



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Optimización de la formulación del grout 100 mediante
el cambio de tipo de cemento y ajuste de aditivos para
minimizar la exudación y aumentar la resistencia**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Química

AUTOR

Brisa Jakelyn ROJAS GUTIERREZ

ASESOR

Dr. Raymundo ERAZO ERAZO

Lima, Perú

2026



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Rojas, B. (2026). *Optimización de la formulación del grout 100 mediante el cambio de tipo de cemento y ajuste de aditivos para minimizar la exudación y aumentar la resistencia*. [Trabajo de Suficiencia Profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Brisa Jakelyn Rojas Gutierrez
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	73601968
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0000-2075-457X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Raymundo Erazo Erazo
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	08439329
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-1480-7641
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	José Ángel Porlles Loarte
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	25639269
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Cecilio Julio Alberto Garrido Schaeffer
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	08805437
Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología del concreto y materiales cementicos

Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de Química e Ingeniería Química-Universidad Nacional Mayor de San Marcos País: Perú Departamento: LimaProvincia: Lima Distrito: Lima Latitud: -12.0621065 Longitud: -77.0365256
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Marzo 2025-Diciembre 2025
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01 Ingeniería de Materiales https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.05.01



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "V Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para la Facultad de Química e Ingeniería Química 2025-II", bajo la Presidencia del **Dr. José Ángel Porlles Loarte**; el **Dr. Cecilio Julio Alberto Garrido Schaeffer** (Miembro) y el **Dr. Raymundo Erazo Erazo** (Asesor); habiendo presentado para tal efecto el **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**, titulado "**OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL GROUT 100 MEDIANTE EL CAMBIO DE TIPO DE CEMENTO Y AJUSTE DE ADITIVOS PARA MINIMIZAR LA EXUDACIÓN Y AUMENTAR LA RESISTENCIA**", después de **SUSTENTADO Y APROBADO** el trabajo de suficiencia profesional elaborada por la bachiller en Ingeniería Química: **ROJAS GUTIERREZ, BRISA JAKELYN**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERA QUÍMICA**, acordaron calificarla con la **NOTA** de:

Dieciséis

(LETRAS)

18

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 10 de enero del 2026

[Firma]

Dr. JOSÉ ÁNGEL PORLLES LOARTE

Presidente

[Firma]

Dr. CECILIO JULIO ALBERTO GARRIDO SCHAEFFER

Miembro

[Firma]

Dr. RAYMUNDO ERAZO ERAZO

Asesor

[Firma]

Dr. EDER OLIDIO VICUÑA GALINDO

Director de la E.P. de Ingeniería Química





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Raymundo Erazo Erazo en mi condición de asesor con el Dictamen N°000001-2026-EPIQ-FQIQ/UNMSM del Trabajo de Suficiencia Profesional, cuyo título es: **OPTIMIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN DEL GROUT 100 MEDIANTE EL CAMBIO DE TIPO DE CEMENTO Y AJUSTE DE ADITIVOS PARA MINIMIZAR LA EXUDACIÓN Y AUMENTAR LA RESISTENCIA**, presentado por la bachiller: **ROJAS GUTIERREZ, BRISA JAKELYN**, para optar el título Profesional de Ingeniera Química.

CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 9 % de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título Profesional de Ingeniera Química.



Firmado digitalmente por:
ERAZO ERAZO RAYMUNDO FIR
08439329 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 26/02/2026 18:19:27-0500

Lima, 18 de enero del 2026

Firma del Asesor _____

Nombres y Apellidos del asesor Raymundo Erazo Erazo

DNI: 08439329

DEDICATORIA

A mis padres, Marleny Gutierrez S. y Wilfredo Rojas P., por su amor infinito y su apoyo constante, porque gracias a ellos me estoy convirtiendo en el profesional que siempre soñé ser. Sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor, Dr. Raymundo Erazo Erazo, por su orientación constante y por acompañarme en cada etapa de este trabajo, brindándome su apoyo y consejos para lograr el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Antonio Arango, por el apoyo brindado y por compartir sus valiosos conocimientos, en el presente trabajo de investigación. Su orientación, paciencia y experiencia contribuyeron significativamente a fortalecer mi formación profesional.

A mis amigos, quienes con su motivación, apoyo y palabras de aliento me impulsaron a seguir creciendo tanto personal como profesional.

A mi familia, por creer en mí, acompañarme en cada etapa y ser mi mayor fuente de inspiración.

A todos y cada una de las personas que me brindaron su ayuda desinteresadamente para poder llegar a mi objetivo.

RESUMEN

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional (TSP) corresponde a una investigación con un enfoque cuantitativo, con diseño experimental y carácter aplicativo. Su objetivo es optimizar la formulación del grout 100 mediante la modificación del tipo de cemento y el ajuste de aditivos, buscando reducir la exudación en estado fresco, evaluada mediante clasificación observacional y mejorar la resistencia a la compresión. La problemática principal radica en que la mezcla original (F0) presenta, tiempo de fraguado elevados, alta exudación y presencia de poros, lo que ocasiona baja resistencia mecánica, afectando la estabilidad y durabilidad del material. Se realizaron ensayos experimentales para evaluar las propiedades de las formulaciones modificadas. Se comparó la mezcla original con tres fórmulas con cemento Holcim y distintos aditivos, realizando pruebas de exudación, fluidez y resistencia a la compresión a diferentes edades. Para cada formulación, se hicieron tres corridas experimentales bajo las mismas condiciones.

Los resultados indican que las fórmulas modificadas lograron reducir significativamente la exudación y mantener una fluidez adecuada para su colocación. Además, la resistencia a la compresión aumentó en todas las edades evaluadas, destacando la fórmula FM2 que superó a la F0 en un 25.30 %. Asimismo, el tiempo de fraguado se redujo en un 70 %, pasando de 3h 20 min a solo 1 hora, lo que indica una hidratación más rápida.

En conclusión, los ajustes en cemento y aditivos permitieron obtener un grout más estable, homogéneo y resistente, mejorando su desempeño estructural, lo que favorece un desarrollo más consistente de la resistencia, reduciendo los riesgos de segregación. De esta manera, se logra un material de mayor durabilidad y calidad para aplicaciones constructivas.

Palabras Clave: Grout 100, exudación, resistencia a la compresión, aditivos, cemento

ABSTRACT

This Professional Competency Project (PCP) is a quantitative research study with an experimental design and applied nature. Its objective is to optimize the formulation of Grout 100 by modifying the cement type and adjusting the additives, aiming to reduce bleeding in the fresh state, evaluated through observational classification, and improve compressive strength. The main problem lies in the fact that the original mix (F0) exhibits long setting times, high bleeding, and the presence of pores, resulting in low mechanical strength and affecting the material's stability and durability. Experimental tests were conducted to evaluate the properties of the modified formulations. The original mix was compared with three formulas using Holcim cement and different additives, performing tests for bleeding, flowability, and compressive strength at different ages. For each formulation, three experimental runs were conducted under the same conditions.

The results indicate that the modified formulas significantly reduced bleeding and maintained adequate flowability for placement. Furthermore, compressive strength increased at all ages tested, with formula FM2 standing out by outperforming F0 by 19.7%. Setting time was also reduced by 70%, from 3 hours and 20 minutes to just 1 hour, indicating faster hydration.

In conclusion, the adjustments to the cement and additives resulted in a more stable, homogeneous, and resistant grout, improving its structural performance and promoting more consistent strength development while reducing the risk of segregation. This yields a more durable and higher-quality material for construction applications.

Keywords: Grout 100, bleeding, compressive strength, additives, cement

Tabla de contenido

I.	INTRODUCCIÓN	6
1.1	Información del lugar donde se desarrolló la actividad.....	7
1.2	Periodo de duración de la actividad.....	7
1.3	Finalidad y objetivos de la entidad.....	8
1.4	Organización de la actividad.....	8
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO	9
2.1	Descripción del Problema.....	9
2.1.1	Ámbito Internacional	9
2.1.2	Ámbito nacional	11
2.2	Caracterización de la empresa bajo análisis.....	13
2.3	Finalidad y objetivos de la actividad	14
2.3.1	Objetivo general	14
2.3.2	Objetivos específicos	14
2.4	Justificación	15
2.5	Limitaciones.....	15
III.	MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES	15
3.1	ANTECEDENTES.....	15
3.1.1	Antecedentes Nacionales	16
3.1.2	Antecedentes Internacionales	17
3.2	MARCO TEORICO	20
3.2.1	Grout (Lechada de relleno):	20
3.2.1.1	Propiedades del Grout.....	21
3.2.1.2	Factores que alteran el desempeño del grout.....	25
3.2.1.3	Clasificación del grout según su mecanismo de control de volumen ..	26
3.2.2	Materias Primas	26
3.2.2.1	Cemento.....	27
3.2.2.2	Agregados.....	28
3.2.2.3	Aditivos	30
IV.	METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS	32
4.1	METODOLOGÍA.....	32
4.1.1	Enfoque de la investigación	32
4.1.2	Alcance de la investigación.....	32
4.1.3	Método de investigación	32

4.1.4	Población.....	32
4.1.5	Muestra.....	32
4.2	DISEÑO EXPERIMENTAL U OBSERVACIONAL	32
4.2.1	Desarrollo Experimental	34
4.2.2	Diseño de mezclas	34
4.2.3	Procedimiento.....	39
4.2.3.1	Preparación de la mezcla de Grout	39
4.2.3.2	Preparación de moldes para evaluar la resistencia.....	42
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
5.1	Resultados de la prueba de fluidez, exudación, segregación; acabado	44
5.2	Resultados del porcentaje de reducción de tiempo de fraguado inicial y final 44	
5.3	Resultados de la prueba de resistencia en la máquina de rotura	45
5.4	Discusión de Resultados	47
VI.	CONCLUSIONES	50
VII.	RECOMENDACIONES	51
VIII.	BIBLIOGRAFIA	52
IX.	ANEXOS /ILUSTRACIONES.....	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	:Mapa de ubicacion de Aditivos Especiales S.A.C	7
Figura 2	:Evolución del mercado de grout durante el periodo 2025-2030	10
Figura 3	:Bloques de grout 100 con problemas de exudación	14
Figura 4	:Vaciado de grout para anclaje de columna metálica	21
Figura 5	:Equipo de ensayo de flujo de mortero según ASTM C230	23
Figura 6	:Resistencia a la compresión mínima requerida (en psi y MPa).....	24
Figura 7	:Flujograma del proceso de optimización del Grout 100.....	38
Figura 8	:Equipo mezclador para la homogenización	39
Figura 9	:Unidad mezcladora para preparación de grout 100.....	40

Figura 10: Proceso de control de calidad del Grout 100 .(1) Evaluación de la fluidez en la mesa de flujo. (2) Evaluación de la densidad con el picnómetro.....	41
Figura 11: Proceso para evaluar la trabajabilidad, el fraguado inicial y final (1) Evaluación de la trabajabilidad (2) Muestra para evaluar la exudación y fragua inicial	41
Figura 12: Vertido de Grout 100 en moldes de cubos	42
Figura 13: Ensayo de rotura a los cubos del grout 100.....	43
Figura 14: Recipiente con agua utilizado para el curado de las muestras de grout 100 a 3, 7, 14 y 28 días	43
Figura 15: Comparativa de la resistencia de las fórmulas del grout 100 modificado: ...	46
Figura 16: Especificaciones de la norma ASTM C1107.....	56
Figura 17: Dimensiones para medir la fluidez	58

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Calendario de actividades (septiembre - diciembre 2025)	8
Tabla 2: Pesos de las Materias Primas para la formula base	35
Tabla 3: Formula modificada F1	36
Tabla 4: Formula modificada F2	36
Tabla 5: Formula modificada F3	37
Tabla 6: Resultado de la evaluación de la fluidez del Grout 100	44
Tabla 7: Resultados del ensayo en la máquina de rotura para la formula (F0)	45
Tabla 8: Resultados del ensayo en la máquina de rotura para la formula modificada (FM)	45
Tabla 9: Resultados del ensayo en la máquina de rotura para la formula modificada 1 (FM1)	45

Tabla 10:Resultados del ensayo en la máquina de rotura para la formula modificada 2 (FM2) 46

Tabla 11: Porcentaje de incremento de la resistencia en 28 días..... 46

Tabla 12:Promedio de resistencias para la formula Modificada (FM2) mPa..... 46

I. INTRODUCCIÓN

El grout es un material que se usa frecuentemente en el rubro de la construcción debido a su gran versatilidad, ya que permite rellenar vacíos o huecos dentro de una estructura. Generalmente está compuesto por una mezcla de cemento, agua y agregados finos o gruesos, como arena, a la que pueden añadirse aditivos con el fin de mejorar características como la fluidez, la resistencia y la adherencia. Una de sus principales características es su capacidad para fluir con facilidad a través de espacios estrechos o reducidos y llenarlos completamente, lo convierte en una solución eficiente para diversas aplicaciones constructivas.

