GG1P1 de las cuales se muestrearon las mezclas de grout en probetas cilíndricas de 10x20cm usando moldes no absorbentes, como se visualiza en la Figura N° 63,



Figura N° 63: Toma de probetas con moldes no absorbentes
(Nota: Fotografía propia)

Con estos testigos se realizó el ensayo a la compresión obteniendo los resultados en la Tabla N° 87 y la evolución de su resistencia a los 7, 14 y 28 días.

Tabla N° 87: Resistencia a la compresión de grout en moldes no absorbentes a las edades de 7,14 y 28 días

PROPORCIÓN	TIPO DE GROUT	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)		
		7 días	14 días	28 días
1:2.5	GP	133	153	204
1:2.5:1	GG1P1	125	147	190

(Nota: Elaboración propia)

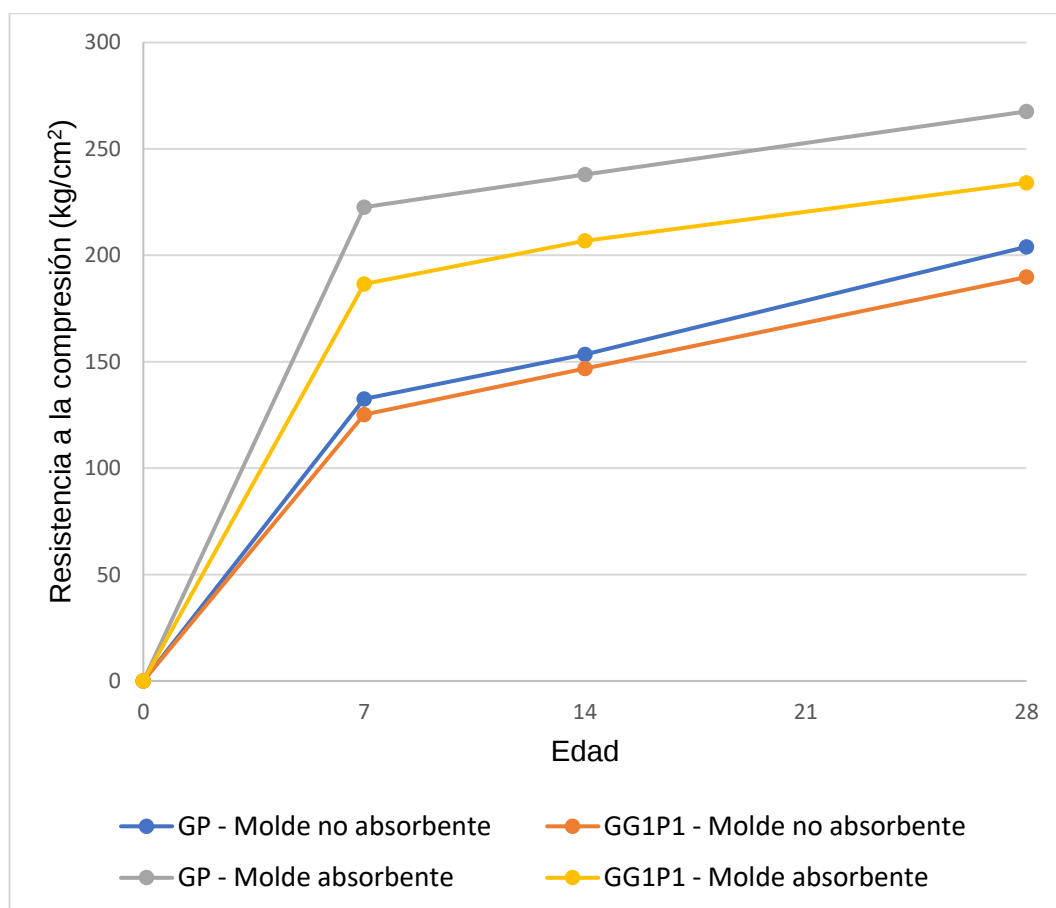
Como se visualiza en la Tabla N° 87, las resistencias de los grout en moldes no absorbentes son menores a los resultados obtenidos con los moldes absorbentes. Con lo que respecta a su evolución de resistencia, a los 7 días muestra un incremento del 65% y 61.3% para los grout de tipo GP y GG1P1, respectivamente. A sus 14 días presenta un incremento de 75.2% y 77.4% para los grout de tipo GP y GG1P1, respectivamente. Se visualiza en la Tabla N° 88 la evolución de las resistencias de las mezclas de grout en moldes no absorbentes.

Tabla N° 88: Evolución de resistencia a la compresión de grout en moldes no absorbentes

TIPO DE GROUT	% DE VARIACIÓN RESPECTO A LOS 28 DÍAS		
	7d	14d	28d
GP	65.0%	75.2%	100.0%
GG1P1	65.9%	77.4%	100.0%

(Nota: Elaboración propia)

Se presenta la Figura N° 64, donde se observa la evolución de la resistencia de las mezclas de grout patrón GP y el grout GG1P1 en diferentes moldes, evidenciando que los testigos de grout en moldes absorbente presentan mayor resistencia y una resistencia a edades tempranas elevada.

Figura N° 64: Evolución de resistencias a la compresión a los 7, 14 y 28 días
(Nota: Elaboración propia)

Se presenta la Tabla N° 89 donde se compara los resultados de los ensayos a compresión entre las mezclas de grout de moldes absorbentes (bloqueta de concreto) y moldes no absorbentes (moldes de plástico) a los 28 días.

Tabla N° 89: Comparativa entre resistencias de testigos en moldes absorbente y no absorbentes

TIPO DE GROUT	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS (kg/cm ²)		% DE VARIACIÓN RESPECTO A MOLDE NO ABSORBENTE
	MOLDE ABSORBENTE	MOLDE NO ABSORBENTE	
GP	268	204	131.2%
GG1P1	234	190	123.3%

(Nota: Elaboración propia)

Se verifica que los testigos con moldes absorbentes presentan mayor resistencia con respecto a los moldes no absorbentes, de 1.31 y 1.23 veces en las mezclas de grout GP y GG1P1 respectivamente.

De acuerdo con Sturgeon et al. (2013), los valores entre la resistencia de mezclas de grout entre con testigos obtenidos mediante moldes absorbentes y moles no absorbentes se encuentran en el orden de 1.50 además referencia que los valores se encuentran entre 1.21 hasta 2.29 en otras investigaciones, lo que podría derivar que la resistencia del grout se ve influenciada de la unidad de albañilería usada y sus propiedades.

