

Prototype of Technical Specifications for Waterproof Cementitious Mortars Applied to Water Reservoirs in Residential Buildings in Peru through Design Thinking

Rodolfo Falconí Vásquez¹, Fernando Cáceres Guevara¹

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, rfalconi@uni.edu.pe, fcaceresg@uni.pe

Abstract – *The absence of specific technical guidelines for waterproof cementitious mortars used in water reservoirs in residential buildings in Peru has led to empirical practices, recurrent construction failures, and health risks. This research aimed to develop and validate a prototype of technical specifications for this type of mortar by applying the Design Thinking methodology. The study adopted an applied and mixed-methods approach, carried out in five phases: empathize, define, ideate, prototype, and test. Data collection included in-depth interviews, brainstorming sessions, and Likert-scale surveys addressed to construction sector specialists. The results showed a high level of acceptance of the proposed prototype (4.95/5), as well as technical deficiencies in the products currently available on the market. It is concluded that the prototype constitutes a viable technical tool to standardize selection criteria and contribute to the durability and safety of water reservoirs in residential buildings.*

Keywords: *waterproof cementitious mortar, technical specifications, Design Thinking, water reservoirs, residential buildings.*

Prototipo de Especificaciones Técnicas para Morteros Cementicios Impermeables Aplicados a Reservorios de agua en Edificaciones Residenciales del Perú mediante Design Thinking

Rodolfo Falconí Vásquez¹, Fernando Cáceres Guevara¹

¹Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, rfalconi@uni.edu.pe, fcaceresg@uni.pe

Resumen– La ausencia de lineamientos técnicos específicos para morteros cementicios impermeables utilizados en reservorios de agua en edificaciones residenciales del Perú ha generado prácticas empíricas, fallas constructivas recurrentes y riesgos sanitarios. La presente investigación tuvo como objetivo elaborar y validar un prototipo de especificaciones técnicas para este tipo de mortero, aplicando la metodología Design Thinking. El estudio adoptó un enfoque aplicado y mixto, desarrollándose en cinco fases: empatizar, definir, idear, prototipar y testear. La recolección de datos incluyó entrevistas en profundidad, sesiones de brainstorming y encuestas con escala de Likert dirigidas a especialistas del sector construcción. Los resultados evidenciaron una alta valoración del prototipo propuesto (4,95/5), así como deficiencias técnicas en los productos actualmente comercializados. Se concluye que el prototipo constituye una herramienta técnica viable para estandarizar criterios de selección y contribuir a la durabilidad y seguridad de los reservorios de agua en edificaciones residenciales.

Palabras clave: mortero cementicio impermeable, especificaciones técnicas, Design Thinking, reservorios de agua, edificación residencial.

I. PROBLEMÁTICA

En el Perú, la inexistencia de normativas técnicas claras para morteros cementicios impermeables en reservorios residenciales propicia soluciones empíricas y poco homogéneas, incrementando el riesgo de filtraciones, deterioro estructural y problemas de salubridad. Ante ello, se requiere establecer parámetros técnicos confiables. En este contexto, se plantea la siguiente interrogante: ¿en qué medida la metodología Design Thinking contribuye, mediante su enfoque centrado en el usuario, a identificar los grupos de interés y sus necesidades para definir una especificación técnica de mortero cementicio impermeable?

II. ESQUEMA METODOLÓGICO

La investigación fue aplicada, no experimental y descriptivo-propositiva, empleando la metodología Design Thinking en cinco fases: empatizar, definir, idear, prototipar y testear. La población estuvo conformada por profesionales del sector construcción, con una muestra intencional de trece especialistas. Se integraron técnicas cualitativas y cuantitativas para comprender la problemática y validar el prototipo de especificaciones técnicas.

III. MARCO TEÓRICO

El Design Thinking es una metodología iterativa y centrada en las personas, orientada a comprender necesidades reales y generar soluciones innovadoras y viables. Tim Brown lo define como un enfoque human-centered que integra necesidades humanas, posibilidades tecnológicas y requisitos de éxito de la referencia [1]. Asimismo, permite transformar procesos, productos y estrategias más allá del diseño estético como indica la [2].

A. Design Thinking dimensiones principales

Enfoque centrado en el usuario: parte de la comprensión profunda de necesidades, emociones y motivaciones del usuario mediante técnicas de empatía y síntesis del problema real mostrado por las [3] [4] y [5].

Colaboración multidisciplinaria: promueve el trabajo colaborativo y la generación de múltiples alternativas en la fase Idear de las referencias [6] y [7].

Creatividad aplicada a la resolución de problemas: las fases de Prototipar y Testear refuerzan su carácter iterativo de acuerdo a la referencia [8].

B. Mortero cementicio impermeable

El mortero cementicio impermeable es una mezcla de cemento Portland, agregados finos y aditivos que, al endurecer, forma una estructura de muy baja permeabilidad, empleada en reservorios y estructuras expuestas a humedad [9]. Sus especificaciones técnicas se definen según propiedades reguladas por normas internacionales.

1. Funcionalidad

Incluye la adhesión por tracción al concreto (ensayo pull-off, UNE-EN 1542) ver referencia [10], la impermeabilidad al agua a presión y capacidad de puenteo de fisuras según la referencia [11], y el alargamiento a la rotura conforme a la norma de la referencia [12].

2. Durabilidad

Comprende la resistencia a la presión positiva y negativa de agua como indica la referencia [13], la resistencia a la abrasión mediante ensayo Taber (EN ISO 5470-1) indicada por la referencia [14], y la resistencia química

compatible con agua potable y procesos de limpieza y desinfección, conforme a las referencias [15] [16] y [17].

3. Adecuación a las necesidades

Considera requisitos sanitarios y del entorno local, como la certificación para contacto con agua potable ver la referencia [18] y la declaración sustentada de una durabilidad no menor de 10 años mediante ensayos técnicamente válidos.

4. Normatividad

La norma de la referencia [19] es referencia obligatoria en el Perú para estructuras de concreto, basada en el ACI 318-05. Para reservorios de agua, establece lineamientos sobre contenido de aire (tabla 1), concretos de baja permeabilidad (tabla 2) y medidas frente a suelos con sulfatos (tabla 3).

TABLA I
CONTENIDO TOTAL DE AIRE PARA CONCRETO RESISTENTE AL CONGELAMIENTO

Tamaño máximo nominal del agregado* (mm)	Cantidad de aire (en porcentaje)	
	Exposición severa	Exposición moderada
9.5	7.5	6.0
12.5	7.0	5.5
19.0	6.0	5.0
25.0	6.0	4.5
37.5	5.5	4.5
50.0	5.0	4.0
75.0	4.5	3.0

Nota. Replicado de [19]

TABLA II
REQUISITOS PARA CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN

Condición de la exposición	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal*	f'c mínimo (MPa) para concretos de peso normal o con agregados ligeros*
Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición de agua.	0.50	28
Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0.45	31
Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0.40	35

Nota. Replicado de [19]

TABLA III
REQUISITOS PARA CONCRETO EXPUESTO A SULFATOS

Exposición a sulfatos	Sulfato soluble en agua (SO ₄) presente en el suelo, porcentaje de peso	Sulfato (SO ₄) en el agua, ppm	Tipo de Cemento	Relación máxima agua - material cementante (en peso) para concretos de peso normal*	F'c mínimo (MPa) para concretos de peso normal y ligero*
Insignificante	0.0 ≤ SO ₄ < 0.1	0 ≤ SO ₄ < 150	-	-	-
Moderada**	0.1 ≤ SO ₄ < 0.2	150 ≤ SO ₄ < 1500	II, I(PS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	0.50	28
Severa	0.2 ≤ SO ₄ < 2.0	1500 ≤ SO ₄ < 10000	V	0.45	31
Muy severa	2.0 ≤ SO ₄	10000 ≤ SO ₄	Tipo V más puzolana ***	0.45	31

Nota. Replicado de [19]

La norma E.070 de la referencia [20] establece los criterios para el diseño y construcción de estructuras de albañilería reforzada y no reforzada. Define el mortero como una mezcla de aglomerantes y agregado fino con agua suficiente para lograr trabajabilidad, adherencia y evitar segregación. Permite como aglomerantes el cemento Portland, cementos adicionados normalizados o cal hidratada. El agregado fino debe ser arena gruesa natural, libre de sales y materia

orgánica, y cumplir la granulometría indicada en la tabla 4, con una retención máxima del 50 % entre mallas consecutivas, módulo de fineza entre 1,6 y 2,5 y un contenido de partículas quebradizas menor al 1 % en peso. El agua de mezclado debe ser potable y libre de impurezas que afecten la calidad y durabilidad del mortero.