El grout de alta resistencia, se utiliza en comúnmente para el anclar maquinarias, estructuras metálicas, fijación de pernos, asegurando la seguridad de las obras. Sin embargo, las fórmulas convencionales tienen problemas de exudación, segregación, pérdida de trabajabilidad, lo cual afecta negativamente la calidad y el desempeño del producto.

La presente investigación se fundamenta en la importancia de modificar la formulación del grout , con la finalidad de mejorar las características y propiedades del producto, convirtiéndolo en más estable, con adecuada distribución de cargas y que se ajusten a las normas internacionales como es la ASTM C1107.

El objetivo es diseñar y evaluar la formulación optimizada del grout de alta resistencia, que evite los problemas exudación y segregación asegurando la trabajabilidad y resistencia. La metodología propuesta es de tipo experimental, basada en el diseño de mezclas empleando diferente tipo de cemento y aditivos, asimismo se va realizar prueba tanto en estado fresco como fraguado y se realizara una comparativa con el grout obtenido de formula tradicional, donde se espera que el producto modificado supere tanto en resistencia , trabajabilidad y calidad.

Se tiene en la tabla 1, con el cronograma de actividad en la cual detalla los pasos para el avance del trabajo de investigación

Tabla 1 : *Calendario de actividades (septiembre - diciembre 2025)*

ACTIVIDADES /SEMANAS	Septiembre				octubre				noviembre				diciembre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Elección del tema																
Identificación y formulación del problema																
Revisión bibliográfica																
Redaccion del plan de tsp																
Marco teórico																
Desarrollo de la metodología de TSP																
Analisis y discusión de resultados																
Redacción de informe final																

1.3 Finalidad y objetivos de la entidad

En la empresa de Aditivos Especiales S.A.C es mejorar, modificar y potenciar las propiedades del concreto, morteros, u otros materiales de construcción, tanto en estado fresco o endurecido con la finalidad de adaptarlos a la necesidad de los proyectos y asegurar un buen rendimiento.

A continuación, se presentan los datos de la empresa:

Razon Social: Aditivos Especiales S.A.C

Direccion Postal : Pasaje San Francisco 151, Villa Maria Del Triunfo, Lima
15828, Perú

Correo Electronico : jparodi@aditivosespeciales.com.pe (Gerente General)

1.4 Organización de la actividad

Para el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional se cuenta con la contribución del Jefe de laboratorio: Ing. Antonio Romero Arango, quien está

directamente involucrado en optimizar la formula del grout 100. El profesional a cargo egreso de la carrera de ingeniería química en el año 2008, de la Universidad Nacional De Ingeniería. Actualmente cuenta con más de 10 años de experiencia en el rubro de la industria de construcción.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACION DEL ESTUDIO

Con el objetivo de tener una mayor visión de esta situación se tener en cuenta aspectos similares a nivel internacional y nacional.

2.1 Descripción del Problema

2.1.1 Ámbito Internacional

De acuerdo con Future Market Report el mercado del grout está registrando un incremento debido a la demanda global provenientes del desarrollo de infraestructuras. Se proyecta un crecimiento constante impulsado por el avance de la urbanización y expansión de infraestructuras particularmente en los países en vías de desarrollo. Las principales aplicaciones serán en construcción de túneles, puentes, presas y edificios comerciales, lo que evidencia el aumento de utilización de lechadas avanzadas en proyectos de construcción. Se pronostica que hasta el 2033 se producirán inversiones que conllevarán al mayor consumo de diversos tipos de lechadas como : las cementosas , epoxicas y químicas.

El mercado de materiales de lechada presenta oportunidades de crecimiento. Las regiones como Asia-Pacífico y América latina, destacan por el auge de proyectos de infraestructura y el avance de la urbanización. Además, el aumento de la demanda de lechadas avanzadas con mejor desempeño y menor impacto ambiental promueve la innovación y permite a las empresas diferenciar sus productos.

De acuerdo con Mordor Intelligence ,el mercado de lechadas cementosas en 2025 tiene un valor de 645,75 millones y se espera que alcance los USD 863,34 millones para 2030, Esa evolución implica una tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) del 5,98 % en el periodo de 2025-2030 .En la figura 3 se observa la evolución del mercado de grout ,la cual evidencia una demanda creciente, aunque sin una expansión acelerada, lo que permite a las empresas invertir con confianza y planificar a largo plazo sin incurrir en pérdidas significativas.

Figura 2 :*Evolución del mercado de grout durante el periodo 2025-2030*



Fuente: Mordor Intelligence

Nota: La figura muestra el crecimiento del mercado del grout con proyecciones al 2030

Research And Markets indica que las principales empresas que participan en el mercado global del grout son Holcim Group ,MAPEI SpA, Sika AG, Fosroc International Limited y BASF S , con la finalidad de fortalecer su posición estas compañías están adoptando estrategias como inversión en I+D (investigación y desarrollo) para crear formulaciones más avanzadas del grout y que brinden mejor rendimiento y durabilidad.

No obstante, pese a que se espera un crecimiento del mercado del grout, este producto enfrenta varios desafíos. Según Future Market Report uno de los principales es la variación del precio del cemento y los aditivos, lo que conlleva a elevar el costo de producción. además, las regulaciones ambientales restringen el uso de algunos productos químicos, lo que obliga a reformulaciones costosas.

Por otro lado, la variedad y complejidad de los proyectos de construcción dificultan establecer estándares para las lechadas debido a que cada obra requiere características específicas ya sea por condiciones del terreno o los requerimientos técnicos. Asimismo, la escasez de personal capacitado puede generar errores de aplicación, dañando la calidad y reputación del producto.

Existen características importantes del grout como la fluidez, donde a mayor relación de agua/cemento se incrementa la fluidez ,pero esto conlleva a aumentar la exudación, porosidad perjudicando la cohesión generando problemas de sedimentación y segregación por lo tanto minimizar el sangrado es importante para lograr un rendimiento optimo del grout . (Smith, García, y Wang, 2025)

Frente a este panorama, la optimización de la formulación del grout cementicio se vuelve un factor crítico para asegurar un desempeño confiable, uniforme y durable en el campo. Se debe desarrollar grout cementicio que minimicen la exudación y segregación ya que representa una necesidad técnica como una estrategia con las demandas del mercado actual , los requisitos medioambientales y los estándares de calidad en construcción.

2.1.2 Ámbito nacional

En el contexto del crecimiento del sector construcción en Peru. Según la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), entre enero y agosto del 2025 el sector de construcción en Peru creció 4.9%. Este avance fue impulsado por un incremento del 4.7% de consumo

de cemento y del aumento del 5.4% en obras públicas. Debido a este desempeño positivo el Banco Central de Reserva (BCR) ajusto su proyección de crecimiento anual del sector, incrementándolo de 3.8% a 4.3%.

Actualmente en Perú existe una creciente inversión pública en la infraestructura, lo que indica que se requieren materiales constructivos de alta calidad. El comercio en su portada de “Los 20 proyectos que prometen transformar el Perú” ,indica que se están movilizando más de US\$ 44 400 millones en obras de transporte, puertos, energía y saneamiento. Con el objetivo de generar beneficios para la población proyectos como la línea 2,3,4 del metro de lima y callao, la carretera central, el puerto de chancay o la modernización de importantes carreteras regionales, etc., demandarán estructuras de gran tamaño que estarán sometidas a fuerzas variadas y se requiere uso de materiales que sean capaces de ofrecer resistencia mecánica, resistencia a la humedad o a la exposición de agentes químicos.

En este contexto , el empleo de aditivos especializados para mejorar la calidad y propiedades del concreto se vuelve esencial .Actualmente el líder del mercado de aditivos es Sika Peru , que se fortaleció su presencia mediante la adquisición de la empresa Chema .Asimismo compañías como QSI (Química Suiza Industrial), Z aditivos , Mapei Peru , también desempeñan un papel relevante ,gracias a su investigación , desarrollo de productos y comercialización de aditivos que optimizan el desempeño del concreto en entornos exigentes .

Frente a este entorno altamente competitivo, donde la calidad del material puede determinar la aprobación o perdida de una licitación. resulta indispensable optimizar productos como el grout 100. La mejora continua de sus propiedades permitirá no solo cumplir con los estándares de calidad sino también ofrecer una alternativa confiable frente a las marcas lideres del mercado peruano.

2.2 Caracterización de la empresa bajo análisis

En el laboratorio donde se desarrolla el grout 100 , se ha detectado ciertos inconvenientes en la mezcla fresca, como la exudación(acumulación de agua en la superficie) .Estos fenómenos comenzaron a observarse de manera frecuente a partir del cambio en el origen del cemento utilizado : inicialmente ; se trabajaba con un cemento de marca Cemex, no obstante , la empresa decidió sustituir la producción local por importaciones desde México y se registraron alteraciones en el comportamiento del grout evidenciándose los inconvenientes indicados anteriormente.

Pese a los esfuerzos por modificar la cantidad empleada de los aditivos, los ajustes no resultaban sostenibles a largo plazo, ya que cada nuevo lote de cemento importado presentaba variaciones que requerían nuevas modificaciones, generado inestabilidad en la formulación afectando potencialmente la imagen del producto.

Frente a esta situación , se propuso modificar el tipo de cemento base , evaluando opciones nacionales que ofrecieran un comportamiento más estable del Grout 100 , Se realizaron pruebas comparativas empleando dos tipos de cemento nacionales : Cemento INKA y Cemento Nacional (Actualmente llamado Holcim).Los resultados mostraron que el primer cemento mantenía los problemas similares de exudación mientras que el cemento nacional presentaba un comportamiento más estable, con leves indicios de exudación;en la figura 3 se presentan las comparativas del comportamiento del grout 100 elaborado con 3 tipos de cemento: Cemex, INKA, Cemento Nacional.

Con base en estos resultados, se decidió adoptar el cemento nacional como nuevo componente base en la formulación del grout 100 .Para garantizar la compatibilidad y el desempeño optimo, se procedió a realizar un proceso de homologación, con el objetivo de estandarizar el comportamiento del grout 100 y asegurar que cumpla los parámetros de calidad.

Figura 3: Bloques de grout 100 con problemas de exudación



2.3 Finalidad y objetivos de la actividad

En la empresa de Aditivos Especiales, dedicada al rubro de la construcción y ubicada en Lima-Perú, se elabora productos cumpliendo altos estándares de calidad. Asimismo, La empresa está orientada en la innovación constante de sus productos.

El grout 100 se caracteriza por ser un material de alta resistencia, y su desarrollo está sujeta al cumplimiento de normas internacionales, como las establecidas por la ASTM C-1107 Por ello, el presente trabajo de investigación tiene como finalidad modificar la formulación del grout 100 para garantizar que se cumplan con las especificaciones técnicas requeridas.

2.3.1 Objetivo general

- Optimizar la formulación del Grout 100 mediante el cambio del tipo de cemento y el ajuste de aditivos, con el fin de minimizar la exudación y aumentar la resistencia mecánica.

2.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las propiedades del grout en estado líquido (exudación, segregación de cargas, fluidez) y en estado endurecido (resistencia mecánica).

- Comparar los resultados de los parámetros evaluados tanto en la formula original (F0) como en la formula optimizada.
- Comprobar que la formula optimizada cumple con los requisitos establecidos por la norma ASTM C1107.

2.4 Justificación

El presente trabajo se está realizando para mejorar la formulación del Grout 100, cambiando el tipo de cemento, de cemento Cemex por cemento Holcim ,modificando la concentración de algunos aditivos con el fin de minimizar la exudación y mejorar la resistencia a la compresión del producto, asegurando que se ajuste a los estándares establecidas por la norma ASTM C-1107 .

Desde el punto de vista práctico, este estudio permite solucionar los problemas observados en la planta, como la exudación en la mezcla fresca, y mejorar el desempeño mecánico del Grout 100. Asimismo, la optimización aporta beneficios técnicos y económicos, al reducir reprocesos, generando un producto más confiable y competitivo en el mercado. Además, el trabajo contribuye al avance técnico en el área de materiales cementicios, al proporcionar información valiosa sobre la influencia del tipo de cemento y la dosificación de aditivos en la calidad y resistencia a la compresión del material.

2.5 Limitaciones

La información perteneciente a la empresa Aditivos Especiales, respecto a la marca de los aditivos empleados para la producción del Grout 100, no puede ser revelada debido al compromiso firmado de privacidad y confidencialidad por parte del autor, solo son mencionados únicamente por su función general.

