



Facultad de Ingeniería
Escuela de Construcción Civil

**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE MORTERO DE
REVESTIMIENTO CON ADICIÓN DE COBRE PARA LA
OBTENCIÓN DE PROPIEDADES FUNGICIDAS**

Por

Miguel Ángel Fernández Aguilera

Tesis para optar al
Grado de Licenciado en Ciencias de la Construcción
Y al Título de Ingeniero Constructor

Prof. Guía: Dra. Patricia Martínez Ramírez

Noviembre, 2019

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar a mi madre Marta Aguilera y padre Miguel Fernández. A mis hermanos Jorge y Orlando, a mi familia por el gran apoyo durante este proceso que hoy culmina, por entregarme las herramientas para lograr esta tan ansiada meta. Gracias por la paciencia y amor entregado en los momentos más difíciles. Los amo.

A Patricia López por sus palabras de aliento cuando las necesité, por el apoyo, amor y seguridad entregada siempre. Gracias por la paciencia en los periodos más complejos de esta etapa.

A mis amigos, Diego, Sebastián, Nicolás, María Jesús, Yerko y Bayron por los buenos momentos, por las risas, por los asados y cada anécdota ocurrida. Fueron parte importante de este proceso.

Así también, agradecer a los profesores de la Universidad de Valparaíso, principalmente a mi profesora guía Dra. Patricia Martínez, por su orientación, dedicación y corrección de esta investigación.

Al personal del laboratorio de materiales de nuestra escuela, Don Victor Escudero y Manuel Ortíz por la guía, apoyo y consejos en la ejecución de los ensayos realizados.

A Empe y Fabi, por su amabilidad y disposición para ayudarnos desinteresadamente en cada momento.

Índice

AGRADECIMIENTOS.....	2
Índice de Tablas	6
Índice de Figuras.....	7
Resumen.....	9
1 ANTECEDENTES GENERALES.....	10
1.1 Planteamiento del Problema.....	10
1.2 Objetivos	13
1.2.1 Objetivo General.....	13
1.2.2 Objetivos específicos.....	13
1.3 Alcances	13
1.2.1 De los materiales	13
1.2.2 De las dependencias.....	13
1.4 Hipótesis.....	14
2 ANTECEDENTES TEÓRICOS	15
2.1 Generalidades.....	15
2.2 El mortero.....	15
2.2.1 Propiedades del mortero (Según NCh 2256/1:2013).....	16
2.2.2 Principales causas de deterioro del material.....	17
2.2.3 Morteros con propiedades antimicrobianas.....	17
2.3 El cobre	25
2.3.1 Propiedades y características del cobre	26
2.3.2 Aplicaciones antibacteriales y fungicidas del cobre.....	27
2.4 Los hongos	32
2.4.1 Principales hongos presentes en Hospitales	32
2.5 Carbonatación del mortero	34

3	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
3.1	Programa experimental	36
3.2	Materiales.....	38
3.2.1	Cemento.....	38
3.2.2	Árido.....	38
3.2.3	Agua.....	39
3.2.4	Cobre	39
3.3	Equipos y Procedimientos.....	39
3.3.1	Toma de muestras.....	39
3.3.2	Picado del cobre.....	40
3.3.3	Densidad real	40
3.3.4	Tamizado y determinación de la granulometría	43
3.3.5	Determinación de la Densidad Aparente.....	45
3.3.6	Diseño del Mortero.....	47
3.3.7	Mortero de cemento con incorporación de cobre.....	50
3.3.8	Carbonatación de probetas.....	54
3.3.9	Estudio a nivel de laboratorio de microorganismos	56
3.3.10	Factorial de ensayo de la investigación	57
4	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	59
4.1	Caracterización de los áridos.....	60
4.2	Ensayos en estado fresco.....	62
4.2.1	Consistencia.....	62
4.2.2	Retentividad.....	63
4.3	Ensayos en Estado Endurecido	65
4.3.1	Ensayo de Adherencia	65
4.3.2	Ensayo de Flexión	66
4.3.4	Densidad del mortero con reemplazo de cobre	70
4.4	Carbonatación de Probetas.....	72
4.5	Inoculación en Probetas de Mortero.....	73

5	CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES.....	78
5.1	Caracterización del mortero según resultados de ensayos	78
5.2	Conclusiones	78
5.3	Futuras Investigaciones	79
	REFERENCIAS.....	80
	ANEXOS.....	84

Índice de Tablas

Tabla 2.1: Dosificación propuesta en la investigación de Vishwakarma et al. (2016).....	18
Tabla 2.2: Densidades de microorganismos en las probetas de mortero en agua de mar.....	19
Tabla 2.3: Composiciones de mortero de cemento, Kg/m ³	20
Tabla 2.4: Dosificación de las probetas de mortero en peso.....	24
Tabla 3.1: Características físicas y químicas del cemento BIO-BIO, grado corriente.	38
Tabla 3.2: Bandas granulométricas para árido fino.	45
Tabla 3.3: Criterio de fluidez de morteros.	48
Tabla 3.4: Dosis de agua y aire para.....	48
Tabla 3.5: Dosificación de mortero con sustitución de cobre.....	50
Tabla 3.6: Clasificación del mortero por consistencia.....	51
Tabla 3.7: Factorial de ensayo de la investigación.	58
Tabla 4.1: Propiedades físicas de la arena	61
Tabla 4.2: Propiedades físicas del cobre.....	61
Tabla 4.3: Resultado ensayo de consistencia.....	62
Tabla 4.4: Resumen ensayo de flexión mortero.....	67
Tabla 4.5: Ensayo de Compresión de Mortero	68
Tabla 4.6: Resultados Ensayo de densidad.....	71
Tabla A.1: Granulometría de la Arena.....	84
Tabla A.2: Granulometría del cobre	84
Tabla A.3: Cálculo de la densidad aparente suelta de la arena.....	85
Tabla A.4: Cálculo de la densidad aparente compactada de la arena	85
Tabla A.5: Cálculo de la densidad aparente suelta del cobre	85
Tabla A.6: Cálculo de la densidad aparente compactada del cobre.....	86
Tabla A.7: Resultados Ensayo de Flexión	86
Tabla A.8: Resultados Ensayo de Compresión.....	86

Índice de Figuras

Figura 2.1: Actividad antibacteriana en muestra de mortero con dióxido de sílice y dióxido de titanio (Sikora et al., 2017).....	22
Figura 2.2: Actividad antibacteriana en muestra de mortero P25 (Sikora et al., 2017).....	22
Figura 2.3: Actividad antibacteriana en muestra de mortero de referencia sin adición de nanopartículas (Sikora et al., 2017).	23
Figura 2.4: Reducción de carga microbiana en superficies de cobre (Prado et al., 2012)....	27
Figura 2.5: Adherencia de <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i> y <i>Acinetobacter baumannii</i> a las placas de cobre y acero inoxidable (Prado et al., 2013).	28
Figura 2.6: Adherencia de <i>Pseudomonas aeruginosa</i> a placas de cobre y acero inoxidable (Prado et al., 2013).....	29
Figura 2.7: Concentración fúngica y bacteriana en los intercambiadores de calor (Schmidt et al., 2012).	31
Figura 3.1: Esquema metodológico	37
Figura 3.2: Matraz con muestra de cobre y agua.....	41
Figura 3.3: Cobre en estado saturado superficialmente seco.....	41
Figura 3.4: Bandas granulométricas para árido fino.....	44
Figura 3.5: Árido fino tamizado.....	44
Figura 3.6: Medición de agua de exudación del mortero.....	52
Figura 3.7: Equipo de tracción directa, para adherencia de mortero	53
Figura 3.8: Pastelón de hormigón con morteros adheridos.....	53
Figura 3.9: Desecadora hermética con probetas de mortero atacadas con CO ₂	56
Figura 4.1: Ensayos de caracterización de morteros.....	59
Figura 4.2: Granulometría de la arena	60
Figura 4.3: Granulometría del cobre.....	61
Figura 4.4: Gráfico de consistencia	63
Figura 4.5: Medición del agua de exudación del mortero	64
Figura 4.6: Porcentaje de retención de agua del mortero.....	64
Figura 4.7: Sustrato de hormigón con probetas de adherencia	65
Figura 4.8: Probeta de mortero arrancada del sustrato de hormigón	65

Figura 4.9: Resistencia a la Compresión.....	66
Figura 4.10: Gráfico de Ensayo a Flexión	67
Figura 4.11: Resistencia a la Compresión.....	68
Figura 4.12: Gráfica de la variación de la flexión con respecto al mortero patrón.....	69
Figura 4.13: Gráfica de la variación de la compresión con respecto al mortero patrón	69
Figura 4.14: Densidades de los tipos de mortero	71
Figura 4.15: Método indicador de Fenolftaleína.....	72
Figura 4.16: Indicador con pH metro.....	72
Figura 4.17: Gráfico de porcentaje invadido de <i>Aspergillus niger</i> en probetas de mortero carbonatadas.....	74
Figura 4.18: Gráfico de porcentaje invadido de <i>Aspergillus niger</i> en probetas de mortero no carbonatadas.....	75
Figura 4.19: Probeta Patrón después de 4 semanas de inoculación invadida de <i>Aspergillus niger</i> (10x).....	76
Figura 4.20: Probeta P5 después de 3 semanas de inoculación con hifas soportando conidiosporas en la arista de la probeta (40x).....	76

Resumen

Las Infecciones Asociadas a la Atención de Salud (IAAS) o Infecciones Intrahospitalarias (IIH) constituyen una complicación de la atención en recintos de salud, principalmente de urgencias y Unidades de Cuidados Intensivos (UCIs), donde en variadas investigaciones se asocia a morbilidad, mortalidad y costo de los pacientes hospitalizados.

En Chile se notifican alrededor de 70.000 casos de IAAS en el año, estimándose que cada uno de los casos en promedio se prolonga en una estadía de 10 días de hospitalización, lo cual significaría 700.000 días cama utilizadas en IAAS, aumentando un costo para el país de US\$70.000.000.

Uno de los principales microorganismos provocadores de infecciones respiratorias en UCIs es el *Aspergillus*, hongo perteneciente a los mohos, el cual, al presentarse en forma de esporas en las superficies y en el aire, puede llegar a producir gran daño a la salud.

Para la presente investigación se trabajó con cobre obtenido de despuntes de cables y alambres, triturado de forma de otorgarle una morfología similar a la arena. Se diseñaron muestras de mortero con incorporación en distintos porcentajes de cobre, de manera de ver si este material entrega propiedades fungicidas al mortero de revestimiento. Para lo cual debió cumplir con la normativa vigente NCh2256/1:2013 sobre propiedades físicas y mecánicas de mortero de uso en revestimiento.

Los resultados de la investigación permiten demostrar que es posible otorgar propiedades fungicidas al mortero de revestimiento con incorporación de cobre. De igual manera se puede confirmar que las mezclas cumplen con las características mecánicas solicitadas para poder clasificarse como mortero de revestimiento.

El mortero con incorporación de cobre tiene mejor comportamiento mecánico que un mortero convencional, además de poseer un 100% de efectividad ante *Aspergillus* en mezclas con 30% de cobre. El cobre no necesita ningún tratamiento adicional más que ser triturado y reemplazado por el árido.

1 ANTECEDENTES GENERALES

1.1 Planteamiento del Problema

Las infecciones nosocomiales o Infecciones Asociadas a la Atención de Salud (IAAS), son una complicación frecuente de la hospitalización (48 – 72 hrs. Post ingreso) afectando a países desarrollados como en los que están en proceso de desarrollo. La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que en algunos países las IAAS afectan hasta a un 30% de los pacientes. En Chile el riesgo de adquirir este tipo de infecciones es de 4,5%, desde una herida operatoria hasta una neumonía que puede terminar con la muerte del paciente (Prado et al.,2012). Usualmente las Infecciones Asociadas a la Atención de Salud (IAAS), son producidas por bacterias multirresistentes a los antimicrobianos y se ha demostrado que aumenta la morbilidad y mortalidad con un riesgo 3 veces mayor que en las IAAS causadas por bacterias multi-sensibles (Saldarriaga et al, 2015). En cuanto a la etiología, los gérmenes más habituales son los Gram negativos, los *Staphylococcus* y los hongos, variando en función del foco de infección (Flores et al., 2018).

Las infecciones fúngicas invasoras han experimentado un aumento considerable en las últimas dos décadas, sobresaliendo las infecciones del torrente sanguíneo por especies del género *Candida* (Silva et al., 2002) e infecciones respiratorias causadas por especies del género *Aspergillus* (Borges & Liebana, 2000). La población susceptible consiste mayoritariamente en pacientes neutropénicos¹, prematuros e internados en Unidades de Cuidados Intensivos (UCI) (Jarvis & Martone, 1992; Richards et al., 1999). El género *Candida* está formado por 163 especies, de las cuales comúnmente diez son responsables de las infecciones en las personas dentro de los recintos hospitalarios, describiéndose a *Candida albicans* como la especie más importante (Wey et al., 1988). Mientras que de *Aspergillus* se presentan más de 300 especies, entre las que el *Aspergillus*

¹ Neutropenia: Disminución aguda o crónica de granulocitos de la sangre, condición anormal de la sangre que puede predisponer al cuerpo humano a contraer infecciones.

niger se encuentra entre una de las principales provocadoras de infecciones en hospitales y UCIs (Borges & Liebana, 2000).

Actualmente Chile se rige bajo la Norma Técnica N°124 sobre programa de prevención y control de las IAAS (2011), regulando los hábitos y comportamientos del personal que se desempeña en el recinto hospitalario. Sin embargo, en algunos hospitales se están implementando equipamientos de cobre y aleaciones con otros metales, en pasamanos, barandas, manillas, etc. En paredes interiores de espacios comunes como de salas donde se encuentran personas hospitalizadas, se utilizan pinturas antihongos para reducir la carga microbiana.

A pesar de la normativa y buen actuar del personal hospitalario hay fuentes potenciales de IAAS, como son el agua, aire y por sobre todo las superficies de muros, pisos y cielos (García et al., 2009), afectando de manera importante los costos de salud, debido a la severidad con la que se puede presentar la infección (Brenner et al., 2003). Las superficies de contacto rugosas y que puedan presentar fisuras han sido identificadas como reservorios y fuente de diseminación de microorganismos, debido a que los desinfectantes no logran penetrar el lugar donde se encuentran (Neely, 2000). Lin y Chen (2017) indican que las pinturas antihongos no son efectivas en su totalidad, debido a que líquenes, musgos y moho se alimentan de los componentes y resinas sintéticas. Además, agregan que los hongos pueden crecer en pinturas si contienen resinas acrílicas o acetato de polivinilo.

La ventilación mecánica es un factor que aumenta el riesgo de ser afectado por IAAS, ya que aumenta la probabilidad de contraer neumonía de 6 a 20 veces más (Trubiano & Padiglione, 2015).

Las paredes de hospitales generalmente están revestidas con estuco de cemento, el cual, como todo material de construcción se ve expuesto a diversos factores de deterioro (Rashid et al., 2018). Uno de estos está vinculado a la preparación y puesta en obra (Prunell, 2010; Rashid et al., 2018; Furlan, 1991). También hay otros factores, tales como, físicos, químicos y biológicos (existencia de microorganismos en el interior), éste último es uno de

los principales problemas de deterioro al tratarse de mortero de revestimientos (Lazzarini & Tabasso, 2004).

Debido a la retención de agua en los morteros los principales microorganismos que los atacan son algas, hongos y cianobacterias, estas últimas forman una biocapa superficial que favorece la retención de arena y polvo, substrato adecuado para el crecimiento de otros organismos vivos (Neely, 2000). Perfettini et al. (1991), indican que los microorganismos durante su metabolismo producen ácidos capaces de degradar el cemento, así como también, una modificación del pH del medio.

En la última década se ha revitalizado el concepto del cobre como antimicrobiano, se han realizado estudios de laboratorio y a nivel clínico para demostrar su eficacia, por lo cual en los próximos años se espera que el cobre se integre a la infraestructura hospitalaria como un elemento de ayuda en la lucha contra las infecciones. Para Chile, principal productor de cobre en el mundo, es un tema de alto interés (Prado et al., 2012).

Es importante destacar que la capacidad antimicrobiana del cobre no se pierde en el tiempo (Casey et al., 2010). Al contar con equipamiento, que sea de cobre o contenga este material, se puede reducir la carga bacteriana en un 70% en estas superficies (Marais & Mehtar, 2010). De este modo se podría evitar la dosificación de antibióticos a personas y minimizar efectos secundarios innecesarios (Padiglione, 2003).

Se debe tener en cuenta la capacidad antibacterial y fungicida del cobre, que se ha determinado que inhibe el *Candida* (familia de los principales hongos provocadores de IAAS) (Quaranta et al., 2011). Por otro lado, Zhang et al. (2010) indican que los iones de cobre podrían adherirse a la superficie de las células bacterianas y dañar la estructura de las proteínas de las células antes dichas.

Shukla et al. (2016), indican que se deben buscar maneras innovadoras de combatir las infecciones intrahospitalarias. Siguiendo esta línea, se propone el estudio de un mortero de revestimiento con incorporación de cobre para la obtención de propiedades fungicidas en

las superficies en que se utilice este material. A lo que se infiere ¿puede el cobre entregar propiedades fungicidas al mortero?, eso se dilucidará en la presente investigación.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

- Evaluar el comportamiento de mortero de revestimiento con adición de cobre para la obtención de propiedades fungicidas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar porcentaje de cobre que debe tener el mortero de revestimiento para inhibir el crecimiento de hongos.
- Evaluar el comportamiento físico y mecánico del mortero de revestimiento con incorporación de cobre.

1.3 Alcances

1.2.1 De los materiales

El cobre utilizado se obtuvo de despuntes de cables, privilegiando el uso de cables por sobre alambres, para así obtener una repartición homogénea del cobre en el mortero.

Se utilizó cemento puzolánico para facilitar la reducción de pH en la investigación.

1.2.2 De las dependencias

Se utilizó el laboratorio de la Escuela de Construcción Civil de la Universidad de Valparaíso y sus respectivos equipos de ensayo.

1.4 Hipótesis

A medida que se aumenta el porcentaje de cobre en el mortero, se aumenta la capacidad fungicida, pero disminuyen las propiedades mecánicas del material.

2 ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1 Generalidades

En este capítulo se presentan conceptos surgidos de la necesidad por entregar un fundamento teórico a la investigación, basándose en el conocimiento de temas relacionados con el mortero, el cobre y los principales hongos provocadores de infecciones nosocomiales en nuestro país.

2.2 El mortero

Bajo el nombre de mortero denominamos en sentido amplio a cualquier mezcla natural o artificial cuyas características constructivas esenciales son su plasticidad inicial, que permite trabajarla y moldearla según la necesidad, y posterior endurecimiento y aumento de la resistencia mecánica, que lo hace útil como material de construcción (UGR, 2007).

El mortero es uno de los materiales más populares del mundo, apareciendo en la historia ya desde el antiguo testamento de la Biblia. El descubrimiento de las propiedades ligantes de este material es tema de especulación. Furlan & Bissegger (1975), renuncian a datar los primeros morteros de cal, mientras que Malinowski & Garfinkel (1990), lo sitúan muy al comienzo de la historia del hombre, cuando éste empezó a utilizar el fuego para calentarse en cuevas de rocas calizas.

Según la NCh 2256/1:2013, este material tiene distintos tipos de uso, tales como:

- Mortero para albañilería: Mezcla compuesta de cemento, de árido fino, de agua y, eventualmente de cal, adiciones y/o aditivos, para uso en obras de albañilerías.
- Mortero para revestimiento (estuco): Mezcla compuesta de uno o varios conglomerantes inorgánicos, de áridos, de agua y, a veces, de adiciones y/o aditivos para realizar revestimientos o estucos.

2.2.1 Propiedades del mortero (Según NCh 2256/1:2013)

a) Resistencia mecánica (NCh158:1967):

Las probetas para ensayo deben ser de 40 x 40 x 160 mm. En casos especiales se puede utilizar probeta cubica de 150mm de arista (cuando la consistencia es seca).

b) Consistencia (NCh 2257/1:1996):

Se controla cada 20 m³ o fracción de mortero elaborado y se determina sobre una muestra. Se debe adecuar a las condiciones de fabricación y puesta en obra. Sin embargo, a efectos de la dosificación, se recomienda que se consideren consistencias medidas según el extendido de la mesa de sacudidas entre 180 mm y 200 mm.

c) Retentividad (NCh 2259:1996):

La retentividad depende de diversas variables, como dosificación, componentes y tiempo de amasado. El grado mínimo se ha establecido considerando la influencia que algunos factores tiene sobre la retentividad, como el tipo de superficie y las condiciones climáticas en el momento de aplicación.