7.2.2. Ensayo de resistencia a la flexión de vigas de grout

En la Tabla N° 90 y la Figura N° 65, donde se muestran los valores de Módulo de rotura y su variación respecto al patrón.

Tabla N° 90: Porcentaje de variación de módulos de rotura respecto al patrón

PROPORCIONES (C: A: G)	TIPO DE GROUT	MÓDULO DE ROTURA (Kg/cm ²)	VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN (%)
1:2.5:0	GP	42.96	100.00
	GG1P1	40.87	95.12
1:2.5:1	GG2P1	41.21	95.92
	GG3P1	41.32	96.17
	GG1P2	38.96	90.68
1:2.5:1.5	GG2P2	40.17	93.51
	GG3P2	40.42	94.09
	GG1P3	38.44	89.48
1:2.5:2	GG2P3	39.75	92.52
	GG3P3	40.03	93.19

(Nota: Elaboración propia)

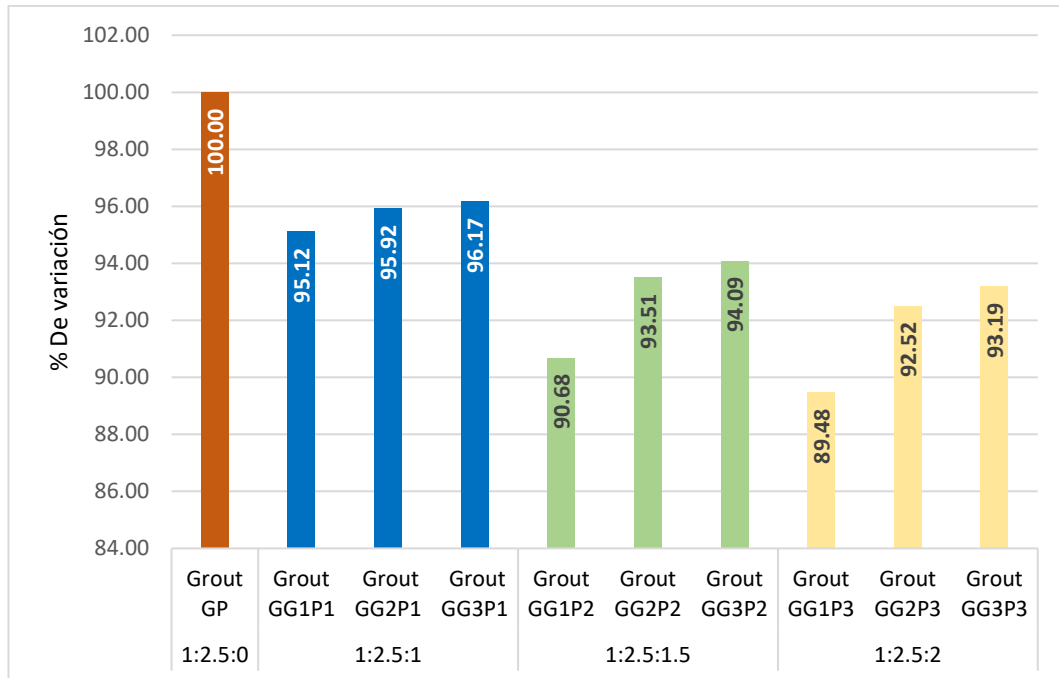


Figura N° 65: Variación del módulo de rotura respecto al patrón
(Nota: Elaboración propia)

En el mismo sentido de la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión de las vigas se ve reducida por el incremento de la cantidad de agregado. De igual manera la gravilla G3 presenta una menor reducción de resistencia.

7.2.2.1. Relación entre resistencia a la compresión y módulo de rotura

De acuerdo con los valores de la Tabla N° 52, presentado previamente, se obtiene que la relación de resistencia a la compresión de las mezclas de grout y el módulo de rotura se encuentra entre valores de 16.1% y 17.5%, con un valor promedio de 16.93%, valor que se encuentra en el rango de 11% a 23% como indica Matallana Rodríguez (2019).

De la misma forma el valor de la constante K, que relaciona el módulo de rotura y la raíz cuadrada de la resistencia, se encuentra entre los valores de 2.57 y 2.67, con un valor promedio de 2.62, valor que se encuentra en el rango 2.0 a 2.7 mencionado por Sánchez (2001).

7.3. Análisis de resultados de costos unitarios de mezclas de grout

7.3.1. Respecto a la velocidad de producción

Se presenta la Tabla N° 91, donde se visualiza la variación de la velocidad de producción respecto al patrón.

Tabla N° 91: Porcentaje de variación de la velocidad de producción respecto al patrón

GROUT	VELOCIDAD DE PRODUCCIÓN	% DE VARIACIÓN
	m ³ /día	
GP	1.75	100.0%
GG1P1	1.67	95.7%
GG2P1	1.67	95.7%
GG3P1	1.67	95.7%
GG1P2	1.63	93.6%
GG2P2	1.63	93.6%
GG3P2	1.63	93.6%
GG1P3	1.60	91.7%
GG2P3	1.60	91.7%
GG3P3	1.60	91.7%

(Nota: Elaboración propia)

Como se observa la velocidad de producción, rendimiento, es mayor en el grout patrón debido a su alta fluidez y elevada consistencia, lo cual permite realizar un rellenado de alveolos con menor esfuerzo durante el varillado de consolidación.

Por otra parte, el incremento de gravilla reduce la consistencia lo cual durante el varillado de la mezcla en las unidades de albañilería requirió mayor energía y tiempo, causando una velocidad de producción menor para mezclas de grout con mayor contenido de gravilla.

7.3.2. Respecto a los costos de los materiales

Se presenta la Tabla N° 92 donde se visualiza la variación de costos por materiales respecto al patrón.

Tabla N° 92: Porcentaje de variación de costo de materiales respecto al patrón

PROPORCIÓN (C: A: G)	TIPO DE GROUT	COSTO DE MATERIALES (S/. /m³)	VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN (%)
1:2.5:0	GP	329.70	100.00
1:2.5:1	GG1P1	311.08	94.35
	GG2P1	317.91	96.42
	GG3P1	322.05	97.68
1:2.5:1.5	GG1P2	294.63	89.36
	GG2P2	298.21	90.45
	GG3P2	305.42	92.63
1:2.5:2	GG1P3	274.74	83.33
	GG2P3	279.64	84.81
	GG3P3	281.94	85.51

(Nota: Elaboración propia)

Se evidencia un menor costo en cemento para la proporción P1 hasta en un 94.35% del costo del grout patrón, para la proporción P2 una reducción de hasta el 90.45% y para la proporción P3 una reducción del costo de hasta 83.33%.