III. MARCO TEÓRICO Y ANTECEDENTES

3.1 ANTECEDENTES

3.1.1 Antecedentes Nacionales

Mendoza Vera & Pintado Román (2024), en el estudio *Efectos en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y exudación del concreto debido a las altas dosis de aditivo retardante*, evaluaron cómo la exudación y la pérdida de estabilidad en mezclas cementicias afectan directamente el tiempo de fraguado y el desarrollo inicial de resistencia. En su estudio observaron que, cuando la mezcla empezaba a separar agua hacia la superficie, la parte inferior —más densa y con mayor contenido de sólidos— comenzaba a fraguar con normalidad, mientras que la capa superior quedaba con exceso de agua y retardaba su rigidez durante un periodo prolongado. Los autores explican que esta diferencia interna genera un fraguado desigual, especialmente evidente cuando la mezcla tiene mayor contenido de aditivos o cuando el cemento presenta menor reactividad. Además, señalan que una mezcla inestable puede demorar considerablemente en adquirir consistencia, ya que la hidratación no se desarrolla de forma uniforme. Estos hallazgos ayudan a comprender por qué materiales con mayor exudación o menor frescura del cemento suelen presentar fraguados más lentos y resistencias iniciales reducidas.

Fisher Condor (2024), en el *Estudio del concreto usando aditivo reductor de agua de alto rango para concretos de mediana a alta resistencia*” evaluó el uso de un aditivo reductor de agua de alto rango, de base policarboxilato, en propiedades del concreto de mediana a alta resistencia . La investigación se centró en evaluar el comportamiento del concreto tanto en estado fresco como endurecido, en el que se variaron las dosis del aditivo, manteniendo constante la relación agua/cemento.

En la etapa de ensayos en estado fresco, determinó que la incorporación del aditivo incrementó la fluidez y trabajabilidad de las mezclas, mejorando su colocación y consolidación. Sin embargo, se observó un aumento considerable en el fenómeno de exudación, aunque se mejora la fluidez, puede promover la segregación del agua libre en

la superficie si no se ajustan las proporciones adecuadas. En cuanto al comportamiento en estado endurecido, los resultados mostraron un incremento en la resistencia a la compresión en comparación con la mezcla sin aditivo. Esto evidenció el efecto positivo del aditivo en la densificación de la microestructura del concreto. Por lo tanto el autor indica que es necesario encontrar un equilibrio entre fluidez y exudación y resistencia, ya que el uso inadecuado puede traer efectos indeseados.

Saby Juco & Carlos Ushiñahua (2021), en esta investigación *Análisis del comportamiento del aditivo retardante en el concreto y su influencia en la mejora de la trabajabilidad, en la ciudad de Yurimaguas – Alto amazonas – Loreto*, evaluaron como el uso del aditivo retardante afectaba en la trabajabilidad del concreto durante su fase fresca. La investigación analizo diferentes dosificaciones del aditivo y midió su efecto en el tiempo del fraguado y en la facilidad de la colocación y manejo de la mezcla. Los resultados demostraron que el aditivo incrementa significativamente la trabajabilidad, permitiendo un mejor compactado y reduciendo la aparición de defectos iniciales a mezclas rígidas como vacíos y poca cohesión. Sin embargo, también evidencio que las dosis elevadas de este aditivo incrementaban el sangrado superficial y modificaban la distribución interna de la mezcla. Además, los autores resaltan que el equilibrio entre fluidez y estabilidad es clave: una mezcla demasiado fluida puede generar exceso de agua libre y porosidad, mientras que una mezcla muy densa puede dificultar la trabajabilidad.

3.1.2 Antecedentes Internacionales

Han y Wang (2016) en el estudio *Influence of Bleeding on Properties and Microstructure of Fresh and Hydrated Portland Cement Paste*, señalan que la exudación (bleeding) es un proceso de separación del agua libre que ocurre durante los primeros minutos y horas después del mezclado afectando de manera directa la trabajabilidad, estabilidad y microestructura inicial del gel C-S-H. Señala que cuando la exudación es elevada, el agua

asciende y genera zonas con mayor relación agua/cemento (a/c), generando una estructura más porosa y permeable, lo que reduce la resistencia tanto temprana como final de la pasta. Asimismo, indica que la exudación depende de factores como la finura del cemento y el contenido de fases minerales, especialmente el C_3A . Su hidratación temprana es controlada por el sulfato de calcio (yeso), el cual regula el fraguado y evita una reacción acelerada. Si el contenido de yeso es insuficiente, la hidratación del C_3A se acelera, lo que puede generar calor inmediato y mayor expulsión de agua; y si es excesivo, la pasta se vuelve menos cohesiva, lo que también puede favorecer la exudación. Finalmente, el autor concluye que la exudación no solo afecta el comportamiento en estado fresco, sino también la microestructura final, ya que pastas con mayor bleeding presentan capilares más conectados y menor densidad. En cambio, mezclas con baja exudación desarrollan un gel C-S-H más compacto y mayores resistencias, por lo que controlar este fenómeno mediante el ajuste del cemento y aditivos es fundamental para mejorar el desempeño mecánico.

Frediyansyah, M. T., Sukamta, S., Sulistyowati, R. A., Umam, M., & Lie, H. A. (2024) , en la investigación *The Influence Of Adding Superplasticizer With Time Interval And Variation Of Water Reduction On The Early Strength And Workability Of Concrete*, Evaluaron como la adición de superplastificantes y la reducción de agua afectan la resistencia inicial y la trabajabilidad del concreto. Se realizaron diversas mezclas variando el momento en que se deba añadir el plastificante así como el porcentaje de reducción de agua.

Los resultados indicaban que al reducir la cantidad de agua se alcanzó una alta resistencia a la compresión en los primeros 4 días, alcanzando hasta un 87% de la resistencia prevista, además el uso del superplastificante mejoro la trabajabilidad evitando que la mezcla pierda la fluidez o se vuelva rígida, algo que es común cuando se reduce la cantidad de

agua. Este estudio concluye que el uso adecuado de superplastificante no solo reduce la cantidad de agua sino tambien mejora la resistencia inicial del concreto sin afectar su trabajabilidad.

En el estudio realizado por Koting, S. (2014), titulado *Effects of Using Silica Fume and Polycarboxylate-Type Superplasticizer on Physical Properties of Cementitious Grout Mixtures* se analizó como la incorporación de ciertos aditivos influyen en el comportamiento del grout, especialmente en la exudación y segregación. El autor utilizo silica fume, un material fino que reacciona con el cemento junto al superplastificante en polvo tipo policarboxilatos en mezclas de poca cantidad de agua, y descubrió que esta mezcla ayuda a que el grout se uniforme y más compacto evitando la segregación y controlando la salida de agua en la superficie (exudación). Esta reacción reduce los espacios vacíos en la mezcla, por otro lado, los superplastificantes de policarboxilatos ayuda a dispersar las partículas de cemento permitiendo mejorar la homogeneidad.

Ciere et al. (2023), en la investigación *Estudio experimental sobre la influencia de las condiciones de almacenamiento del cemento a granel en la evolución de la rigidez a edades tempranas de las pastas cementicias*”, indico que las reacciones químicas que se dan en la primera etapa del fraguado del cemento pueden verse afectadas por la exposición a la humedad, lo que genera una hidratación prematura. Dicho fenómeno provoca retraso en las reacciones de hidratación, aumentando el tiempo de fraguado y disminuyendo las propiedades mecánicas del cemento. Además los autores señalan que durante la rehidratación, los componentes principales del cemento como: los silicatos, aluminatos y sulfatos de calcio reaccionan con el vapor de agua formando productos de hidratación en la superficie de las partículas de cemento lo que conlleva a que el cemento sea menos reactivo durante la hidratación normal .De acuerdo con los resultados concluyo

que el material almacenado inadecuadamente afectan negativamente la evolución del temprana del módulo de Young ,como la velocidad del endurecimiento.

Qiao Min et al. (2022) ,en el estudio *Preparation and Properties of Different Polyether-Type Defoamers for Concrete*, prepararon una serie de antiespumantes de tipo polieter y evaluaron el desempeño en mezclas de concreto. El estudio analizo varios antiespumantes hechos en base de polieter y evaluaron que tan bien eliminan las burbujas de aire que quedan atrapadas en la mezcla fresca. Encontraron que algunos antiespumantes trabajan muy bien con los superplastificantes modernos, logrando reducir el aire sin perjudicar la trabajabilidad del concreto.

A nivel del concreto endurecido, los antiespumantes más efectivos lograban disminuir la porosidad total y mejorar la uniformidad, lo cual trajo un aumento de la densidad y de la resistencia mecánica. El estudio concluye que la selección adecuada del antiespumante es clave para optimizar el rendimiento de las mezclas del concreto de alta fluidez, especialmente cuando se emplean superplastificantes de última generación.

3.2 MARCO TEORICO

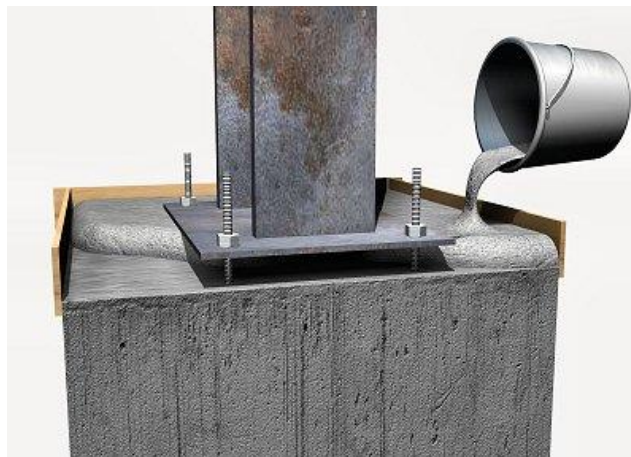
3.2.1 Grout (Lechada de relleno):

Es un material de consistencia fluida que es el resultado de la mezcla de cemento, agua y agregados, al cual se le incorpora aditivos para obtener dicha propiedad. Para su aplicación en obra, este material debe garantizar una resistencia a la compresión mínima de 13,72 MPa. Una diferencia que existe entre el grout y el cemento Portland es que este es un tipo de relleno estructural sin contracción. Esto significa que no genera nuevos huecos en los espacios que esté relleno, como sí sucede con el uso del Portland. (Aceros Arequipa, s.f.).

En la figura 4 muestra un ejemplo del vaciado de grout para el anclaje de columna metálica, donde se aprovechan sus propiedades de fluidez y resistencia para llenar completamente los espacios y asegurar la estabilidad estructural requerida.

En el rubro de la construcción el grout desempeña un rol importante, porque es empleado principalmente, para el relleno de espacios vacíos (grouting), nivelación de maquinarias y restauración de secciones deterioradas de concreto. Este material es utilizado porque tiene la capacidad de presentar fluidez, elevada resistencia mecánica y no presenta retracción, dichas propiedades lo hacen indispensable en aplicaciones estructurales críticas permitiendo que las construcciones sean seguras y resistentes. (Vdmconstructions,2024) .

Figura 4: *Vaciado de grout para anclaje de columna metálica*



Fuente: Servicios y control para la construcción

3.2.1.1 Propiedades del Grout

3.2.1.1.1 Grout Fresco

Fraguado

Es un proceso químico, donde el cemento reacciona con el agua y comienza a endurecerse, es decir pasa de estar húmedo a endurecerse.

Existen 2 tipos de fraguado

Fraguado inicial: la mezcla pierde estabilidad.

Fraguado Final: Cuando la mezcla alcanza una consistencia sólida y no puede ser moldeado. En esta etapa la mezcla incrementa poco a poco su consistencia, para pasar a ser una masa rígida, que ya no es moldeable.

Un fraguado controlado permite el desarrollo de la resistencia del hormigón. Si este proceso es interrumpido por factores externos, puede perjudicar la integridad del hormigón. Dado que el fraguado representa una etapa crítica que define el rendimiento futuro de la estructura es esencial controlarlo para evitar la aparición de defectos. (Proquisesa ,2025)

Trabajabilidad

Según la ACI 116R-00, La trabajabilidad es una propiedad fundamental del concreto o mortero fresco, que determina la facilidad con que puede ser mezclado, homogenizado, manteniendo su uniformidad y cohesión con una mínima pérdida de homogeneidad durante el proceso.