Se controla en una fracción de mortero elaborado y se determina sobre una muestra confeccionada en laboratorio con la dosificación y los materiales en uso. Se requiere (NCh2256/1:2013) que el valor de retentividad sea mayor o igual a un 65%.

d) Adherencia (NCh 2471:2000):

La adherencia es la capacidad del mortero de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie del soporte. Es, posiblemente, la principal propiedad que se debe exigir al mortero de enfoscado-revoco pues de ella depende la estabilidad del recubrimiento. Una adherencia correcta impedirá que el mortero se despegue del soporte como consecuencia de sus variaciones dimensionales. La NCh 2471:2000 exige un valor mínimo de adherencia de 0,20 MPa a los 28 días de hecho el recubrimiento.

2.2.2 Principales causas de deterioro del material

Los factores que influyen en los procesos de deterioro de los morteros se pueden agrupar de la siguiente manera:

a) Factores físicos:

Entre los que se puede incluir, el viento, las variaciones de temperatura, ciclos hielo/deshielo y los procesos de cristalización e hidratación de sales.

b) Factores químicos:

En este grupo se incluyen todos los procesos que llevan asociada de una manera directa una reacción química entre el mortero y algún agresor, como pueden ser los procesos de disolución por parte del agua.

c) Factores biológicos:

Debido al crecimiento de diferentes microorganismos en el mortero. Estos procesos llevan implícito un proceso de deterioro químico relacionado con el metabolismo de los microorganismos que producen diferentes ácidos orgánicos e inorgánicos, así como una modificación del pH del medio.

2.2.3 Morteros con propiedades antimicrobianas

En la última década se han propuesto diversos materiales que podrían ayudar al mortero a presentar características antibacteriales y fungicidas. Se han expuesto a diversos tipos y ambientes en el que se puede ver atacado este material. En la mayoría de las investigaciones el mortero y/o el medio ambiente en el que se encuentra, se someten a tratamientos para facilitar el crecimiento de los microorganismos y acelerar la investigación para concluir la efectividad del material agregado a la mezcla.

A continuación, se muestran las principales investigaciones realizadas en mortero para la adquisición de propiedades antimicrobianas:

a) Mejora de las propiedades antimicrobianas de los especímenes de morteros de cenizas volantes mediante modificación nanofásica

Vishwakarma et al. (2016), prepararon tres tipos diferentes de muestras de morteros de cenizas volantes modificados nanofásicos² para evaluar las propiedades antimicrobianas en agua de mar. Dos porcentajes de cemento portland ordinario (OPC) fueron reemplazados por nanopartículas de dióxido de titanio (TiO₂) y carbonato de calcio (CaCO₃) de tamaño 50-80 nm y 50-70 nm respectivamente (Tabla 2.1). En el tercer tipo de muestras de mortero se sustituyó un 2% del cemento portland ordinario (OPC) por una mezcla de ambas nanopartículas en la misma proporción.

Tabla 0.1: Dosificación propuesta en la investigación de Vishwakarma et al. (2016).

Especie de Mortero*	Cemento (kg)	Ceniza volante (kg)	Agua (kg)	Árido Fino (kg)	Superplastificante	nanopartic. de TiO ₂ (Grs)	nanopartic. de CaCO ₃ (Grs)
FA	6	4	3,8	1,46	1,20%	-	-
FAT	5,88	4	3,8	1,46	1,20%	60	-
FAC	5,88	4	3,8	1,46	1,20%	-	60
FACT	5,88	4	3,8	1,46	1,20%	60	60

Fuente: Vishwakarma et al., 2016.

*En la investigación se dan las siguientes nomenclaturas:

FA: Mortero de Cenizas volantes.

FAT: Mortero con nanopartículas de TiO₂.

FAC: Mortero con nanopartículas de CaCO₃.

FACT: Mortero con nanopartículas de TiO₂ y CaCO₃.

Todas las muestras modificadas se curaron en agua durante 28 días y se expusieron en agua de mar durante un mes. Todas las muestras presentaron reducción en el pH, tanto superficial como interno (al moler la muestra), siendo la muestra FAT, la que representó una menor reducción en el pH.

En la Tabla 2.2 se muestra la densidad microbiana de diferentes tipos de agar de 1 a 30 días. El crecimiento de bacterias aeróbicas (SWA: método agar de agua de mar) en el

² Material nanofásico: material cuyo tamaño de grano es tan pequeño que un volumen significativo de su microestructura está formado por miles de millones de átomos, produciendo densidades extremadamente altas.

mortero FA fue de 0.5×10^3 a 5.6×10^7 UFC/cm² de 1 a 30 días mientras que la muestra FAT no mostró crecimiento hasta después del cuarto día, finalizando el día 30 con una densidad bacteriana de 2.3×10^6 . La densidad bacteriana en FAC aumento de 0.2×10^3 en el día 1 hasta 6.8×10^6 en el día 30. La densidad de microbios del tipo *Pseudomonas*, *Fusarium*, cianobacterias (algas verdeazuladas), bacterias oxidantes de algas y manganeso fue menor en las muestras del mortero FAT. Los resultados indicaron también que no hay crecimiento en los primeros días en el mortero FAT de *Fusarium*, cianobacterias (algas verdeazuladas) y bacterias reductoras de azufre (SRB).

Tabla 0.2: Densidades de microorganismos en las probetas de mortero en agua de mar.

Nº días	Tipo de Muestra	SWA (ufc/cm ²)	PSA (ufc/cm ²)	MnA (ufc/cm ²)	CDA (ufc/cm ²)	CA (ufc/cm ²)	SRB (ufc/cm ²)
1d	FA	0.5×10^3	0.2×10^3	0.2×10^3	-	-	-
	FAT	-	-	0.2×10^3	-	-	-
	FAC	0.2×10^3	-	0.4×10^3	-	-	-
	FATC	0.4×10^3	-	0.4×10^3	-	-	-
4d	FA	0.1×10^4	3.6×10^6	2.4×10^3	-	-	0.1×10^2
	FAT	-	1.2×10^5	0.9×10^3	-	-	-
	FAC	0.5×10^4	4.3×10^6	3.6×10^3	-	-	0.3×10^2
	FATC	0.1×10^4	1.9×10^6	2.9×10^3	-	-	-
30d	FA	5.6×10^7	4.9×10^7	3.6×10^7	1.7×10^5	0.6×10^4	0.7×10^4
	FAT	2.3×10^6	2.1×10^6	1.9×10^4	2.6×10^3	1.6×10^2	0.2×10^2
	FAC	7.2×10^7	5.7×10^8	4.7×10^7	1.1×10^6	3.6×10^4	0.1×10^4
	FATC	6.8×10^6	5.2×10^7	4.5×10^6	1.9×10^4	2.7×10^3	0.1×10^3

Fuente: Vishwakarma et al., 2016.

*Las nomenclaturas indicadas en la investigación se traducen:

UFC/cm²: Unidades formadoras de colonias por centímetro cuadrado.

SWA: Agar de agua de mar (método de cultivación de microorganismos marinos).

PSA: Pseudomona Agar.

MnA: Bacterias oxidantes de manganeso.

CDA: Czapek – Dox Agar (Medio de crecimiento de hongos).

CA: Cianobacterias de algas verdeazuladas.

SRB: Bacterias reductoras de azufre.

La muestra de mortero FAT, compuesta de cenizas volantes y dióxido de titanio (TiO₂) fue más eficaz contra los microorganismos que las otras muestras propuestas con

contenido de carbonato de calcio (CaCO_3). Concluyéndose así que el porcentaje adicionado al mortero de TiO_2 entregó mayores propiedades antimicrobianas.

b) Efectos del nanocompuesto de sílice / titanio sobre las propiedades mecánicas y bactericidas de los morteros de cemento.

Sikora et al., (2017), probaron la influencia de las estructuras de núcleo – capa de nanocompuestos de dióxido de sílice (SiO_2) y dióxido de titanio (TiO_2) en las propiedades mecánicas y bactericidas de los morteros de cemento. Además se buscó disminuir los impactos negativos de cada uno de estos materiales al ser usados por separado. Se mostrarán a continuación los resultados de la investigación en cuanto a las propiedades bactericidas que adquirió el material.

Se realizaron cuatro tipos de mezclas de mortero, las cuales se indican en la Tabla 2.3, donde se muestran las cantidades de cada material para un metro cúbico de mortero.

Tabla 0.3: Composiciones de mortero de cemento, Kg/m^3 .

Designación de muestra	Cemento (kg)	Agua (kg)	Arena (kg)	Nanomaterial (kg)	% Nanomaterial, c/r masa de cemento
R	519	257	1.546	-	-
nSiO ₂	519	257	1.546	15,6	3
mSiO ₂ / TiO ₂	519	257	1.546	15,6	3
P25	519	257	1.546	15,6	3

Fuente: Sikora et al., 2017

Las mezclas se designan en la investigación de la siguiente manera:

R: Muestra de control, sin adición de nanomaterial.

nSiO₂: Mortero con 3% en peso de cemento de partículas sólidas de nanosilice.

mSiO₂ / TiO₂: Mortero con 3% en peso de cemento de nanoesferas de sílice mesoporosas³ modificadas con dióxido de titanio.

P25: Mortero con 3% en peso de cemento de dióxido de titanio comercial.

³ Material mesoporoso: Material sólido y poroso, con carácter natural o sintético, de tamaño medio de poro comprendido entre el microporoso (menor de 2 nm) y el macroporoso (mayor de 50 nm).

E. coli resistente a los rayos UV, una bacteria gramnegativa ampliamente seleccionada como microorganismo modelo en muchos experimentos bactericidas fotocatalíticos, se utilizó como la cepa de prueba en este estudio. La *E. coli* se precultivó y se mantuvo en placas de agar con conteo.

Las figuras 2.1, 2.2 y 2.3 muestran el porcentaje de bacterias viables en la muestra de mortero con distintas adiciones con respecto a una muestra patrón, sin ningún tipo de adición, donde las barras blancas son las bacterias en la superficie con luz ultravioleta encendida y las barras grises representan la cantidad de bacterias presentes en la superficie del material sin luz ultravioleta.

Después de 120 minutos de irradiación UV, solo las muestras con dióxido de titanio comercial (P25) (Figura 2.2) neutralizó completamente *Escherichia coli*, teniendo una mayor eficacia antibacteriana que las demás muestras de mortero. Aunque la eficiencia de mSiO₂ / TiO₂ fue inferior a la del dióxido de titanio comercial, mostró una fuerte mejora de actividad bactericida respecto a la muestra sin la iluminación de la luz UV (Figura 2.1). Por otro lado, la muestra referencial de mortero sin nanosuplementos, no mostró ningún resultado significativo en las propiedades bactericidas con iluminación ultravioleta.

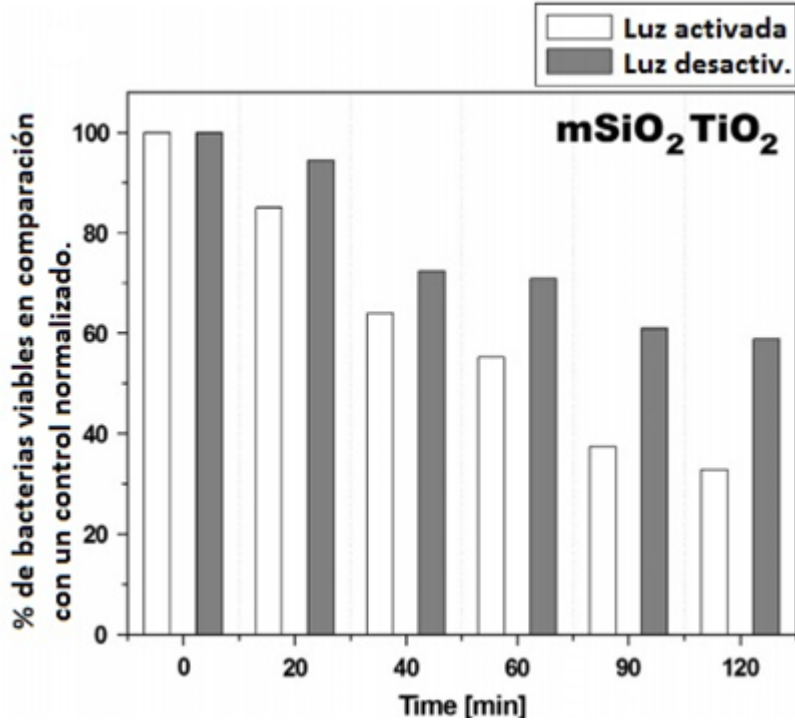


Figura 0.1: Actividad antibacteriana en muestra de mortero con dióxido de silice y dióxido de titanio (Sikora et al., 2017).

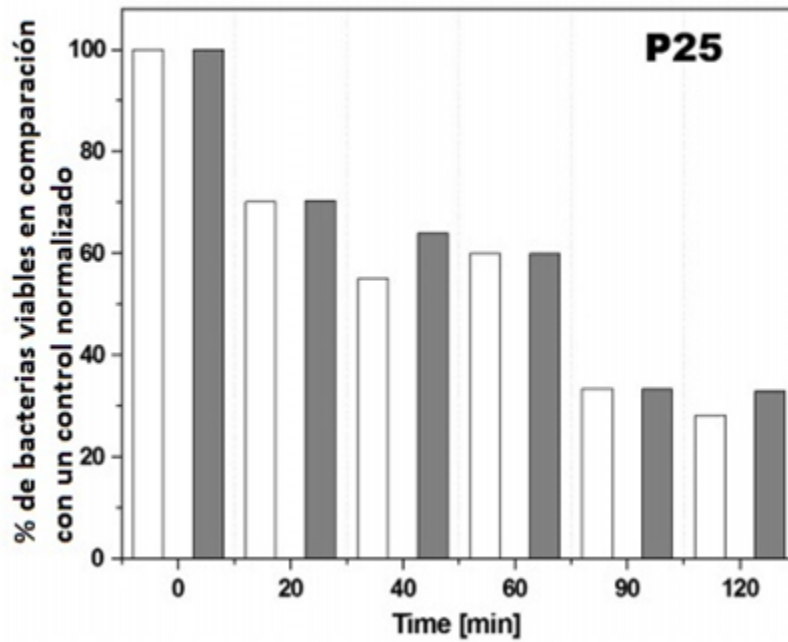


Figura 0.2: Actividad antibacteriana en muestra de mortero P25 (Sikora et al., 2017)

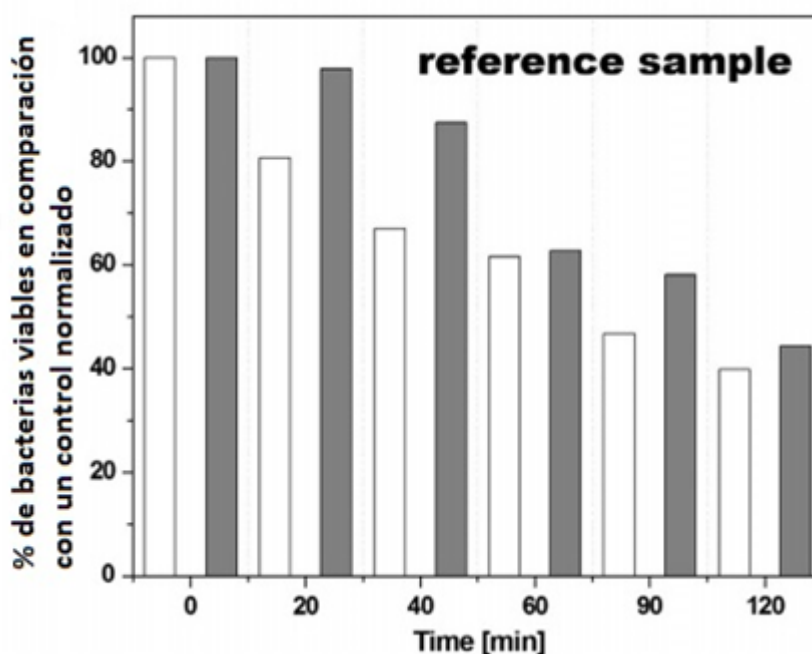


Figura 2.3: : Actividad antibacteriana en muestra de mortero de referencia sin adición de nanopartículas (Sikora et al., 2017).

- c) Mortero de revestimiento con adiciones de sepiolita y sulfato de cobre, para resistir el ataque de agentes bióticos.

Silva (2013), realizó tres tipos de muestras de mortero con adición de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) y sepiolita como material soportante del sulfato antes mencionado. Primero se homogenizaron estos materiales previa disolución del sulfato de cobre en agua destilada para así poder mezclar con la sepiolita.

Las nomenclaturas utilizadas en la Tabla 2.4 para las probetas de la investigación fueron las siguientes, teniendo en cuenta que todas las probetas poseen un 5% de sepiolita como reemplazo del árido:

- PP: Probeta patrón, con 0% de sulfato de cobre.
- P3: Probeta con 3% de sulfato de cobre con respecto al peso de sepiolita.
- P6: Probeta con 6% de sulfato de cobre con respecto al peso de sepiolita.

Tabla 0.4: Dosificación de las probetas de mortero en peso.

Tipo Probeta	cemento (gr)	Agua (ml)	Arena (gr)	Sepiolita (gr)	Sulfato (gr)
PP	344,4	580	1497	78,8	0
P3	344,4	580	1497	78,8	2,4
P6	344,4	580	1497	78,8	4,73

Fuente: Silva, 2013

Se empleó una cepa de *Aspergillus Niger* previamente aislada y luego en el laboratorio se cultivó en medio Malta-Agar. Luego se carbonataron las probetas para acidificar el pH del cemento, ya que, su pH es cercano a 9 y el *Aspergillus Niger* crece y/o ataca a materiales en pH entre 5.0 y 6.0 en la escala del pH-metro.

Después de 5 semanas de inoculación, las probetas que no fueron acidificadas no sufrieron invasiones por microorganismos. Estos solo invadieron el alrededor de la muestra de mortero y no su superficie. En cambio, las probetas carbonatadas, después de una semana las muestras P0 se muestran completamente invadidas, lo que demuestra que con 0% de sulfato de cobre si fue afectado el material por microorganismos al acidificar.

A diferencia de la probeta P0 con 0% de sulfato de cobre, la probeta P3 (con 3% de sulfato de cobre), muestra crecimiento de hifas sobre el repique puesto sobre la muestra de mortero, pero solo tiene un leve esparcimiento desde el repique al material en sí. Distinto pasó con las probetas carbonatadas con 6% de Sulfato, las que mostraron buenas resistencias a los microorganismos, ya que, la probeta no se notó colonizada por *Aspergillus* en el repique instalado sobre la muestra de mortero.

Por otro lado, las propiedades mecánicas se vieron afectadas a medida que aumentaba el porcentaje de sulfato de cobre. No se puede atribuir la baja de la resistencia a la sepiolita debido a que se mantuvo constante en todas las muestras.

2.3 El cobre

El cobre es uno de los metales más conocidos existentes en la naturaleza y al que mayor uso le ha dado el hombre a lo largo de la historia. Se encuentra en un sinnúmero de aplicaciones de uso cotidiano y también en artefactos de alta tecnología. Este material ha acompañado a la humanidad desde sus inicios, ya que es uno de los metales que, en bajas concentraciones, son esenciales para el metabolismo de las células animales y vegetales (Prado et al., 2012).

Otra aplicación ampliamente conocida, es su uso en las cañerías que transportan el agua de consumo para preservar su calidad sanitaria. Desde la antigüedad eran conocidas en forma empírica estas propiedades higiénicas que hoy sabemos responden a las propiedades antimicrobianas del cobre. Civilizaciones como los griegos, romanos, egipcios, aztecas y mayas, utilizaban el cobre en la fabricación de vasijas para preservar agua y alimentos, como también en la fabricación de instrumentos quirúrgicos y en la curación de heridas. En el siglo XVII se descubrió la capacidad del cobre para combatir plagas en la agricultura, específicamente para controlar infecciones por hongos en plantaciones de trigo. Hoy en día están disponibles en el mercado diferentes pesticidas que contienen cobre en diversas formulaciones químicas, los cuales se utilizan en agricultura (Prado et al., 2012). También existen pinturas con cobre usadas en embarcaciones para evitar adherencia de microorganismos y crustáceos (Prado et al., 2012).

Sus propiedades para prevenir infecciones eran reconocidas desde la antigüedad. A comienzos del siglo XX, previo a la era antibiótica, diferentes compuestos químicos de cobre fueron utilizados en el tratamiento de patologías infecciosas, como tuberculosis y sífilis (Grass et al., 2011).