7.3.3. Respecto al análisis de costos unitarios

Se evidencia una disminución de la velocidad en la producción, rendimiento, debido al aumento en el tiempo de consolidación de las mezclas de grout con adición de gravilla como se visualiza en las Tablas N° 54, 55 y 56, previamente presentadas. A mayor contenido de gravilla la consolidación con varilla requiere más energía del operario que realiza la actividad.

Se presenta la Tabla N° 93, donde se compara los costos unitarios de las diferentes mezclas de grout y su variación respecto al patrón.

Tabla N° 93: Variación de costos unitarios respecto al patrón

PROPORCIÓN (C: A: G)	TIPO DE GROUT	COSTO UNITARIO (S/. /m ²)	VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN (%)
1:2.5:0	GP	575.85	100.00
1:2.5:1	GG1P1	569.02	98.81
	GG2P1	575.85	100.00
	GG3P1	579.99	100.72
1:2.5:1.5	GG1P2	558.90	97.06
	GG2P2	562.48	97.68
	GG3P2	569.69	98.93
1:2.5:2	GG1P3	543.97	94.46
	GG2P3	548.86	95.31
	GG3P3	551.17	95.71

(Nota: Elaboración propia)

Las mezclas de grout con una proporción P3 de gravilla muestran menores costos, ya que reemplazan en mayor medida la cantidad de material cementante por m³ de grout producido. Entre las tres gravillas en proporción P3, menor costo tiene la mezcla GG1P3.

7.3.4. Relación entre costos unitarios y resistencia a la compresión de grout

Se presenta la Tabla N° 94 donde se muestra la resistencia a la compresión obtenida a los 28 días obtenido en el Capítulo V y el costo unitario de cada mezcla de grout presentados en el Capítulo VI.

Tabla N° 94: Resistencias a la compresión a los 28 días y su costo unitario

MEZCLA	PROPORCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	COSTO UNITARIO (S/. / m ³)
GP	1:2.5:0	268	S/ 575.85
GG1-P1	1:2.5:1	234	S/ 569.02
GG2-P1	1:2.5:1	244	S/ 575.85
GG3-P1	1:2.5:1	247	S/ 579.99
GG1-P2	1:2.5:1.5	228	S/ 558.90
GG2-P2	1:2.5:1.5	239	S/ 562.48
GG3-P2	1:2.5:1.5	240	S/ 569.69
GG1-P3	1:2.5:2	225	S/ 543.97
GG2-P3	1:2.5:2	230	S/ 548.86
GG3-P3	1:2.5:2	235	S/ 551.17

(Nota: Elaboración propia)

Se presenta la Figura N° 66 donde se visualiza la comparativa entre la resistencia a la compresión y el costo unitario de las partidas de relleno con las mezclas de grout.

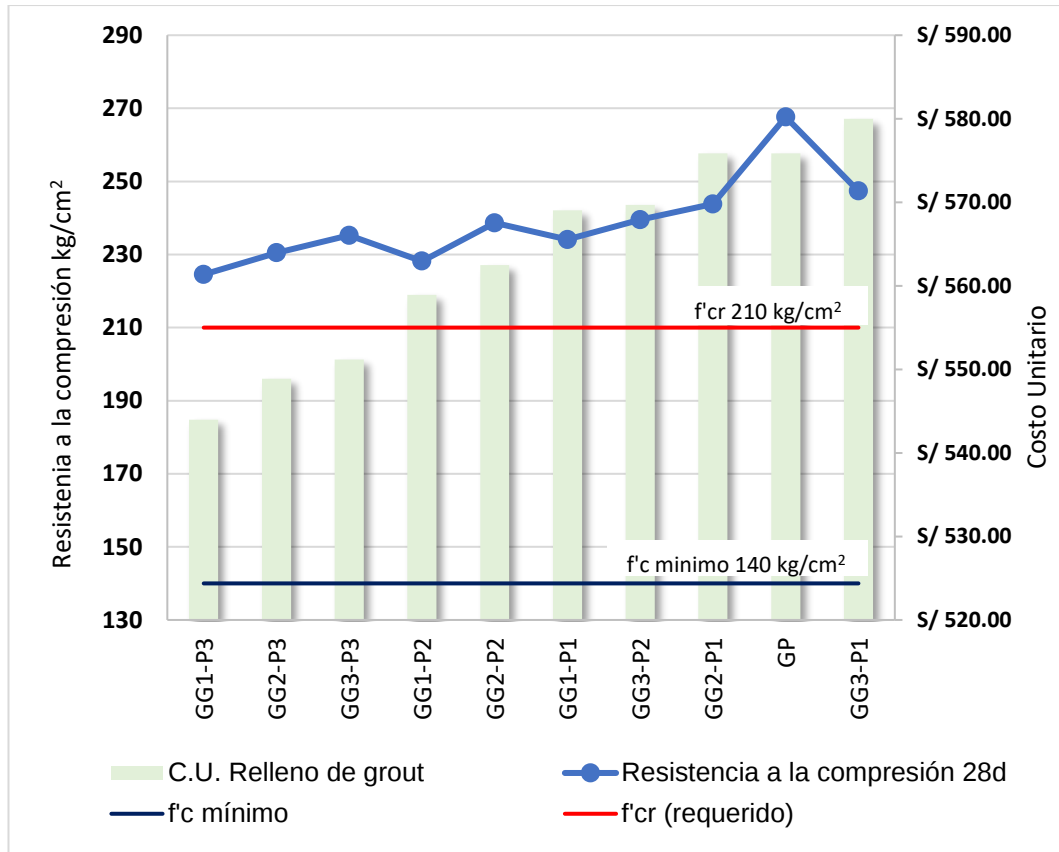


Figura N° 66: Comparativa de resistencia a la compresión y costo unitario de partidas de grout con adición de gravilla
(Nota: Elaboración propia)

Se aprecia que a mayor contenido de gravilla en las mezclas de grout los costos unitarios son menores, debido a la reducción del contenido de material cementante. Los valores de resistencia a los 28 días se encuentran por encima de los 140kg/cm² de resistencia mínima indicada en la Norma E.070 de albañilería, y por encima del valor de resistencias requerida de 210kg/cm².