TABLA IV
GRANULOMETRÍA DE LA ARENA GRUESA

MALLA ASTM	% QUE PASA
Nº4 (4.75mm)	100
Nº8 (2.36mm)	95 a 100
Nº16 (1.18mm)	70 a 100
Nº30 (0.60mm)	40 a 75
Nº50 (0.30mm)	10 a 35
Nº100 (0.15mm)	2 a 15
Nº200 (0.075mm)	Menos de 2

Nota. Replicado de [20]

La norma de la referencia [21], versión nacional del ASTM C270:2002, especifica los morteros para albañilería reforzada y no reforzada, clasificándolos en tipos M, S, N y O según proporciones y propiedades mecánicas. Establece criterios sobre materiales, ensayos de resistencia a compresión, trabajabilidad y prácticas constructivas, constituyendo un referente normativo en el Perú, aunque no contempla de forma específica morteros impermeables para reservorios de agua.

La Ley N.º 30534 (2016) modificó la referencia [22] y estableció una garantía mínima de 10 años para elementos estructurales, además de exigir información técnica clara y mecanismos de posventa. Sin embargo, no define criterios técnicos específicos ni parámetros mínimos de desempeño y durabilidad para morteros cementicios impermeables en cisternas y reservorios residenciales.

En consecuencia, se evidencia la necesidad de lineamientos técnicos complementarios que integren resistencia, impermeabilidad y durabilidad, alineados con la normativa vigente y las expectativas de los usuarios, para fortalecer la seguridad y confiabilidad de los reservorios de agua en edificaciones residenciales.

El reglamento de la referencia [17] establece disposiciones sanitarias mínimas para viviendas y establecimientos, exigiendo el mantenimiento, limpieza y desinfección periódica de tanques, cisternas y reservorios, lo que implica que los materiales empleados resistan ciclos repetidos de lavado, fricción y desinfección sin degradarse.

En concordancia, la SUNASS [23] señala que, conforme a la referencia [17], la limpieza y desinfección debe realizarse al menos dos veces al año en viviendas y establecimientos de diversa naturaleza, exponiendo los materiales impermeabilizantes a detergentes, desinfectantes y abrasión mecánica, por lo que deben presentar adecuada resistencia química y mecánica.

La DIGESA con la referencia [24] complementa este marco mediante lineamientos operativos que recomiendan el lavado con detergentes para eliminar sedimentos y biopelículas, indicando que los materiales en contacto con el agua deben ser compatibles con detergentes y sustancias

cloradas y mantener su integridad frente a ciclos de humectación, lavado y secado.

1) Ensayos y normativas técnicas para su aplicación en morteros cementicios impermeables

Entre los principales ensayos se encuentra el definido en la norma de la referencia [10], que establece el procedimiento para determinar la resistencia de adherencia por tracción (pull-off test) de morteros y sistemas impermeables cementicios aplicados sobre concreto. El método consiste en adherir discos metálicos con adhesivo epóxico y aplicar una fuerza perpendicular hasta la rotura, registrando la carga máxima. La resistencia de adherencia se calcula mediante la expresión indicada en (1).

$$f_h = \frac{4F_h}{\pi D^2} \quad (1)$$

donde:

f_h = es la adhesión de la probeta, (MPa); F_h = es la carga de rotura, (N); D = es el diámetro de la probeta (mm²)

La norma de la referencia [11] establece los requisitos para productos impermeabilizantes aplicados en forma líquida bajo revestimientos cerámicos. Incluye ensayos descritos en la Sección A.7 y en las Secciones A.8.2 y A.8.3. En la tabla 5 de la norma EN 14891:2017 se detallan los requisitos mínimos de desempeño y los métodos de ensayo para productos cementicios (CM), de dispersión (DM) y de resina reactiva (RM), garantizando un desempeño seguro y confiable según su ámbito de aplicación.

TABLA V
REQUISITOS DE LOS PRODUCTOS

1a CARACTERÍSTICAS BÁSICAS (CM-DM-RM)		
Características	Requisito	Método de ensayo
Adherencia inicial en tracción	≥0.5 N/mm ²	A.6.2
Adherencia en tracción después de inmersión en agua	≥0.5 N/mm ²	A.6.3 o A.6.4
Adherencia en tracción después de envejecimiento con calor	≥0.5 N/mm ²	A.6.5
Adherencia en tracción después de ciclos de hielo-deshielo	≥0.5 N/mm ²	A.6.6
Adherencia en tracción después de inmersión en agua de cal	≥0.5 N/mm ²	A.6.9
Estandaridad	Sin penetración y ≤20gr de peso suplementario	A.7
Resistencia a la propagación de fisuras en las condiciones normalizadas	≥0.75 mm	A.8.2
1a CARACTERÍSTICAS BÁSICAS (CM-DM-RM)		
Adherencia en tracción después de inmersión en agua clorada (P)	≥0.5 N/mm ²	A.6.7 o A.6.8
Resistencia a la propagación de fisuras a baja temperatura (-5°C) (01)	≥0.75 mm	A.8.3
Resistencia a la propagación de fisuras a muy baja temperatura (-20°C) (02)	≥0.75 mm	A.8.3

Nota. Replicado de [11]

La norma de la referencia [25] establece los requisitos de desempeño, durabilidad y métodos de ensayo para sistemas de protección superficial del concreto (impregnaciones, selladores y recubrimientos), con el fin de asegurar su protección a largo plazo. Según la referencia [26], para evaluar la resistencia a la abrasión, la referencia [25] prescribe el ensayo Taber conforme a la referencia [14], que consiste en

1,000 ciclos con disco H22 y carga de 1,000 g, midiendo la pérdida de masa para estimar la resistencia superficial, especialmente en zonas sometidas a tránsito y limpieza frecuente. Asimismo, la referencia [27] señala que la norma define criterios de durabilidad como baja absorción de agua, resistencia a la penetración de CO₂, compatibilidad térmica y resistencia química, lo que sustenta una vida útil mínima de 10 años para morteros impermeables diseñados conforme a la referencia [25]. Ver tabla 6.

TABLA VI
ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN DE PROPIEDADES SEGÚN LA NORMA EN 1504-2:2024

Propiedad evaluada	Método de ensayo (EN / ISO)	Tolerancia permitida	Finalidad técnica
Densidad	EN ISO 2811-1 / 2811-2	±3 %	Determinar la masa volumétrica del producto.
Viscosidad	EN ISO 3219	±20 %	Verificar la consistencia y trabajabilidad.
Contenido de materia volátil / no volátil	EN ISO 3251	±5 %	Evaluar estabilidad y proporción de sólidos.
Tamaño de partícula	EN 12192-1	±6 % (>2 mm)	Controlar homogeneidad del mortero seco.
Tiempo de fraguado / endurecimiento	EN 13294	±20 %	Asegurar tiempos adecuados de aplicación.
Dureza Shore A/D	EN ISO 868	±3 unidades	Confirmar el progreso de endurecimiento.
Fluidez / consistencia	EN 1015-3 y EN 13395-2	±15 % o 20 mm	Verificar la trabajabilidad del mortero.
Contenido de aire	EN 1015-7	±2 %	Controlar la porosidad del material.

Nota. Adaptado de [25]

La norma de la referencia [12] establece los procedimientos para evaluar la resistencia a la tracción, el alargamiento a la rotura y el módulo elástico de materiales elastoméricos. La expresión (2) cuantifica la resistencia máxima a tracción como indicador del desempeño mecánico.

$$\sigma_{max} = \frac{F_{max}}{2A_0} \quad (2)$$

Donde: σ_{max} Resistencia de desgarre o tracción máxima (MPa o %), F_{max} Carga máxima al desgarro (N), y A_0 Área inicial o longitud de medida primitiva (mm²)

Un alargamiento mínimo del 100 % indica la capacidad del material para absorber microfisuras y adaptarse a movimientos térmicos sin perder impermeabilidad. El alargamiento se determina mediante la expresión (3).

$$\epsilon_R = \frac{(L_R - L_0)}{L_0} \times 100 \quad (3)$$

Donde: ϵ_r , Alargamiento de desgarre (%); L_r , Longitud final tras el ensayo (mm); y L_0 , Longitud inicial de referencia (mm).

La norma de la referencia [13], sección 5, describe el ensayo de penetración de agua bajo presión, aplicando 0,5 N/mm² durante 72 h y midiendo la profundidad de penetración. En esta investigación, se adoptó como criterio la ausencia de penetración en la superficie presionada,

evidenciando resistencia bajo presión positiva y estanqueidad del mortero.

La norma de la referencia [16] establece el método para evaluar la resistencia química de recubrimientos sobre concreto frente a agentes agresivos. En los ensayos se emplearon agua potable conforme a la referencia [15] y productos de limpieza de la industria alimentaria; la ausencia de deterioro confirmó la estabilidad química y compatibilidad sanitaria del mortero.