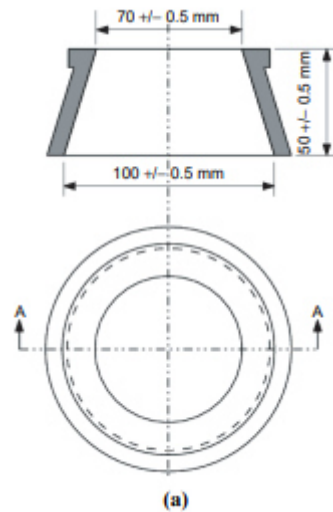
Fluidez

La fluidez se refiere a la facilidad con la que el grout puede desplazarse y llenar completamente los espacios previstos durante su aplicación. una fluidez inadecuada genera problemas, mientras que la excesiva fluidez puede generar huecos (Zapata, 2020)

La Norma ASTM-C230 especifica como debe ser los requisitos para la mesa de flujo y los accesorios empleados. La mesa de flujo es empleada para evaluar la fluidez y trabajabilidad de las pastas, morteros y grout hidráulico.

En la figura 5 muestra el equipo ASTM C230 , que se usa para medir la fluidez del grout y verificar que se pueda desplazarse bien durante su aplicacion

Figura 5: *Equipo de ensayo de flujo de mortero según ASTM C230*



Fuente: ASTM C230-2008

3.2.1.1.2 Grout Endurecido

Resistencia a la compresión

En la ciencia de los materiales y el campo de ingeniería, la resistencia a la compresión es un concepto importante porque permite evaluar el desempeño del concreto. (Hernandez Perez et al.,2016)

La resistencia a la compresión se entiende como la capacidad de un material para soportar fuerzas que buscan reducir su volumen o generar deformaciones. Esta propiedad es clave al momento de seleccionar materiales ya que funciona como un indicador de control para garantizar la estabilidad y seguridad estructural. La resistencia a la compresión se emplea para evaluar diversos materiales, como el hormigón, la roca, el acero, etc., en los cuales la falla puede manifestarse mediante la aparición de fisuras o agrietamientos. La resistencia a la compresión se mejora mediante una buena selección de materias primas y de la implementación de controles de calidad, por ejemplo: el tratamiento térmico en metales, el curado controlado en hormigón o el reforzamiento en materiales compuestos. (Testronix Instruments,2015)

En la figura 6 muestra la mínima resistencia requerida expresada en psi y MPa para diferentes aplicaciones

Figura 6: Resistencia a la compresión mínima requerida (en psi y MPa)

TABLE 1 Performance Requirements		
Compressive Strength, min	psi	(MPa)
1 day ^a	1000	(6.9)
3 day	2500	(17.2)
7 day	3500	(24.1)
28 day	5000	(34.5)

Fuente: ASTM C1107

La resistencia a la compresión es calculada mediante la siguiente formula:

Ecuación 1: Resistencia a la compresión

$$Rc = \frac{G}{L^2}$$

Donde:

Rc: Resistencia a la compresión (Kg/cm²)

G: Carga a la rotura (Kg)

L: Lado de la base de la probeta prismática(cm)

Curado

Es el Proceso posterior al fraguado, que consiste en conservar la humedad durante un periodo determinado para que el material gane resistencia. Durante el curado, los componentes del cemento continúan reaccionado con el agua mediante la hidratación,

A mayor tiempo de curado, mejor será el desarrollo de sus propiedades mecánicas.(Correa,2017)

- Aumenta su fuerza y capacidad para soportar cargas
- Mas resistente frente a agentes exteriores agresivos

- Mayor impermeabilidad, mejor capacidad para evitar filtraciones

3.2.1.2 Factores que alteran el desempeño del grout

Exudación

Se refiere a la separación de partículas sólidas del fluido, y se comienza a acumular progresivamente el agua en la superficie, generando segregación en la mezcla, Por ello se debe controlar la cantidad de agua empleada, porque si es excesiva generará una superficie débil. (Draganovic, 2009)

La segregación

Es un problema recurrente en la construcción y ocurre cuando los agregados gruesos se separan del resto de la mezcla, generando una distribución no homogénea de componentes en la estructura. Dicha separación puede afectar significativamente la calidad y durabilidad del concreto.

La temperatura

Las altas temperaturas aceleran la hidratación del cemento, por lo cual el grout se espesa rápido, especialmente en mezclas tipo (relaciones $a/c \leq 0.8$). Wang, X., & Liu, H. (2023).

El curado

Se debe realizar un curado de forma eficiente para que complete el proceso de hidratación y esto permite que se desarrolle adecuadamente las propiedades mecánicas. Un curado deficiente genera fisuras, pérdida de adherencia lo que compromete la vida útil del producto. El curado óptimo del grout se garantiza conservando la humedad mediante riego o membranas de curado durante los primeros 7 días, esto es esencial para lograr la hidratación completa del cemento (. (Mehta & Monteiro, 2014)

La Humedad

La condición de humedad del sustrato es importante para lograr un buen desempeño y adherencia del grout, un soporte que no está humedecido absorbe agua del grout reduciendo la trabajabilidad y debilitando la unión. (FHWA ,2016)

3.2.1.3 Clasificación del grout según su mecanismo de control de volumen

Según la norma ASTM-C1107 , hay 3 tipo:

- **Grado A- Pre-endurecimiento Ajuste de volumen**

El material está diseñado para expandirse antes de endurecer (mientras este fresco), el grout de grado A genera una expansión controlada, mientras aun este fluido, llenando completamente los vacíos y asegurando el contacto total con las superficies.

Aplicaciones:

-Placas base de base columnas de acero

-Relleno bajo zapatas

- **Grado B-Ajuste de volumen posterior al endurecimiento**

La expansión ocurre después del endurecimiento (fase solida). este grout está diseñado para expandirse lentamente una que haya fraguado.

Aplicaciones:

- Rellenos de huecos en rocas o estructuras subterráneas.

- **Grado C-Ajuste combinado del volumen**

Combinado ambos mecanismos: expande un poco antes y un poco después del endurecimiento. Este grout es versátil, ya que controla el volumen en ambas etapas.

Aplicaciones:

- Bases de maquinaria pesada y equipos dinámicos

3.2.2 Materias Primas

3.2.2.1 Cemento

El cemento portland es aglomerante que une fragmentos minerales para formar entre sí el hormigón. Para obtener el cemento, se calcina la materia prima a 1450°C , donde se forma las bolas de Clinker, el Clinker es enfriado y pulverizado, luego se adiciona yeso y se obtiene el cemento portland. El producto final es una mezcla inestable de silicatos y aluminatos que mezclado con el agua reacciona, generando una pasta que se endurece con el paso del tiempo, produciendo una masa dura, este proceso químico se llama hidratación (Neville, 2013).

El cemento, al entrar en contacto con el agua (formando la pasta), actúa como un aglomerante que une los agregados (arena, piedra triturada, pedregón) formando así el concreto, siendo este uno de los materiales más utilizados en el mundo (Sergio Gutiérrez, 2018).

De acuerdo con la ley de Abrams las cualidades requeridas del concreto son influenciadas por la relación de agua/cemento. Si se incrementa la proporción de agua en relación con el cemento en la mezcla, se reducirá la resistencia del concreto curado. Por lo contrario, al reducir el peso de agua, se puede mejorar la resistencia entre otras propiedades como cohesión, adherencia, impermeabilidad, etc., siempre y cuando se mantenga constante las otras materias primas empleadas. (Mamlouk & Zaniewski, 2009)

3.2.2.1.1 Tipos de cemento portland

Para aplicaciones específicas se fabrican cementos con diferentes propiedades. De acuerdo con las especificaciones ASTM C150 designa 8 tipos de cementos, a continuación.

- Tipo I : Normal
- Tipo IA: Normal con aire incluido
- Tipo II: Moderada resistencia a los sulfatos

- Tipo IIA: Moderada resistencia a los sulfatos con aire incluido
- Tipo III: Alta resistencia inicial (alta resistencia temprana)
- Tipo IIIA: Alta resistencia inicial con aire incluido
- Tipo IV: Bajo calor de hidratación
- Tipo V: Alta resistencia a los sulfatos

En general el tipo de cemento en el que se va a centrar es el tipo I, donde:

Tipo I : Aplicado en estructuras de concreto como: columnas, losas, muros y donde no se requiere las propiedades del otro tipo de cemento.

Cemento HE:

De acuerdo con la norma ASTM C150, este tipo de cemento equivale al tipo III , es básicamente un cemento portland de alta resistencia , diseñado para desarrollar mayores resistencia iniciales. Esto permite que las estructuras puedan desenconfrarse o usarse días antes .

3.2.2.2 Agregados

Es una masa de materiales considerados generalmente inertes, que influyen en las propiedades físicas del mortero al unirse a un conglomerante. (Chipana Lourdes 2018).

Los agregados se emplean como relleno para reducir la cantidad de pasta de cemento necesaria en la mezcla, además ofrecen mayor estabilidad volumétrica que la pasta, lo cual contribuye a mejorar la calidad de la mezcla hasta cierto punto y puede reducir su precio. (Mamlouk y Zaniewski ,2009)

El agregado representa entre el 65% y el 75% del volumen del hormigón. El agregado fino constituye el 40 % del total de agregados.

Según Cabrera, Ortega, & Traversa (2010). Para elaborar hormigones de alta resistencia mecánica o alguna propiedad en especial cobran importancia las características de las partículas como: la forma, tamaño, porosidad, textura, la granulometría, Dichas

características junto a la relación de agua/cemento, influyen directamente en la resistencia, vida útil y trabajabilidad del hormigón. Cuando se emplea áridos finos redondeados en vez de áridos rugoso, el hormigón es más trabajable. En cambio, una piedra angular o alargada mejora la adherencia entre la pasta y agregados, pero se requiere mayor cemento para generar una mezcla trabajable.

Los agregados cumplen un rol fundamental en la mezcla, sin ellos el concreto sería un material sumamente caro, con una contracción excesiva y una resistencia inadecuada, por ello se debe emplear agregados de buena calidad. (Soler Garcia, 2021)

3.2.2.2.1 Tipos de agregados

Son clasificados según su fuente de obtención u origen.

a) Agregados naturales

Son obtenidos por la acción de la intemperie, erosión, o arrastre del agua hacia las rocas ígneas, metamórfica o sedimentarias convirtiéndose en arena, limo, arcilla y partículas de piedras. (Matallana Rodriguez, 2023)

Estos pueden ser obtenidos directamente de los depósitos aluviales, lechos o riveras en los ríos, pero para ser usado se deben eliminar las impurezas que pueda tener ya que pueden incrementar el riesgo de corrosión del acero, degradar el concreto, sin embargo, los agregados naturales no tienen el tamaño deseado y la distribución granulométrica, por lo tanto, se debe someter a procesos de molienda y clasificar.

b) Agregados fabricados

Se obtienen a partir de la aplicación de procesos industriales a materias primas naturales o a residuos industriales. La arcilla, el ladrillo triturado se utilizan para la elaboración de concretos livianos, y para concretos pesados, la limadura de hierro y acero. (Matallana Rodriguez, 2023)

3.2.2.3 Aditivos

3.2.2.3.1 Antiespumantes

Según Invino, durante el mezclado del grout (lechada del cemento) quedan atrapadas burbujas de aire que perjudican la resistencia y la densidad del cemento provocando problemas de calidad durante la construcción. Los antiespumantes actúan reduciendo la tensión superficial del grout, permitiéndole romper y dispersar fácilmente las burbujas de aire atrapadas. Al mezclarse con el grout, estos se esparcen rápidamente formando una película fina en la superficie de las burbujas, desestabilizándolo y provocando su colapso. El grout emplea como materia prima, cemento, arena fina, y aditivos. Debido a que este producto emplea ingredientes tensoactivos y necesita agitación, se produce una gran cantidad de burbujas, generando problemas en la resistencia y apariencia del mortero. Para seleccionar un adecuado antiespumante, este debe ser compatible con el cemento empleado, la mala compatibilidad provoca defectos asimismo el antiespumante debe dispersar rápidamente cuando se agregue agua y debe tener un mínimo impacto en la reología, tiempo de fraguado, exudación, segregación y el desarrollo de la resistencia final, en cuanto a la dosificación, la cantidad empleada, debe ser mínima, el exceso puede afectar la resistencia del cemento.

✓ Beneficios de utilizar antiespumantes

-Mayor resistencia y durabilidad del Hormigón.

-Los antiespumantes al minimizar la presencia de burbujas de aire contribuyen a obtener un hormigón más duradero porque al reducir la cantidad de huecos genera una mayor resistencia a la compresión y al desgaste.

✓ Menor porosidad y mejor impermeabilidad:

-Los antiespumantes reducen la porosidad de la mezcla, mejorando su impermeabilidad.