La mezcla de grout GG1P3 presenta una resistencia a la compresión superior a la resistencia mínima recomendada por la Norma E.070 de albañilería, además de un menor costo unitario.

Conclusiones

Generales:

Se demostró que la adición de gravilla al grout utilizado en la albañilería armada reduce sus propiedades físicas y mecánicas del grout. Sin embargo, cuando la cantidad de gravilla no excede el doble de la cantidad de cemento, dichas propiedades se mantienen dentro de rangos aceptables según los criterios establecidos en la Norma E.070 de Albañilería. Asimismo, se evidencia que esta adición contribuye a una reducción de costos debido al reemplazo parcial de materiales mas costosos, lo que resulta en una opción económica para proyectos constructivos en zonas con limitaciones presupuestarias, como el distrito del Rímac.

El grout con adición de gravilla de partículas más grandes (G1) y en una proporción equivalente al doble de la cantidad de cemento (P3) presentó propiedades en estado fresco dentro de los rangos recomendados por la Norma E.070 de Albañilería. Además, esta mezcla logró un costo unitario menor en comparación con la mezcla de grout patrón, lo que la convierte en una alternativa viable y económica para proyectos de construcción en el distrito del Rímac, donde la optimización de recursos es esencial para atender el déficit habitacional de manera eficiente.

Específicas:

Se evidenció que las propiedades físicas de las gravillas influyen directamente en las propiedades físicas y mecánicas del grout. Comparando la gravilla con partículas más grandes (G1) y la gravilla de partículas más finas (G3), se observó que la gravilla más fina alcanzó mayores resistencias a la compresión, mientras que la gravilla más gruesa ofreció costos unitarios más bajos. Aunque ambas gravillas redujeron las propiedades del grout en comparación con la mezcla patrón, estas se mantuvieron dentro de los rangos permitidos por la Norma E.070 de Albañilería. En el contexto del distrito del Rímac, donde la optimización de costos y el cumplimiento normativo son fundamentales para enfrentar el déficit habitacional, el uso de gravilla más gruesa representa una alternativa económica viable. Al mismo tiempo, la gravilla más fina podría aplicarse en proyectos que requieran un mayor desempeño mecánico, dependiendo de las necesidades específicas del diseño estructural.

Se determinó que las proporciones aceptables de gravilla en la mezcla de grout, para mantener sus propiedades físico-mecánicas dentro de valores adecuados según la Norma E.070 de Albañilería, corresponden a relaciones de hasta dos veces la cantidad de cemento. Estas proporciones permiten conservar la trabajabilidad y resistencia necesarias para la albañilería armada, asegurando un desempeño estructural óptimo. En el contexto del distrito del Rímac, estas proporciones representan una alternativa técnica adecuada para mejorar la eficiencia constructiva en zonas con alta demanda de vivienda.

Las variaciones en la proporción de gravilla en la mezcla de grout influyen significativamente en sus propiedades físico-mecánicas. Se observó que, al aumentar la proporción de gravilla, la resistencia a la compresión disminuye, pero se mantienen dentro de los valores aceptables según la Norma E.070 de Albañilería. En el distrito del Rímac, estas variaciones permiten ajustar la mezcla en función de las necesidades constructivas y económicas, logrando una solución técnica que combina eficiencia y cumplimiento normativo.

La adición de gravilla en el grout utilizado para los rellenos de albañilería armada tiene un impacto positivo en la reducción de los costos unitarios, especialmente cuando se emplean gravillas de mayor tamaño (G1). Este ahorro se debe al reemplazo parcial de cemento por un agregado más económico, manteniendo las propiedades físico-mecánicas dentro de los rangos permitidos por la Norma E.070. En el distrito del Rímac, donde los recursos económicos son limitados, esta alternativa representa una solución eficiente y sostenible para proyectos de vivienda.

Recomendaciones

Se recomienda que los ingenieros y constructores en el distrito del Rímac consideren el uso de gravilla en la mezcla de grout, asegurándose de no exceder el doble de la cantidad de cemento, para lograr un equilibrio adecuado entre costo y propiedades físico-mecánicas, de acuerdo con la Norma E0.70 de albañilería.

Para proyectos con limitaciones presupuestarias, se sugiere utilizar mezclas con gravilla con partículas más gruesas de tipo G1, garantizando siempre que las propiedades del grout cumplan con los rangos establecidos por la Norma E.070 de Albañilería.

Se aconseja a los diseñadores de proyectos en el Rímac que prioricen el uso de la mezcla con gravilla gruesa (G1) y proporciones controladas de hasta dos veces la cantidad de cemento, para obtener un costo unitario reducido, sin sacrificar la calidad del material en estado fresco.

Se recomienda que las autoridades locales fomenten la adopción de esta mezcla económica en proyectos de vivienda de interés social, ya que podría facilitar la construcción de viviendas más accesibles para la población del Rímac.

Se sugiere que los responsables de proyectos de albañilería armada evalúen la resistencia a la compresión de las mezclas de grout con diferentes tipos de gravilla (fina y gruesa) para seleccionar el tipo más adecuado en función de las necesidades estructurales del proyecto en el Rímac.

Respecto a futuras investigaciones

Evaluar la incorporación de plastificantes en las mezclas de grout, para reducir en mayor medida el consumo de cemento.

Comparar el muestreo prismático de las mezclas de grout con los moldes absorbentes y con moldes no absorbentes.

Evaluar la absorción o succión de diferentes unidades de albañilería y como impactan en la resistencia de las mezclas de grout.

Variar el contenido de arena gruesa de partida del grout patrón, para rangos fuera de lo indicado en la Norma E0.70 de albañilería. Valores como 1:3.5 o 1:4 para así evaluar su comportamiento de fluidez en el cono Marsh y obtener su relación agua/cemento que requeriría la mezcla de grout.

Respecto a la recomendación anterior, de la misma forma estas nuevas proporciones de arena, se recomienda evaluar sus propiedades en estado fresco y endurecido.

Evaluar el reemplazo de la gravilla con agregados ecosostenibles de dimensiones de partículas similares a la gravilla.

Evaluar la incorporación de agregados ligeros o poliestireno expandido para reducir el peso unitario de las mezclas de grout.