La norma de la referencia [18] es un estándar internacional que garantiza la seguridad sanitaria de materiales en contacto con agua potable, evaluando su composición química y toxicidad para asegurar que no alteren las propiedades del agua, en concordancia con el D.S. N.º 007-98-SA del Perú.

Finalmente, la referencia [15] define los criterios para asegurar la calidad física, química, microbiológica y radiactiva del agua de consumo humano. Son relevantes el Art. 66º (control de desinfectante), Art. 67º (control microbiológico) y Art. 68º (parámetros químicos). En la tabla 7 se presentan los límites microbiológicos y parasitológicos, destacando la necesidad de que el mortero impermeable evite la proliferación bacteriana y preserve la calidad del agua almacenada.

TABLA VII
LÍMITES MÁXIMOS Y MÍNIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICOS

Propiedad evaluada	Método de ensayo (EN / ISO)	Tolerancia permitida	Finalidad técnica
Densidad	EN ISO 2811-1 / 2811-2	±3 %	Determinar la masa volumétrica del producto.
Viscosidad	EN ISO 3219	±20 %	Verificar la consistencia y trabajabilidad.
Contenido de materia volátil / no volátil	EN ISO 3251	±5 %	Evaluar estabilidad y proporción de sólidos.
Tamaño de partícula	EN 12192-1	±6 % (>2 mm)	Controlar homogeneidad del mortero seco.
Tiempo de fraguado / endurecimiento	EN 13294	±20 %	Asegurar tiempos adecuados de aplicación.
Dureza Shore A/D	EN ISO 868	±3 unidades	Confirmar el progreso de endurecimiento.
Fluidez / consistencia	EN 1015-3 y EN 13395-2	±15 % o 20 mm	Verificar la trabajabilidad del mortero.
Contenido de aire	EN 1015-7	±2 %	Controlar la porosidad del material.

También se tienen valores permisibles para parámetros de calidad organoléptica del agua. Aunque estos no inciden directamente en la seguridad sanitaria, son determinantes para la percepción de calidad.

IV. ESTADO DEL ARTE

La referencia [28] presenta cómo se evaluaron recubrimientos químicos aplicados en concreto hidráulico, demostrando su eficacia como barreras frente a agentes agresivos y su contribución a la prolongación de la vida útil de reservorios y tanques. Con la referencia [29] se diagnosticaron patologías en reservorios de agua potable mediante inspecciones y ensayos no destructivos, identificando humedad, eflorescencias, fisuras, desprendimientos y erosión como daños recurrentes.

A través de la referencia [30] se analizaron la incorporación de aditivo impermeabilizante Z1 (3 %, 5 % y 7 %), evidenciando reducción de porosidad, aunque con disminución de la resistencia a la compresión en dosificaciones elevadas. En la referencia [31] se estudiaron aditivos cristalinos superficiales que sellan poros y microfisuras mediante reacciones con la humedad.

Desde el enfoque metodológico, las referencias [32] y [33] destacaron el Design Thinking como herramienta eficaz para la gestión y definición de requerimientos en proyectos de construcción.

Por su parte, con la referencia [34] se identificó la permeabilidad como factor clave en el deterioro de estructuras hidráulicas, mientras que la referencia [35] señaló la falta de criterios técnicos unificados como causa de patologías frecuentes. Finalmente, la referencia [36] validó el Design Thinking como metodología que fortalece la creatividad, empatía y trabajo colaborativo. En conjunto, estos estudios sustentan la evolución técnica de la impermeabilización del concreto y la pertinencia del Design Thinking para definir especificaciones técnicas.

V. RECOLECCIÓN DE DATOS

A. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se emplearon técnicas cualitativas y cuantitativas para recopilar información especializada y validar la propuesta de especificaciones técnicas.

1) *Técnicas de recolección:* Entrevistas en profundidad a expertos; sesiones grupales de análisis (brainstorming); y encuestas con escala de Likert para valorar criterios de funcionalidad, durabilidad y pertinencia.

2) *Instrumentos de recolección:*

- Guías de entrevistas semiestructuradas.
- Fichas técnicas de análisis y validación.
- Cuestionarios estructurados con escala de Likert de cinco puntos.

B. Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos

El análisis se realizó según la naturaleza cualitativa o cuantitativa de la información obtenida en cada fase del proceso de Design Thinking.

VI. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y RESULTADOS

Se realizaron entrevistas en profundidad a nueve especialistas del sector construcción e impermeabilización, con el objetivo de identificar a los grupos de interés vinculados a la problemática de la impermeabilización de reservorios residenciales con morteros cementicios.

A. Fase Empatizar: identificación de usuarios

1) *Perfil de entrevistados:* La tabla 8 presenta el perfil de los nueve participantes, todos con más de cinco años de experiencia profesional y participación directa en la

aplicación y evaluación de morteros impermeables, lo que fortaleció la confiabilidad de los resultados.

TABLA VIII
PERFIL DE ENTREVISTADOS

N°	Nombre	Profesión	Cargo actual	Experiencia como usuario	Experto como
P1	José Manuel Muñoz Petrel	Administrador de servicios	Jefe de proyectos	5 años aprox.	Miembro de junta de propietarios en edificio residencial
P2	Aldo Ramos Traverso	Ingeniero Civil	Director Gerente – Constructora GENCO S.A.C.	11 años 8 meses	Empresa de servicios de impermeabilización
P3	Eddy Marañón Medina	Ingeniero Civil Estructural	Cofundador y Especialista Civil – Estructural – ARCI STUDIO E.I.R.L.	8 años aprox.	Empresa de ingeniería
P4	Adrianzen Quispe	Empresario	Gerente – SOLUNACC Técnicos e Ingeniería S.A.C.	Más de 15 años	Empresa de servicios de impermeabilización
P5	Enrique Vallarino	Ingeniero Industrial	Director Gerente – CONCRETE SOLUTIONS S.A.C.	15 años	Empresa de servicios de impermeabilización
P6	Ángel Arrascaue Ramos	Ingeniero (especialidad no indicada)	Ingeniero de Producción – VIVA Negocio Inmobiliario S.A.	Más de 5 años	Empresa constructora
P7	Belkis Millán Mujica	Profesional en Recursos Humanos	Administradora de Junta de Propietarios – Manzana F, Ciudad Sol de Collique	Más de 5 años	Administración de edificaciones
P8	Cindy Tejada Montoya	Ingeniera Civil	Key Account Manager – SIKKA Perú S.A.C.	10 años	Empresa constructora
P9	Eduardo Acuña Baldeón	Ingeniero Sanitario	Consultor independiente – HC Asociados S.A.C.	Más de 20 años	Empresa de ingeniería y diseño

Nota. Elaboración propia (Cuadro elaborado respetando la Ley 29733: Ley de protección de datos personales)

2) *Justificación técnica del proyecto de investigación:*

La tabla 9 presenta las respuestas a la pregunta sobre la importancia de definir una especificación técnica de mortero cementicio impermeable acorde a la realidad del Perú. Todos los participantes respondieron afirmativamente, evidenciando consenso sobre la necesidad de lineamientos técnicos claros y contextualizados.

TABLA IX
JUSTIFICACIÓN TÉCNICA NECESIDAD DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA MORTEROS CEMENTICIOS IMPERMEABLES.

N°	Nombre	Rol	Justificación técnica
P1	Jose Muñoz	Miembro de junta de propietario en edificio	Entiende que si, para asegurar la calidad del agua, evitar la degradación del concreto que afecte la calidad del agua, y que la estructura dure más en el tiempo.
P2	Aldo Ramos	Empresa de servicios de impermeabilización	Si, es importante especificar las propiedades y parámetros mínimos que debe tener este tipo de materiales, los cuales tienen que definirse y ensayarse en base a estándares, esto para garantizar una adecuada impermeabilización.
P3	Eddy Marañón	Empresa de ingeniería y diseño	Si, deberíamos tener una especificación técnica base, así como se especifican los cementos u otros materiales para su uso en construcción. Si es importante definir propiedades y valores mínimos para un mortero cementicio impermeable.
P4	Adrianzen Quispe	Empresa de servicios de impermeabilización	Si, porque con esto se va a poder establecer una calidad mínima de producto con expectativa de durabilidad a mediano y largo plazo, no como lo que viene ocurriendo ahora que hay productos que no cumplen con la calidad, durabilidad y resistencia que se quiere, ya que muchas empresas constructoras se abocan más al tema de precios que en cumplir en instalar un producto de calidad, que garantice una buena impermeabilización en el tiempo.
P5	Enrique Vallarino	Empresa de servicios de impermeabilización	Si, es importante que se tenga un estándar para poder tener competencia comparativa justa entre los diferentes proveedores de estas tecnologías.
P6	Ángel Arrascaue Ramos	Empresa constructora	Si es importante tener una especificación técnica de estos materiales porque tienen una función importante en el proyecto.
P7	Belkis Millán Mujica	Administración de edificaciones	Si debería existir, si es necesario, esos materiales deben ser aptos para estar en contacto con agua potable, porque el agua la consumen niños, y adultos.
P8	Cindy Tejada Montoya	Empresa constructora	Si, definitivamente es importante porque en el mercado existen tantas opciones y marcas que, a la hora de tomar una decisión de elección, cada proveedor tiene información diferente, y al final se toma decisión por precios y no por calidad. Entonces, si deberían existir unos parámetros mínimos para elección y que todos los productos se midan por igual.
P9	Eduardo Acuña Baldeón	Empresa de ingeniería y diseño	Si, para especificar correctamente los usos y limitaciones. En un país tan diverso como el Perú se tiene que detallar las condiciones de uso para una aplicación exitosa de este tipo de materiales.