Esto significa que el hormigón no permite que el agua y otros factores ambientales se

infiltran en su interior, por lo que lo hace ideal para construir estructuras que deben soportar condiciones exigentes como la humedad, cloruros, sulfatos u otros contaminantes.

✓ **Menor contracción y reducción de grietas**

Cuando se utiliza un antiespumante en el cemento se reduce la contracción que ocurre mientras este se endurece, esto disminuye la aparición de grietas, prolongando la vida útil del hormigón.

3.2.2.3.2 Retardantes

Este tipo de aditivo reduce la velocidad de hidratación del cemento, prologa el tiempo de fraguado inicial sin modificar las propiedades finales del concreto. Es aplicado generalmente en climas cálidos porque a esas condiciones el fraguado ocurre rápido, el retardante otorga la trabajabilidad por mayor tiempo (Neville , 2011)

3.2.2.3.3 Plastificantes

Son aditivos químicos que permiten disminuir la cantidad de agua de mezcla, o bien aumentar la trabajabilidad manteniendo constante el contenido de agua, esto mejora la fluidez y aumenta la resistencia y durabilidad reduciendo la relación agua /cemento. (Neville , 2011)

3.2.2.3.4 Polvo Estabilizadores

Son aditivos hechos en base a polímeros solubles en agua, contiene un agente antiglomerante. Su función controlar la fluidez del mortero, dándole un comportamiento pseudoplastico, lo que significa que fluye fácilmente, pero se mantiene estable cuando está en reposo. Este aditivo reduce la exudación y la segregación en las mezclas. Esta especialmente diseñado para morteros que necesiten buena estabilidad y trabajabilidad. (BASF,2021)

IV. METODOLOGIA Y PROCEDIMIENTOS

4.1 METODOLOGÍA

4.1.1 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es predominante cuantitativo, centrado en la medición de la resistencia a la compresión del Grout 100, mientras que la exudación de la mezcla fresca se evaluó mediante clasificación observacional, con el fin de optimizar la formulación mediante el cambio de tipo de cemento y la dosificación de aditivos, mejorando así la estabilidad y el desempeño del material.

4.1.2 Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación es de tipo descriptivo y experimental, ya que se observa y compara el comportamiento del grout 100 al cambiar el tipo de cemento y ajustar los aditivos, evaluando sus efectos sobre la resistencia a la compresión y la exudación.

4.1.3 Método de investigación

El presente trabajo tiene un tipo de investigación llamada **Experimental**

4.1.4 Población

La población está constituida por los 88 ensayos de grout 100 preparados en el laboratorio, utilizando únicamente cemento Holcim, con diferentes concentraciones de aditivos.

4.1.5 Muestra

La muestra comprende 4 ensayos en específico que cumplen los rangos establecidos.

4.2 DISEÑO EXPERIMENTAL U OBSERVACIONAL

El presente estudio emplea un diseño experimental de **tipo empírico-iterativo, orientado** a la optimización de la formulación del mortero grout 100 mediante la modificación del tipo de cemento y los aditivos químicos que intervienen en su comportamiento reológico y mecánico.

El diseño consistió en la realización de 88 pruebas experimentales, donde se modificaron de forma controlada los principales aditivos de la mezcla tales como: aditivo plastificante, retardante de fraguado, acelerante de fraguado, antiespumante y aditivo antisegregante, con el fin de observar la influencia sobre las propiedades del producto en estado fresco y estado endurecido.

- **Estado fresco:** exudación, segregación de cargas, fluidez
- **Estado endurecido:** resistencia mecánica a la compresión a 1, 3, 7, 14, 28 días.

El procedimiento fue iterativo, es decir, los resultados obtenidos en cada prueba se analizaron y sirvieron como base para ajustar las siguientes formulaciones, con el objetivo de eliminar la exudación y segregación.

- Si el grout formulado presenta baja fluidez, se incrementa la dosis del aditivo plastificante.
- Si el fraguado era demasiado rápido, se incrementaba el aditivo retardante de fraguado
- Si tenía huecos, se ajustaba el aditivo antiespumante.

Una vez alcanzada una formulación con apariencia óptima, sin exudación, ni segregación, se consideró como mezcla final y se sometió a un proceso de verificación, comprobando que cumpliera con la resistencia a la compresión.

Variables independientes

- **Tipo de cemento:** Cemento cemex y Cemento tipo I
- **Dosificación de aditivos:** aditivo plastificante, aditivo retardante del fraguado, aditivo acelerante del fraguado.

Calidad del Grout 100: Exudación, segregación, fluidez, trabajabilidad, tiempo de fraguado inicial y final, resistencia a la compresión.

4.2.1 Desarrollo Experimental

Materiales

1. Balanza analítica
2. Mezcladora de sólidos
3. Mezcladora de encimera
4. Mesa de flujo
5. Molde troncocónico metálico (Diámetro Inferior :70mm; Diámetro Superior:100mm)
6. Molde plástico para cubos de 2 pulgadas (50 mm), para 3 muestras
7. Máquina de Rotura
8. Picnómetro de aluminio
9. Cronómetro y termómetro ambiental
10. Espátula
11. wincha

Productos químicos

1. Desmoldante

Materiales de seguridad

1. Guantes de nitrilo
2. lentes de seguridad
3. Mascarilla antipolvo

4.2.2 Diseño de mezclas

A continuación, se presenta la fórmula base utilizada para el desarrollo del grout, la cual servirá como punto de partida para la realización de modificaciones en la composición, tales como el cambio del tipo de cemento y el ajuste en las cantidades de aditivos.

Tabla 2: Pesos de las Materias Primas para la formula base

FORMULA BASE (F0) GROUT 100		
MATERIAS PRIMAS	PESO (gr)	FUNCIÓN
<i>Cuarzo 1/16</i>	248.52	Carga
<i>Cuarzo 1/32</i>	220.91	Carga
<i>Cuarzo 1/64</i>	552.27	Carga
<i>Cuarzo malla 40</i>	138.07	Carga
<i>Arena fina</i>	630.39	Carga
<i>Cemento Holcim</i>	938.86	Aglutinante
<i>Carbonato de calcio</i>	89.47	Carga
<i>Aluminato de calcio amorfo(aca)</i>	74.56	Acelerante de fraguado
<i>Hidróxido de calcio</i>	59.65	Aglutinante
<i>Formiato de calcio</i>	14.91	Acelerante de fraguado
<i>Agente reductor de cizallamiento I</i>	20.99	Previene la exudación y la segregación
<i>Superplastificante</i>	3.82	Permite reducir la relación de agua/cemento
<i>Gluconato de sodio</i>	2.24	Retardante de fraguado
<i>Antiespumante</i>	5.25	Controlar el aire y el acabado superficial
	3000.00 gr	

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se presentan los pesos de las materias primas de las formulaciones modificadas (Tablas 3, 4 y 5), con ajustes en cuarzo, plastificante y acelerante de fraguado. Estas formulaciones se obtuvieron siguiendo el proceso descrito en la Figura 7, donde se sigue una serie de pasos, hasta cumplir con los criterios establecidos y las especificaciones requeridas.

Observación: Para las fórmulas FM1 Y FM2, se empleó otro tipo de acelerante de fraguado, debido a que permitía un mejor acabado visual y requiere una dosificación menor para lograr el mismo efecto que el acelerante utilizado anteriormente.

Tabla 3:Formula modificada F1

FORMULA MODIFICADA FM		
MATERIAS PRIMAS	PESO (gr)	FUNCIÓN
<i>Cuarzo 1/16</i>	248.52	Carga
<i>Cuarzo 1/32</i>	220.91	Carga
<i>Cuarzo 1/64</i>	552.27	Carga
<i>Cuarzo malla 40</i>	138.07	Carga
<i>Arena fina</i>	681.49	Carga
<i>Cemento Holcim</i>	938.88	Aglutinante
<i>Carbonato de calcio</i>	89.47	Carga
<i>Aluminato de calcio amorfo(aca)</i>	23.76	Acelerante de fraguado
<i>Hidróxido de calcio</i>	59.65	Aglutinante
<i>Formiato de calcio</i>	14.91	Acelerante de fraguado
<i>Agente reductor de cizallamiento I</i>	20.99	Previene la exudación y la segregación
<i>Superplastificante</i>	5.55	Permite reducir la relación de agua/cemento
<i>Gluconato de sodio</i>	1.93	Retardante de fraguado
<i>Antiespumante</i>	3.30	Controlar el aire y el acabado superficial
	3000	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 4:Formula modificada F2

FORMULA MODIFICADA FM1		
MATERIAS PRIMAS	PESO (gr)	FUNCIÓN
<i>Cuarzo 1/16</i>	735.64	Carga
<i>Cuarzo 1/32</i>	298.23	Carga
<i>Cuarzo 1/64</i>	159.06	Carga
<i>Cuarzo malla 40</i>	119.29	Carga
<i>Arena fina</i>	437.11	Carga
<i>Cemento Holcim</i>	1033.87	Aglutinante
<i>Carbonato de calcio</i>	89.47	Carga
<i>Aluminato de calcio amorfo(aca)</i>	39.76	Acelerante de fraguado
<i>Hidroxido de calcio</i>	59.65	Aglutinante
<i>Formiato de calcio</i>	14.91	Acelerante de fraguado
<i>Agente reductor de cizallamiento II</i>	0.50	Previene la exudación y la segregación
<i>Superplastificante</i>	5.57	Permite reducir la relación de agua/cemento
<i>Gluconato de sodio</i>	2.98	Retardante de fraguado
<i>Antiespumante</i>	3.98	Controlar el aire y el acabado superficial
MATERIAS PRIMAS	3000.00	

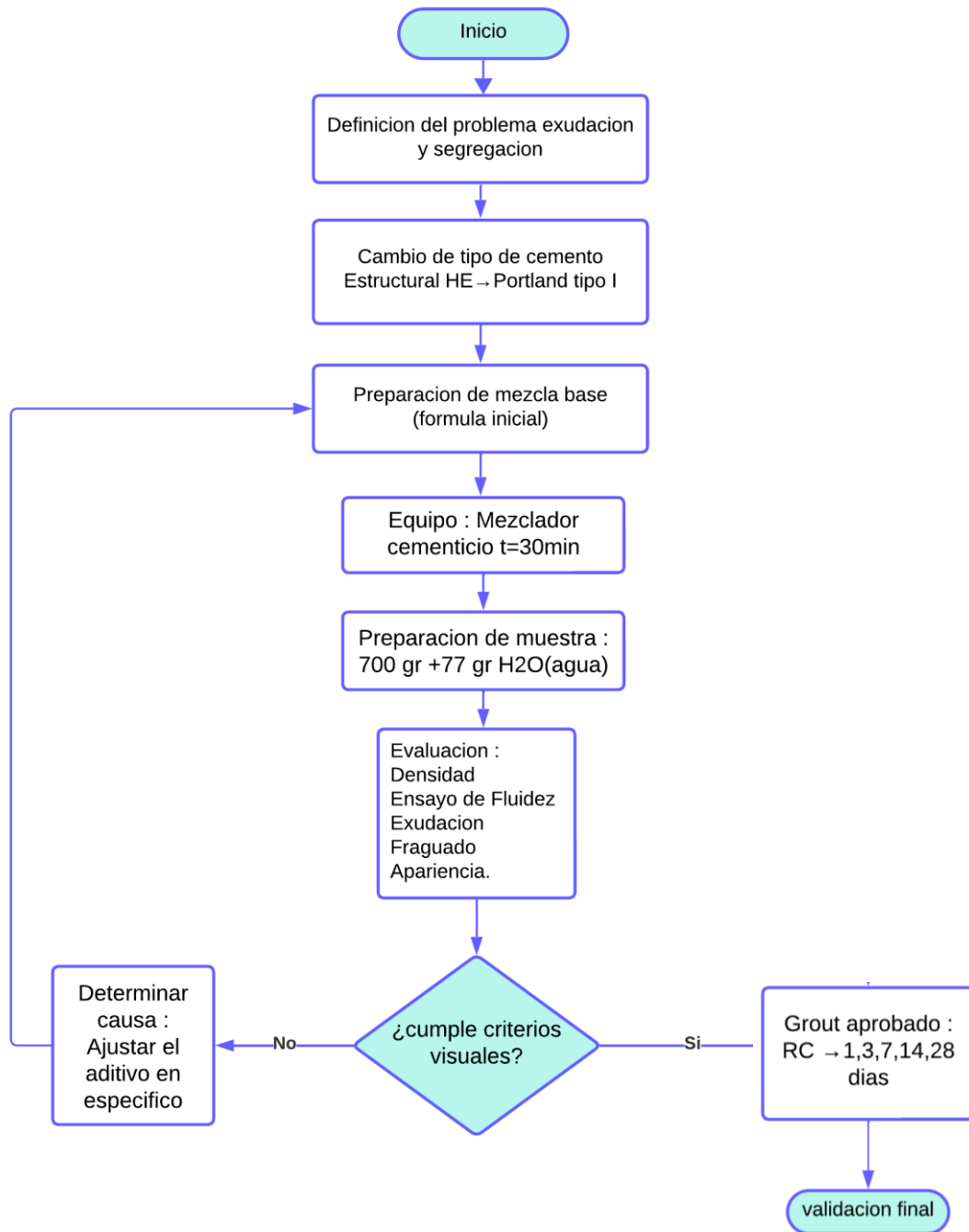
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 5:Formula modificada F3