Referencias bibliográficas

- Acuña, D. (2023). *El problema del déficit de viviendas en el Perú*. Iladmedia. <https://iladmedia.pe/actualidad/el-problema-del-deficit-de-viviendas-en-el-peru-por-diego-acuna/>
- Arrieta, J., & Peñaherrera, E. (2001). *Fabricación de bloques de concreto con una mesa vibradora*. Programa Científico PC - CISMID.
- American Society for Testing and Materials. (2016). Standard Test Method for flow of grout for preplaced-aggregate concrete (Flow Cone Method). <https://doi.org/10.1520/C0939-10>.
- American Society for Testing and Materials. (2024). C 1019 *Standard Test method for Sampling and Testing Grout*. <https://doi.org/10.1520/C1019-20>.
- Benaicha, M., Jalbaud, O., Hafidi Alaoui, A., & Burtschell, Y. (2015). *Marsh cone coupled to a plexiglas horizontal channel: Rheological characterization of cement grout*. *Flow Measurement and Instrumentation*, 45, 126–134. <https://doi.org/10.1016/J.FLOWMEASINST.2015.06.004>
- Camacho, J. S., Logullo, B. G., Parsekian, G. A., & Soudais, P. R. N. (2015). *The influence of grouting and reinforcement ratio in the concrete block masonry compressive behavior*. *Revista IBRACON de Estruturas e Materiais*, 8(3), 341–364. <https://doi.org/10.1590/s1983-41952015000300006>
- Chávez, O., & Seminario, F. (2014). *Comparación del comportamiento sísmico entre un muro de albañilería armada y otro de albañilería de junta seca utilizando bloques de concreto vibrado* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/items/9bfc3645-75c6-44e6-9bc2-35947ae9e5e8>
- Compañía Minera Luren S.A. (2021). *Concreto llenado de alveolos de muros estructurales*. <https://www.lacasa.com.pe/wp-content/uploads/2023/05/ET-CONCRETO-PARA-MUROS-PORTANTES-v2021.pdf>
- De la Roz, I., Puig, R. A., & Martínez, F. M. (2020). *Procedimientos para pronosticar la resistencia del hormigón a 28 días desde edades tempranas*. *Revista Ciencia y Construcción*, 1(2), 20–31. <https://www.researchgate.net/publication/358645784>

- Euclid Chemical Toxement. (2020). *Guía para selección y colocación de grout*.
https://www.toxement.com.co/media/4803/guia_para_seleccion_colocacion_grouts.pdf
- Federación de trabajadores en construcción civil del Perú. (2024). *Tabla salarios y beneficios sociales para el régimen de construcción civil*.
<https://www.ftccperu.com/images/TABLAS%20SALARIALES%20PDF/Tabla%20salarial%20%202023-2024.pdf>
- Ferreira, J. A., Semensato, M. M., Franco, L. S., Pileggi, R. G., & De Oliveira, R. C. (2024). *Characterization of fresh and hardened state properties of grouts for use in structural masonry*. Revista IBRACON de Estruturas e Materiais, 17(2). <https://doi.org/10.1590/s1983-41952024000200005>
- Fondo MiVivienda. (2013). *Dinámica del déficit habitacional en el Perú*.
<https://www.mivivienda.com.pe/PortalCMS/archivos/documentos/DinamicadeDeficitHabitacionalenelPeru.pdf>
- Fondo MiVivienda. (2016). *Déficit habitacional*.
<https://www.mivivienda.com.pe/portalweb/fondo-MIVIVIENDA/noticias-del-sector-detalle.aspx?id=1132>
- Gallegos, H., & Casabonne, C. (2005). *Albañilería estructural* (3ª ed.). Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción* (1ª ed.). Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Guedes, R. O., Nalon, G. H., Silva, R. de C., Gonçalves, L., & Lopes, J. C. (2018). *Influence of blocks and grout on compressive strength and stiffness of concrete masonry prisms*. Construction and Building Materials, 182, 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.091>
- Hamid, A., Bolhassani, M., Turner, A., Minaie, E., & Moon, F. L. (2013). *Mechanical Properties of ungrouted and grouted concrete masonry assemblage*. 12th Canadian Masonry Symposium.
https://www.canadamasonrydesigncentre.com/wp-content/uploads/12th_symposium/327.pdf

- Heredia, J. D., & Peñaloza, K. L. (2021). *Propuesta del concreto auto consolidante con aditivos superplastificantes para la construcción de estructuras verticales en el proyecto Asturias distrito de Surco, Lima-Perú, 2021* [Tesis de maestría, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio UTP. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/4942>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). Mc Graw Hill Education.
- Instituto Nacional de Calidad. (2018). NTP 399.609 *Unidades de Albañilería. Especificación normalizada para grout de albañilería.*
- Instituto Nacional de Calidad. (2019). NTP 339.046 *Concreto Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto.*
- Instituto Nacional de Calidad. (2021). NTP 339.184 *Concreto Determinación de la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado Método de ensayo.*
- Instituto Nacional de Calidad. (2022). NTP 339.035 *Concreto. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo.*
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). Perú: *Perfil Sociodemográfico.*
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap04.pdf
- Konstrutecnia. (2024). *Alquiler De Mezcladora De Concreto 9-11 pie³.*
<https://konstrutecnia.com/p/alquiler-de-mezcladora-de-concreto-9-11-pie3>
- Matallana, R. (2019). *El concreto: fundamentos y nuevas tecnologías* (J. Arango Londoño, Ed.; 1st ed.). Corona ISBN.
- Melo, M. M. (2011). *Especificação, execução e controle de alvenaria estrutural em blocos cerâmicos de acordo com a NBR 15812* [Tesis de maestría, Universidade Federal de São Carlos]. Repositorio UFSCA. <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/4665>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones* (1ª ed.). SENCICO.

<https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2024). *Lima metropolitana: Evolución mensual del precio promedio de materiales de construcción 2017 - 2024*. <https://ww3.vivienda.gob.pe/destacados/estadistica/98.pdf>

Murillo, W. J. (2008). *La investigación científica*.

National Ready Mixed Concrete Association. (2020). *CIP 22 - Grouts (Lechadas de relleno)*. <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP22es.pdf>

Nidheesh, P. V., & Kumar, M. S. (2019). *An overview of environmental sustainability in cement and steel production*. *Journal of Cleaner Production*, 231, 856–871. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.05.251>

Palacios, J. F. (2023). *Construcción informal y vulnerabilidad sísmica en edificaciones de Av. Hualmay en el distrito de Hualmay - 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio UNJFSC. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/7873>.