Nota. Elaboración propia.

3) *Identificación de propiedades mínimas esperadas para un mortero cementicio impermeable:* La tabla 10 resume las respuestas sobre las propiedades mínimas requeridas para garantizar una adecuada impermeabilización. Los expertos coincidieron en un conjunto de características esenciales para el adecuado desempeño del material en reservorios residenciales.

TABLA X
PROPIEDADES MÍNIMAS PARA UN MORTERO CEMENTICIO IMPERMEABLE SEGÚN PERCEPCIÓN DE EXPERTOS

Propiedades	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9
Impermeabilidad	-	Si	-	-	-	-	-	Si	-
Adherencia	-	Si	-	Si	Si	-	-	Si	Si
Resistencia a la compresión	-	-	-	-	-	-	-	Si	-
Resistencia a la abrasión	-	-	-	-	-	-	-	Si	-
Elasticidad / Flexible	-	Si	Si	Si	-	-	Si	Si	-
Puenteo fisura dinámico	-	Si	-	-	Si	-	-	Si	-
Puenteo fisura estático	-	Si	-	-	Si	-	-	Si	-
Resistencia presión positiva de agua	-	Si	-	-	-	Si	-	Si	-
Resistencia presión negativa de agua	-	-	-	-	Si	-	-	-	-
Resistencia química en general	-	-	-	-	No	-	-	-	-
Resistencia químicos de limpieza	-	-	-	-	-	-	Si	-	-
Certificado apto agua potable	-	Si	Si	Si	Si	-	Si	Si	Si

Nota: Elaboración propia.

4) *Identificación de grupos de interés:* La Fig. 1 sintetiza los trece grupos de interés identificados en proyectos de edificación residencial, permitiendo comprender las diversas perspectivas vinculadas a la necesidad de especificaciones técnicas para sistemas de impermeabilización.

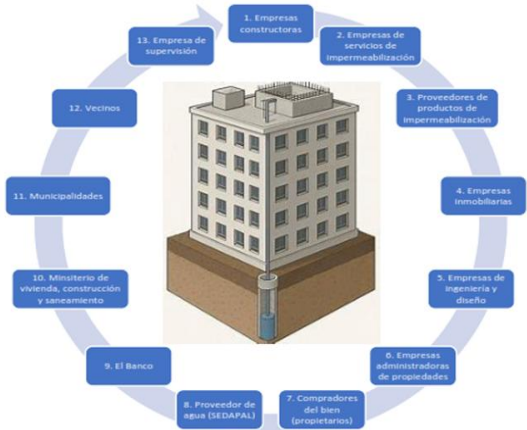


Fig. 1 Identificación de Grupos de interés.
 Nota. Elaboración propia

B. *Fase Empatizar: identificación de necesidades*

La tabla 11 resume las principales necesidades de los grupos de interés relacionados con el uso de morteros cementicios impermeables en reservorios de agua, destacándose la funcionalidad, la durabilidad y la adecuación a las necesidades del usuario.

TABLA XI
MATRIZ DE NECESIDADES POR GRUPO DE INTERÉS

CÓDIGO	GRUPO DE INTERÉS	DESCRIPCIÓN	INTERÉS / NECESIDADES
G1	Comprador del bien (propietario)	Usuario final del sistema de almacenamiento de agua.	Evitar la contaminación del agua. Que la estructura dure más tiempo, es su inversión (predio hidráulico a 20 años). El mortero deberá resistir la desinfección frecuente (cada 6 meses) que se realiza en el reservorio con producto químico EXQUAT-50. Que la estructura nunca falle en el tiempo. Abastecimiento de agua continuo, sin interrupciones por mantenimiento. No hacen mucho conocimiento del tema de impermeabilización. Quieren un producto de buena duración para evitar filtraciones que dañen su propiedad y puedan perder su inversión. Buscan la salubridad de la estructura y tener un reservorio sin problemas, con buena calidad del agua para el consumo humano. Un mal trabajo puede causar afectación al propietario por devaluación de su propiedad o paralización del servicio de agua.
G2	Empresa constructora	Responsable de la ejecución del proyecto.	Evitar reclamos por filtraciones en el reservorio de agua. Impermeabilizar al más bajo precio y cumpliendo los tiempos de garantía (3, 5 o 10 años). Expectativas de durabilidad mínima de 10 años para evitar costos por reparación. Evitar la corrosión de la estructura y la contaminación del agua. Le importa rentabilizar el proyecto. Busca un producto fácil de colocar, de bajo costo y con buena durabilidad (10 a 15 años) para reducir mantenimiento. Sabe que hay una ley que obliga a dar garantía por la estructura (10 años), aunque considera que debería durar más. Buscan ejecutar los proyectos sin reclamos, garantizando calidad mínima de 5 años y respetando el reglamento de construcción. Desean aumentar la durabilidad de la estructura. Tienen interés en una buena impermeabilización porque un mal trabajo significa reclamo o demanda.
G3	Empresa de ingeniería y diseño	Define especificaciones técnicas.	Especificar una buena impermeabilización por imagen y prestigio. Interés en una buena impermeabilización, ya que un mal trabajo es mala imagen y puede significar una demanda.
G4	Empresa inmobiliaria	Gestiona la promoción y venta de viviendas.	Expectativa de durabilidad mínima de 10 años por la imagen de la empresa. Le importa la calidad, la reputación y la gestión positiva. Buscan ejecutar bien los proyectos evitando reclamos, garantizando calidad mínima de 5 años y respetando el reglamento de construcción. Interés en una buena impermeabilización, ya que un mal trabajo afecta la imagen y puede significar una demanda.

Nota. Elaboración propia

C. Fase Definir: formulación del problema central

La tabla 12 sintetiza el procesamiento de las entrevistas vinculadas al problema central: ¿En qué medida la definición de las especificaciones técnicas de un mortero cementicio impermeable impacta en la impermeabilización de los reservorios de agua en edificaciones residenciales del Perú?

TABLA XII
NECESIDADES IDENTIFICADAS POR GRUPO DE INTERÉS

GRUPO DE INTERÉS	NECESIDADES EXPRESADAS (SEGÚN ENTREVISTAS)	NECESIDADES FUERZA DERIVADAS
1. Comprador del bien (propietario)	Evitar contaminación del agua y conservar su calidad potable. Garantizar que la estructura no falle (protección de su inversión). Resistencia del mortero a desinfecciones periódicas con químicos (EXQUAT-50). Abastecimiento continuo de agua sin interrupciones. Producto duradero y de buena calidad. Evitar filtraciones que causen pérdida de valor del inmueble.	• Evitar contaminación del agua potable. • Garantizar durabilidad y estanqueidad del sistema. • Resistencia química a procesos de limpieza y desinfección.
2. Empresa constructora	Evitar reclamos por filtraciones o fallas estructurales. Garantizar durabilidad conforme a ley (mínimo 10 años). Evitar corrosión y contaminación del agua. Utilizar productos fáciles de aplicar y rentables.	• Durabilidad estructural y del sistema impermeable. • Resistencia a la corrosión. • Cumplimiento normativo y de garantía legal.
3. Empresa de ingeniería y diseño	Especificar correctamente la impermeabilización. Evitar fallas de diseño que generen demandas. Preservar la imagen y prestigio profesional.	• Correcta especificación técnica en diseño. • Durabilidad y compatibilidad normativa.
4. Empresa inmobiliaria	Garantizar durabilidad ≥ 10 años por imagen y reputación. Evitar reclamos y demandas posteriores. Cumplir reglamento de construcción y asegurar calidad.	• Durabilidad mínima garantizada. • Cumplimiento de reglamentos técnicos y normativos.
5. Administradores de propiedad	Evitar mantenimientos costosos y cortes de servicio. Durabilidad mínima de 10 años. Evitar daños colaterales en zonas adyacentes (suelo de bombas, losas). Soportar limpieza frecuente con cloro o lejía.	• Durabilidad prolongada sin interrupción del servicio. • Resistencia química a agentes de limpieza. • Conservación estructural.
6. Empresas de impermeabilización	Cumplir con requerimientos del cliente y especificaciones técnicas. Utilizar productos confiables, fáciles de aplicar y rentables.	• Cumplimiento de especificaciones técnicas. • Aplicación práctica y eficiente en instalación.