FORMULA MODIFICADA FM2		
MATERIAS PRIMAS	PESO (gr)	FUNCIÓN
<i>Cuarzo 1/16</i>	377.76	Carga
<i>Cuarzo 1/32</i>	238.58	Carga
<i>Cuarzo 1/64</i>	397.64	Carga
<i>Cuarzo malla 40</i>	129.23	Carga
<i>Arena fina</i>	605.71	Carga
<i>Cemento Holcim</i>	1033.87	Aglutinante
<i>Carbonato de calcio</i>	89.47	Carga
<i>Aluminato de calcio amorfo(aca)</i>	39.76	Acelerante de fraguado
<i>Hidroxido de calcio</i>	59.65	Aglutinante
<i>Formiato de calcio</i>	14.91	Acelerante de fraguado
<i>Agente reductor de cizallamiento II</i>	0.50	Previene la exudación y la segregación
<i>Superplastificante</i>	5.57	Permite reducir la relación de agua/cemento
<i>Gluconato de sodio</i>	3.38	Retardante de fraguado
<i>Antiespumante</i>	3.98	Controlar el aire y el acabado superficial
	3000	

Fuente: Elaboración Propia

Figura 7:Flujograma del proceso de optimización del Grout 100



Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Procedimiento

4.2.3.1 Preparación de la mezcla de Grout

a) Pesado de materias primas:

Se procedió a pesar con precisión todos los componentes de la mezcla, los aglutinantes: cemento, aluminato de calcio, cal hidratada, el aditivo plastificante (reductor de agua de alto rango), retardante, acelerante de fraguado, antiespumante, y las cargas minerales (arena fina y cuarzo) , la mezcla total fue de 3 kg. En las tablas 1,2,3,4,5 se detalla la cantidad de materia prima necesaria para la producción de 3 kg de grout.

b) Homogenización

Luego de haber pesado las materias primas, se llevó a cabo la homogenización de los sólidos en la mezcladora, como se observa en la Figura 8, donde se realizó un mezclado continuo durante 30 minutos, con el fin de garantizar una homogenización completa de la mezcla en estado seco.

Figura 8:*Equipo mezclador para la homogenización*



Fuente: Elaboración Propia

c) Preparación de muestra para ensayo

Una vez realizado la mezcla se procedió a verificar las condiciones ambientales, el grout debe ser aplicado en una temperatura de 7°C – 32 °C .A continuación, se colocó el

material en la olla de la mezcladora encimera, como se muestra en la Figura 9.

Posteriormente, se le incorporación 330 gramos de agua, momento en el cual se activó el cronometro para controlar un tiempo de mezclado de 4 minutos, hasta obtener una consistencia uniforme y fluida.

Figura 9: *Unidad mezcladora para preparación de grout 100*



Fuente: Elaboración Propia

d) Ensayo de fluidez y trabajabilidad:

Para el ensayo de la fluidez, se empleó un cono y mesa de flujo segun la norma ASTM-C230, asegurando la forma y el volumen requerido, el valor del diámetro debe ser mayor a 30 cm, luego se evalúa la densidad, donde se empleó el picnómetro y el valor debe ser aproximadamente $2.42 \pm 0.02 \text{ kg/cm}^3$.

Figura 10:Proceso de control de calidad del Grout 100 .(1) Evaluación de la fluidez en la mesa de flujo. (2) Evaluación de la densidad con el picnómetro.



Fuente: Simim

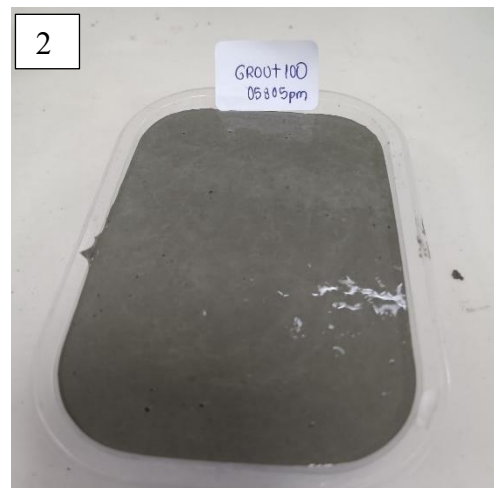


Fuente: Elaboración propia

e) Evaluación del tiempo de trabajabilidad y exudación:

Posteriormente, la mezcla fue colocada en un recipiente abierto, donde se monitoreó su comportamiento durante 20 minutos. Como se muestra en la Figura 11, la evaluación incluye (1) el vertido de la mezcla para medir la trabajabilidad y (2) el estado final de la muestra para observar el fraguado y la exudación. Se debe verificar si la mezcla mantenía su trabajabilidad dentro de ese rango de tiempo de 20 min sin presentar una fragua prematura, ni pérdida excesiva de consistencia y sin exudar.

Figura 11: Proceso para evaluar la trabajabilidad, el fraguado inicial y final (1) Evaluación de la trabajabilidad (2) Muestra para evaluar la exudación y fragua inicial



Fuente: Elaboración propia

f) Determinación del tiempo de fraguado:

Transcurrido los 20 minutos, se evalúa el tiempo exacto en que la mezcla comienza su fragua inicial. Se estableció como criterio de aceptación que el grout fragüe en un máximo de 1 hora. Cumplido el tiempo se verificó que el grout presentara un aspecto compacto y liso.

4.2.3.2 Preparación de moldes para evaluar la resistencia

a) Determinación de las propiedades mecánicas

La mezcla de grout fue vertida en un molde triple para cubos de cemento, previamente tratado con desmoldante para facilitar la extracción posterior. La mezcla se colocó de forma progresiva en los moldes, tal como se muestra en la Figura 12. Posteriormente, se pasó una llana metálica sobre la superficie para nivelar la parte superior de los cubos.

Figura 12: *Vertido de Grout 100 en moldes de cubos*



Fuente: Elaboración propia

Se elaboraron un total de 5 moldes (15 cubos). Transcurridas 24 horas, se realizó el desmolde cuidadoso del primer molde, y los 3 cubos extraídos fueron sometidos a ensayo de resistencia a compresión en la máquina de rotura.

Figura 13: *Ensayo de rotura a los cubos del grout 100*



Fuente: Elaboración propia

Los 12 cubos restantes se colocaron en un recipiente con agua para su curado. Se programaron ensayos de compresión a los 3, 7, 14 y 28 días de curado, utilizando 3 cubos por cada día con el fin de evaluar la evolución de la resistencia mecánica del grout en el tiempo.

Figura 14: *Recipiente con agua utilizado para el curado de las muestras de grout 100 a 3, 7, 14 y 28 días*



Fuente: Elaboración propia

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En siguiente capítulo se presentan los resultados a partir de las 88 pruebas realizadas, considerando únicamente aquellos que ofrecieron resultados satisfactorios.

5.1 Resultados de la prueba de fluidez, exudación, segregación; acabado

Tabla 6: Resultado de la evaluación de la fluidez del Grout 100

PRUEBAS DE CONTROL DE CALIDAD						
ASTM C-1107	PRUEBA EN MESA FLOW >30 cm	TRABAJABILIDAD	TIEMPO DE FRAGUA INICIAL	TIEMPO DE FRAGUA FINAL	EXUDACION	POROS
Formula Original Cemento Cemex(F0 ORIGINAL)	34	≥15 MIN	50 min	3H 20 min	ALTA	SI
Formula Modificada Cemento Holcim (FM)	33	≥15 MIN	40 min	2H min	MODERADA	SI
Formula Modificada Cemento Holcim (FM1)	33	≥15 MIN	40 min	1H 30 min	MODERADA	LIGERA
Formula Modificada Cemento Holcim (FM2)	34	≥15 MIN	30min	1h	BAJA	NO

Fuente: Elaboración propia

5.2 Resultados del porcentaje de reducción de tiempo de fraguado inicial y final

	% REDUCCION DEL TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL	% REDUCCION DEL TIEMPO DE FRAGUADO FINAL
FM	20%	40%
FM1	20%	55%
FM2	40%	70%

Fuente: Elaboración propia

5.3 Resultados de la prueba de resistencia en la máquina de rotura

Los resultados que brinda la máquina de rotura están en kN, por lo tanto, es necesario convertir estos resultados en a Kgf/cm² para ser comparados.

Tabla 7: Resultados del ensayo en la máquina de rotura para la formula (F0)

ASTM C-1107	Resistencias del Grout 100				
	1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
Formula	460.048	624.056	846.596	641.07	603.540
Modificada	484.398	670.799	573.928	639.40	817.799
Cemento Holcim (F0) Kgf/cm ²	469.959	691.479	703.634	866.60	823.918
PROMEDIO	471.47	662.11	708.05	715.69	748.419

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Resultados del ensayo en la máquina de rotura para la formula modificada (FM)

ASTM C-1107	Resistencias del Grout 100				
	1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
Formula	441.285	661.337	624.423	752.498	810.743
Modificada	400.212	632.132	783.293	790.308	823.591
Cemento Holcim (FM) Kgf/cm ²	346.902	551.821	694.742	863.482	882.938
PROMEDIO	396.133	615.097	700.819	802.096	839.091

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Resultados del ensayo en la máquina de rotura para la formula modificada 1 (FM1)

ASTM C-1107	Resistencias del Grout 100				
	1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
Formula	450.952	621.935	891.870	706.367	1017.661
Modificada	437.247	767.916	775.380	773.708	844.760
Cemento Holcim (FM1) Kgf/cm ²	446.221	926.622	829.587	824.203	799.486
PROMEDIO	444.807	772.158	832.279	768.092	887.302

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10:Resultados del ensayo en la máquina de rotura para la formula modificada 2 (FM2)

ASTM C-1107	Resistencias del Grout 100				
	1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
Formula	659.053	717.665	845.372	931.231	938.124
Modificada	633.968	629.073	720.398	960.231	929.966
Cemento Holcim (FM2) Kg/cm ²	561.610	634.947	688.705	925.194	944.365
PROMEDIO	618.210	660.562	751.492	938.885	937.485

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Porcentaje de incremento de la resistencia en 28 días

ASTM C1107	Aumento absoluto de la resistencia a 28 días (kgf/cm ²)	Incremento porcentual de la resistencia a 28 días (%)
FM	91.19	12.2%
FM1	139.40	18.6%
FM2	189.59	25.3%

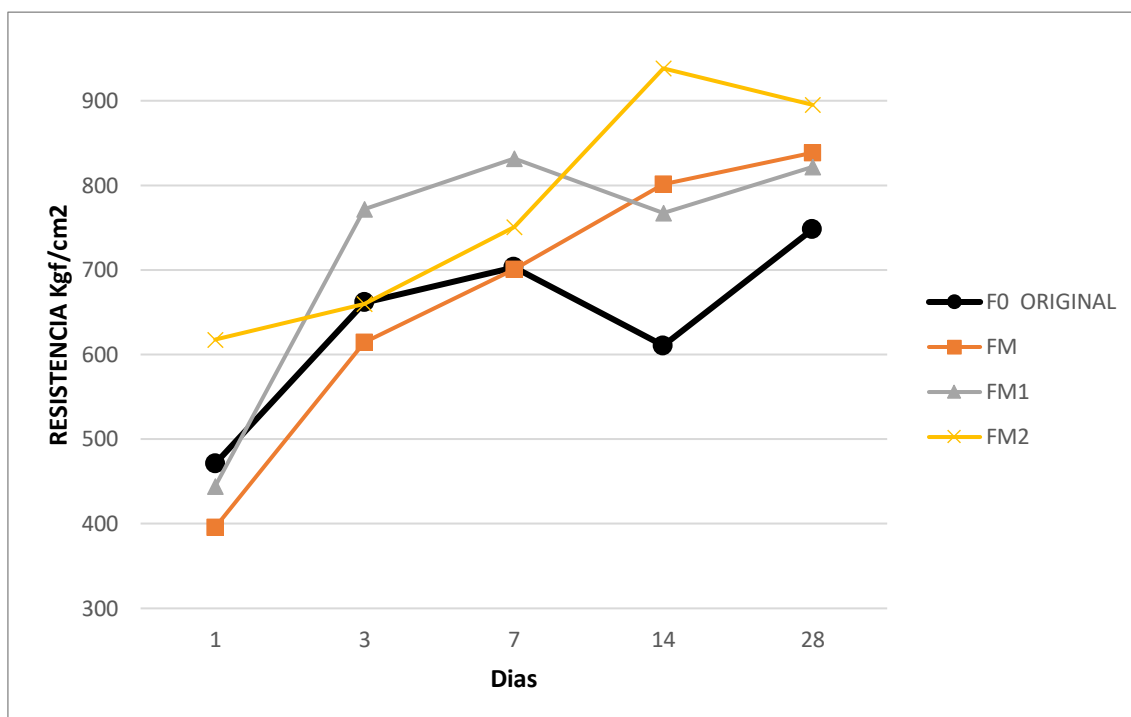
Fuente: Elaboración propia

Tabla 12:Promedio de resistencias para la formula Modificada (FM2) mPa

ASTM C-1107	Resistencias del Grout 100				
	1 día	3 días	7 días	14 días	28 días
Promedio de resistencias para la formula Modificada (FM2) en MPa	60.63	64.78	73.69	92.07	91.92

Fuente: Elaboración propia

Figura 15:Comparativa de la resistencia de las fórmulas del grout 100 modificado:



5.4 Discusión de Resultados

A continuación, se discute los resultados obtenidos de las pruebas experimentales realizadas.