Palomino, A. M. (2019). *Influencia del módulo de finura del agregado en las propiedades del mortero de cemento* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/18237>.

Parsekian, G. A., Hamid, A., & Drysdale, G. (2012). *Structural masonry behavior and design*.

Posada, G. J. (2016). *Elementos básicos de estadística descriptiva para el análisis de datos*. Fondo Editorial Luis Amigó. https://www.funlam.edu.co/uploads/fondoeditorial/120_Ebook-elementos_basicos.pdf

- Quikrete Perú S.A. (2021a). *Concrelisto líquido tipo I*.
<https://www.quikreteperu.com/fichas/Ficha-tecnica-Concrelisto-Liquido-Tipo-I.pdf>
- Quikrete Perú S.A. (2021b). *Supermortero 1:4 Tipo I*.
<https://www.quikreteperu.com/fichas/Ficha-tecnica-Supermortero-1.4-Tipo-I.pdf>
- Rivva, E. (2000). *Naturaleza y materiales del concreto*. (A. Gómez, K. Ramos, & R. Herrera, Eds.; 1ª ed.). Capítulo peruano ACI.
- Roussel, N., & Le Roy, R. (2005). The Marsh cone: A test or a rheological apparatus? *Cement and Concrete Research*, 35(5), 823–830.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.08.019>
- San Bartolomé, A., Quiun, D., & Silva, W. (2018). *Diseño y construcción de estructuras sismoresistentes de albañilería* (2ª ed.). Fondo Editorial PUCP.
- Sanchez, A. (2021). *Vivienda social en el Rímac: Consolidación de barrios en zonas urbanas deterioradas* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://hdl.handle.net/10757/656702>
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. BHANDAR Editores, Pontificia Universidad Javierana.
- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima. (2024). *Estructura tarifaria Servicio de agua potable y alcantarillado de Lima*.
<https://www.gob.pe/institucion/sedapal/informes-publicaciones/3989288-estructura-tarifaria>
- Sturgeon, B., Ross, M., Korany, Y., & Sturgeon, G. (2013). *Grout strength measured using non-absorbent mould specimens and cores saw-cut from masonry prisms. 12th Canadian Masonry Symposium*.
https://www.canadamasonrydesigncentre.com/wp-content/uploads/12th_symposium/573.pdf
- The Brick Industry. (1996). *Technical Note 17 - Reinforced Brick Masonry. Technical Notes on Brick Construction*.
<https://www.gobrick.com/media/file/17-reinforced-brick-masonry---introduction.pdf>

- Unión Andina de Cementos. (2024). *Ficha técnica Cemento Sol*. www.unacem.pe
- Velásquez, L., & Zíngara, A. (2023). *Análisis y propuesta de aditivos a base de policarboxilatos para el diseño de concretos fluidos, para muros de ductilidad limitada en edificios de concreto armado en la ciudad de Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/d13e7294-6a72-46ed-884d-68bdc8f37948>.
- Venero, F. F. (2020). *Caracterización y comparación del uso de morteros de cementos portland y mortero polimérico en muros de albañilería* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/21732>.

Anexos

Anexo A: Panel fotográfico de ensayos realizados en el LEM-UNI	151
Anexo B: Resultados de los ensayos a compresión realizados a prismas	161
Anexo C: Resultados de los ensayos a flexión de testigos tipo viga	166

Anexo A: Panel fotográfico de ensayos realizados en el LEM-UNI

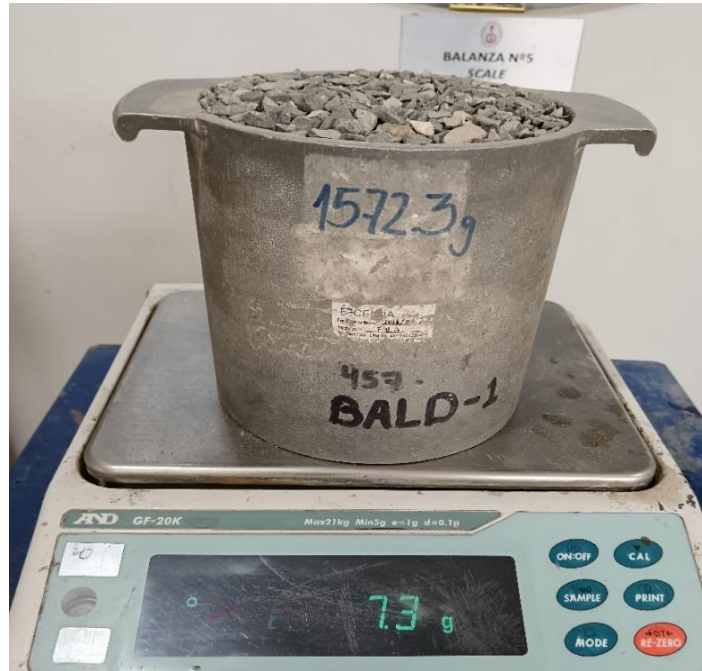


Imagen 1. Pesado de muestra compactada de gravilla
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 2. Pesado de muestra compactada de arena gruesa
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 3. Peso sumergido de gravilla
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 4. Pesado de fiola con arena gruesa
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 5. Ensayo del flujo de tiempo en el cono Marsh
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 6. Ensayo de asentamiento de mezcla de grout
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 7. Ensayo de asentamiento de mezcla de grout
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 8. Toma de temperatura y pH de mezcla de grout fresco
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 9. Moldes absorbentes para muestreo de testigos de grout prismáticos
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 10. Moldes de testigos prismáticos rellenos de grout
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 11. Testigos prismáticos de grout cubierto con paños húmedos
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 12. Testigos prismáticos y testigos tipo viga de grout GG1P3
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 13. Testigos prismáticos de grout de tipo GG2P2
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 14. Dimensionado de testigos prismáticos de grout
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 15. Capping de testigos prismáticos de grout
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 16. Testigos prismáticos con capping previos al ensayo a compresión
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 17. Testigo prismático de grout ensayado a compresión
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 17. Molde absorbente de testigo de grout de tipo viga
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 18. Molde absorbente relleno de grout
(Nota: Fotografía propia)



Imagen 19. Viga de grout posterior al ensayo a la flexión
(Nota: Fotografía propia)

Anexo B: Resultados de los ensayos a compresión realizados a prismas

Tabla anexo B.1. Resultados obtenidos de los ensayos a compresión realizados a prismas de grout de tipo GP y GG1P1