Nota. Elaboración propia

D. Fase Idear: criterios de diseño técnico

En esta fase participaron tres expertos con experiencia en construcción, tratamiento de agua y formulación química, cuyas especialidades complementarias permitieron un enfoque integral del problema (tabla 13).

TABLA XIII
PERFIL DE LOS EXPERTOS DE LA FASE DE IDEACIÓN

Nombre	Profesión / Grado	Universidad	País	Cargo actual	Empresa actual	Años de experiencia	Especialidad
José Luis Saavedra López	Ingeniero Químico	Universidad Nacional del Callao	Perú	Jefe Comercial	Spena Group	>10 años	Desinfección y tratamiento de agua.
Eiber Víctor Puga Usucachi	Ingeniero Químico, Mg. en Tratamiento de Agua	Universidad Nacional del Callao / Univ. Politécnica de Valencia	Perú	Gerente de Proyectos / Director Ejecutivo	TODO AGUAS S.A.C.	>10 años	Tratamiento y calidad de agua.
Héctor Villanueva Cueva	Egresado en Ingeniería Industrial	Universidad Nacional Federico Villarreal	Perú	Gerente de Operaciones	Química Peruana de Aditivos para la Construcción y Minería S.A.C.	>20 años	Formulación de productos químicos para construcción.

Nota. Elaboración propia (Cuadro elaborado respetando la Ley 29733, Ley de protección de datos personales).

Los aportes técnicos se sintetizan en la tabla 14, integrando criterios sanitarios, de tratamiento de agua y desempeño constructivo. A partir de este análisis, se definieron los criterios técnicos de diseño del mortero cementicio impermeable en tres categorías: funcionalidad, durabilidad y adecuación normativa-sanitaria (tabla 15).

En conjunto, la fase de ideación consolidó un modelo técnico integral, estableciendo propiedades críticas y valores mínimos de desempeño, en coherencia con las necesidades del sector, estándares internacionales y la realidad constructiva nacional.

TABLA XIV
APORTES TÉCNICOS SEGÚN ESPECIALIDAD

Especialista	Especialidad	Aspecto técnico consultado	Principales aportes técnicos	Referencia normativa o técnica sugerida
José Saavedra	Desinfección y tratamiento de agua	Procedimiento de limpieza y desinfección de reservorios de agua potable	- Limpieza y desinfección semestral con hipoclorito de sodio al 5%, a 200 ppm de cloro libre. - Tiempo de contacto mínimo 60 min. - El mortero debe resistir exposición directa a esta solución sin alterarse. - Enjuague con agua limpia y control de cloro residual (0.5-1.0 mg/L).	Decreto Supremo N° 022-2001-SA Superintendencia Nacional de SUNASS DIGESA
Eiber Puga	Tratamiento de agua	Caracterización del agua potable e inocuidad de materiales	- El parámetro químico más relevante es el cloro residual libre (0.5 ppm mínimo), principal agente oxidante. - Los materiales en contacto con agua potable deben contar con certificación NSF/ANSI/CAN 61, exigida por SEDAPAL para obras nuevas. - El mortero impermeable debe garantizar compatibilidad química e inocuidad.	D.S. N° 031-2010-SA - Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. NSF/ANSI/CAN 61.
Héctor Villanueva	Formulación de productos	Propiedades técnicas mínimas y parámetros de aceptación del mortero cementicio impermeable	- Funcionalidad: adhesión ≥1 MPa (EN 1542), impermeabilidad sin filtración (DIN 1048), puenteo de fisuras ≥0.75 mm (EN 14891). - Durabilidad: resistencia a presión positiva 5 bar / negativa 3 bar; resistencia a la abrasión <1000 mg (EN ISO 5470-1); resistencia química a agua potable (EN 13529). - Adecuación normativa: certificación NSF/ANSI/CAN 61, durabilidad ≥10 años.	EN 1542, DIN 1048, EN 14891, EN 13529, EN ISO 5470-1, NSF/ANSI/CAN 61.

Nota: Elaboración propia a partir de entrevistas realizadas.

TABLA XV
SÍNTESIS DE NECESIDADES FUERZA SEGÚN CATEGORÍAS
TÉCNICAS DEL DISEÑO DEL MORTERO IMPERMEABLE

Categoría técnica	Necesidades fuerza identificadas	Propiedades o parámetros técnicos derivados	Valores o requisitos de aceptación propuestos	Norma o referencia técnica
Funcionalidad	- Evitar filtraciones y contaminación del agua. - Buena especificación técnica en diseño. - Impermeabilización efectiva sin fallas colaterales.	- Adhesión por tracción al concreto. - Impermeabilidad al agua a presión. - Alargamiento a la rotura. - Punteo de fisuras ($\pm 23^{\circ}\text{C}$ y -5°C).	- Adhesión $\geq 1.0\text{ MPa}$. - Impermeabilidad: sin penetración de agua ($1.5\text{ bar} / 7\text{ días}$) y ganancia de masa $\leq 20\text{ g}$. - Alargamiento $\geq 100\%$. - Punteo de fisuras $\geq 0.75\text{ mm}$ a $+23^{\circ}\text{C}$ y $\geq 0.75\text{ mm}$ a -5°C .	EN 1542:1999 EN 14891:2017 (Secc. A.7, A.8.2, A.8.3) DIN 53504:2017 (Adaptado)
	- Durabilidad estructural ≥ 10 años. - Resistencia a presiones positivas y negativas. - Resistencia química al agua potable y agentes de limpieza. - Protección contra corrosión.	- Resistencia a presión positiva de agua. - Resistencia a presión negativa de agua. - Resistencia química al agua potable. - Resistencia química a productos de limpieza.	- Resistencia a presión positiva: sin penetración a $5\text{ bar} / 72\text{ h}$. - Resistencia a presión negativa: sin filtraciones visibles a $3\text{ bar} / 72\text{ h}$. - Resistencia a la abrasión: pérdida de masa $< 1000\text{ mg}$ (rueda H22, 1000 g , 1000 ciclos). - Resistencia química al agua potable: sin deterioro visible tras inmersión permanente por 12 meses (5°C y 30°C). - Resistencia al hipoclorito de sodio (200 ppm @ 1 h , 20°C): sin deterioro visible.	DIN 1048:1991 (Método adaptado) EN ISO 5470-1 / EN 1504-2:2004 EN 13529:2005
Adecuación normativa y sanitaria	- Certificación sanitaria para contacto con agua potable. - Cumplimiento de normas del MVCS y reglamentos nacionales. - Garantía estructural mínima de 10 años.	- Certificación sanitaria. - Durabilidad garantizada. - Cumplimiento con normas peruanas y reglamentos vigentes.	- Cumple con NSF/ANSI CAN 61. - Conformidad con D.S. N° 031-2010-SA y Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). - Durabilidad ≥ 10 años antes del primer mantenimiento.	NSF/ANSI CAN 61 D.S. N° 031-2010-SA MVCS – RNE vigente

Nota: Elaboración propia a partir de entrevistas realizadas.

E. Fase Prototipar: validación de especificaciones (Likert)

En esta fase se integraron las etapas de empatizar, definir e idear para formular un prototipo funcional de especificación técnica del mortero cementicio impermeable para reservorios de agua potable en edificaciones residenciales.

El prototipo consistió en un documento técnico preliminar validado mediante juicio de expertos con escala de Likert (1–5), evaluando pertinencia, suficiencia y claridad, y sustentado en las normas de las referencias [10] [11] [12] [13] [16] [18] y [27]. Los parámetros se agruparon en funcionalidad, durabilidad y adecuación a las necesidades (tabla 16).