En la última década se ha revitalizado el concepto del cobre como antimicrobiano, se han realizado estudios de laboratorio y a nivel clínico para demostrar su eficacia, por lo cual en los próximos años se espera que el cobre se integre a la infraestructura hospitalaria como un elemento de ayuda en la lucha contra las infecciones. Para Chile, principal productor de cobre en el mundo, es un tema de alto interés.

2.3.1 Propiedades y características del cobre

El cobre presenta propiedades y características que le permiten ser usado en diversos tipos de industria que van desde la tecnología doméstica e industrial, hasta en recintos de salud por sus propiedades antimicrobianas. Se revisarán a continuación las principales características de este metal, las cuales pueden modificar el comportamiento mecánico y antimicrobiano de la mezcla final de mortero.

a) Propiedades físicas:

El cobre posee varias propiedades físicas que proporcionan su uso industrial en diversas aplicaciones, siendo el tercer metal, después del hierro y aluminio, más consumido en el mundo.

La conductividad eléctrica del cobre puro fue adoptada por la Comisión Electrotécnica Internacional, estableciendo el International Annealed Copper Standard (Estándar internacional del cobre recocido) o IACS. Según esta definición, la conductividad eléctrica del cobre recocido medida a 20°C es igual a $5,80 \times 10^7$ S/m. A este valor de conductividad se le asigna un índice 100 % IACS y la conductividad del resto de los materiales se expresa en porcentaje de IACS.

b) Propiedades mecánicas:

Este material tiene una buena maquinabilidad, es decir, es fácil de mecanizar. El cobre posee muy buena ductilidad y maleabilidad lo que permite producir láminas e hilos muy delgados y finos. Tiene una resistencia a la tracción de 210 MPa y un límite elástico de 33,3 MPa (Li & Zinkle, 2012).

c) Propiedades biológicas:

En las plantas, el cobre posee un importante papel en el proceso de fotosíntesis y forma parte de la composición plastocianina. Alrededor del 70% del cobre de una planta está presente en la clorofila, principalmente en los cloroplastos. El cobre contribuye a la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunitario y huesos, por lo que es fundamental para la vida del ser humano (Salvat, 1986).

2.3.2 Aplicaciones antibacteriales y fungicidas del cobre

a) Aplicación de la capacidad bactericida del cobre en la práctica médica

En el estudio de Prado et al. (2012), se realizaron cambios de superficies en una sala de la Unidad de Cuidados Intensivos del Hospital del Cobre de Calama, donde se intervinieron 6 tipos de superficies con cobre: barandas y manillas de la cama, porta suero, mesa del paciente, apoya brazo de la silla de visitantes y lápiz del monitor.

Se calculó porcentaje de reducción del recuento bacteriano total promedio por cada superficie de contacto en salas de Unidades de Cuidados Intensivos con cobre, durante 30 semanas. Se obtuvo una reducción de bacterias viables en las 6 superficies cubiertas con cobre o aleaciones, donde la mayor reducción se observó en barandas de camas (91%) y en el apoyabrazos de la silla del visitante (Figura 2.4).

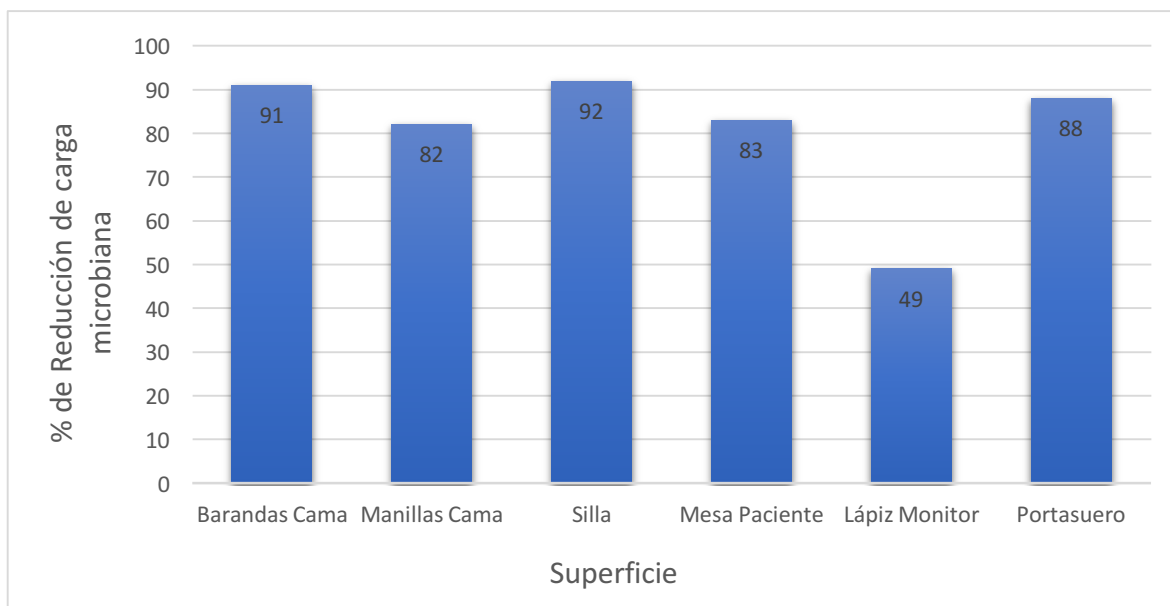


Figura 2.4: Reducción de carga microbiana en superficies de cobre (Prado et al., 2012)

b) Actividad bactericida de superficies de cobre frente a bacterias asociadas a infecciones nosocomiales, en un modelo in vitro de adherencia y sobrevivencia

En la investigación de Prado et al., (2013) emplearon láminas metálicas de 1 x 1 x 0,1 cm de cobre (99,9%) y acero inoxidable, las cuales fueron esterilizadas en horno a 180°C por 60 minutos. Luego se realizaron ensayos de adherencia bacteriana a las placas de cobre y acero inoxidable las cuales fueron adheridas a distintos objetos para estar en contacto con microorganismos.

Como se muestra en la Figura 2.5, las placas de cobre reaccionaron de buena manera frente a los microorganismos inoculados (*Staphylococcus aureus* metilino resistente, *Klebsiella pneumoniae* y *Acinetobacter baumannii*), donde desde el primer instante hasta las 48 horas que duró la observación, no se adhirió ninguna de estas bacterias utilizando inóculo de $2-3 \times 10^7$ UFC.

En cambio, en la Figura 2.6 se muestra que la cepa de *Pseudomonas aeruginosa* se adhirió a ambas placas de metal, mostrando una leve disminución en la placa de cobre con un inóculo de 1×10^5 UFC.

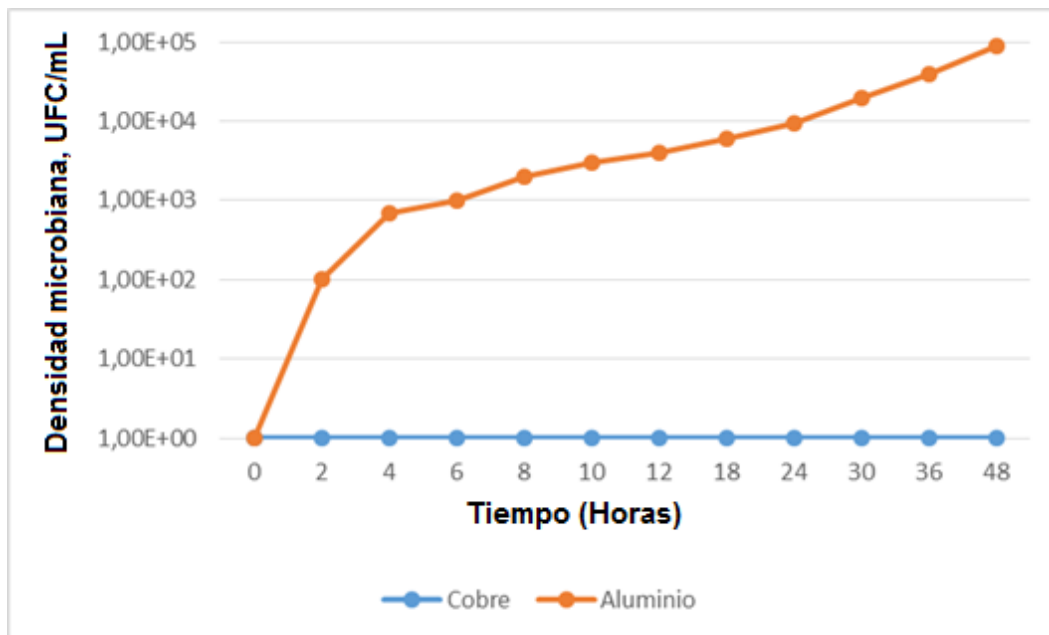


Figura 2.5: Adherencia de *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* y *Acinetobacter baumannii* a las placas de cobre y acero inoxidable (Prado et al., 2013).

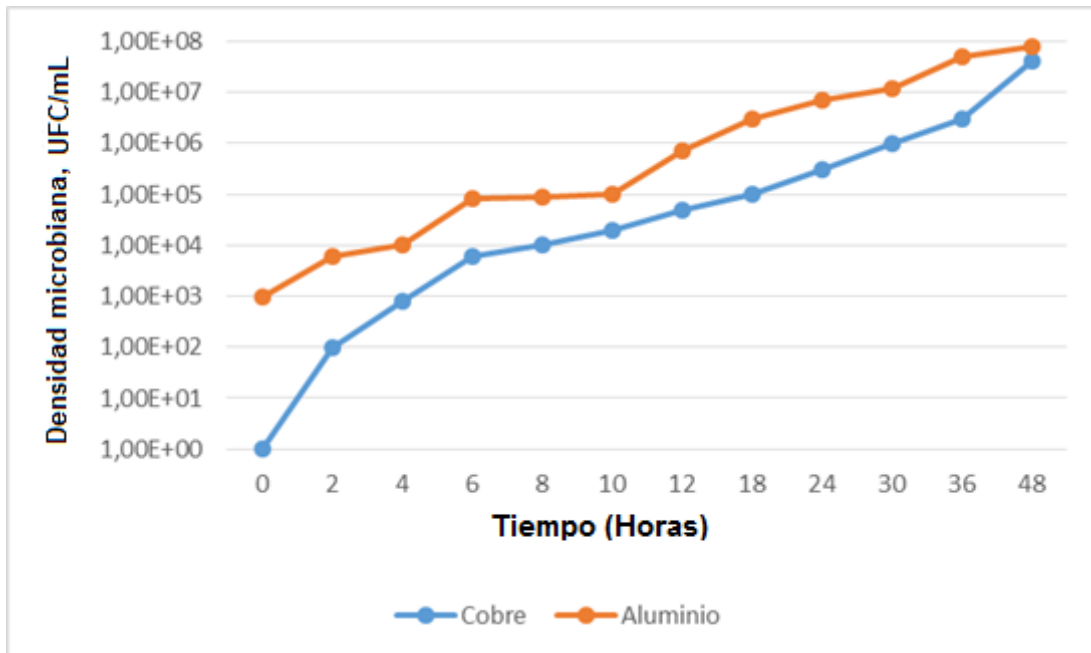


Figura 2.6: Adherencia de *Pseudomonas aeruginosa* a placas de cobre y acero inoxidable (Prado et al., 2013).

Finalmente, este estudio confirma observaciones previas demostrando la capacidad bactericida de superficies de cobre frente a los patógenos nosocomiales más frecuentes, al mismo tiempo que sugiere que su actividad no es homogénea para las diversas especies y pueden existir diferencias geográficas. El cobre metálico representa una alternativa interesante para recubrir superficies de alto contacto dentro de hospitales como un complemento a otras medidas de control de infecciones.

c) Caracterización y control de la comunidad microbiana afiliada con intercambiadores de calor de cobre o aluminio en Sistemas de Calefacción y Aire Acondicionado (SCAA)

Schmidt et al. (2012) fabricaron un sistema de SCAA de prueba a escala real, donde se hicieron cupones en forma de “L” (aletas instaladas en los intercambiadores de calor) de cobre y aluminio. Luego el sistema de SCAA se inició con parámetros asociados con las condiciones utilizadas durante la temporada de enfriamiento.

El sistema de prueba SCAA se inició en la semana 1 y los cupones de prueba se insertaron en la semana 3, comenzando la semana 4. Luego se estudiaron los intercambiadores de calor durante 30 semanas, es decir, hasta la semana 34.

En la semana 16 se instaló un filtro (MERV 8) para capturar material particulado de entre 3 y 10 μm de tamaño con una eficiencia de entre 70 y 80%. Este filtro se dejó actuar hasta la semana 24, donde fue reemplazado por otro filtro (HEPA), que eliminaría las partículas, bacterias y hongos que habitan en el aire de reposición. El sistema se dejó actuar durante 8 semanas, momento en el cual se comenzó la extracción de cupones de cobre y aluminio. Las bacterias y hongos recuperados de muestras tomadas en la semana 32 y 34 indicaron que la filtración de HEPA tuvo poco o ningún efecto sobre las células viables. Por el contrario, se observó una reducción concomitante en el número de hongos recuperados de los cupones de aluminio dentro de 1 semana de la instalación del filtro MERV 8.

En cuanto a la eficacia antimicrobiana de los cupones de aluminio y cobre, se obtuvo que la concentración de hongos viables de los cupones de aluminio fue menor que de las bacterias recuperadas. Además, la carga microbiana fúngica en los cupones de aluminio fue de 2 – 3 órdenes de magnitud más alta que la observada en los cupones de cobre. El cupón de aluminio promedio arrojó 378 UFC/cm² en el transcurso del estudio de 30 semanas, donde el valor máximo de hongos recuperados fue de 8.361 UFC/cm², mientras que el mínimo fue de 0 UFC/cm². Las concentraciones recuperadas en cupones de cobre fueron en promedio <1 UFC/cm², con máximos y mínimos de 19 y 0 UFC/cm² respectivamente.

En cuanto a las bacterias detectadas en los cupones de aluminio, la concentración promedio fue de 11.411 UFC/cm² y los valores observados fueron consistentemente 3 – 4 órdenes de magnitud mayores que las concentraciones de bacterias recuperadas de los cupones de cobre. La concentración máxima y mínima en estos cupones fue de 163.081 UFC/cm² y 0 UFC/cm². Mientras que en los cupones de cobre la concentración promedio de bacterias fue de 3 UFC/cm², con un máximo y mínimo de 34 UFC/cm² y 0 UFC/cm² respectivamente.

En la Figura 2.7 se muestra en el eje vertical la densidad microbiana medida en UFC/cm², mientras que el eje horizontal, el número de semanas en el que se revisaron los cupones de los intercambiadores de calor. Las barras grises representan los cupones de aluminio, mientras que las barras blancas indican la concentración de carga microbiana en los cupones de cobre

El grado en que el cobre limitó el crecimiento de bacterias fue del 99,99% y la limitación del crecimiento fúngico fue del 99,74% de la observada en los intercambiadores de calor de aluminio a base de control.

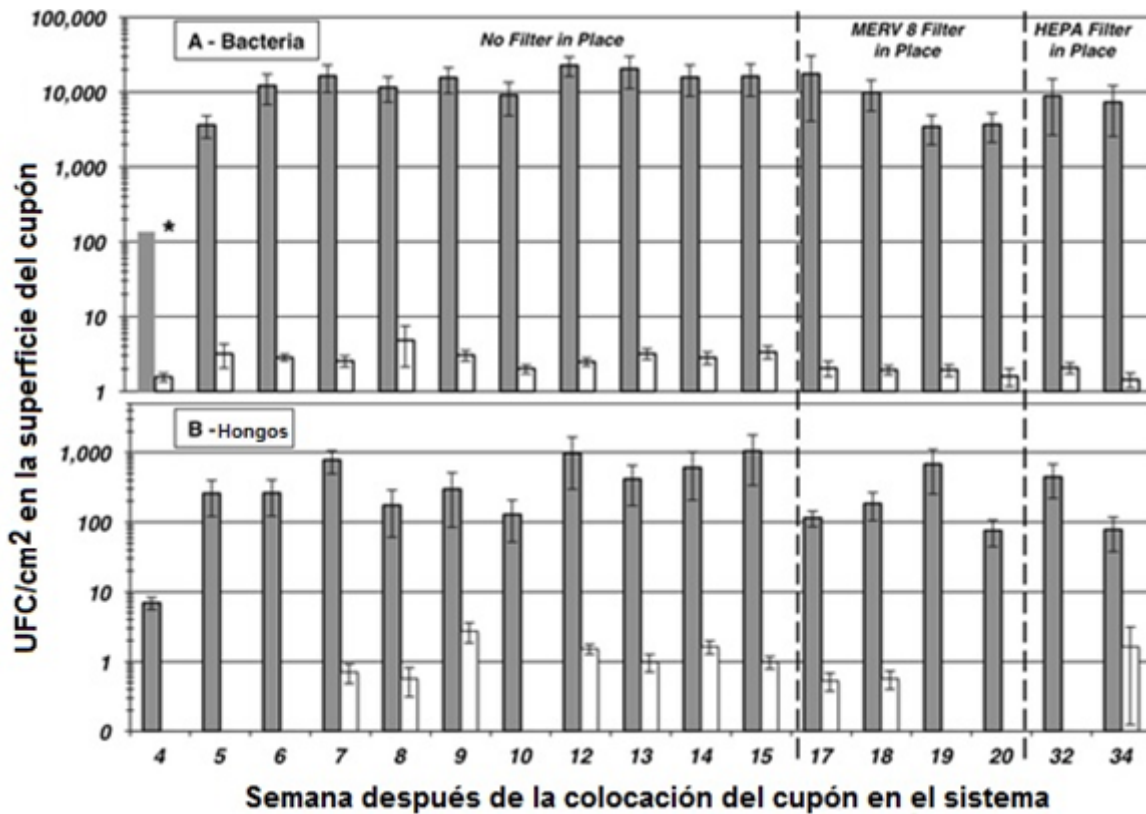


Figura 2.7: Concentración fúngica y bacteriana en los intercambiadores de calor (Schmidt et al., 2012).

2.4 Los hongos

Los hongos son un grupo de organismos eucariotas, entre los que se encuentran los mohos, las levaduras y los organismos productores de setas. Se reproducen sexual o asexualmente y tienen estructuras somáticas filamentosas y ramificadas rodeadas por una pared celular hecha de celulosa, quitina o ambas. Además, Se alimentan por absorción como las plantas (Alexopoulos et al., 1996).

Estos organismos se presentan bajo dos formas principales: hongos filamentosos (antiguamente llamados mohos) y hongos levaduriformes. Un hongo filamentoso tiene dos porciones, una reproductiva y otra vegetativa. La parte vegetativa, que es haploide y generalmente no presenta coloración, está compuesta por filamentos llamados hifas. Mientras que los hongos levaduriformes son siempre unicelulares, de forma casi esférica. No existe en ellos una distinción entre cuerpo vegetativo y reproductivo (Alexopoulos et al., 1996).

Clasificación actual del reino de los hongos:

- Quitridiomycetes (división Chytridiomycota).
- Zigomicetos (división Zygomycota).
- Glomeromicetes (división Glomeromycota).
- Basidiomicetes (división Basidiomycota).
- Ascomicetes (división Ascomycota).

2.4.1 Principales hongos presentes en hospitales

Sánchez (2017) sostiene que el hongo *Candida albicans* tiene la facultad de adaptarse y crecer en situaciones extremas o no óptimas para su desarrollo. Además, García et al. (2009) indica que las superficies de muros es uno de los principales reservorios de microorganismos. Para formar un medio que se acerque al óptimo pH para el crecimiento de los microorganismos se carbonatarán las probetas para acelerar el proceso de adaptación del hongo en la superficie.

En los hospitales chilenos, la probabilidad de adquirir una infección nosocomial es de 4,5%, traducido en 70.000 infectados por año (Prado et al., 2012). Los principales hongos presentes en los hospitales chilenos según el Ministerio de Salud son los siguientes:

a) *Candida albicans*:

Es un hongo diploide asexual, con forma de levadura. Habitualmente se encuentra en la cavidad oral, en el tracto gastrointestinal y en los genitales femeninos. Este hongo tiene una función relevante en la digestión de los azúcares, mediante un proceso de fermentación (Jones et al., 2004).