MEZCLA DE GROUT - EDAD	Altura (cm)	Ancho 1 (cm)	Ancho 2 (cm)	Carga Máxima (kgf)	Esbeltez H/A	F'c (kg/cm ²)	Factor corrección	f'c (kg/cm ²)
GP-7d-1	16.10	7.62	7.65	17529	2.11	300.71	0.75	224
GP-7d-2	16.15	7.52	7.52	16719	2.15	295.84	0.75	222
GP-7d-3	16.13	7.59	7.54	16935	2.13	296.11	0.75	222
GP-14d-4	15.76	7.67	7.66	18652	2.06	317.88	0.74	235
GP-14d-5	16.03	7.71	7.56	18612	2.10	319.73	0.74	238
GP-14d-6	16.11	7.54	7.48	18151	2.15	322.05	0.75	242
GP-28d-7	16.25	7.90	7.83	21482	2.07	347.50	0.74	257
GP-28d-8	16.19	7.69	7.82	21180	2.09	352.20	0.74	261
GP-28d-9	16.03	7.49	7.64	21809	2.12	381.12	0.75	285
GG1P1-7d-1	15.85	7.55	7.51	14103	2.11	249.06	0.74	186
GG1P1-7d-2	16.30	7.53	7.77	14938	2.13	255.48	0.75	191
GG1P1-7d-3	16.40	7.77	7.55	14315	2.14	244.18	0.75	183
GG1P1-14d-4	15.80	7.52	7.58	16448	2.09	288.75	0.74	215
GG1P1-14d-5	16.06	7.62	7.68	16208	2.10	277.32	0.74	206
GG1P1-14d-6	16.17	7.82	7.70	16208	2.08	269.17	0.74	200
GG1P1-28d-7	16.45	7.55	7.78	17460	2.15	297.44	0.75	223
GG1P1-28d-8	16.06	7.41	7.39	17185	2.17	314.25	0.75	237
GG1P1-28d-9	16.28	7.55	7.56	18384	2.15	322.09	0.75	242

(Nota: Elaboración propia)

Tabla anexo B.2. Resultados obtenidos de los ensayos a compresión realizados a prismas de grout de tipo GG1P2 y GG1P3

MEZCLA DE GROUT - EDAD	Altura (cm)	Ancho 1 (cm)	Ancho 2 (cm)	Carga Máxima (kgf)	Esbeltez H/A	F'c (kg/cm ²)	Factor corrección	f'c (kg/cm ²)
GG1P2-7d-1	15.99	7.55	7.49	13569	2.13	240.27	0.75	180
GG1P2-7d-2	16.05	7.67	7.69	13125	2.09	222.67	0.74	165
GG1P2-7d-3	16.07	7.61	7.59	13965	2.12	241.94	0.75	181
GG1P2-14d-4	15.95	7.37	7.67	15162	2.12	268.22	0.75	200
GG1P2-14d-5	16.05	7.86	7.61	15659	2.08	261.96	0.74	194
GG1P2-14d-6	16.11	7.54	7.54	15164	2.14	266.91	0.75	200
GG1P2-28d-7	15.97	7.74	7.82	19104	2.05	315.83	0.74	233
GG1P2-28d-8	15.92	7.92	7.56	18517	2.06	309.46	0.74	228
GG1P2-28d-9	15.84	7.73	7.65	17865	2.06	302.31	0.74	223
GG1P3-7d-1	16.36	7.62	7.58	13164	2.15	228.06	0.75	171
GG1P3-7d-2	16.50	7.57	7.69	13200	2.16	226.75	0.75	171
GG1P3-7d-3	16.17	7.81	7.98	13768	2.05	221.05	0.74	163
GG1P3-14d-4	15.96	7.61	7.53	15230	2.11	265.95	0.75	198
GG1P3-14d-5	16.06	7.95	7.54	15263	2.07	254.79	0.74	189
GG1P3-14d-6	15.95	7.71	7.69	15363	2.07	259.45	0.74	192
GG1P3-28d-7	16.06	7.66	7.75	17820	2.08	300.37	0.74	223
GG1P3-28d-8	16.01	7.82	7.60	17619	2.08	296.65	0.74	220
GG1P3-28d-9	16.15	7.63	7.55	17766	2.13	308.81	0.75	231

(Nota: Elaboración propia)

Tabla anexo B.3. Resultados obtenidos de los ensayos a compresión realizados a prismas de grout de tipo GG2P1 y GG2P2

MEZCLA DE GROUT - EDAD	Altura (cm)	Ancho 1 (cm)	Ancho 2 (cm)	Carga Máxima (kgf)	Esbeltez H/A	F'c (kg/cm ²)	Factor corrección	f'c (kg/cm ²)
GG2P1-7d-1	16.03	7.72	7.54	15406	2.10	264.84	0.74	197
GG2P1-7d-2	16.19	7.38	7.94	15412	2.11	263.19	0.75	196
GG2P1-7d-3	16.28	7.37	7.76	15033	2.15	262.86	0.75	197
GG2P1-14d-4	15.95	7.63	7.73	16999	2.08	288.40	0.74	214
GG2P1-14d-5	15.90	7.45	7.65	16908	2.11	296.67	0.74	221
GG2P1-14d-6	15.85	7.53	7.52	16452	2.11	290.54	0.74	216
GG2P1-28d-7	15.92	7.59	7.98	19301	2.04	318.67	0.74	235
GG2P1-28d-8	16.02	7.40	7.56	18461	2.14	330.21	0.75	248
GG2P1-28d-9	15.83	7.65	7.55	19409	2.08	336.04	0.74	249
GG2P2-7d-1	16.00	7.46	7.55	14538	2.13	258.46	0.75	194
GG2P2-7d-2	16.27	7.64	7.60	14758	2.14	254.33	0.75	191
GG2P2-7d-3	16.24	7.84	7.80	15768	2.08	258.01	0.74	191
GG2P2-14d-4	15.85	7.68	7.45	16544	2.10	289.34	0.74	215
GG2P2-14d-5	15.90	7.64	7.56	16527	2.09	286.33	0.74	213
GG2P2-14d-6	16.05	7.46	7.75	16414	2.11	284.10	0.75	212
GG2P2-28d-7	16.01	7.70	7.90	19172	2.05	315.17	0.74	232
GG2P2-28d-8	15.79	7.85	7.54	19742	2.05	333.54	0.74	246
GG2P2-28d-9	15.74	7.66	7.82	19363	2.03	323.46	0.73	238