TABLA XVI
PROTOTIPO DE ESPECIFICACIÓN TÉCNICA

Criterio	Propiedad / Ensayo	Norma de Referencia	Valor Técnico Propuesto	Escala de Validación (1–5)
FUNCIONALIDAD	Adhesión por tracción al concreto (MPa)	EN 1542:1999	$\geq 1.0\text{ MPa}$	C1 C2 C3 C4 C5
	Impermeabilidad al agua a presión (1.50 bar @ 7 días)	EN 14891:2017, Sección A.7	Ninguna penetración. Ganancia de masa $\leq 20\text{ g}$	C1 C2 C3 C4 C5
	Alargamiento a la rotura (%)	DIN 53504:2017	$\geq 100\%$	C1 C2 C3 C4 C5
	Punteo de fisuras @ $+23^{\circ}\text{C}$	EN 14891:2017, A.8.2	$\leq 0.75\text{ mm}$	C1 C2 C3 C4 C5
	Punteo de fisuras @ -5°C	EN 14891:2017, A.8.3	$\leq 0.75\text{ mm}$	C1 C2 C3 C4 C5
DURABILIDAD	Resistencia a presión positiva (5 bar @ 72 h)	DIN 1048:1991	Ninguna penetración	C1 C2 C3 C4 C5
	Resistencia a presión negativa (3 bar @ 72 h)	DIN 1048:1991 (Método adaptado)	Sin filtraciones visibles	C1 C2 C3 C4 C5
	Resistencia a la abrasión (H22, 1000 g , 1000 ciclos)	EN 1504-2:2004 / EN ISO 5470-1	$\leq 1000\text{ mg}$ pérdida masa	C1 C2 C3 C4 C5
	Resistencia química al agua potable (5°C y 30°C , 12 meses)	EN 13529:2005	Deterioro no visible	C1 C2 C3 C4 C5
	Resistencia química a productos de limpieza (5°C y 30°C , 3 días)	EN 13529:2005	Deterioro no visible	C1 C2 C3 C4 C5
	Certificado para contacto directo con agua potable	NSF/ANSI CAN 61	Apto	C1 C2 C3 C4 C5
ADECUACIÓN A LAS NECESIDADES	Durabilidad (años)	El fabricante deberá sustentar bajo qué metodologías de ensayo calcula la expectativa de durabilidad	$\geq 10\text{ años}$	C1 C2 C3 C4 C5

Nota: Elaboración propia

Para la validación del prototipo participaron tres expertos, cuyo perfil se presenta en la tabla 17.

TABLA XVII
PERFIL DEL EVALUADOR EXPERTO

Especialista	Profesión	Universidad	Cargo actual	Experiencia profesional	Años de experiencia	Especialidad
Abel Fernando Vergara Sotomayor	Ingeniero Químico	Universidad Nacional de Ingeniería	Docente FIQT – UNI	Experiencia en corrosión de materiales, jefe de planta en producción de pinturas industriales (GRATRY PERÚ S.A.), asesor técnico en aplicación de recubrimientos industriales.	40 años	Especialista en corrosión de materiales y recubrimientos industriales
Rosa María Bravo Luna Victoria	Ing. Industrial	Universidad Privada del Norte	Jefe de Ingeniería y Soporte Técnico – MC Bauchemie Perú	• 5 años en Sika Perú – Ingeniería de Producto TM Waterproofing • 2 años en Mapei Perú – Área de impermeabilización • 1 año en Pires Giovanetti – Aplicadores de sistemas de impermeabilización • 1 año en MC Bauchemie Perú – Jefe de Ingeniería y Soporte Técnico	9 años	Impermeabilización y sistemas de protección superficial
Christian Alexis Vera Altoche	Ing. Civil	Universidad Ricardo Palma	Gerente General – MC Bauchemie Perú	17 años en la industria de la construcción, asesorando proyectos de infraestructura y minería	17 años	Construcción e impermeabilización

Nota: Elaboración propia. (Cuadro elaborado respetando la Ley 29733: Ley de protección de datos personales)

TABLA XVIII
VALIDACIÓN TÉCNICA DEL PROTOTIPO DE ESPECIFICACIONES
TÉCNICAS POR JUICIO DE EXPERTOS

Criterio	Propiedad / Ensayo	Abel F.	Rosa M.	Christian A.	Promedio	Nivel de validación
FUNCIONALIDAD	Adhesión por tracción al concreto (MPa)	5	5	5	5.0	Muy alta
	Impermeabilidad al agua a presión (1.50 bar @ 7 días)	5	5	5	5.0	Muy alta
	Alargamiento a la rotura (%)	5	5	5	5.0	Muy alta
	Punteo de fisuras @ $+23^{\circ}\text{C}$	4	5	4	4.3	Alta
	Punteo de fisuras @ -5°C	4	4	3	3.7	Alta
DURABILIDAD	Resistencia a presión positiva (5 bar @ 72 h)	5	5	3	4.3	Alta
	Resistencia a presión negativa (3 bar @ 72 h)	5	4	4	4.3	Alta
	Resistencia a la abrasión (H22, 1000 g , 1000 ciclos)	5	5	5	5.0	Muy alta
	Resistencia química al agua potable (5°C y 30°C , 12 meses)	5	5	5	5.0	Muy alta
	Resistencia química a productos de limpieza (5°C y 30°C , 3 días)	5	5	5	5.0	Muy alta
ADECUACIÓN A LAS NECESIDADES	Certificado para contacto directo con agua potable	5	5	4	4.7	Muy alta
	Durabilidad (años)	5	5	5	5.0	Muy alta
PROMEDIO GENERAL		-	-	-	4.7	Muy alta

Nota: elaboración propia.

La tabla 18 muestra un promedio general de 4.7, correspondiente a un nivel de validación muy alto según la escala Likert. Las mayores valoraciones se obtuvieron en adhesión, impermeabilidad, resistencia química y sostenibilidad ambiental; se observaron leves variaciones en punteo de fisuras y resistencia a presión negativa, manteniendo validación alta (≥ 4.0).

F. Fase Testear: juicio de expertos

La tabla 19 presenta los resultados de la evaluación técnica del prototipo, orientada a determinar su claridad, pertinencia, factibilidad y aceptación profesional.

TABLA XIX
FICHA DE EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DEL PROTOTIPO

Dimensión	Item de evaluación	Abel Vergara	Christian Vera	Rosa M. Bravo	Promedio
Claridad y comprensión	1. El contenido del prototipo es claro y comprensible.	5	5	5	5.0
	2. Los criterios técnicos están definidos con precisión.	5	5	5	5.0
	3. Las especificaciones responden a las necesidades del sector.	5	5	4	4.7
Pertinencia y utilidad	4. El prototipo es pertinente para resolver problemas de impermeabilización.	5	5	5	5.0
	5. La información presentada resulta útil para la toma de decisiones técnicas.	5	5	5	5.0
	6. La implementación de estas especificaciones es factible.	5	5	5	5.0
Factibilidad de aplicación	7. El prototipo puede aplicarse sin requerir modificaciones sustanciales.	4	5	5	4.7
	8. El cumplimiento de las especificaciones es viable con los recursos disponibles.	5	5	5	5.0
	9. El prototipo es aceptable para empresas y proveedores.	5	5	5	5.0
Aceptación y transferibilidad	10. El modelo puede ser transferido y replicado en otras situaciones similares.	5	5	5	5.0
	Promedio General				4.95

Nota: Elaboración propia

Los resultados evidencian un promedio general de 4.95, equivalente a una aceptación muy alta del prototipo. La claridad y comprensión alcanzaron 5, confirmando un contenido claro y preciso. La pertinencia y utilidad y la factibilidad de aplicación registraron 4.9, lo que valida su adecuación al sector, con ajustes menores posibles. La aceptación y transferibilidad obtuvo 5.0, reflejando alta valoración profesional. En conjunto, se confirma la alta viabilidad técnica, pertinencia y aplicabilidad del prototipo como herramienta estándar para proyectos de impermeabilización con morteros cementicios.

G. Fase experimental (laboratorio)

Para verificar la pertinencia y aplicabilidad práctica de la especificación técnica de morteros cementicios impermeabilizantes para reservorios residenciales, se desarrolló una fase experimental en dos etapas: comparación documental y ensayos de laboratorio.

H. Comparación documental

Se realizó una revisión comparativa de las especificaciones técnicas en línea de nueve productos impermeabilizantes cementicios disponibles en el mercado peruano. El análisis mostró insuficiente detalle de los procedimientos de ensayo en todas las fichas técnicas, dificultando la selección objetiva por proyectistas, supervisores y entidades reguladoras. La tabla 20 presenta la comparación documental.