Esta levadura es una de las principales provocadoras de infecciones asociadas a la atención de salud en Chile, estando presente en prácticamente todas las clasificaciones de infecciones intrahospitalarias informadas por el Ministerio de Salud de Chile (MINSAL). Por ejemplo, en las infecciones del tracto urinario, se identificó que un 10,4% fue provocada por levaduras, de ese porcentaje el 8,6% fue provocado por *Candida albicans*, es decir, esta levadura fue la predominante con un 81,4% entre sus pares del reino fungi (MINSAL, 2015). En infecciones del torrente sanguíneo en el año 2015, un 6,6% fue provocado por levaduras, de los cuales el 4,5% fue causado por *Candida albicans* siendo la levadura predominante con 66,6% de apariciones entre sus pares.

Esta especie de hongo es una de las principales provocadoras de infecciones intrahospitalarias, estando generalmente entre los primeros 5 microorganismos provocadores de infecciones dentro de los recintos hospitalarios (MINSAL, 2015).

b) *Candida galabrata*:

Es una especie de levadura haploide, se ha identificado que presenta tendencia a ser un patógeno oportunista del tracto urogenital y del torrente sanguíneo. Esta especie mide entre 1 a 4 μm (Tapia, 2008).

Estos microorganismos se presentan en menor medida dentro de las infecciones hospitalarias, pero, aun así, sigue presente en la mayoría de las infecciones causadas por hongos o bacterias. En infecciones del tracto urinario en Unidades de Cuidados Intensivos (UCIs) se identifican con un 0,4 %, muy por debajo del *Candida albicans*

ya mencionado. Mientras que en infecciones del tracto urinario en medicina interna se presenta en un 0,13% de los casos (MINSAL, 2015).

c) *Candida parapsilosis*:

Es una levadura perteneciente al género *Candida*, puede causar enfermedades en el hombre (candidiasis). En un estudio realizado en pacientes con infecciones por hongos en las uñas, fue la especie del género *Candida* aislada con mayor frecuencia (Tapia & Correa, 2015).

Este microorganismo se presenta también en menor medida que el *Candida albicans*, pero dentro del rango de las demás especies de *Candida* se logra identificar en similar medida. En infecciones del tracto urinario de medicina interna se presenta este microorganismo en un 0,13%. Mientras que, en el mismo tipo de infección, pero en UCIs se logró identificar un 0,4% de estos microorganismos del total de infectados. En tanto en las neumonías asociadas a ventilación mecánica invasiva se da en un 2,3% del total de infectados (MINSAL, 2015).

Por otro lado se han realizado investigaciones en España, donde se han buscado los principales hongos provocadores de problemas respiratorios a causa de infecciones intrahospitalarias provocadas por hongos, donde en un 45% de los casos son neumonías nosocomiales. El principal provocador de esta problemática ha sido el hongo *Aspergillus*, que si bien este género cuenta con más de 300 especies, se identifican generalmente cuatro tipos de *Aspergillus* entre los principales provocadores de infecciones, entre los cuales se encuentra *Aspergillus niger*, este hongo es el principal provocador (48%) de Traqueo-bronquitis (Lerma et al., 2015).

2.5 Carbonatación del mortero

El hormigón y el mortero debido a su contenido de hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) que se origina durante la hidratación del cemento, aumenta la alcalinidad a valores del pH entre 12.5 a 13, creando un medio excelente para proteger el hormigón y su armadura de la corrosión (Cornejo, 2001) .

La carbonatación es causada por el anhídrido carbónico (CO_2) del aire, el cual reacciona con el agua (H_2O) formando ácido carbónico (H_2CO_3) que a su vez actúa con el hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) de la pasta del cemento formando carbonato de calcio (CaCO_3).

Con carbonato de calcio el pH del hormigón o mortero decrece, lo cual es insuficiente para proteger el refuerzo contra la corrosión. Entonces la capa pasiva circundante del refuerzo se quiebra (Cornejo, 2001).

La disminución del pH en el mortero no solo afecta a la armadura por la disminución de la protección por parte del sustrato, sino que también hay efectos secundarios importantes asociados. Entre los efectos de la disminución de pH del mortero por la carbonatación se encuentra la facilitación de adherencia de microorganismos a la superficie del sustrato, esto debido a que los hongos crecen generalmente en un pH ácido-neutro (Tapia, 2008). Estos microorganismos son capaces de degradar la pasta de cemento cuando se reproducen, además, pueden seguir disminuyendo su pH (Perfettini et al., 1991).

3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se presenta la metodología de trabajo para la realización de la investigación, y su programa experimental que comprende los pasos a seguir para cumplir con los objetivos planteados en la sección 1.2.1 y 1.2.2.

3.1 Programa experimental

Para cumplir con los objetivos planteados en esta investigación, se dispone de los pasos fundamentales a seguir que conforman el programa experimental. Para ellos se confeccionó un diagrama de flujo presentado en la Figura 3.1, el cual consiste en tres etapas principales.

La primera etapa corresponde a la revisión bibliográfica de estado actual del tema para la formulación del problema de investigación, lo que deriva en la definición de los objetivos e hipótesis de la investigación.

La segunda etapa, corresponde a la parte experimental de la investigación, donde se incluye la confección de las muestras de mortero con la incorporación de cobre y los ensayos a los que se debe someter este material tanto en estado fresco, como en su estado endurecido.

Finalmente, la tercera etapa consiste en la parte final de la investigación, la cual deriva de los resultados obtenidos en la segunda etapa y corresponde a la presentación y análisis de los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, finalizando con la conclusión de la investigación.

Esta investigación responde a un diseño experimental, pues se desea comprobar de qué manera la incorporación de cobre en el mortero, como reemplazo del árido en distintos porcentajes, podría otorgar al mortero de revestimiento propiedades fungicidas.

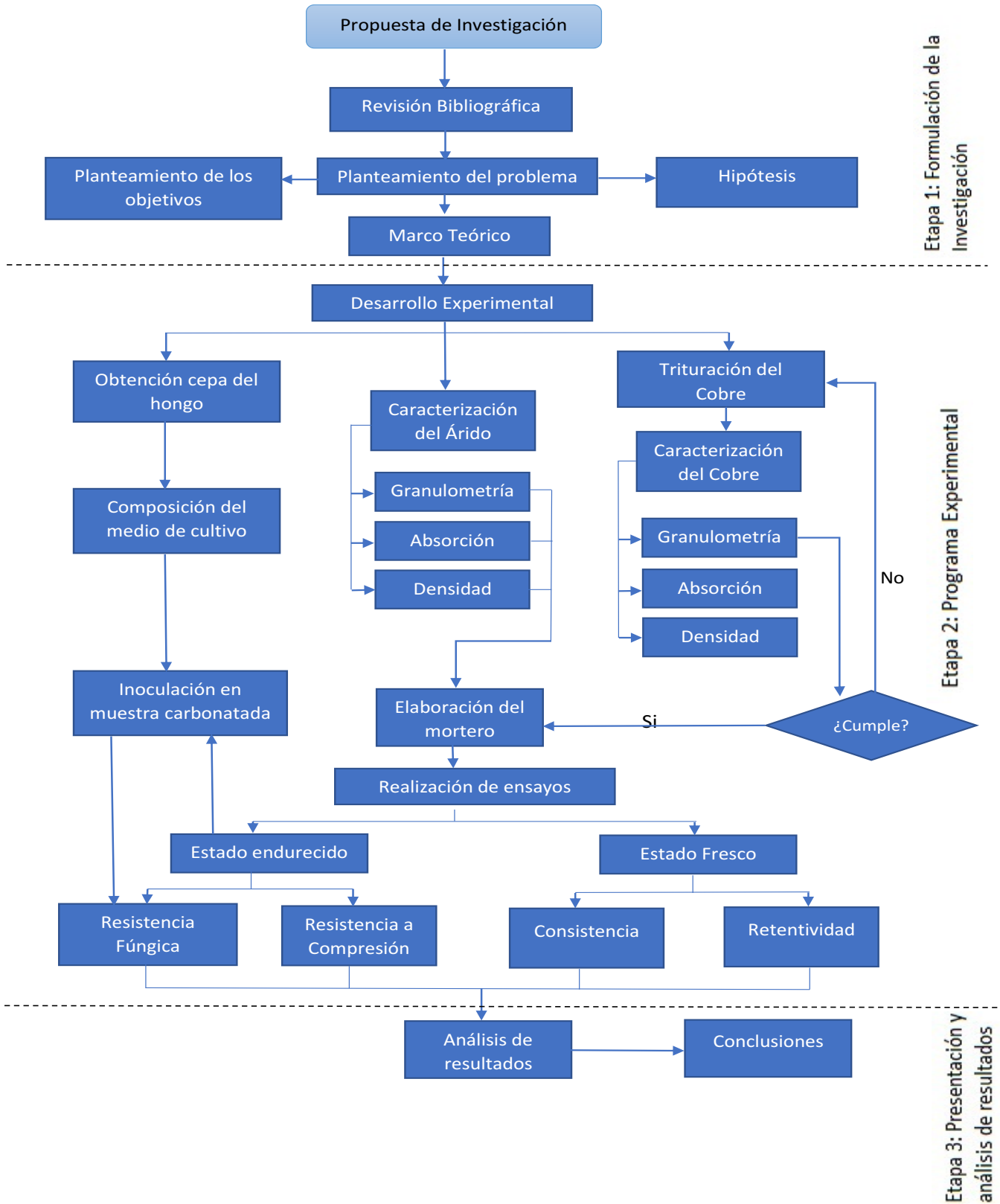


Figura 3.1: Esquema metodológico

Fuente: Elaboración propia

3.2 Materiales

3.2.1 Cemento

El cemento utilizado para la fabricación de los morteros se clasifica como cemento puzolánico grado corriente, de la empresa BIO-BIO, que cumple con los requisitos de la NCh 148:1968 y sus características físicas y químicas se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 0.1: Características físicas y químicas del cemento BIO-BIO, grado corriente.

Característica	Unidad	NCh 148	Cumple
Expansión en autoclave	%	1,0 máx	√
Pérdida por calcinación	%	5,0 máx	√
Residuo insoluble	%	50,0 máx	√
Contenido de SO ₃	%	4,0 máx	√
Tiempo de fraguado inicial (Vicat)	minutos	60 mín	√
Tiempo de fraguado final (Vicat)	horas	12 máx	√
Resistencia a la compresión a 7 días	kgf/cm ²	180 mín	√
Resistencia a la compresión a 28 días	kgf/cm ²	250 mín	√
Resistencia a la flexotracción a 7 días	kgf/cm ²	35 mín	√
Resistencia a la flexotracción a 28 días	kgf/cm ²	45 mín	√

Fuente: Registro CDT, CCHC

3.2.2 Árido

Como principal característica del árido, debe ser similar a las exigidas para los áridos finos constituyentes de los hormigones, para ello se realizarán análisis granulométricos, densidades y absorción de acuerdo con las normas chilenas correspondientes.

Para la preparación de los morteros se utilizará arena procedente del río Aconcagua, debiendo esta cumplir con los requisitos de la NCh 163:1979 “Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales”.

3.2.3 Agua

El agua en el mortero se encarga de hidratar el cemento y también otorga trabajabilidad necesaria al mortero, siendo determinante para definir su fluidez, tiene una incidencia muy importante en la obtención de un buen compuesto, debido a que participa en los dos estados que presenta el mortero: fresco y endurecido (Guerrero, 2017).

Para la preparación de las mezclas de mortero se utilizará agua potable de la red pública de Valparaíso.

3.2.4 Cobre

Se utilizará cobre obtenido de despuntes de cables y alambres. El tamaño del cobre debe ser de máximo 5mm de longitud para lograr una semejanza de árido con el tamaño máximo de la arena, tratando de evitar trozos de cables mayores a esta dimensión para que su adición no afecte en la trabajabilidad del material en obra.

Este material se utilizará como biocida dentro de la mezcla, utilizando un 5, 8, 20 y 30% de cobre, reemplazando el volumen del árido.

3.3 Equipos y Procedimientos

3.3.1 Toma de muestras

La toma de muestras de cobre, para adicionar a la mezcla se obtuvo del reciclaje de este metal de despuntes de cables eléctricos y de motores de electrodomésticos desarmados (lavadoras y secadoras), teniendo en cuenta que los cables que se encuentran en su interior son de diámetro muy pequeño, el cual facilitará el picado para la futura adición en la mezcla.

3.3.2 Picado del cobre

Este procedimiento se realizó de forma manual, con tijeras de cortar latas, picando el material de forma que las partículas no superen los 5mm aproximadamente, para luego picarlo de forma mecánica dentro de un tubo de 4" con una tapa soldada en el fondo (para dar forma de recipiente), se pica de forma mecánica con un taladro con hojas soldadas en el extremo de una broca. Este último paso, para homogenizar el tamaño final de la partícula de cobre que se incluirá en la mezcla de mortero.

3.3.3 Densidad real

La NCh 1239:1977 establece los procedimientos para determinar la densidad real y neta y la absorción de agua de las arenas.

Para la determinación de la densidad real, neta y absorción de la arena y el cobre se llevó a cabo el siguiente procedimiento experimental según lo establecido en la NCh 1239:1977:

- a) Humedecer la muestra de árido para evitar segregaciones y pérdidas de polvo. Luego reducir por cuarteo la muestra de laboratorio a una cantidad de árido de aproximadamente el doble del tamaño de muestra requerida. Posteriormente secar el árido en estufa a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- b) Se debe sumergir la muestra de árido en agua a temperatura ambiente por 24 horas.
- c) Terminada la inmersión, extender el árido en una superficie lisa, revolviéndolo constantemente de modo de asegurar un secado uniforme, hasta que el árido alcance la condición suelta. Para luego llenar un molde cónico en condición suelta y compactar con 25 golpes de pisón, si se produce un desmoronamiento según talud natural como se muestra en la Figura 3.3, se pasa al punto d), si no se desmorona, se debe continuar el secado.
- d) Tomar una muestra de arena superior a 50 gr e inferior a 500 gr. Medir y registrar en condición saturada superficialmente seca (m sss).

- e) Colocar la muestra en un matraz y llenar hasta la marca de calibración con agua a $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ como se muestra en la Figura 3.2. Agitar el matraz a fin de eliminar las burbujas.
- f) Medir y registrar la masa total del matraz más la muestra de ensayo y el agua (M_m) (Figura 3.2).
- g) Sacar la muestra del frasco, y secarla en estufa a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. Dejarla enfriar y registrar la masa de la muestra en condición seca (m_s).
- h) Llenar el matraz solamente con agua a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta la marca de calibración. Medir y registrar la masa del matraz más el agua (M_a).



Figura 0.2: Matraz con muestra de cobre y agua.



Figura 0.3: Cobre en estado saturado superficialmente seco.

Obtenido los valores anteriores, se calcula la densidad real, neta y absorción de agua de la arena utilizando las siguientes expresiones:

- Densidad Real (ρ_R):

$$\rho_{R_{SSS}} = \frac{m_{SSS}}{M_a + m_{SSS} - M_m} * 1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \quad (\text{Ec. 3.1})$$

Donde:

$\rho_{R_{sss}}$: Densidad real de árido saturado superficialmente seco.

M_a : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración, en gr.

m_{sss} : Masa saturada superficialmente seca, en gr.

M_m : Masa del matraz con la muestra de árido más agua hasta la marca de calibración, en gr.

Para la arena en estado seco, la densidad real (ρ_{Rs}) es posible determinarla mediante la expresión:

$$\rho_{Rs} = \frac{m_s}{M_a + m_{sss} - M_m} * 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

ρ_{Rs} : Densidad real del árido seco.

m_s : Masa de la muestra de árido seco, en gr.

M_a : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración, en gr.

m_{sss} : Masa saturada superficialmente seca, en gr.

M_m : Masa del matraz con la muestra de árido más agua hasta la marca de calibración, en gr.

- Densidad Neta (ρ_N):

$$\rho_N = \frac{m_s}{M_a + m_s - M_m} * 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

ρ_N : Densidad neta.

m_s : Masa de la muestra de árido seco, en gr.

Ma : Masa del matraz con agua hasta la marca de calibración, en gr.

Mm : Masa del matraz con la muestra de árido más agua hasta la marca de calibración, en gr.

- Absorción de Agua (α):

Para la determinación de la absorción de agua (α) de la arena se utilizará la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{m_{sss} - m_s}{m_s} * 100\% \quad (\text{Ec. 3.4})$$

Donde:

α : Absorción de agua del árido, %.

m sss : Masa saturada superficialmente seca, en gr.

m s : Masa de la muestra de árido seco, en gr.

3.3.4 Tamizado y determinación de la granulometría

En la determinación de la distribución del tamaño de las partículas o granulometría de la arena y el cobre se realizaron los procedimientos indicados en la NCh 165:2009.

A continuación se detalla el procedimiento efectuado para el tamizado y determinación de la granulometría del árido empleado. En la NCh 165:2009 se define granulometría como la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas de un árido. Conocida la granulometría del árido utilizado, es posible la determinación del Módulo de Finura (MF) del árido y su expresión gráfica representada por la curva granulométrica. Para la realización del tamizado se realizó el siguiente procedimiento:

- a) Tomar una muestra de árido, homogenizándola en el laboratorio en estado húmedo y reducir por cuarteo.

- b) La muestra obtenida por cuarteo se seca hasta masa constante en horno a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- c) Se registra la masa de la muestra seca y luego se tamiza considerando una aproximación de 1 gr. Los tamices utilizados serán los correspondientes a la serie preferida establecida en NCh 165:2009 (Figura 3.4).
- d) Se registra la masa de las fracciones del árido retenido en cada uno de los tamices, corroborando que la masa total o suma de las fracciones de árido retenido en cada tamiz y en el recipiente receptor, no difiera en más de 1% (en caso del árido fino) (Figura 3.5).
- e) Se calculan los porcentajes parciales retenidos y acumulados que pasaron por cada abertura, para finalmente expresar la granulometría del agregado.



Figura 0.4: Bandas granulométricas para árido fino



Figura 0.5: Árido fino tamizado

En la Tabla 3.2 se muestran las bandas granulométricas para árido fino, las cuales se utilizaron para el cálculo del módulo de finura del árido y la representación gráfica de los mismos en el capítulo 4.

Tabla 0.2: Bandas granulométricas para árido fino.

Tamices mm	Tamaño máximo, D _n , mm		
	% acumulado que pasa		
	Hormigón y mortero	Mortero	
	4,75	2,36	1,18
9,5	100	-	-
4,75	95 - 100	100	-
2,36	80 - 100	95 - 100	100
1,18	50 - 85	70 - 100	95 - 100
0,6	25 - 60	40 - 75	50 - 100
0,3	5 - 30	10 - 35	15 - 40
0,15	0 - 10	2 - 15	2 - 20
Módulo de finura	3,45 - 2,15	2,83 - 1,75	2,38 - 1,40
Retenido entre tamices 0,315 y 0,150	-	< 25	< 25
% retenido entre dos tamices sucesivos	-	< 45	

Fuente: NCh 163:2013

3.3.5 Determinación de la Densidad Aparente

Es posible entender la densidad aparente de los agregados como el cociente entre el peso y el volumen del material, expresado en kg/m^3 . La NCh 116:1977 define la densidad aparente como la densidad en que se considera el volumen macizo de las partículas de un árido, más el volumen de los poros y de los huecos. Este volumen corresponde a la capacidad de la medida que lo contiene.

a) Densidad aparente suelta (pas):

Para la determinación de la densidad aparente suelta del árido considerado para el desarrollo de la investigación, se llevó a cabo el siguiente procedimiento experimental:

- Secar la muestra de árido al horno a $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante.

- Llenar una medida de volumen conocido (V) mediante la utilización de una poruña descargándola desde una altura de aproximadamente 5 cms sobre el borde superior de la medida.
- Desplazar la poruña alrededor del borde, distribuyendo uniformemente el vaciado.
- Eliminar el exceso de áridos empleando la varilla pisón como regla de enrase, sin presionar.
- Determinar y registrar la masa del árido suelto (ms) que llena la medida.

Se calculará la densidad aparente suelta (ρ_{as}) aproximando a 1 kg/m^3 , según la siguiente expresión:

$$\rho_{as} = \frac{ms}{V} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

ms : Masa del árido suelto que llena la medida (kg).

V : Capacidad volumétrica de la medida (m^3).

b) Densidad aparente compactada (ρ_{ac}):

Para la determinación de la densidad aparente, compactada por pisón, del árido fino será necesario llevar a cabo el siguiente procedimiento experimental:

- Llenar una medida de volumen conocido (V) en tres capas de espesores aproximadamente iguales, teniendo la última capa un exceso de árido por sobre el borde de la medida.
- Emparejar cada capa y compactar con 25 golpes de pisón uniformemente distribuidos
- Se deben apisonar las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior.
- Eliminar el exceso de árido empleando la varilla pisón, sin presionar.
- Determinar y registrar la masa del árido compactado que llena la medida, aproximando a 1 gr.