- Los resultados obtenidos muestran que la formulación F0 presentó la mayor exudación y las resistencias más bajas, mientras que las formulaciones modificadas, especialmente FM2, evidenciaron menor bleeding, ausencia de poros y resistencias considerablemente superiores; además, FM y FM1 mostraron un desempeño intermedio, con mejoras notables en estabilidad y desarrollo resistente. Estos comportamientos coinciden con lo señalado por los autores Han y Wang (2016) en su estudio *Influence of bleeding on properties and microstructure of fresh and hydrated Portland cement paste*, quienes afirman que una mayor exudación incrementa la porosidad y disminuye la resistencia mecánica, mientras que una hidratación más controlada permite obtener

microestructuras más densas por lo tanto se confirma que el cambio de tipo de cemento y ajuste de los aditivos aplicados en las formulaciones modificadas permiten un mejor control del bleeding y un incremento significativo de la resistencia mecánica del grout , confirmándose el cumplimiento del objetivo general.

- Los resultados muestran diferencias significativas en las propiedades del Grout 100 en estado fresco y endurecido entre la fórmula original F0 y las formulaciones modificadas. Aunque todas las mezclas cumplieron con la fluidez mínima y trabajabilidad exigidas por la ASTM C1107, la fórmula F0 presentó un tiempo de fraguado inicial de 50 min, y un fraguado final de 3 h 20 min, acompañado de exudación alta y presencia de poros, lo que refleja una menor estabilidad. En contraste, las formulaciones modificadas redujeron el tiempo de fraguado inicial entre un 20% (FM y FM1) y 40% FM2 y el fraguado final en un 40 % 55 % y 70 % en FM, FM1 y FM2, respectivamente, respecto a F0, junto con una disminución progresiva de la exudación y la porosidad hasta su ausencia en FM2. Estas mejoras favorecieron una hidratación más uniforme y mejor desempeño mecánico, lo que concuerda con lo señalado por Cieri et al. (2023) que la falta de frescura disminuye la hidratación temprana y retrasa el fraguado. De manera complementaria, los hallazgos de Mendoza Vera & Pintado Román (2024) explican por qué la elevada exudación genera una hidratación desigual que limita la resistencia temprana.
- Respecto a las resistencias a los 28 días, las mezclas modificadas superan claramente a la mezcla original F0: FM la supera en aproximadamente 91.19 kg/cm², FM1 en 139.40 kg/cm² y FM2 en 189.59 kg/cm², siendo esta última la de mayor desempeño superando a F0 en un 25.3 % respecto a resistencias. Esto se debe principalmente a que en FM2 se mejoró la distribución de partículas,

aumentando las partículas gruesas y logrando un empaquetamiento más compacto, lo que reduce vacíos y refuerza la estructura interna. Por su parte, Fisher Condor (2024) indica que una granulometría más eficiente ayuda a que la acción de los aditivos funcione mejor y disminuye el agua libre(exudación), promoviendo un desarrollo más homogéneo de la hidratación y mayores resistencias mecánicas. Finalmente, Saby Juco & Ushiñahua (2021) destacan que reducir la porosidad y la exudación también es clave para mejorar el desempeño mecánico. En conjunto, ambos hallazgos apoyan que la mejor distribución de partículas y la densificación interna son responsables del mayor rendimiento de FM2 respecto a F0.

- Los resultados confirman que las formulaciones optimizadas FM, FM1 y FM2 cumplen con los requisitos establecidos por la norma ASTM C1107, al presentar valores de fluidez superiores a 30 cm y una trabajabilidad mayor o igual a 15 minutos. Asimismo, los tiempos de fraguado final se mantuvieron controlados, evidenciando una adecuada estabilidad de la mezcla. En estado endurecido, las formulaciones optimizadas desarrollaron resistencias mecánicas superiores a la mezcla original en todas las edades evaluadas, destacando FM2 a los 28 días. Este comportamiento concuerda con lo señalado por Frediyansyah et al. (2024), quienes indican que el uso adecuado de superplastificantes permite mantener la trabajabilidad y mejorar el desarrollo resistente, favoreciendo el cumplimiento de los criterios normativos.

VI. CONCLUSIONES

- La optimización de la formulación del Grout 100 cambiando el tipo de cemento y el ajuste de aditivos muestra una reducción de la exudación e incremento de la resistencia mecánica del material, destacando la formulación FM2, la cual supero a la mezcla original en aproximadamente un 25.3 % a los 28 días, evidenciando un mejor desempeño global en estado fresco y endurecido.
- El análisis de las propiedades del grout en estado fresco y endurecido evidenció que la formulación FM2 redujo el tiempo de fraguado inicial en aproximadamente un 40 % y el fraguado final hasta en un 70 % respecto a la fórmula original F0, además de presentar menor exudación y ausencia de poros, lo que favoreció una hidratación más uniforme y un mejor desarrollo de la resistencia mecánica.
- La formulación optimizada FM2 mostró un incremento de la resistencia a la compresión a los 28 días de aproximadamente 189.59 kg/cm² respecto a la mezcla original la cual permitió un mejor control de la exudación, una reducción de la porosidad y una hidratación más uniforme del sistema cementante. Asimismo, la mejora en la distribución de partículas y la mayor estabilidad de la mezcla en estado fresco favorecieron la formación de una microestructura más compacta y densa en el estado endurecido.
- La formulación FM2 cumplió con los requisitos establecidos por la norma ASTM C1107, al presentar valores de fluidez superiores a 30 cm, una trabajabilidad mayor o igual a 15 minutos, tiempos de fraguado controlados y un adecuado desempeño mecánico, consolidándose como una alternativa técnicamente viable frente a la fórmula original F0.
- La optimización de la formulación del grout 100 ha demostrado ser efectiva no solo a nivel experimental, sino también en su aplicación práctica, ya que

actualmente se encuentra implementada y en uso continuo en la empresa en la empresa Aditivos Especiales S.A.C., lo que ha permitido un impacto positivo en la producción. Gracias a esta mejora, se ha logrado reducir los reprocesos y un uso más eficiente de los aditivos, evitando ajustes adicionales. Esto demuestra que la investigación no solo aporta al conocimiento técnico, sino también genera beneficios prácticos y económicos para la empresa.

VII. RECOMENDACIONES

- Utilizar la fórmula FM2 como referencia para aplicaciones prácticas, ya que combina buena fluidez, baja exudación y alta resistencia.
- Monitorear cuidadosamente la temperatura y humedad durante el proceso del curado del grout, ya que estas condiciones influyen directamente en la ganancia de resistencia y la durabilidad.
- Se recomienda que todos los componentes del grout, incluyendo cemento, aditivos y agregados, se almacenen en condiciones controladas, secas y protegidas de la humedad y la luz directa, ya que el mal almacenamiento puede inducir hidratación prematura del cemento, provocando exudación excesiva y disminución de la resistencia final.
- Para evitar variaciones en fluidez y exudación, se recomienda estandarizar el tiempo y velocidad de mezclado. Cualquier diferencia en la energía aplicada puede alterar la dispersión de aditivos, modificar la retención de agua y generar resultados no comparables.
- Implementar un control de calidad del cemento almacenado, registrando su fecha de ingreso, tiempo de almacenamiento y condiciones ambientales, para evitar el uso de materiales vencidos o degradados que alteren el desempeño del grout.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Aceros Arequipa. (2024). *¿Qué es el concreto líquido o grout?* Recuperado de <https://www.construyendoseguro.com/que-es-el-concreto-liquido-o-grout/>
- Acuña Bermudez, I. F., & Toro Castilla, F. A. (2015). Efecto del reemplazo de un porcentaje de cemento por un producto puzolánico a base de arcilla en morteros de reparación y grout.
- ASTM International. (2007). *Standard specification for portland cement* (ASTM C150–07). ASTM International. <https://www.astm.org/c0150-07.html>
- ASTM, C. (2008). 230, Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement. *West Conshohocken, PA: ASTM International*.
- BASF. (2021). *High performance viscosity enhancing agent for cement and calcium sulphate-based materials* [Ficha técnica]. <https://my.basf.com/en-US/products/starvis-3040-f/p/30634975>
- Cabrera, N., Ortega, L., & Traversa. (s.f.). *Una fuente alternativa para agregados de hormigón*. ISEU, 10. Universidad de Palermo. <https://dspace.palermo.edu/dspace/bitstream/handle/10226/1364/art%202%20%20vol%2010%20ISEU%20Hormig%C3%B3n%20Cabrera%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cieri, L., Cassese, P., Fabbrocino, G., Occhiuzzi, A. y Rainieri, C. (2023). Estudio experimental sobre la influencia de las condiciones de almacenamiento del cemento a granel en la evolución de la rigidez a edades tempranas de las pastas cementicias. *Applied Sciences* , 13 (21), 11734. <https://doi.org/10.3390/app132111734>
- Cóndor Lapa, F. L. (2024). *Estudio del concreto usando aditivo reductor de agua de alto rango para concretos de mediana a alta resistencia* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/28233>

- Correa Fidel, F. (2017). *Alternativas de solución para el fraguado del grout en zonas de climas fríos* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio Institucional UNS. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3113>
- Federal Highway Administration. (2017). *Bond of field-cast grouts to precast concrete elements (TechNote FHWA-HRT-16-081)*. U.S. Department of Transportation.
Recuperado de
https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/bridge/16081/index.cfm#:~:text=Concrete%20Substrate%20Surface%20Moisture%20Content%20*%20Spraying,paper%20towel%20right%20before%20the%20grout%20casting
- Frediyansyah, M. T., Sukamta, S., Sulistyowati, R. A., Umam, M., & Lie, H. A. (2024). The influence of adding superplasticizer with time interval and variation of water reduction on the early strength and workability of concrete. *Eduvest: Journal of Universal Studies*, 4(1), 205–218. <https://doi.org/10.59188/eduvest.v4i1.1346>
- Future Market Report. (2025). Grouting material market report.
<https://www.futuremarketreport.com/industry-report/grouting-material-market>
- Paredes Gutiérrez, S. F. (2018). *Evaluación del efecto de diferentes morteros sobre las propiedades de pisos autonivelantes a escala laboratorio* (Proyecto de grado, Fundación Universidad de América). Repositorio Institucional de la Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstreams/635e6a69-5608-4f41-b8cb-37880354f187/download>
- Jucos Hidalgo, S. A., & Gómez Ushiñahua, C. M. (2021). *Análisis del comportamiento del aditivo retardante en el concreto y su influencia en la trabajabilidad* [Tesis de licenciatura, Universidad Científica del Perú]. Repositorio Institucional UCP. <https://repositorio.ucp.edu.pe/items/b5335bda-4165-402c-915e-904faa7e7fba>