TABLA XX
COMPARACIÓN DOCUMENTAL DE PRODUCTOS IMPERMEABILIZANTES CEMENTICIOS EN EL MERCADO

PROPIEDADES	ESPECIFICACIÓN TÉCNICA		PER IMPERMELAS TIC 1C		CEMENTICIO Z		Z TOP IMPERMEABLE	
	Norma	Valor	Norma	Valor	Norma	Valor	Norma	Valor
Adhesión por tracción al concreto (MPa)	EN 1542:1999	≥ 1.0 MPa	No detalla	EN 1504-2:2004	≥ 1.50 MPa	No detalla	No detalla	No detalla
Impermeabilidad al agua a presión (1.50 barra @7días)	EN 14891:2017 A.7	Ninguna penetración	No detalla	EN 1504-2:2004	≤ 0.1 Kg/m ² -h ^{0.5}	No detalla	No detalla	No detalla
Alargamiento a la rotura (%)	DIN 53504:2017	≥ 100%	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla
Puentes de fisuras (@ +23°C)	EN 14891 A.8.2	≤ 0.75 mm	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla
Puentes de fisuras (@ -5°C)	EN 14891 A.8.3	≤ 0.75 mm	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla
Resistencia a presión positiva de agua (3 bar @72 horas)	DIN 1048:1991	Ninguna penetración	No detalla	DIN 1048-7.6	70 m.c.a.	No detalla	No detalla	No detalla
Resistencia a presión negativa de agua (3 bar @72 horas)	DIN 1048:1991 (adaptado)	Sin filtración viable	No detalla	DIN 1048-7.6	30 m.c.a.	No detalla	No detalla	No detalla
Resistencia a la abrasión (Pueda H22, 1000g carga, 1000 ciclos) EN 1504-2:2004	EN ISO 5470-1	≤ 1000 mg	No detalla	EN 1504-2:2004	≤ 3000 mg	No detalla	No detalla	No detalla
Resistencia química Al agua potable, según D.S. N°031-2010-SA Inmersión total permanente por 12 meses @5°C Inmersión total permanente por 12 meses @30°C	EN 13529:2005	Delictorio no viable	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla
Resistencia química a la limpieza y desinfección Hipoclorito de sodio en solución a una concentración de cloro residual de 200ppm Condición: inmersión total permanente por 1 hora @20°C	EN 13529:2005	Delictorio no viable	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla
Certificado para contacto directo con agua potable	NSF/ANSI/CAN 61	Apto	No detalla	NSF 110:2003	Apto	No detalla	No detalla	No detalla
Durabilidad (años)	No definido	≥ 10 años	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla	No detalla

Nota: información obtenida en la revisión de guías de uso de cada producto

I. Ensayos de laboratorio

Se ejecutó el ensayo de adhesión por tracción (Pull-off) según ASTM C1583 en seis productos, con tres mediciones por material y registro del promedio; los resultados se muestran en la tabla 21.

TABLA XXI
ENSAYO DE ADHESIÓN POR TRACCIÓN (ASTM C1583)

PRODUCTO	Disco 1 (N/mm ²)	Disco 2 (N/mm ²)	Disco 3 (N/mm ²)	Promedio (N/mm ²)	Modo de falla predominante
QP LASTIC 1K	1.16	1.13	1.41	1.23	Cohesión del concreto y mortero
Z TOP IMPERMEABLE	1.20	1.35	1.43	1.33	Cohesión del concreto y mortero
CEMENTICIO Z GRIS	1.58	1.51	1.44	1.51	Cohesión del concreto
SIKATOP 107 SEAL	2.64	2.51	2.65	2.60	Cohesión del concreto y mortero
SIKATOP LASTIC	0.98	0.73	0.98	0.90	Cohesión del concreto
MAPELASTIC SMART	0.98	0.88	0.87	0.91	Cohesión del concreto

Nota. Informe de Ensayo de Adhesión por tracción, según norma ASTM C1583

La tabla 22 resume los tipos de falla, predominando la cohesión del sustrato de concreto, lo que indica adecuada adherencia en la mayoría de los casos. El mayor valor correspondió a SikaTop 107 Seal (2.60 MPa); entre los flexibles destacó QP Lastic 1K (1.23 MPa). SikaTop Lastic (0.90 MPa) y Mapelastic Smart (0.91 MPa) presentaron valores inferiores a 1 MPa. Estos resultados permitieron una comparación objetiva frente al valor mínimo propuesto.

TABLA XXI
COMPARACIÓN CON EL VALOR MÍNIMO PROPUESTO EN LA
ESPECIFICACIÓN TÉCNICA (≥ 1.0 MPA)

PRODUCTO	Adhesión (MPa)	¿Supera ≥ 1.0 MPa?
QP LASTIC 1K	1.23	Si
Z TOP IMPERMEABLE	1.33	Si
CEMENTICIO Z GRIS	1.51	Si
SIKATOP 107 SEAL	2.60	Si
SIKATOP LASTIC	0.90	No
MAPELASTIC SMART	0.91	No

Nota. Informe de Ensayo de Adhesión por tracción, según norma ASTM C1583

VII. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

- La fase de ideación evidenció coherencia entre las necesidades identificadas y los parámetros técnicos propuestos. La adhesión, impermeabilidad, resistencia química y durabilidad se consolidaron como propiedades clave, traduciendo criterios cualitativos en requisitos cuantificables.
- La validación mediante escala de Likert (1–5) mostró alta claridad, pertinencia y aplicabilidad, con un promedio cercano a 4.7/5.
- Las menores valoraciones se asociaron a flexibilidad y desempeño mecánico (puenteo de fisuras, resistencia a presión positiva y negativa y abrasión), sugiriendo ajustes menores; aun así, el prototipo fue considerado claro y aplicable.
- La metodología aseguró trazabilidad normativa y técnica, favoreciendo su adopción en proyectos hidráulicos y sanitarios.
- Los ensayos mostraron variabilidad de desempeño: algunos morteros flexibles alcanzaron el umbral mínimo (≥ 1.0 MPa), mientras otros sin declaración de flexibilidad lo superaron ampliamente, destacando SikaTop 107 Seal, evidenciando falta de uniformidad técnica en la denominación comercial.
- La comparación documental y experimental confirma que el prototipo es una herramienta clara y útil para mejorar decisiones técnicas y promover productos más consistentes y seguros en el mercado peruano.
- El Design Thinking integró eficazmente evidencia cualitativa y cuantitativa, demostrando su utilidad en la formulación de especificaciones técnicas innovadoras en ingeniería de materiales.

VIII. CONCLUSIONES

- La etapa de empatizar confirmó una necesidad real: los nueve participantes coincidieron en la ausencia de una especificación técnica clara para morteros cementicios impermeables en el Perú.
- Las propiedades mínimas propuestas fueron incorporadas en el prototipo final, validando su coherencia; solo se excluyó la resistencia a la compresión.

- La ideación permitió identificar nuevos grupos de interés (supervisión, entidades públicas, proveedores de agua), ampliando la visión del problema.
- Se evidenció preferencia por morteros flexibles con capacidad de puenteo de fisuras frente a morteros rígidos.
- La seguridad sanitaria fue prioritaria, destacándose productos certificados para contacto con agua potable y con durabilidad mínima de 10 años (NSF ANSI CAN 61).
- La validación alcanzó puntuaciones muy altas (4.7/5.0 y 4.95/5.0), confirmando viabilidad técnica y aplicabilidad.
- Se constató una deficiencia recurrente en las hojas técnicas, carentes de parámetros completos y valores mínimos verificables.
- Los ensayos confirmaron alta variabilidad de desempeño, reforzando la necesidad de criterios mínimos estandarizados.

IX. RECOMENDACIONES

La metodología Design Thinking demostró eficacia para integrar perspectivas técnicas y puede reutilizarse para refinar el prototipo. Se recomienda:

- Ampliar la validación con nuevos actores y contextos.
- Involucrar profesionales multidisciplinarios desde etapas tempranas.
- Ajustar referencias normativas internacionales a la realidad del mercado peruano, priorizando normas ASTM frente a EN.

Aplicaciones prácticas del estudio:

- Incorporación en especificaciones técnicas y planos.
- Uso en contratos de suministro.
- Base para una futura Norma Técnica Peruana o reglamento sectorial.
- Definición de estándares mínimos de calidad para fabricantes.
- Herramienta de evaluación para empresas de supervisión.

Recomendaciones para futuras investigaciones:

- Desarrollar ensayos acelerados que garanticen una durabilidad mínima de 10 años.
- Ampliar la muestra de especialistas y productos.
- Analizar comparativamente la adaptación de normas ASTM y EN al contexto peruano.
- Explorar certificaciones adicionales, desempeño en condiciones extremas y optimización de métodos de aplicación.