Se calcula la densidad aparente compactada (ρ_{ac}) aproximando a 1 kg/m^3 , según la siguiente expresión.

$$\rho_{ac} = \frac{mc}{V} \quad (\text{Ec. 3.6})$$

Donde:

ρ_{ac} : Densidad aparente compactada.

mc : Masa del árido compactado que llena la medida (kg).

V : Capacidad volumétrica de la medida (m^3).

3.3.6 Diseño del Mortero

En general, tanto si el mortero se dosifica para cumplir con proporciones o requisitos, la cantidad de agua queda definida por la trabajabilidad que debe tener para ser colocado en obra de acuerdo con el uso al que está destinado.

La dosificación por proporciones en peso se expresa de la forma 1: n (cemento:arena). Para esta investigación se utilizó un tipo de relación, que corresponde a la razón 1:3. Esta dosificación se adopta por ser de uso frecuente y por tener múltiples aplicaciones en la construcción, tanto como mortero de albañilería, así también como mortero de estuco.

Las tablas 3.3 y 3.4 a continuación presentadas, fueron sacadas del Manual del Mortero (Egaña y Zabaleta, 1989) y serán la base para la dosificación de los morteros de ésta investigación ya que proporciona los parámetros con los cuales se pueden estimar las dosis de cada material de la mezcla.

Tabla 0.3: Criterio de fluidez de morteros.

Fluidez	Asentamiento de cono	Mesa de sacudidas ASTM
Baja	0-2 cm	Menor igual a 130 mm
Media	3-8 cm	140 - 175 mm
Alta	9-14 cm	180 - 195 mm
Muy alta	15-20 cm	200 - 220 mm

Fuente: Manual del Mortero (Egaña y Zabaleta, 1989)

Tabla 0.4: Dosis de agua y aire para

% de cal	MF = 3,20			MF = 2,70			MF = 2,20			MF = 1,80			H
	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	<25	25-50	>50	
ARENA TAMAÑO MAXIMO 5mm													
Fluidez	Dosis de agua y aire (l/m ³)												
Baja	260	265	270	280	285	290	310	315	320	350	355	360	30
Media	270	275	280	290	295	300	320	325	330	360	365	370	30
Alta	290	295	300	310	315	320	340	345	350	380	385	390	40
Muy alta	310	315	320	330	335	340	360	365	370	400	405	410	40

Fuente: Manual del Mortero (Egaña y Zabaleta, 1989)

Para obtener la dosis de agua y contenido de aire atrapado debemos tomar los datos de la arena mencionados anteriormente:

- Tamaño máximo arena: 5 mm.
- Módulo de finura de la arena: 2,68 (Obtenido según 3.3.4).
- Fluidez: Media (recomendada por Egaña y Zabaleta (1989) para mortero de revestimiento).

Con estos datos y según la Tabla 3.4 se obtiene:

- Dosis de agua: 291 lts/m³
- Contenido de aire atrapado: 30 lts/m³
- Razón cemento: arena: 1:3 (cemento: arena)

- Densidad real del cemento: 2,8 kg/dm³
- Densidad real de la arena: 2,7 kg/dm³

$$Cemento = \frac{(1000 - W - H)}{\frac{1}{pc} + \frac{n}{pf}} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

C: Dosis de cemento, en kg/m³;

n: Proporción de arena, en peso;

W: Dosis de agua, en lts/m³;

H: Aire atrapado, en lts/m³;

pc: Densidad real del cemento, en kg/dm³;

pf: Densidad real de la arena, en kg/dm³.

Por lo tanto, se tiene:

$\text{Cemento: } \frac{(1000 - 291 - 30)}{1/3,0 + 3/2,70} = 462,3 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

La dosis de arena es:

$$A = n * C \quad (\text{Ec. 3.8})$$

Donde:

A: Dosis de arena, en kg/m³;

C: Dosis de cemento, en kg/m³;

n: Proporción de arena, en peso.

$\text{Arena: } 3 * 462,3 = 1387 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

Una vez obtenidas las dosificaciones teóricas, se especifican las dosificaciones finales para los cinco tipos de mezclas, una por cada porcentaje de sustitución de cobre por el árido (en volumen, para evitar anomalías en la mezcla, esto debido a la diferencia de densidades de la arena y el cobre indicadas en la Tabla 4.1 y Tabla 4.2 respectivamente), incluyendo la muestra patrón. Las dosificaciones se presentan en la Tabla 3.5.

Tabla 0.5: Dosificación de mortero con sustitución de cobre.

Sustitución cobre	Cobre kg	Arena kg	Agua kg	Cemento kg
0%	0	1387	291	462
5%	175	1318	291	462
8%	280	1276	291	462
20%	700	1110	291	462
30%	1050	971	291	462

Fuente: Elaboración propia

3.3.7 Mortero de cemento con incorporación de cobre

La calidad del mortero está representada por una serie de propiedades, siendo las más importantes su resistencia mecánica, consistencia, retentividad y adherencia. Se evalúan las propiedades del mortero según la NCh 2256:2013 Mortero parte 1: Requisitos. Además de estos requisitos mínimos se evaluará si la mezcla adquiere propiedades biocidas con la adición del cobre triturado.

a) Determinación de la consistencia:

El ensayo de consistencia se realizó con el procedimiento establecido en la NCh 2257/1:1996 “Método del extendido en la mesa de sacudidas”. Se lleva a cabo este procedimiento con la mesa de Graf, por el nombre de su autor, la cual presenta mayor simplicidad en su empleo al ser ésta manual. A continuación, se detalla el procedimiento a seguir para la realización de este ensayo:

- Colocar el molde centrado sobre la plataforma.
- Llenar el molde con mortero en 2 capas y compactar cada una de ellas con 20 golpes de pisón.

- Enrasar con regla sin compactar el mortero y limpiar el excedente de mortero.
- Levantar el molde y accionar el mecanismo manual de modo de dejar caer la plataforma 25 veces en un tiempo de 15 segundos.
- Medir y registrar 4 diámetros equidistantes con exactitud de 1mm.
- Finalmente clasificar el mortero por su consistencia según Tabla 3.6

Tabla 0.6: Clasificación del mortero por consistencia.

Tipos	Extendido mm	Cono reducido mm
Seca	< 180	< 10
Plástica	180 - 220	10 -30
Fluida	> 220	> 30

Fuente: NCh 2256/1:2013

b) Determinación de retentividad:

Se determina bajo la NCh 2259:1996 “método de succión de agua por vacío”. También se puede determinar por la medición de agua de exudación, como se muestra en la Figura 3.6, la cual consiste en medir de forma porcentual el agua de exudación acumulada en la superficie de una muestra contenida en un recipiente de dimensiones conocidas. Para ésta medición, se debe dejar el mortero en reposo por un periodo de 120 minutos hasta que el material más pesado decante y el agua comience a subir a la superficie. Se debe tener en cuenta que éste procedimiento no está normalizado y solo se toma como alternativa propuesta por El Manual del Mortero (Egaña y Zabaleta, 1989) para conocer el porcentaje de agua que retiene el mortero, por lo que este parámetro no podrá ser comparado con los valores solicitados en la NCh 2256/1:2013.

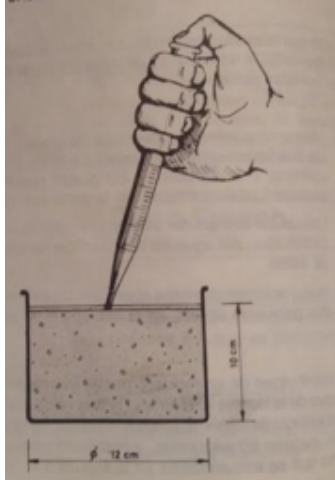


Figura 0.6: Medición de agua de exudación del mortero

c) Determinación de la adherencia:

Este ensayo se realiza bajo el método de tracción directa según la NCh 2471:2000, el que se realiza por medio de un disco de acero adherido a la superficie del recubrimiento a ensayar, sobre el que se aplica una fuerza de separación perpendicular a la superficie mediante un equipo calibrado, la que se aumenta gradualmente hasta producir el despegue entre el recubrimiento y el sustrato o la rotura en otra zona. A continuación, se detalla el procedimiento:

- Limpieza de pastelones de hormigón prefabricado y normalizado que se usa como sustrato rígido.
- Se procede a limpieza de moldes de plásticos y colocación de desmoldante.
- Se prepara el mortero y se llenan los moldes.
- El mortero se coloca siendo espaciado en los moldes de modo que quede una superficie lisa sin protuberancia como se muestra en la Figura 3.8.
- Al siguiente día se desmolda y se deja curar bajo agua hasta día de ensayo.
- Un día antes de realizar el ensayo de adherencia (día 27), se pegan discos de aceros con una resina epóxica.
- A través de un perno de cabeza circular que se inserta en los discos, y posterior a nivelar los apoyos de la máquina extractora (Figura 3.7) se procede a rotura de las muestras de forma gradual.

- Se calcula la adherencia mediante la siguiente expresión:

$$B = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 3.7})$$

Donde:

B : Adherencia en megapascal, MPa.

F : Carga de rotura en Newton, N.

A : Área de la probeta en milímetros cuadrados, mm².



Figura 0.7: Equipo de tracción directa, para adherencia de mortero



Figura 0.8: Pastelón de hormigón con morteros adheridos

d) Determinación de la resistencia mecánica:

Se evaluó la resistencia a la flexión y compresión de morteros con sustituciones de 5, 8, 20 y 30% (% en volumen) de cobre por el árido de la mezcla. La fabricación de morteros sigue las instrucciones de amasado, curado de las muestras y determinación de la resistencia a flexión y compresión de acuerdo con la NCh 158:1967.

Las probetas prismáticas de dimensiones 40x40x160 mm se ensayaron a los 28 días, empleando una dosificación para la relación 1/3 (cemento/árido).

Transcurridas las primeras 24 horas en la cámara húmeda se procederá al desmolde de las probetas tras lo cual, se sumergen en agua y se conservan en la cámara húmeda curándose hasta la edad de ensayo.

Las probetas prismáticas son ensayadas primero a flexión con cargas centradas y, posteriormente, cada parte de la probeta resultante se ensaya a compresión.

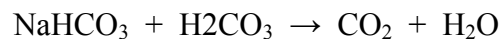
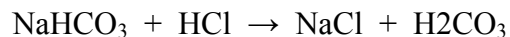
3.3.8 Carbonatación de probetas

Dado que la carbonatación en el aire es un proceso muy lento, para acelerarlo se expondrán las probetas a una atmósfera de CO₂ en una cámara cerrada de vidrio, manteniendo en su interior una humedad relativa de 60% ± 5%.

Este proceso se realizó principalmente para disminuir el pH del mortero y facilitar el crecimiento del hongo en la probeta. Esto teniendo en cuenta que los hongos crecen en un medio ácido con mayor facilidad.

El procedimiento para la carbonatación de las probetas es el siguiente:

Para la confección del dióxido de carbono se utiliza bicarbonato de sodio (NaHCO₃) y ácido clorhídrico (HCl). Ambas sustancias se mezclan y mediante la reacción química se producirá el CO₂.

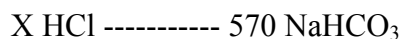
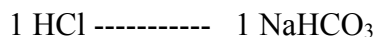


Al utilizar una concentración de CO₂ de 7890 mg/m³ en un recipiente hermético podrá ocurrir la carbonatación de las probetas de mortero (Silva, 2013). Usando una desecadora de 38 litros como cámara de gases se utilizaran 300 mg de CO₂. Entonces se tiene que:

$$300 \cdot (84/44) = 570 \text{ mg de NaHCO}_3$$

Donde los valores 84 y 44 corresponden al peso molar del bicarbonato de sodio y del dióxido de carbono respectivamente.

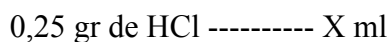
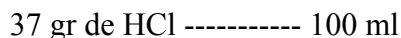
Finalmente para conocer la cantidad de ácido clorhídrico se puede plantear una relación basada en el equilibrio químico, debido a que todos se encuentran equilibrado en 1 átomo. Por lo que se puede determinar la siguiente relación.



Despejando X se tiene que:

$$(570 \cdot 36,5) / (1 \cdot 84) = 250 \text{ mg de HCl}$$

Donde 36,5 y 84 es el peso molar del ácido clorhídrico y bicarbonato de sodio respectivamente. Se utilizará HCl al 37%, es decir, en 100 ml de ácido hay 37 gr de ácido puro. Luego, se tiene que:



Despejando se tiene que se utiliza 0,67 ml de HCl.

Las probetas se dispusieron sobre recipientes de vidrio en el interior de la desecadora como se muestra en la Figura 3.9 y se deja cerrada herméticamente durante 14 días para que se produzca la carbonatación de las muestras de mortero.

Finalmente para asegurarnos que las probetas están carbonatadas, las sometemos al “Método de la Fenolftaleína” con una solución alcohólica al 1%, la que permanece incolora para valores de pH inferiores a 8,3 y se colorea de rojo-púrpura para valores superiores.

La zona que se colorea de rojo-púrpura es aquella que se mantiene alcalina, mientras que la que se mantiene incolora es la que se ha carbonatado.



Figura 0.9: Desecadora hermética con probetas de mortero atacadas con CO₂

3.3.9 Estudio a nivel de laboratorio de microorganismos

Luego de los ensayos mencionados anteriormente, se procederá a la última etapa experimental, la que consistirá en realizar ensayos de crecimiento en las probetas de mortero de *Aspergillus niger*, uno de los principales hongos del genero *Aspergillus* provocador de infecciones en seres humanos.

Estos ensayos se realizaron sobre probetas de mortero de 40x40x10 mm, con 0%, 5%, 8%, 20% y 30% de cobre sustituido en volumen por el árido de la mezcla.

Los microorganismos que se emplearon fueron *Aspergillus niger* previamente aislados y luego cultivados en medio Malta-Agar.

Previo a la inoculación de las probetas se prepara el medio (Malta-Agar). Las probetas y placas Petri (recipiente utilizado para inocular) se colocaron en autoclave a 110°C durante 15 minutos para asegurar su esterilización y evitar la contaminación de las placas.

Después de lo mencionado anteriormente se realizará la inoculación, el montaje de esto se realizará en una cámara de flujo laminar, el proceso consiste en colocar un dosificador de 15 ml del medio de cultivo en cada una de las placas Petri, luego se pondrán las probetas de mortero en estas placas con Malta-Agar.

Luego se inoculó el microorganismo con repiques ubicados a 2 centímetros de la probeta de mortero. Se selló con papel Film para evitar contaminación del aire, manteniéndose en las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para su crecimiento. Finalmente se deberá observar la muestra cada 48 horas para verificar el eventual crecimiento de los microorganismos inoculados, además, evitar que la probeta se infecte con algún otro microorganismo, todo esto con un microscopio binocular y una lupa con cámara digital.

3.3.10 Factorial de ensayo de la investigación

Se realizaron 5 tipos de mezclas con dos pH distintos para cada mezcla, con los cuales se fabricaron probetas para realizar 6 ensayos distintos. Para cada ensayo realizado a los 28 días, se hicieron 3 probetas distintas, entre la cuales se obtuvo un valor promedio para cada ensayo normalizado.

Se fabricaron 30 probetas prismáticas de 40 x 40 x 160 mm, utilizadas para los ensayos de compresión, flexión e inoculación del hongo en la probeta de mortero. Para los restantes ensayos, no se utilizaron probetas normalizadas, debido a que se realizan en estado fresco. En el caso del ensayo de retentividad, se midió el agua de exudación de la mezcla en un recipiente con volumen de mortero determinado, por lo cual tampoco se utilizaron probetas prismáticas.

En la Tabla 3.7 se muestra el factorial de ensayo de la investigación, donde se muestran los ensayos realizados a cada tipo de mezcla con distintos porcentajes de cobre y variación en el pH del mortero.

Tabla 0.7: Factorial de ensayo de la investigación.

Tipo de cemento		Puzolánico									
Cont. de cemento		462 Kg/m ³									
Cont. De agua		291 Lts/m ³									
Árido Fino	Arena	100%		95%		92%		80%		70%	
	Cobre	0%		5%		8%		20%		30%	
pH		12	8	12	8	12	8	12	8	12	8
Nomenclatura		PP		P5		P8		P20		P30	
Ensayos	Día	ENSAYOS									
Consistencia	0	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-
Retentividad	0	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-
Resist. Flexión	28	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-
Resist. Compresión	28	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-
Adherencia	28	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-	✓	-
Innoc. De Hongos	28	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia

4 PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de la fase experimental de la investigación la cual se desarrolló en las dependencias del laboratorio de hormigones de la Universidad de Valparaíso. Además, previamente se dan a conocer los resultados de la caracterización del cobre y la arena, entregándose el análisis de los ensayos descritos en el capítulo anterior.

A modo de resumen, en la figura 4.1 se indican los ensayos con los cuales se caracterizará el mortero con cobre, por un lado, los ensayos en estado fresco y por otro en estado endurecido.

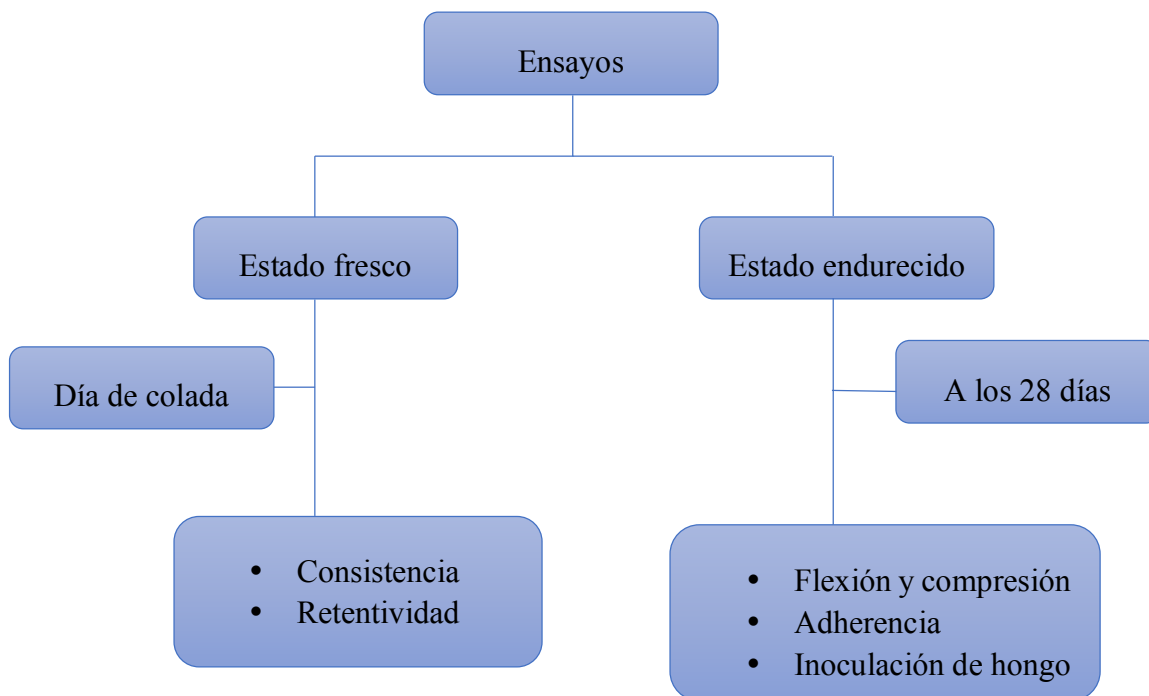


Figura 4.1: Ensayos de caracterización de morteros

Fuente: Elaboración propia

4.1 Caracterización de los áridos

4.1.1 Arena

En la figura 4.2 se pueden observar las características granulométricas de la arena, las cuales fueron necesarias para la dosificación del mortero en estudio, se le realizaron ensayos de granulometría y densidades a la arena mediante el procedimiento indicado en la NCh 165:2009.