(Nota: Elaboración propia)

Tabla anexo B.4. Resultados obtenidos de los ensayos a compresión realizados a prismas de grout de tipo GG2P3 y GG3P1

MEZCLA DE GROUT - EDAD	Altura (cm)	Ancho 1 (cm)	Ancho 2 (cm)	Carga Máxima (kgf)	Esbeltez H/A	F'c (kg/cm ²)	Factor corrección	f'c (kg/cm ²)
GG2P3-7d-1	16.06	7.66	7.64	14564	2.10	248.86	0.74	185
GG2P3-7d-2	16.17	7.54	7.72	14600	2.12	250.99	0.75	187
GG2P3-7d-3	16.27	7.93	7.82	14768	2.07	238.30	0.74	176
GG2P3-14d-4	16.05	7.81	7.52	16043	2.09	273.33	0.74	203
GG2P3-14d-5	16.02	7.67	7.78	16565	2.08	277.96	0.74	206
GG2P3-14d-6	16.07	7.51	7.67	16557	2.12	287.82	0.75	215
GG2P3-28d-7	15.86	7.69	7.55	18327	2.08	315.66	0.74	234
GG2P3-28d-8	15.85	7.52	7.85	18243	2.06	309.04	0.74	228
GG2P3-28d-9	15.75	7.56	7.76	18197	2.06	310.39	0.74	229
GG3P1-7d-1	16.07	7.65	7.84	15779	2.07	263.09	0.74	195
GG3P1-7d-2	15.92	7.69	7.77	15811	2.06	264.78	0.74	196
GG3P1-7d-3	15.86	7.60	7.47	15940	2.10	280.77	0.74	209
GG3P1-14d-4	15.91	7.49	7.53	17047	2.12	302.45	0.75	226
GG3P1-14d-5	15.84	7.55	7.72	17186	2.07	294.86	0.74	218
GG3P1-14d-6	15.91	7.71	7.57	17321	2.08	296.77	0.74	220
GG3P1-28d-7	15.70	7.74	7.62	21125	2.04	358.41	0.74	264
GG3P1-28d-8	15.88	7.82	7.98	20159	2.01	323.25	0.73	236
GG3P1-28d-9	15.82	7.92	7.73	20179	2.02	329.81	0.73	242

(Nota: Elaboración propia)

Tabla anexo B.5. Resultados obtenidos de los ensayos a compresión realizados a prismas de grout de tipo GG3P2 y GG3P3

MEZCLA DE GROUT - EDAD	Altura (cm)	Ancho 1 (cm)	Ancho 2 (cm)	Carga Máxima (kgf)	Esbeltez H/A	F'c (kg/cm ²)	Factor corrección	f'c (kg/cm ²)
GG3P2-7d-1	16.30	7.51	7.42	14990	2.18	269.36	0.76	204
GG3P2-7d-2	16.03	7.82	7.57	14927	2.08	252.32	0.74	187
GG3P2-7d-3	15.18	7.55	7.58	14276	2.01	249.45	0.73	182
GG3P2-14d-4	15.87	7.77	7.80	17333	2.04	286.18	0.74	210
GG3P2-14d-5	15.82	7.63	7.43	17094	2.10	301.93	0.74	225
GG3P2-14d-6	15.85	7.69	7.70	17104	2.06	289.04	0.74	213
GG3P2-28d-7	15.95	7.54	7.75	18918	2.09	323.95	0.74	240
GG3P2-28d-8	15.95	7.56	7.75	18844	2.08	321.62	0.74	239
GG3P2-28d-9	15.83	7.55	7.69	18779	2.08	323.44	0.74	240
GG3P3-7d-1	16.09	7.76	7.68	14896	2.08	250.11	0.74	186
GG3P3-7d-2	16.02	7.76	7.54	14483	2.09	247.69	0.74	184
GG3P3-7d-3	16.43	7.58	7.71	14863	2.15	254.65	0.75	191
GG3P3-14d-4	15.88	7.57	7.59	17003	2.09	295.93	0.74	220
GG3P3-14d-5	16.09	7.73	7.74	16958	2.08	283.62	0.74	210
GG3P3-14d-6	15.93	7.56	7.94	16972	2.06	282.92	0.74	209
GG3P3-28d-7	15.97	7.77	7.75	19105	2.06	317.47	0.74	234
GG3P3-28d-8	15.96	7.69	7.80	19055	2.06	317.68	0.74	235
GG3P3-28d-9	16.00	7.85	7.64	19193	2.07	320.23	0.74	237

(Nota: Elaboración propia)

Anexo C: Resultados de los ensayos a flexión de testigos tipo viga

Tabla anexo C.1 Resultados obtenidos de los ensayos a la flexión de testigos tipo viga de mezclas de grout.

PROPORCIÓN	IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA	Ancho promedio (mm)	Alto promedio (mm)	LARGO (L) (mm)	LUZ LIBRE (L1) (mm)	CARGA MÁXIMA (kgf)	FACTOR DE CORRECCIÓN	CARGA MÁXIMA (kgf)	CARGA MÁXIMA (N)	Módulo de rotura (MPa)	Módulo de rotura (Kg/cm ²)
1:2.5:0	GP	151.7	152.3	497	450	4541	0.74	3360	32950.18	4.21	42.96
1:2.5:1	GG1P1	149.0	152.3	501	450	4187	0.75	3140	30792.72	4.01	40.87
1:2.5:1.5	GG1P2	149.7	152.7	500	450	4081	0.74	3020	29615.93	3.82	38.96
1:2.5:2	GG1P3	153.0	155.0	501	450	4243	0.74	3140	30792.72	3.77	38.44
1:2.5:1	GG2P1	152.7	148.7	501	450	4176	0.74	3090	30302.39	4.04	41.21
1:2.5:1.5	GG2P2	156.0	161.0	501	450	4878	0.74	3610	35401.83	3.94	40.17
1:2.5:2	GG2P3	167.3	153.7	503	450	4716	0.74	3490	34225.03	3.90	39.75
1:2.5:1	GG3P1	151.7	159.7	505	450	4863	0.73	3550	34813.43	4.05	41.32
1:2.5:1.5	GG3P2	152.0	153.3	501	450	4338	0.74	3210	31479.19	3.96	40.42
1:2.5:2	GG3P3	154.0	155.7	503	450	4486	0.74	3320	32557.91	3.93	40.03

(Nota: Elaboración propia)