- Koting, S., Megat Johari, M. A., & Hashim, S. F. S. (2014). Effects of using silica fume and polycarboxylate-type superplasticizer on physical properties of cementitious grout mixtures. *Key Engineering Materials*, 594–595, 64–69.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.64>
- Mamlouk, M. S., & Zaniewski, J. P. (2009). *Materiales para ingeniería civil*. Pearson Educación.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- Mendoza Vera, J. Z., & Pintado Román, K. E. (2024). *Efectos en el tiempo de fraguado, trabajabilidad y exudación del concreto debido a altas dosis de aditivo retardante* (Tesis de licenciatura). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/28183>
- Mordor Intelligence. (2025). Global cementitious grout market – Industry report.
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-cementitious-grout-market>.
- Mordor Intelligence. (2025). Global cementitious grout market – Industry report.
<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-cementitious-grout-market>da Rocha Gomes, S., Santacruz, I., Sánchez, L. *et al.* Systematic study on mix design optimization and on fresh properties of grouts containing crystalline admixtures. *Mater Struct* **58**, 91 (2025). <https://doi.org/10.1617/s11527-025-02598-w>
- Nanjing Invelychem (2025). *Desespumante para mortero autonivelante: logrando superficies sin burbujas*. Recuperado de <https://ywlchemical.com/self-leveling-mortar-defoamer/>

- National Ready Mixed Concrete Association. (s. f.). *CIP-22: Grout (Concrete in Practice)* [PDF en español]. Recuperado de <https://www.nrmca.org/wp-content/uploads/2020/04/CIP22es.pdf>
- Neville, A. M. (2013). *Propiedades del concreto* (4.^a edicion, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Trad.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (Obra original publicada en 1995)
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Tecnología del concreto* (2.^a ed.; Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, Trad.). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (Obra original publicada en 1987)
- Paredes Gutiérrez, S. F. (2018). *Evaluación del efecto de diferentes morteros sobre las propiedades de pisos autonivelantes a escala laboratorio* (Trabajo de grado, Universidad de América). Repositorio Institucional Universidad de América.
- Sandoval Garay, C. (2011). *Diseño de mezclas de concreto de alta resistencia*. Universidad Nacional de San Martín. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/0d55e401-a1f4-43f4-916b-d6350dc3e7d0>
- Soler García, D. C. (2021). *Inspección de materia prima, agregados*. Alión. <https://alio.com.co/inspeccion-de-materia-prima-agregados/>
- The Pennsylvania State University. (s.f.). *The effect of aggregate properties on concrete*. Recuperado de <https://www.engr.psu.edu/ce/courses/ce584/concrete/library/materials/aggregate/aggregatemain.htm>
- Toxement S.A. (2020). *Guía para selección y colocación de grouts* [Guía técnica]. https://www.toxement.com.co/media/4803/guia_para_seleccio-n_colocacion_grouts.pdf

IX. ANEXOS /ILUSTRACIONES

Figura 16: Especificaciones de la norma ASTM C1107



Designation: C 1107 – 02

Standard Specification for Packaged Dry, Hydraulic-Cement Grout (Nonshrink)¹

This standard is issued under the fixed designation C 1107; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This specification covers three grades of packaged dry, hydraulic cement grout (nonshrink) intended for use under applied load (such as to support a structure, a machine, and the like) where a change in height below initial placement height is to be avoided.

1.2 Grouts covered are composed of hydraulic cement, fine aggregate, and other ingredients. They require only the addition of mixing water for use.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The inch-pound units in parenthesis are for information only. Values in SI units shall be obtained by measurement in SI units or by appropriate conversion of measurements made in other units, using the Rules of Conversion and Rounding given in IEEE/ASTM SI-10.

1.4 The following safety hazards caveat pertains only to the test method portion of this specification: *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

- C 109/C 109M Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)²
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates³
- C 138/C 138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete³
- C 157/C 157M Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete³
- C 185 Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar²
- C 305 Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency²
- C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size³
- C 827 Test Method for Change in Height at Early Ages of Cylindrical Specimens from Cementitious Mixtures³
- C 939 Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)³
- C 1090 Test Method for Measuring Change in Height of Cylindrical Specimens for Hydraulic-Cement Grout³
- C 1437 Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar²
- IEEE/ASTM SI-10 Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System⁴

3. Terminology

3.1 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.1.1 *Consistency:*

3.1.2 *flowable, adj*—a grout consistency having a flow of 125 to 145 by the flow test in accordance with the applicable provisions of Test Method C 1437; the flow after 5 drops of the flow table in 3 s.

3.1.3 *fluid, adj*—a grout consistency having a time of efflux of 10 to 30 s when tested by the flow cone procedure of Test Method C 939.

3.1.4 *plastic, adj*—a grout consistency having a flow of 100 to 125 by the flow test in accordance with the applicable provisions of Test Method C 1437; the flow after 5 drops of the flow table in 3 s.

3.2 *Description of Terms Found in Terminology C 125:*

3.2.1 *grout (nonshrink), hydraulic-cement, n*—a hydraulic-cement grout that produces a volume that, when hardened under stipulated test conditions, is greater than or equal to the original installed volume; often used as a transfer medium between load-bearing members.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.43 on Packaged Dry Combined Materials.
Current edition approved Jan. 10, 2002. Published March 2002. Originally published as C 1107 – 91. Last previous edition C 1107 – 99.

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.04.

Fuente: ASTM C-1107

4. Classification

4.1 This specification covers three grades of grout, classified in accordance with the volume-control mechanism exhibited by the grout after being mixed with water.

4.1.1 *Grade A Pre-Hardening Volume-Adjusting*—Volume control of grout is caused by expansion before hardening occurs.

4.1.2 *Grade B Post-Hardening Volume-Adjusting*—Volume control of grout is caused by expansion after grout hardens.

4.1.3 *Grade C Combination Volume-Adjusting*—Volume control of grout is caused by a combination of both mechanisms.

5. Ordering Information

5.1 When the purchaser specifies that properties of the packaged, dry grout meet the requirements of this specification (see 15.1), the grade of grout desired shall also be specified and which, if any, of the optional requirements apply.

5.2 When the grout is to be used in contact with stressed tendons or other corrosion-sensitive, load-bearing structural members, the purchaser shall supply this information to the manufacturer and obtain assurances that the material meets relevant chloride, nitrite, nitrate, sulfide, and sulfate requirements, and any other material limitations imposed by the applicable codes and standards (Note 1).

5.3 When the grout is to be used in abnormal or aggressive environments, the purchaser shall supply this information to the manufacturer and obtain assurance that the grout has a successful history of performance in the same or similar exposures.

NOTE 1—Since all conditions of use cannot be anticipated, this specification requires nonsink grout to exhibit no shrinkage when tested in a laboratory-controlled, moist-cured environment, and requires only the reporting of the observed height change, usually shrinkage, when test specimens are subjected to some degree of drying. It is suggested that users consult with manufacturers on specific applications to determine the applicability of specific test results.

6. Materials

6.1 The materials used as ingredients in packaged, dry, grout include hydraulic cement, fine aggregate, and other ingredients.

7. Performance Requirements

7.1 Specimens shall be made from freshly mixed grout and from grout that has been retained in the mixer for the maximum usable working time allowed by the manufacturer. Specimens from both conditions shall meet the requirements prescribed in Table 1.

7.2 Specimens shall be prepared using materials and equipment at temperatures representing the maximum and minimum usable temperatures specified by the manufacturer for his product. Specimens from both conditions shall meet the requirements prescribed in Table 1, except that the compressive-strength requirements do not have to be met at minimum usable temperature.

7.3 Specimens for testing shall be prepared by combining the use of grout retained in the mixer as in 7.1 with the minimum and maximum as mixed and curing temperatures

TABLE 1 Performance Requirements

Compressive Strength, min	MPa	(psi)	
1 day ^a	7.0	(1000)	
3 day	17.0	(2500)	
7 day	24.0	(3500)	
28 day	34.0	(5000)	
Grade Classification	-A ^b Pre-hardening Volume Controlled Type	-B ^c Post-hardening Volume Controlled Type	-C- Combination Volume Controlled Type
Early Age Height Change			
Max % @ Final Set	+ 4.0	NA	+ 4.0
Min % @ Final Set	0.0	NA	0.0
Height Change of Moist Cured Hardened Grout at 1, 3, 14 and 28 Days			
Maximum, %	NA	+ 0.3	+ 0.3
Minimum, %	0.0	0.0	0.0

^a When required, the purchaser must so specify in the purchase contract.

^b If posthardening expansion occurs during evaluation of a Grade A material, then the material shall be evaluated according to Grade C criteria.

^c If prehardening expansion occurs during evaluation of a Grade B material, then the material shall be evaluated according to Grade C criteria.

used in 7.2. Specimens from these combinations of conditions shall meet the requirements of Table 1, except that the compressive-strength requirements do not have to be met at minimum usable temperature.

7.4 All test specimens for performance evaluation shall be prepared using the highest water to solids ratio suggested by the manufacturer for his product.

8. Sampling

8.1 Use whole packages of grout selected at random from the lot of grout to be examined.

8.2 Where lesser quantities of grout will serve the purpose, select 3000 g (7 lb) of dry grout from a whole package in accordance with the mechanical-splitter method in Practice C 702. For high-density grouts, adjust the mass to provide an equivalent volume.

9. Batching

9.1 Grout mixtures shall be produced in the following conditions:

9.1.1 Batch grout mixtures at temperature conditions corresponding to the maximum recommended temperature limit and at a temperature corresponding to the minimum temperature stated by the manufacturer.

9.1.2 For standard temperature testing, maintain the grout mixture and the testing equipment at a temperature of 23 ± 3°C (73 ± 5°F).

9.2 Bring all materials and equipment to be used in preparing test specimens to the specified test temperature, ±3°C (±5°F) prior to use.

9.2.1 When the controlled-environment test room is too small to accommodate large equipment, immediately prior to use, bring the mixer to the desired testing temperature by filling it with water at the appropriate temperature and agitating it by

Fuente: ASTM C-1107

Figura 17: Dimensiones para medir la fluidez

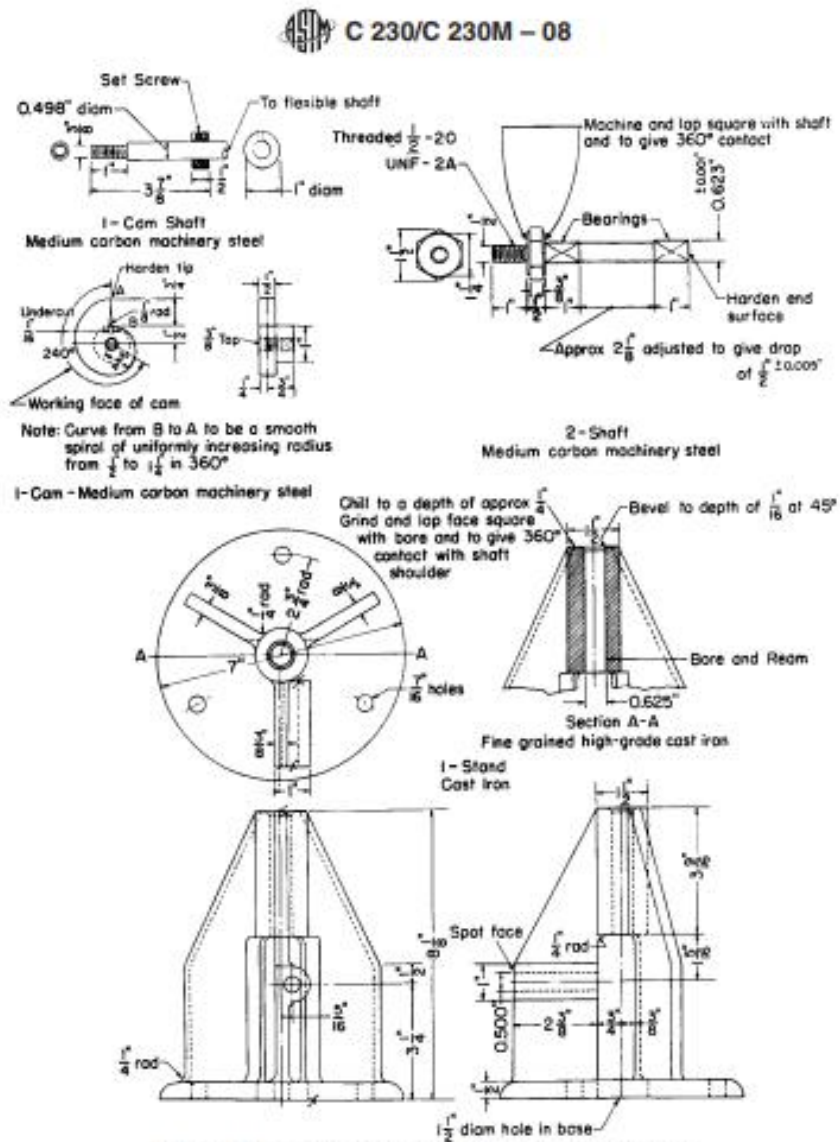


FIG. 1 Flow Table and Accessory Apparatus (Partial) (In./Lb)