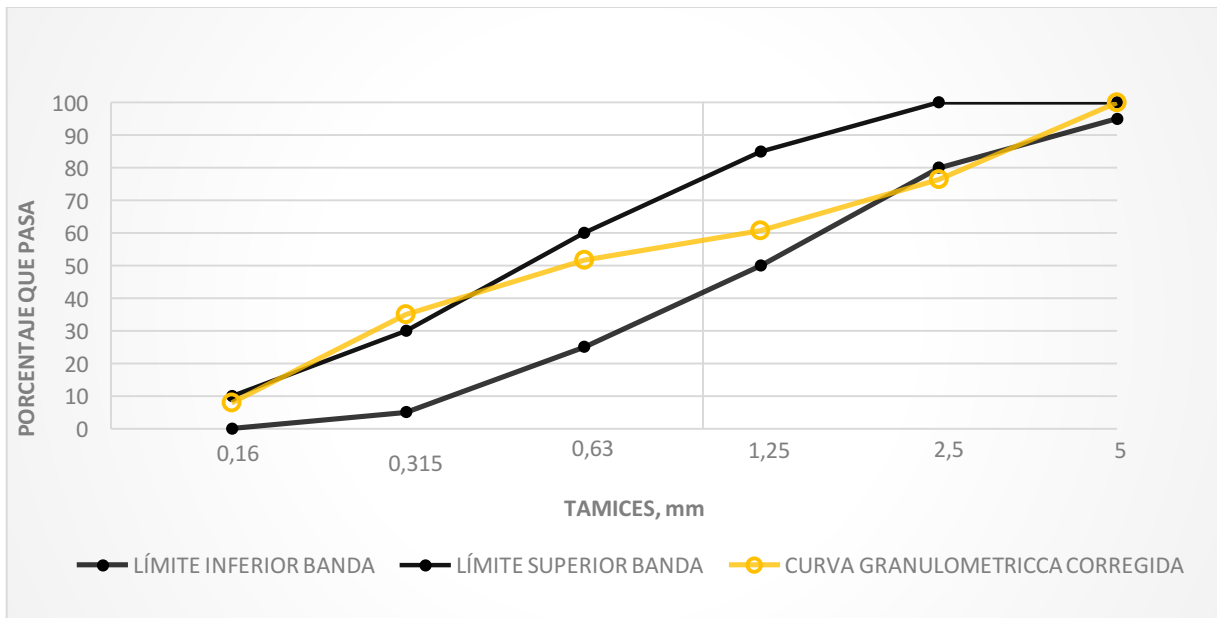


Figura 4.2: Granulometría de la arena
Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica se puede observar que la arena cumple en su mayoría con los requisitos granulométricos exigidos por la NCh 165:2009. Se pueden identificar dos tamices (0,315 y 2,5 mm) que se desvían de banda, pero, cumpliendo con los requisitos de la NCh 2256/1 puede ser utilizada para la fabricación del mortero.

La determinación de la densidad real, neta y absorción de agua y otras características físicas de la arena se realizó de acuerdo con los procedimientos establecidos en 3.3. En Tabla 4.1 se muestran los resultados.

Tabla 0.1: Propiedades físicas de la arena

Característica	Densidad aparente compactada	Densidad aparente suelta	Densidad real seca	Densidad neta	Absorción
Unidad	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	%
Promedio	1.749	1.603	2.603	2.708	1,5

Fuente: Elaboración propia

4.1.2 Cobre

En la Figura 4.3 se pueden observar las características granulométricas del cobre, la cual se realizó bajo los procedimientos descritos en la NCh 165:2009.

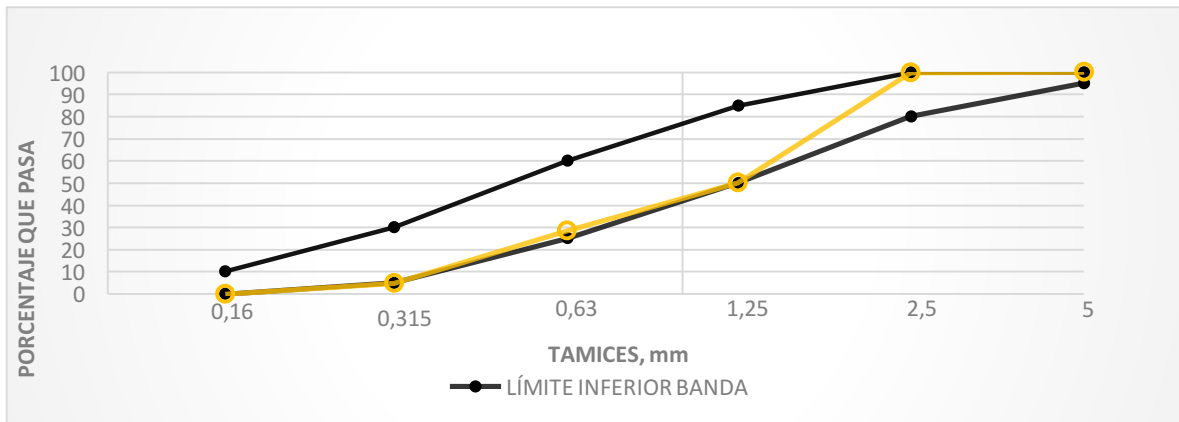


Figura 4.3: Granulometría del cobre

Fuente: Elaboración propia

La determinación de la densidad real, neta y absorción de agua y otras características físicas de la arena se realizó de acuerdo con los procedimientos establecidos en 3.3. En Tabla 4.1 se muestran los resultados:

Tabla 0.2: Propiedades físicas del cobre.

Característica	Densidad aparente compactada	Densidad aparente suelta	Densidad real seca	Densidad neta	Absorción
Unidad	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	%
Promedio	4.370	4.040	7.490	7.500	0

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Conclusiones preliminares

La granulometría de la Arena cumple con la banda granulométrica que se establece en la NCh 165:1977 para la fabricación de morteros. De igual manera cumple el cobre triturado con lo que establece la norma.

Las densidades del cobre fluctúan en el rango 4.369 y 7500 kg/m³. Siendo un 270% más denso que la arena utilizada para la fabricación del mortero por lo que se realizan los reemplazos en volumen.

El cobre tiene un mayor peso que la arena y una menor absorción de agua (0%), esto debido a la ausencia de poros accesibles e inaccesibles en las partículas.

4.2 Ensayos en estado fresco

4.2.1 Consistencia

En la Tabla 4.3 se registraron los resultados obtenidos en el ensayo de consistencia a partir de un promedio de tres muestras por tipo de mortero y se representa en el gráfico de la Figura 4.4, así como también se presentan en la Tabla 4.4 los criterios de clasificación del mortero según NCh 2256/1:2013. Valores que ayudarán a definir el mortero en estudio.

Tabla 0.3: Resultado ensayo de consistencia.

Tipo de mortero	PP	P5	P8	P20	P30
Diámetro prom. (mm)	207	213	226	241	247

Fuente: Elaboración propia

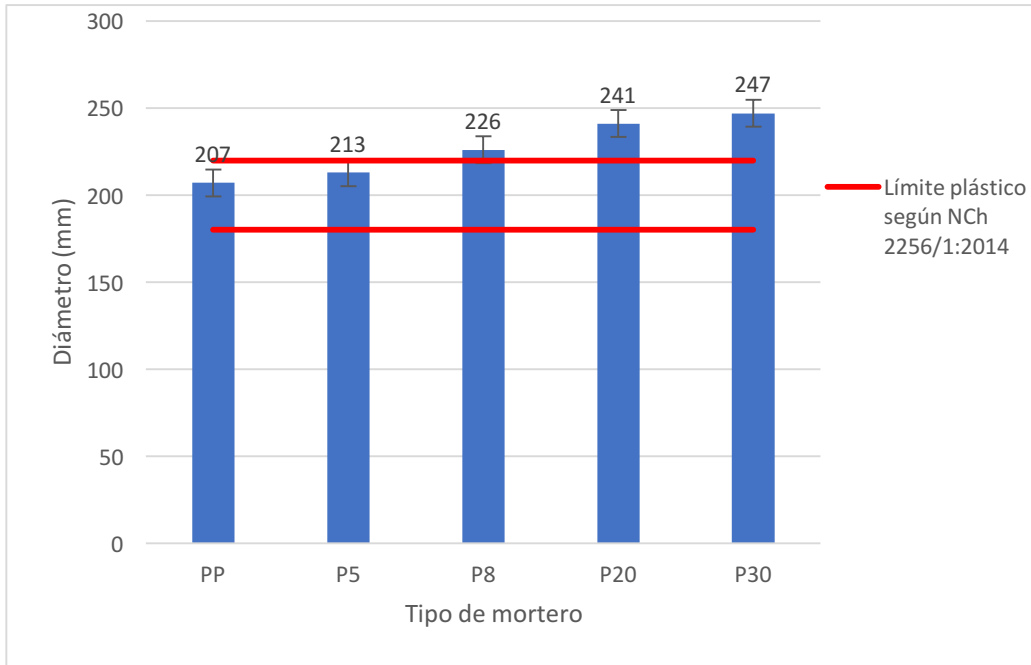


Figura 4.4: Gráfico de consistencia
Fuente: Elaboración propia

Con los resultados obtenidos se logra inferir que a medida que aumenta el porcentaje de escoria en reemplazo de la arena, aumenta la consistencia de los morteros fabricados, esto se explica por la nula absorción de agua del cobre del cobre. Como se muestra en la Figura 4.4 la Probeta Patrón de mortero (PP) está en la zona de consistencia plástica obteniendo un diámetro promedio de 207 mm, estando cerca del límite superior plástico, por lo que cualquier aumento en el agua de amasado podría aumentar hasta salir al estado fluido del mortero. La probeta P5 se encuentra en el estado plástico para los límites que establece la NCh 2256/1:2013, por otro lado, las probetas P8, P20 y P30 se encuentran en estado fluido, por lo que PP y P5 se pueden clasificar como mortero de revestimiento según este criterio.

4.2.2 Retentividad

Debido a que el mortero está constituido por materiales de distintos pesos específicos, tiende a producirse la decantación de los de mayor peso unitario, que son los sólidos, y el ascenso de los más livianos, que es el agua.

Para la realización de este ensayo de retentividad, se mide la exudación de agua de amasado, que consiste en medir en forma porcentual el agua de exudación acumulada en la superficie de una muestra contenida en un recipiente de dimensiones normalizadas, después de dejarla 2 horas en reposo, tal como muestra la figura 4.5



Figura 4.5: Medición del agua de exudación del mortero

Los resultados de este ensayo se muestran en la tabla 4.5 a partir de un promedio de tres muestras para todos los tipos de mortero, graficándose en la Figura 4.6, las cuales arrojan una retención de agua mayor al 90%, lo que permite decir que los morteros estudiados tienen una baja exudación.

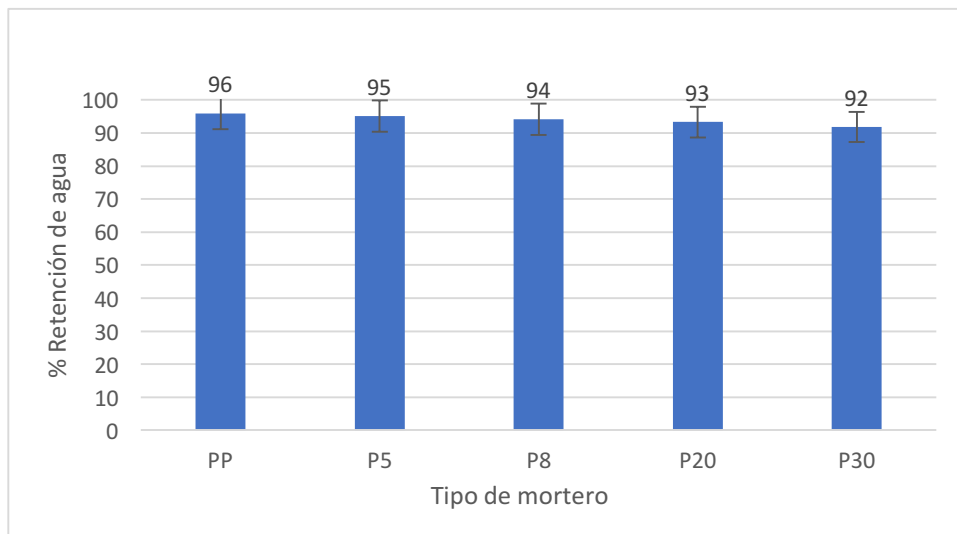


Figura 4.6: Porcentaje de retención de agua del mortero

Fuente: Elaboración propia

Según la tabla 4.6 los resultados de los morteros estudiados no pueden clasificarse como la norma lo indica, esto debido a que el ensayo descrito en la norma NCh 2256/1 Of 2013 no es el mismo a que se utilizó en la investigación. Solo podemos decir que el mortero tiene una alta retención de porcentaje de agua de amasado visto en el ensayo de exudación del mortero, lo cual podría suponer que el mortero tiene una alta retentividad.

4.3 Ensayos en Estado Endurecido

4.3.1 Ensayo de Adherencia

Este ensayo se realizó de acuerdo con la NCh 2471 Of2000, “método tracción directa” que establece el procedimiento de ensayo para determinar la adherencia de un recubrimiento tipo mortero.

En la Figura 4.7 se muestra el sustrato de hormigón con las probetas para realizar tracción directa, mientras que en la Figura 4.8 se muestra la probeta arrancada del sustrato de hormigón por tracción directa.



Figura 0.8: Sustrato de hormigón con probetas de adherencia



Figura 0.7: Probeta de mortero arrancada del sustrato de hormigón

En la Figura 4.9 se puede observar que a medida que se aumenta el porcentaje cobre en la mezcla de mortero, aumenta también la adherencia de éste al sustrato de hormigón, llegando a un punto máximo en la probeta P20 (con 20% de cobre en reemplazo de arena),

luego la probeta P30 disminuye en un 0,01 MPa, por lo que se puede decir que la adherencia se mantiene en estas dos últimas probetas.

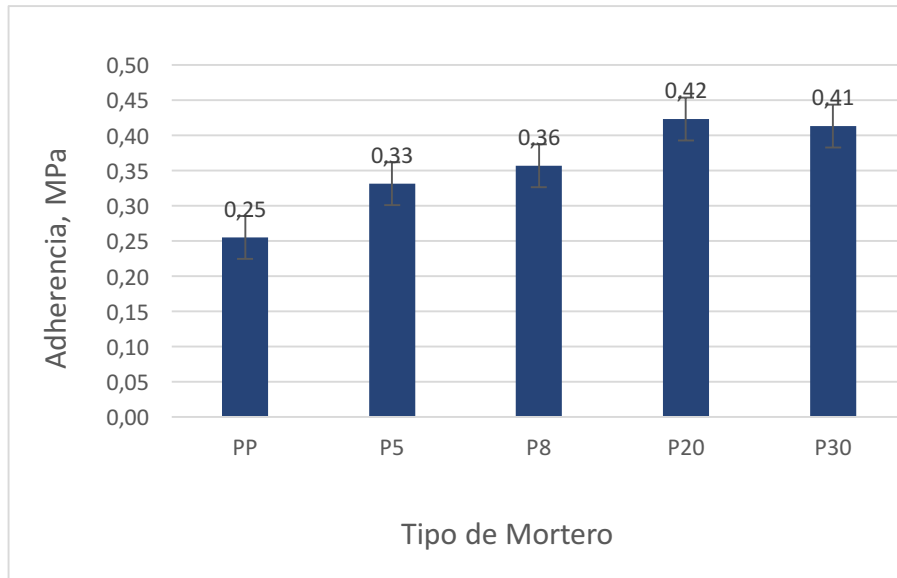


Figura 4.9: Resultados Ensayo de Adherencia

Respecto a los requisitos mínimos exigidos por la NCh2256/1:2013 para morteros de revestimiento estos cumplen con los valores mínimos de 0,20 Mpa.

4.3.2 Ensayo de Flexión

Se fabricaron probetas de morteros con sustitución de arena por cobre de acuerdo con el procedimiento establecido en la NCh 158 Of67. En la tabla 4.4 se muestran los resultados obtenidos para el ensayo de flexión como un promedio de 3 probetas prismáticas de mortero con 0, 5, 8, 20 y 30% de cobre en reemplazo de arena en volumen.

Tabla 0.4: Resumen ensayo de flexión mortero

Tipo Mortero	PP	P5	P8	P20	P30
Flexión (Mpa)	5,28	5,40	7,23	5,83	5,31

Fuente:Elaboración propia

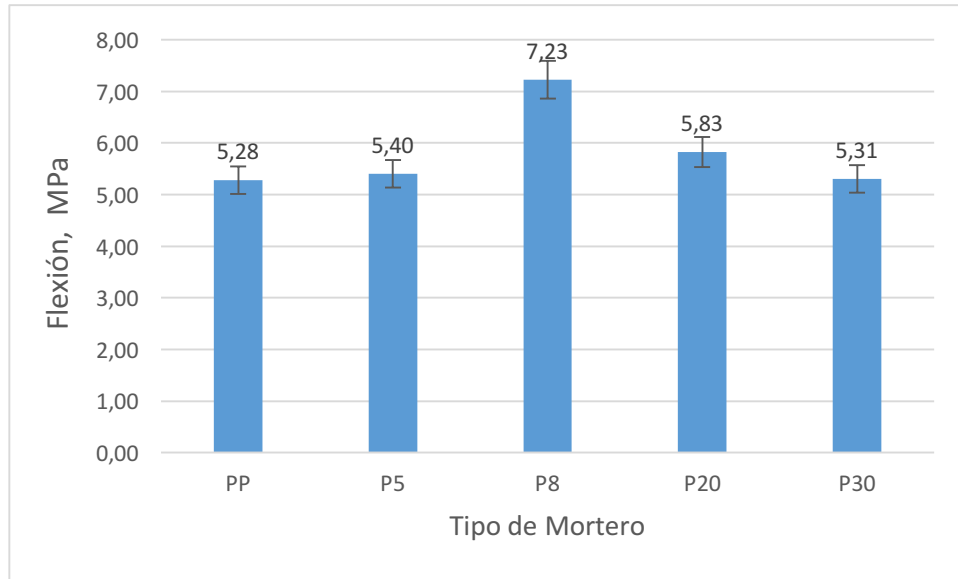


Figura 0.9: Gráfico de Ensayo a Flexión

Con los datos obtenidos del ensayo a flexión se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de cobre en el mortero, aumenta también la resistencia a flexión, llegando a una resistencia máxima en la probeta P8, luego comienzan a decaer las resistencias nuevamente formando una campana de Gauss.

4.3.3 Ensayo de Compresión

Se fabricaron probetas de morteros con sustitución de arena por cobre de acuerdo con el procedimiento establecido en la NCh 158 Of67. Los resultados de resistencia a la compresión corresponden a sustituciones de un 0% (patrón), 5%, 8%, 20% y 30% en volumen.

El mortero con sustitución debe satisfacer los requisitos mínimos exigidos en la norma 2256/1 Of13, para estuco interior en superficie de hormigón, teniendo resistencia mínima a compresión de 6,0 MPa.

Los resultados de los ensayos de resistencia a compresión se presentan en Tabla 4.5 y se representa gráficamente en la Figura 4.11 donde se puede apreciar un leve crecimiento de las resistencias a compresión obteniendo un máximo en la probeta P20.

Tabla 0.5: Ensayo de Compresión de Mortero

Tipo de Mortero	PP	P5	P8	P20	P30
Compresión (MPa)	23,43	23,69	24,69	27,39	25,46

Fuente: Elaboración propia

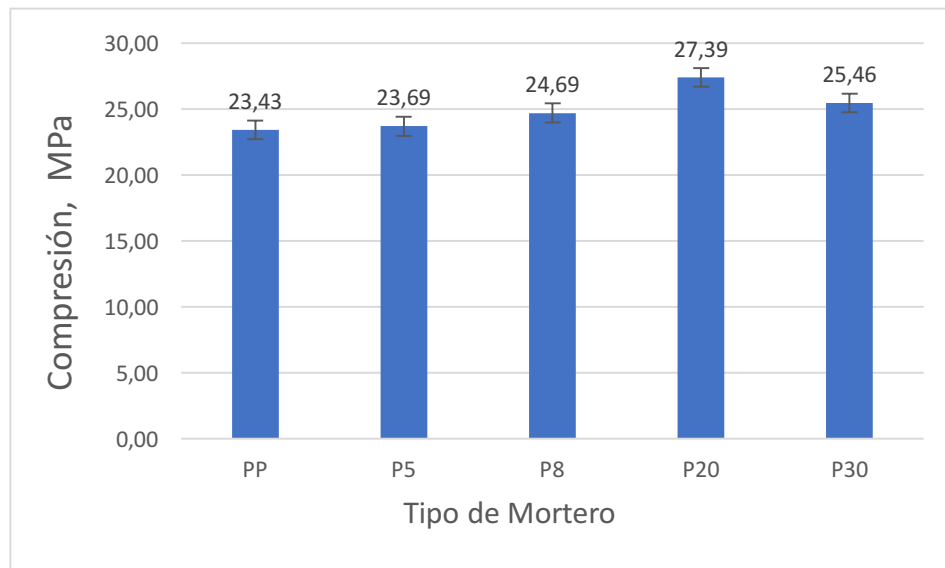


Figura 0.10: Resistencia a la Compresión

Con los datos obtenidos del ensayo a compresión, se deduce que al aumentar el porcentaje de cobre en reemplazo de la arena, aumenta la resistencia de las probetas en un 5% desde 0% a 8% de cobre, lo cual, es un crecimiento no significativo. En cambio, en la probeta con 20% de cobre se alcanza una máxima resistencia a compresión de un 17% más que en la probeta con 0% de cobre. Finalmente la probeta con 30% de cobre disminuye la resistencia

con respecto a la probeta con 20% de cobre, obteniendo una curva parabólica en el gráfico de resistencias.