REFERENCIAS

- [1] E. Han, ¿Qué es el Design Thinking y por qué es importante? Harvard Business School Online. 2022. <https://online.hbs.edu/blog/post/what-is-design-thinking>
- [2] T. Brown, Design Thinking. Harvard Business Review, 11. 2008.
- [3] T. F. Pereira da Silva, and J. P. Coelho Marques, "Human-Centered Design for Collaborative Innovation in Knowledge-based Economies," Technology Innovation Management Review, vol.10 (n9), pp. 5-15. September 2020. 10.22215/timreview/1385
- [4] M. Kouprie, and F. S. Visser, "A framework for empathy in design: Stepping into and out of the user's life," Journal of Engineering Design, vol 20(5), pp.437-448, 2009. <https://doi.org/10.1080/09544820902875033>

- [5] R. Vilanou, Design Thinking: Qué es, fases y beneficios. DOONAMIS. 2022. <https://www.doonamis.com/design-thinking-que-es-fases-y-beneficios/>
- [6] D. Abich, R., Parizi, and S. Marczak, "Fostering Collaboration through Design Thinking: A Study among Software Engineering Students," Anais do XXXVIII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (SBES 2024), pp. 532-542. (2024). <https://doi.org/10.5753/sbes.2024.3544>
- [7] J. Quinde, Design Thinking: Definir e idear. Universidad de Piura. 2022. <https://www.udpe.edu.pe/hoy/2022/08/design-thinking-definir-e-idear/>
- [8] A. Bartolo Hernández, "Design Thinking como Metodología Aplicada," Campus Educación Revista Digital Docente, n 34, pp. 41-48, Junio 2024. <https://www.campuseducacion.com/blog/revista-digital-docente/publicado-no34-de-campus-educacion-revista-digital-docente/>
- [9] P.K. Mehta, and P.J.M. Monteiro, Concreto: Microestructura, propiedades y materiales, 4^o Ed., McGraw-Hill Education. 2014. <https://www.studocu.com/pe/document/universidad-andina-nestor-caceres-velasquez/mecanica-de-suelos-concreto-y-asfalto/concreto-estructura-propiedades-y-materiales-libro-metha-ingels/31023817>
- [10] Asociación Española de Normalización y Certificación [AENOR], 2000. UNE-EN 1542:1999. Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de hormigón. Métodos de ensayo. Medida de la adherencia por tracción. Asociación Española de Normalización. <https://es.scribd.com/document/713984131/UNE-En-1542-Determinacion-de-La-Adhesion-Par-Traccion-Directa>
- [11] Asociación Española de Normalización [UNE]. (2017). UNE-EN 14891:2017. Membranas líquidas de impermeabilización para su uso bajo baldosas cerámicas colocadas con adhesivo. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0059293>
- [12] Deutsches Institut für Normung [DIN]. DIN 53504:2017-03. Testing of rubber — Determination of tensile strength at break, tensile stress at yield, elongation at break and stress values in a tensile test, 2017. <https://es.scribd.com/document/801692524/DIN-53504-2017f>
- [13] Deutsches Institut für Normung [DIN]. DIN 1048-5:1991. Testing of hardened concrete- Water permeability. 1991 <https://es.scribd.com/document/418694693/330590102-DIN1048-Part-5-pdf>
- [14] European Committee for Standardization. EN ISO 5470-1:1999. Rubber- or plastics-coated fabrics — Determination of abrasion resistance — Part 1: Taber abrader. Brussels: CEN. 1999. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0022216>
- [15] Decreto Supremo No 031-2010-SA. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Ministerio de Salud del Perú. 2010. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/244805-031-2010-sa>
- [16] European Committee for Standardization. EN 13529:2005. Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of resistance to chemical attack. Brussels: CEN. 2005. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0033852>
- [17] Decreto Supremo N.º 022-2001-SA: Reglamento Sanitario para las actividades de Saneamiento Ambiental en Viviendas y Establecimientos Comerciales, Industriales y de Servicios. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú. Ministerio de Salud del Perú. 2001. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/255649-022->
- [18] NSF International. NSF/ANSI/CAN 61: Componentes de los sistemas de agua potable — Efectos sobre la salud. 2024. <https://www.nsf.org/knowledge-library/nsf-ansi-standard-61-drinking-water-system-components-health-effects>
- [19] Norma Técnica de edificación. E.060 Concreto Armado. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. 2009. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto-armado-sencico.pdf>
- [20] Norma Técnica E.070 Albañilería. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. Norma 2006. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.070-alba-ileria-sencico.pdf>
- [21] Norma Técnica Peruana. NTP 399.610. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. 2003. <https://es.scribd.com/document/371812171/NTP-399-610-Mortero-Gral-C270>
- [22] Congreso de la República. (2017). Ley que modifica los artículos 76, 77 y 80 de la ley 29571, Código de protección y defensa del consumidor, para fortalecer la protección del consumidor de bienes y servicios inmobiliarios. <https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/1472086-1>.
- [23] Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. Limpieza y desinfección de tanques y cisternas de agua potable. Lima, Perú. 2025. <https://www.gob.pe/institucion/sunass/noticias/1256700-sunass-recomienda-limpieza-semestral-de-tanques-y-cisternas-para-tener-agua-segura-en-casa>
- [24] Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria [DIGESA] – Ministerio de Salud del Perú. Recomendaciones para la limpieza y desinfección de depósitos de agua potable. Lima, Perú. 2010. https://www.digesa.minsa.gob.pe/material_educativo/poblacion/agua_segura.as.p
- [25] Comité Europeo de Normalización [CEN] (2004). EN 1504-2:2004 Productos y sistemas para la protección y reparación de estructuras de concreto — Parte 2: Sistemas de protección de superficie para concreto (BS EN 1504-2:2004). Bruselas: CEN. Disponible de: <https://nobelcert.com/DataFiles/FreeUpload/EN%201504-2-2004.pdf>
- [26] Two-component aliphatic elastic polyaspartic finish resistant to wear and UV rays (EN 1504-2) [Ficha técnica / DoP]. Mapei S.p.A. Mapefloor Finish 451. 2019. https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider50/products-documents/1_2180-mapefloorfinish451-gb_bb6afb0955ee40eabede4b1ba1740a44.pdf?sfvrsn=226d0835_0
- [27] Protection and repair of concrete in compliance with European Standard EN 1504 [Technical manual]. Mapei SpA. 2011. https://cdnmedia.mapei.com/docs/librariesprovider2/lines-technical-documentation/lines-technical-document-en1504-guide-to-protection-and-repair-of-concrete-en.pdf?sfvrsn=6dc421_6
- [28] A.S. Acosta, and A. Aguirre, Eficiencia de recubrimientos químicos en la resistencia a la compresión y permeabilidad de un concreto para estructuras hidráulicas, Trujillo, 2022
- [29] C. Huatay, and J. Olivares, Análisis de las patologías del concreto en 10 reservorios de sistemas de agua potable del C.P. Combayo – Encañada, Cajamarca, 2023 <https://repositorio.upn.edu.pe/item/afc8e6c7-8624-46d8-b48a-f3265144918f>
- [30] G.A. Mendoza, and L.J. Ramírez, Influencia de aditivo impermeabilizante en concreto f'c 280 kg/cm² para la construcción de reservorios—El Porvenir, Trujillo 2024. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/146555>.
- [31] E. Acuña, and M.L. Ambicho, Mejora de la impermeabilización superficial en reservorios de agua potable en obras de Sedapal en Lima mediante tecnología de cristalización. 2025. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/685584/Acu%20c3%b1a_BE.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [32] J.A. Zorrilla, Propuesta de implementación de la metodología de innovación Design Thinking en la gestión de proyectos del sector construcción durante la etapa de diseño. 2022 <http://hdl.handle.net/20500.12404/2411>
- [33] S. Salazar, and J.M. Pérez, Aplicación de Design Thinking para el diseño de una herramienta prototipo para optimizar el proceso de elaboración y emisión de requerimientos de obra, 2022. <http://hdl.handle.net/10757/667736>
- [34] N.Z. Muhammad, A. Keyvanfar, M.Z. Majid, A. Shafaghath, and J. Mirza, "Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches," Construction and Building Materials, n 101, pp. 80-90, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.048>
- [35] I.C. Tique, N.F. Gaitán, and E.A. Barriga, Diseño preliminar de impermeabilización en edificaciones para el futuro desarrollo de un manual técnico. 2015 <https://repositorio.ugc.edu.co/server/api/core/bitstreams/670d3d3b-631e-4258-ab2d-90fe525de4de/content>
- [36] B. Llamas, M. Ortega, F. Barrio-Parra, M. J. García-Martínez, D. Bolonio, Y. Sánchez Palencia, M. Izquierdo Díaz, and Á. Cámara, Proyecto MINENERGYDESIGN: Modelo de aplicación de la metodología Design Thinking en el aprendizaje en la gestión de proyectos de ingeniería. Madrid, España, pp.39-43, Octubre 2019. <https://doi.org/10.26754/CINAIC.2019.0008>