A continuación, se presentan en la Figura 4.12 una gráfica de variación porcentual de la flexión con respecto al mortero patrón. En tanto, en la Figura 4.13 se muestra la gráfica de la variación porcentual de la compresión con respecto al mortero patrón.

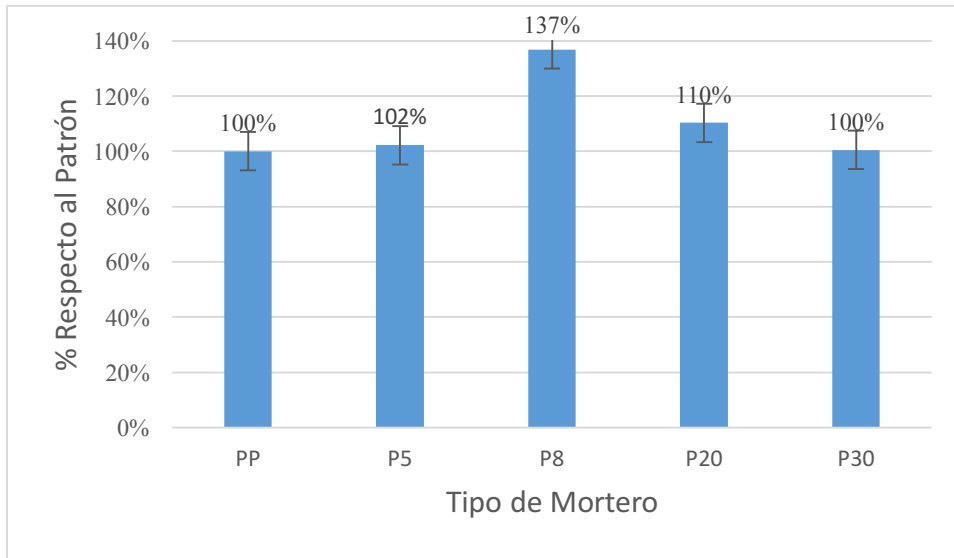


Figura 4.12: Gráfica de la variación de la flexión con respecto al mortero patrón

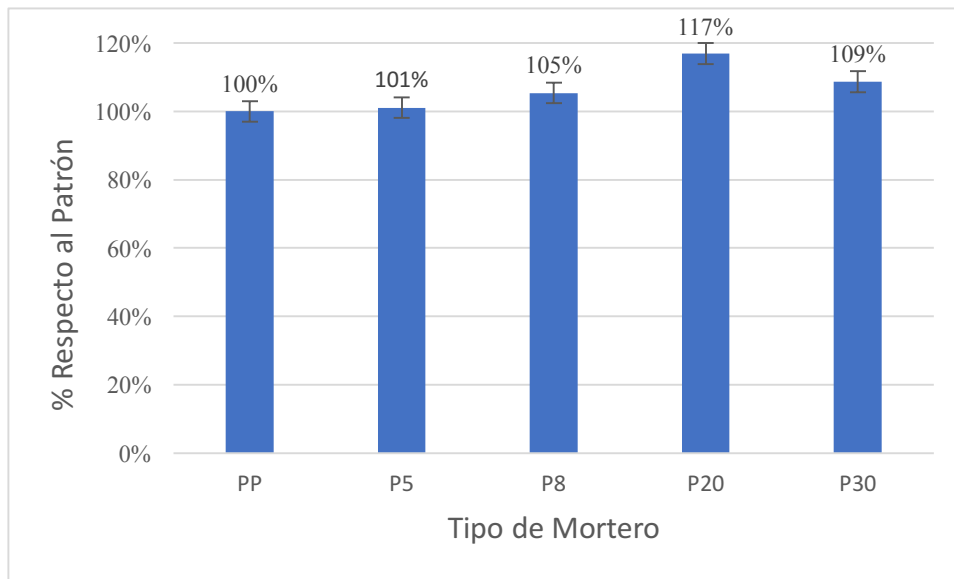


Figura 4.13: Gráfica de la variación de la compresión con respecto al mortero patrón

Podemos concluir que los morteros fabricados mostraron un aumento de la resistencia a la flexo-tracción, siendo el más significativo el reemplazo de 8% el cual tuvo un aumento del 37% respecto a la muestra patrón. Las muestras con un 5% y 30% no lograron notar mayor diferencia con respecto a la probeta patrón.

Con los datos obtenidos en el ensayo de flexión se puede observar que a medida que aumenta el porcentaje de cobre en reemplazo de arena en la mezcla, esta aumenta su resistencia a la flexión de los morteros fabricados llegando a un punto máximo en la curva de crecimiento en la muestra P8.

Con los datos obtenidos en el ensayo de compresión se puede observar al igual que en la flexión, que a medida que aumenta el porcentaje de cobre en la mezcla como reemplazo de la arena, aumenta la resistencia a compresión de los morteros fabricados, haciéndose más evidentes esos aumentos en las probetas P20.

Los morteros estudiados cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión requeridos por las normas chilenas con lo cual observamos que el mortero con cobre, bajo los aspectos de resistencias mecánicas, está apto para ser utilizado como estuco.

4.3.4 Densidad del mortero con reemplazo de cobre

Para determinar en qué porcentaje el cobre influía en la densidad de los morteros, se calculó la ganancia de peso que tenían las probetas con cobre comparándolas con la muestra de control (PP). Se hizo el cálculo de la densidad, tomando 3 medidas (pie de metro) sobre la cara de llenado para luego sacar un promedio con el cual obtuvimos el volumen real de las probetas, luego mediante su peso calcularíamos la densidad.

En la tabla 4.6 se muestran los valores promedio de densidad para cada una de las mezclas de mortero con los distintos porcentajes de cobre, siendo representados estos valores en la Figura 4.14.

Tabla 0.6: Resultados Ensayo de densidad

Tipo de Mortero	PP	P5	P8	P20	P30
Densidad Kg/m ³	2.169	2.312	2.374	2.574	2.846

Fuente: Elaboración propia

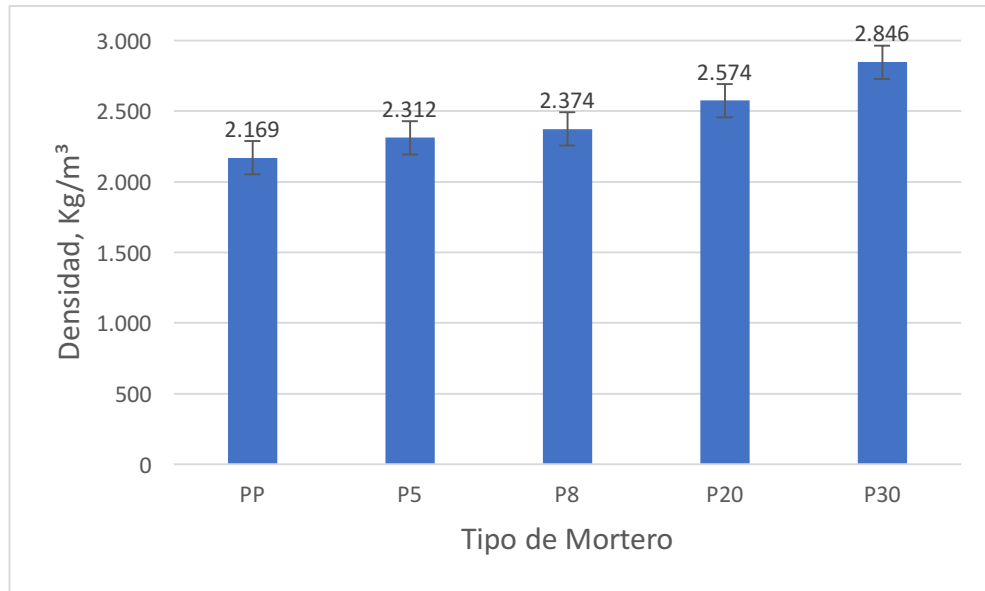


Figura 0.14: Densidades de los tipos de mortero

Con los resultados obtenidos, se puede deducir que al aumentar el porcentaje de cobre en la mezcla de mortero aumentan también las densidades de cada una de las probetas de forma lineal, aumentando desde la PP hasta P30 un 31% de densidad en las probetas.

4.4 Carbonatación de Probetas

Las probetas de mortero se sometieron al ataque de CO_2 durante un periodo de 7 días, donde se hace una prueba para verificar los pH de las muestras de mortero, mediante el método de la Fenolftaleína (al 1%). Luego de los 7 días el pH del mortero disminuyó a un valor de 8 en la escala del pH metro. En la Figura 4.15 se muestra el método indicador de fenolftaleína, mientras que en la figura 4.16 se muestra el indicador de pH metro realizado al mortero.



Figura 0.15: Método indicador de Fenolftaleína

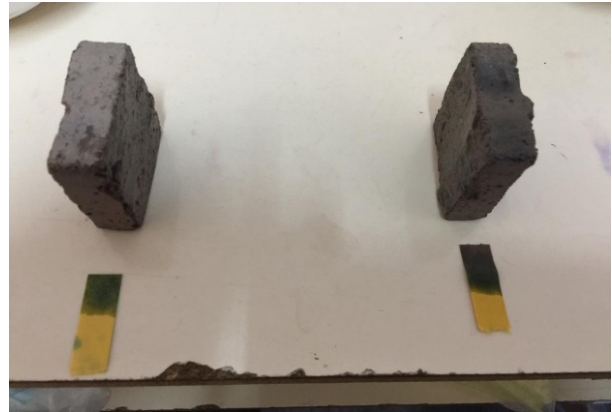


Figura 0.16: Indicador con pH metro

Con estos indicadores de pH, se puede deducir que el pH del mortero al ser atacado por CO_2 durante 7 días decrece hasta valores cercanos a 8. Al dejar las probetas en la misma atmósfera de CO_2 durante 14 días los valores de pH se mantienen constantes, no habiendo mayor diferencia con los resultados obtenidos a los 7 días.

4.5 Inoculación en Probetas de Mortero

Se inocularon 3 probetas de cada porcentaje de cobre, carbonatadas y no carbonatadas de 40 x 40 x 12 mm. Instaladas en placas Petri, con un replique de *Aspergillus niger* ubicado a 2 centímetros de la probeta de mortero. En la Tabla 4.6 y Tabla 4.7 se muestran los porcentajes del área de las probetas invadidas por *Aspergillus niger* en probetas carbonatadas y no carbonatadas respectivamente, correspondiente a las cuatro caras laterales y la cara superior de la probeta inoculada. Los datos se ilustran en la Figura 4.17 y 4.18 donde se puede analizar que en las probetas carbonatadas en la séptima semana el hongo cubre el 100% de la probeta de mortero patrón, mientras que las probetas que tienen cobre en la misma semana 7 alcanza un máximo de 12% de área afectada por *Aspergillus* en la probeta de 5% de cobre. En las muestras de mortero no carbonatadas, el comportamiento es similar a las carbonatadas, aunque con un área menor de invasión de la probeta, donde en la semana 3 de inoculación, recién se logra ver el microorganismo invadiendo el área de la muestra, con un 5%, mientras que las probetas carbonatadas en dicho tiempo ya tenía un 37% del área invadida. En los porcentajes más altos de cobre, como en P20 se logra apreciar recién en la quinta semana un 1% de área invadida, no aumentando en las semanas siguientes, mientras que P20 en las muestras no carbonatadas no presenta crecimiento de microorganismos. Las muestras con 30% de cobre (P30) no presentan crecimiento de *Aspergillus* en las muestras carbonatadas y no carbonatadas.

Tabla 0.7: Porcentaje del área de probetas carbonatadas invadido de *Aspergillus n.*

Tipo de Mortero	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
PP	0	11	37	54	84	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P5	0	0	4	6	9	11	12	12	12	12	12	12	12	11	11
P8	0	0	2	4	5	8	8	7	7	7	7	7	7	8	8
P20	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
P30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

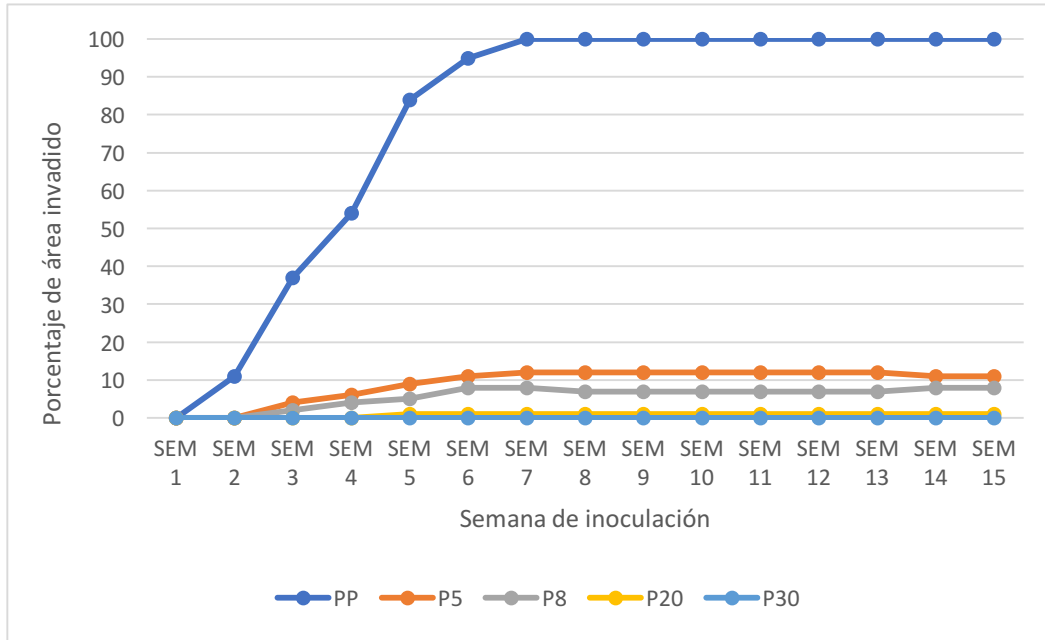


Figura 0.17: Gráfico de porcentaje invadido de *Aspergillus niger* en probetas de mortero carbonatadas.

Tabla 0.8: Porcentaje del área de probetas no carbonatadas invadido de *Aspergillus n.*

Tipo de Mortero	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15
PP	0	0	5	18	28	47	63	72	74	75	75	77	76	77	78
P5	0	0	2	5	9	9	10	10	10	10	10	10	11	11	11
P8	0	0	0	3	5	8	8	7	7	7	8	8	8	7	7
P20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

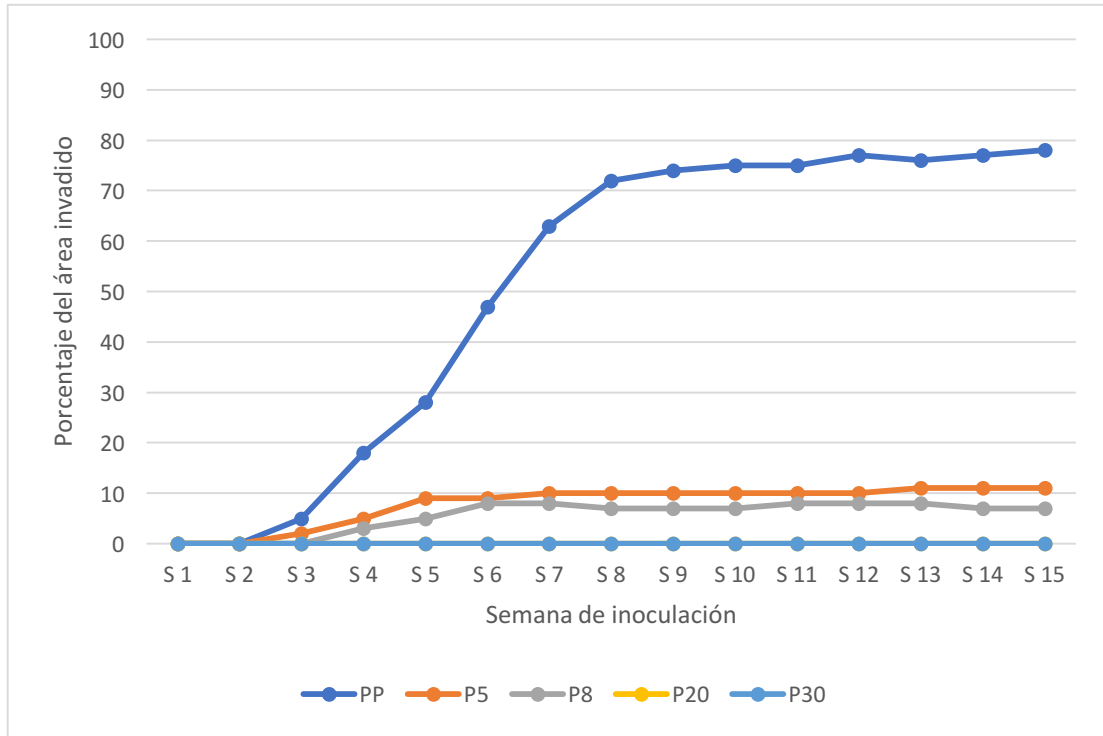


Figura 0.18: Gráfico de porcentaje invadido de *Aspergillus niger* en probetas de mortero no carbonatadas.

En la Figura 4.19, se muestra una probeta de mortero con 0% de cobre (PP) después de 4 semanas de inoculación, se logra apreciar el vértice de la probeta invadido por micelios de *Aspergillus niger*. En la Figura 4.20 se muestra la arista entre la cara lateral y superior de la probeta de mortero después de 3 semanas de inoculación, donde comienza a llegar el microorganismo a la cara superior de la probeta. Se puede apreciar las hifas soportando las conidiosporas de *Aspergillus niger*.

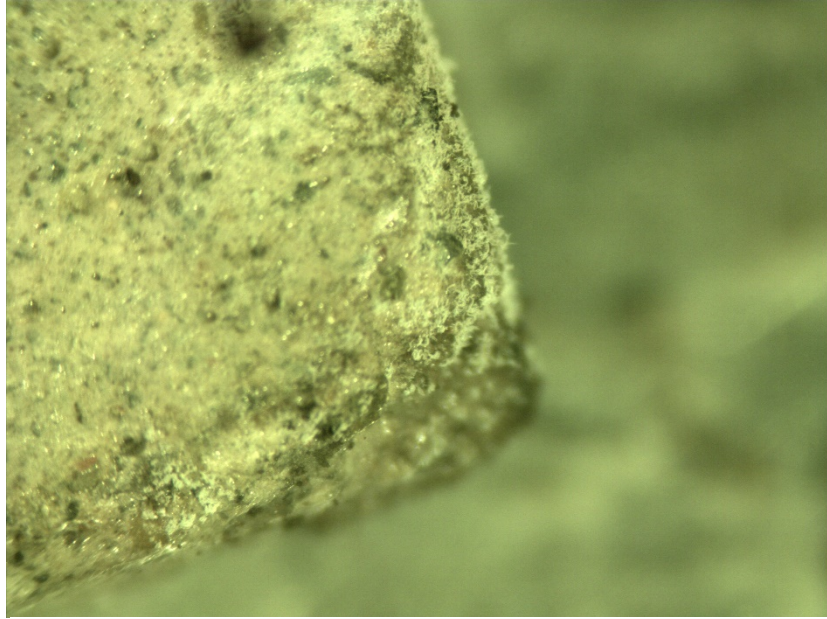


Figura 0.19: Probeta Patrón después de 4 semanas de inoculación invadida de *Aspergillus niger* (10x).

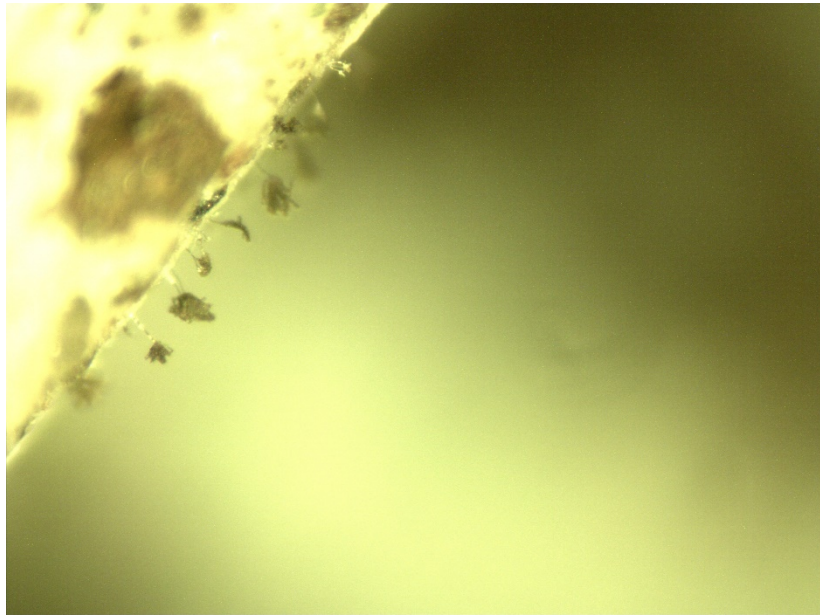


Figura 0.20: Probeta P5 después de 3 semanas de inoculación con hifas soportando conidiosporas en la arista de la probeta (40x)

Se puede concluir del ensayo de inoculación de morteros, que al carbonatar las muestras de mortero antes de la inoculación el crecimiento de los microorganismos es más rápido que en las muestras no carbonatadas dado el valor de pH. Las probetas sin cobre resultan afectadas en promedio un 100% en probetas carbonatadas en 7 semanas, mientras que las probetas con 5% de cobre se reduce su crecimiento en la séptima semana un 88%, mientras que en las probetas con 20% de cobre se reduce un 99% el crecimiento de *Aspergillus niger*.

En las probetas no carbonatadas se produce crecimiento del hongo en la tercera semana, mientras que en la semana 8 la probeta con 5% de cobre presenta una reducción de un 86% en el crecimiento de *Aspergillus niger*, mientras que la probeta con 20% de cobre no tiene crecimiento en la semana 8, es decir, reduce en un 100% el crecimiento del microorganismo con respecto a la Probeta Patrón (PP).

5 CONCLUSIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

5.1 Caracterización del mortero según resultados de ensayos

El mortero con incorporación de cobre se caracteriza por:

Ser más fluido a medida que aumenta la cantidad de cobre en reemplazo de arena en la mezcla.

Se considera un mortero plástico según NCh 2256/1:2013 la mezcla con 5 % de cobre, donde las mezclas con 8%, 20% y 30% pasan a estar en estado fluido.

Respecto a sus densidades aparentes, éstas aumentan a medida que contienen mayor porcentaje de mortero, haciéndolo un mortero más pesado.

En cuanto a las resistencias mecánicas, aumentan en todas sus configuraciones, donde para el ensayo de flexión la mezcla que mejor comportamiento tuvo fue la que contiene un 8% de cobre, mientras que en compresión y adherencia la probeta que alcanza la máxima resistencia es la que contiene un 20% de cobre.

Es un mortero que retiene gran cantidad de agua, donde todas las mezclas retienen más de un 90% del agua de amasado.

5.2 Conclusiones

Se valida la hipótesis de trabajo, la cual buscaba entregar propiedades fungicidas a un mortero de revestimiento a medida que se aumentan los porcentajes de cobre en la mezcla.

Respondiendo a los objetivos planteados en el inicio de la investigación, el porcentaje óptimo de cobre para inhibir el crecimiento de hongos en la superficie del mortero es de 30%, ya que en esta mezcla no se logran apreciar microorganismos sobre la probeta. Cabe destacar

que a medida que se aumenta el porcentaje de cobre en la mezcla de mortero menor es la presencia de hongos sobre la superficie.

En cuanto a las propiedades mecánicas, todos los tipos de mortero cumplen ampliamente con los requerimientos de las NCh, tanto en adherencia como compresión, ambas en la mezcla con 20% de cobre en reemplazo en volumen de arena.

Teniendo en cuenta todas las variables abordadas en la investigación, es que se propone el mortero con 30% de cobre como mezcla óptima, ya que cumple con todas las propiedades mecánicas indicadas en la NCh 2256/1:2013 para mortero de revestimiento y se reduce el crecimiento de microorganismos con un 100% de efectividad.

5.3 Futuras Investigaciones

Una vez concluida la presente investigación sobre la evaluación de propiedades fungicidas en mortero de revestimiento con incorporación de cobre, se proponen las siguientes líneas futuras de investigación:

- Evaluar propiedades fungicidas de mortero de revestimiento con incorporación de cobre entre 20 y 30%.
- Evaluar las propiedades antibacteriales de mortero de revestimiento con incorporación de cobre.
- Identificar la biodiversidad fúngica sobre materiales de construcción en hospitales.

REFERENCIAS

- Alexopoulos, C., Mims, C., & Blackwell, M. (1996). *Introductory mycology* (4th ed.). New York. Retrieved from <https://trove.nla.gov.au/work/8831422?q&versionId=46511427>
- Borges, M., & Liebana, A. (2000). Presentaciones clínicas de la aspergilosis nosocomial. *Revista Iberoamericana de Micología*, 85–89. Retrieved from <http://www.reviberoammicol.com/2000-17/S85S89.pdf>
- Brenner F., P., Nercelles M., P., Pohlenz A., M., & Otaíza O., F. (2003). Costo de las infecciones intrahospitalarias en hospitales chilenos de alta y mediana complejidad. *Revista Chilena de Infectología*, 20(4), 285–290. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182003000400010>
- Casey, A. L., Adams, D., Karpanen, T. J., Lambert, P. A., Cookson, B. D., Nightingale, P., ... Elliott, T. S. J. (2010). Role of copper in reducing hospital environment contamination. *Journal of Hospital Infection*, 74(1), 72–77. <https://doi.org/10.1016/J.JHIN.2009.08.018>
- Cornejo Quinchalef, C. R. (2001). *Influencia de aditivos en morteros de estucos sometidos a la carbonatación*. Universidad de Valparaíso. Facultad de Arquitectura. Retrieved from http://catalogobibliotecas.uv.cl/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=65519&query_desc=kw%2Cwrd1%3A+carbonatacion
- Egaña; H. Zabaleta. 1989. “Manual del mortero”. Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón. Santiago, Chile.
- Flores Cabeza, E., Sánchez Sánchez, M., Añón Elizalde, J. M., & Gutiérrez Melón, C. (2018). Infecciones relacionadas con la asistencia sanitaria (nosocomiales). *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 12(52), 3076–3084. <https://doi.org/10.1016/J.MED.2018.03.013>
- Furlan, V. (1991). CAUSES, MECHANISMS AND MEASUREMENT OF DAMAGE TO MORTARS. BRICKS AND RENDERINGS. In *Science, Technology and European Cultural Heritage* (pp. 149–159). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-0237-2.50021-6>
- Furlan, V., & Bissegger, P. (1975). Les mortiers anciens : histoire et essais d’analyse scientifique. *Journal of Swiss Archeology and Art History*, 32, 166–178.
- García, M. J. S., Sánchez, J. A. G., Pérez, F. A., Sánchez, C. S., Mayoral, B. G., & Martínez, M. R. M. (2009). Enfermería Intensiva Evaluación del efecto de una intervención de limpieza / por microorganismos multirresistentes en una Unidad. *Enfermería Intensiva*, 20(1), 27–34. [https://doi.org/10.1016/S1130-2399\(09\)70664-9](https://doi.org/10.1016/S1130-2399(09)70664-9)
- Grass, G., Rensing, C., & Solioz, M. (2011). Metallic copper as an antimicrobial surface. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(5), 1541–1547. <https://doi.org/10.1128/AEM.02766-10>

- Guerrero, P. (2017). *Influencia de la Escoria de Fundición de Cobre como Reemplazo de la Arena en Morteros de Cemento*. Universidad de Valparaíso, Escuela de Construcción Civil.
- Hanshuang Zhang, Ni, H., Rongsheng Chen, Kaifu Huo, Wei Li, & Weiting Zhan. (2010). Antibacterial properties of AISI 420 stainless steel implanted by Ag/Cu ions. In *2010 3rd International Nanoelectronics Conference (INEC)* (pp. 388–389). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INEC.2010.5424769>
- Jarvis, W. R., & Martone, W. J. (1992). Predominant pathogens in hospital infections. *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, *29 Suppl A*, 19–24. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1601752>
- Jones, T., Federspiel, N. A., Chibana, H., Dungan, J., Kalman, S., Magee, B. B., ... Scherer, S. (2004). The diploid genome sequence of *Candida albicans*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *101*(19), 7329–7334. <https://doi.org/10.1073/pnas.0401648101>
- Lazzarini, L., & Laurenzi Tabasso, M. (2004). *Il restauro della pietra*. Utet Scienze Tecniche. https://books.google.cl/books/about/Il_restauero_della_pietra.html?id=fVY0RQAACA-AJ&redir_esc=y
- Lerma, F. Á., Astigarraga, P. O., Martínez, M. P., Urbano, F. E., Herráez, J. C. B., Zegarra, E. Z., & De, G. (2015). Infecciones respiratorias por *Aspergillus* spp . en pacientes críticos ingresados en unidades de cuidados intensivos, *39*(3).
- Li, M., & Zinkle, S. J. (2012). Physical and Mechanical Properties of Copper and Copper Alloys. In *Comprehensive Nuclear Materials* (pp. 667–690). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-056033-5.00122-1>
- Lin, C.-C., & Chen, W.-Y. (2017). Effect of paint composition, nano-metal types and substrate on the improvement of biological resistance on paint finished building material. *Building and Environment*, *117*, 49–59. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2017.02.013>
- Malinowski, R., & Garfinkel, Y. (1990). *Prehistory of Concrete*. *Concrete International* *13/3*: 62–68. *Concrete International* (Vol. 13).
- Marais, F., Mehtar, S., Infection, L. C.-J. of H., & 2010. (2010). Antimicrobial efficacy of copper touch surfaces in reducing environmental bioburden in a South African community healthcare facility. *WB Saunders*, *74*: 80-2. Retrieved from https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Antimicrobial+efficacy+of+copper+touch+surfaces+in+reducing+environmental+bioburden+in+a+South+African+community+healthcare+facility&author=Marais+F&author=Methar+S&author=Chalkley+L&publication_year=2010&jou
- MINSAL, Otaíza, F. O., & Mauro Orsini Brignole MSP Mónica Pohlenz Acuña MCM, R. E. (2015). *Informe de Vigilancia de Infecciones Asociadas a la Atención en Salud*. <http://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2017/09/informe-vigilancia-2015.pdf>

- Neely, A. N. (2000a). A Survey of Gram-Negative Bacteria Survival on Hospital Fabr... : Journal of Burn Care & Research. Retrieved November 30, 2017, from http://journals.lww.com/burncareresearch/Citation/2000/21060/A_Survey_of_Gram_Negative_Bacteria_Survival_on.9.aspx
- Neely, A. N. (2000b). A Survey of Gram-Negative Bacteria Survival on Hospital Fabrics and Plastics. *Journal of Burn Care & Rehabilitation*, 21(6), 523–527. <https://doi.org/10.1097/00004630-200021060-00009>
- Perfettini, J. V., Revertegat, E., & Langomazino, N. (1991). Evaluation of cement degradation induced by the metabolic products of two fungal strains. *Experientia*, 47(6), 527–533. <https://doi.org/10.1007/BF01949872>
- Prado J, V., Esparza M, M., Vidal A, R., & Durán T, C. (2013). Adherence to copper and stainless steel metal coupons of common nosocomial bacterial strains. *Revista Médica de Chile*, 141(3), 291–297. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872013000300002>
- Prado J, V., Vidal A, R., & Durán T, C. (2012). Aplicación de la capacidad bactericida del cobre en la práctica médica. *Revista Médica de Chile*, 140(10), 1325–1332. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872012001000014>
- Prunell Sabrina. (2010). *Estudio de líquenes y otros organismos causantes del deterioro biológico en probetas de mortero*. Lemac Centro de Investigación Vial, Facultad Regional La Plata. Retrieved from <https://mail.google.com/mail/u/0/#search/gabriela+silva/161fbc33118f0a16?projector=1&messagePartId=0.1>
- Quaranta, D., Krans, T., Espírito Santo, C., Elowsky, C. G., Domaille, D. W., Chang, C. J., & Grass, G. (2011). Mechanisms of contact-mediated killing of yeast cells on dry metallic copper surfaces. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(2), 416–426. <https://doi.org/10.1128/AEM.01704-10>
- Rashid, K., Ahmad, M., & Tahir, M. A. (2018). Influence of organic agents to compressive strength of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 175, 434–438. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.177>
- Richards, M. J., Edwards, J. R., Culver, D. H., & Gaynes, R. P. (1999). Nosocomial infections in medical intensive care units in the United States. National Nosocomial Infections Surveillance System. *Critical Care Medicine*, 27(5), 887–892. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10362409>
- Saldarriaga Quintero, E., Echeverri-Toro, L., & Ospina Ospina, S. (2015). Factores clínicos asociados a multirresistencia bacteriana en un hospital de cuarto nivel. *Infectio*, 19(4), 161–167. <https://doi.org/10.1016/j.infect.2015.04.003>
- Sánchez-Hernández, J. A., González-Belén, L., Rojas-Valderrama, K., & Muñoz-Zurita, G. (2017). Prevalencia de *Candida albicans* y su relación con cambios en el pH vaginal. *Atención Familiar*, 24(1), 18–22. <https://doi.org/10.1016/J.AF.2017.01.003>

- Schmidt, M. G., Attaway, H. H., Terzieva, S., Marshall, A., Steed, L. L., Salzberg, D., Michels, H. T. (2012). Characterization and control of the microbial community affiliated with copper or aluminum heat exchangers of HVAC systems. *Current Microbiology*, *65*(2), 141–149. <https://doi.org/10.1007/s00284-012-0137-0>
- Shukla, P., Garg, R. K., & Dahiya, A. K. (2016). Role of technology to combat nosocomial infections. *Apollo Medicine*, *13*(1), 71–73. <https://doi.org/10.1016/j.apme.2015.11.086>
- Sikora, P., Cendrowski, K., Markowska-Szczupak, A., Horszczaruk, E., & Mijowska, E. (2017). The effects of silica/titania nanocomposite on the mechanical and bactericidal properties of cement mortars. *Construction and Building Materials*, *150*, 738–746. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2017.06.054>
- Silva, G. F. (2013). *Evaluación del comportamiento de mortero de revestimiento con adiciones de sepiolita y sulfato de cobre, para resistir el ataque de agentes bióticos*. Universidad de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Escuela de ingeniería en construcción.
- Silva V., V., Díaz J., M. C., & Febré, N. (2002). Vigilancia de la resistencia de levaduras a antifúngicos. *Revista Chilena de Infectología*, *19*, 149–156. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182002019200016>
- Tapia, Cecilia. (2008). *Candida glabrata*. *Revista Chilena de Infectología*, *25* (4): 293. Universidad de Chile, Facultad de Medicina. Retrieved from <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rci/v25n4/art09.pdf>
- Tapia, C., & Correa, N. (2015). Candida parapsilosis complex. *Revista Chilena de Infectología*, *32*(5), 569–570. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182015000600012>
- Trubiano, J. A., & Padiglione, A. A. (2015). Nosocomial infections in the intensive care unit. *Anaesthesia and Intensive Care Medicine*, *16*(12), 598–602. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2015.09.010>
- UGR, U. de G. (2007). Morteros de Construcción y Ornamentación. Retrieved October 16, 2018, from <https://www.ugr.es/~agcasco/personal/restauracion/teoria/TEMA04.htm>
- Vishwakarma, V., Sudha, U., Ramachandran, D., Anandkumar, B., George, R. P., Kumari, K., ... Pillai, C. S. (2016). Enhancing antimicrobial properties of fly ash mortars specimens through nanophase modification. *Materials Today: Proceedings*, *3*(6), 1389–1397. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2016.04.020>
- Wey, S. B., Mori, M., Pfaller, M. A., Woolson, R. F., & Wenzel, R. P. (1988). Hospital-acquired candidemia. The attributable mortality and excess length of stay. *Archives of Internal Medicine*, *148*(12), 2642–2645. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3196127>

ANEXOS

A continuación, se presenta una recopilación con todos los datos obtenidos en los ensayos realizados tablas y graficas detalladas para mejor comprensión y análisis de lo descrito en capítulos anteriores.

Tabla A.1: Granulometría de la Arena

TAMIZ		% QUE PASA			BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 79	MUESTRA 1 (%)	MUESTRA 2 (%)	MUESTRA 3 (%)	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
4	5	100	100	100	95	100
8	2,5	73	79	77	80	100
16	1,25	56	64	62	50	85
30	0,63	47	55	53	25	60
50	0,315	31	37	35	5	30
100	0,16	8	9	7	0	10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.2: Granulometría del cobre

TAMIZ		% QUE PASA			BANDA GRANULOMETRICA NCH163OF2013	
ASTM	TAMIZ (mm) - NCH163 OF 79	MUESTRA 1 (%)	MUESTRA 2 (%)	MUESTRA 3 (%)	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
4	5	100	100	100	95	100
8	2,5	100	100	100	80	100
16	1,25	48	53	50	50	85
30	0,63	24	30	31	25	60
50	0,315	3	5	7	5	30
100	0,16	0	0	0	0	10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.3: Cálculo de la densidad aparente suelta de la arena

Muestra	Peso del recipiente	Volumen del recipiente	Peso muestra + peso recip.	Peso muestra	Densidad Aparente suelta
	Kg	m ³	kg	kg	kg/m ³
Muestra 1	1,5102	0,001003	3,1253	1,615	1.610
Muestra 2	1,5102	0,001003	3,1202	1,610	1.605
Muestra 3	1,5102	0,001003	3,1092	1,599	1.594
Promedio					1603

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.4: Cálculo de la densidad aparente compactada de la arena

Muestra	Peso del recipiente	Volumen del recipiente	Peso muestra + peso recip.	Peso muestra	Densidad Aparente Compactada
	Kg	m ³	kg	kg	kg/m ³
Muestra 1	1,5102	0,001003	3,260	1,750	1.745
Muestra 2	1,5102	0,001003	3,268	1,758	1.753
Muestra 3	1,5102	0,001003	3,241	1,730	1.725
Promedio					1741

Fuente: Elaboración propia

Tabla A.5: Cálculo de la densidad aparente suelta del cobre

Muestra	Peso del recipiente	Volumen del recipiente	Peso muestra + peso recip.	Peso muestra	Densidad Aparente Suelta
	Kg	m ³	kg	kg	kg/m ³
Muestra 1	1,5082	0,001003	5,541	4,031	4.019
Muestra 2	1,5082	0,001003	5,564	4,054	4.042
Muestra 3	1,5082	0,001003	5,570	4,060	4.048
Promedio					4.036

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.6: Cálculo de la densidad aparente compactada del cobre

Muestra	Peso del recipiente	Volumen del recipiente	Peso muestra + peso recip.	Peso muestra	Densidad Aparente Suelta
	Kg	m ³	kg	kg	kg/m ³
Muestra 1	1,5082	0,001003	5,882	4,373	4.360
Muestra 2	1,5082	0,001003	5,898	4,390	4.377
Muestra 3	1,5082	0,001003	5,890	4,382	4.369
Promedio					4369

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.7: Resultados Ensayo de Flexión

Tipo de Mortero	PP	P5	P8	P20	P30
Flexión (Mpa)	4,71	5,42	6,99	5,78	5,28
	5,85	5,14	6,78	6,28	5,64
	5,28	5,64	7,92	5,42	5,00
Promedio (Mpa)	5,28	5,40	7,23	5,83	5,31
Promedio (Kg/cm ²)	53,84	55,05	73,67	59,40	54,09

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A.8: Resultados Ensayo de Compresión

Tipo de Mortero	PP	P5	P8	P20	P30
Compresión (Mpa)	24,38	24,06	26,13	26,13	27,25
	20,56	23,39	24,45	27,85	23,84
	25,35	23,61	23,50	28,20	25,29
Promedio (Mpa)	23,43	23,69	24,69	27,39	25,46
Promedio (Kg/cm ²)	238,82	241,44	251,72	279,21	259,52

Fuente: Elaboración propia.