



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR – SEDE LOJA

FACULTAD PARA LA CIUDAD, EL PAISAJE Y LA ARQUITECTURA

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE ARQUITECTO

**DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO
REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL
“PLUMAS DE AVES”**

AUTOR

ALEXIS XAVIER ROMERO ESPARZA

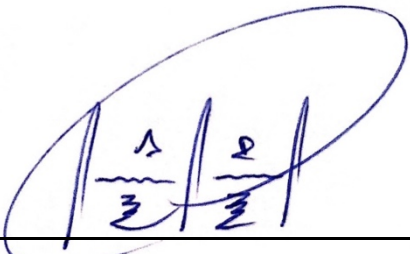
DIRECTOR

ARQ. FERNANDO MONCAYO, MG. SC.

LOJA – ECUADOR

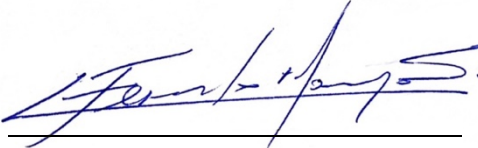
Yo, **ALEXIS XAVIER ROMERO ESPARZA**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí escrito es de mi autoría; que no ha sido presentada anteriormente para ningún grado o calificación profesional y, que ha sido respaldado con la respectiva bibliografía.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador extensión Loja, para que el presente trabajo sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la Ley de propiedad intelectual, reglamentos y leyes.



Alexis Xavier Romero Esparza

Yo, **ARQ. FERNANDO MONCAYO**, certifico que conozco al autor del presente trabajo, siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad, autenticidad, como en su contenido.



Mgs. Arq. Fernando Moncayo
DIRECTOR DE TESIS

A Dios, en primer lugar, por haberme dado fuerzas,

la voluntad, paciencia y perseverancia

necesaria durante estos años de carrera.

A mis padres, abuelitos hermanos y tíos

por ser los principales promotores de mis sueños,

A la Universidad Internacional del Ecuador - Sede Loja,

y en especial a los docentes a cargo de mi formación.

Al Mgs. Arq. Fernando Moncayo por su valiosa asesoría

para llevar a cabo este proyecto de investigación

con éxito e inspirar en mi mucha admiración

A mis compañeros y amigos por apoyarme en distintas oportunidades.

Alexis Romero

*En primer lugar, a Dios, por ser el motor fundamental en mi vida, por darme siempre las fuerzas
y la sabiduría para continuar en lo adverso.*

*A mis padres, abuelos, hermanos y tíos, ya que son mi pilar fundamental y apoyo en mi
formación, gracias.*

*A mi madre por ayudarme construir mis sueños, por ser una excepcional que ha estado
incansablemente para ayudarme en las desveladas noches de estudio.*

*Y a todas las personas que hicieron posible este trabajo
de investigación.*

Alexis Romero

Resumen

El mortero de cemento es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción. Sin embargo, su rango de aplicación está limitado por algunos inconvenientes, como su baja resistencia a tracción y flexión. Es por ello, que en las últimas décadas, una de las fibras que más se ha estudiado para reforzar este tipo de compuestos cementicios, es el uso de las fibras naturales, ya que, además de poseer muy buenas propiedades físico-mecánicas, las fibras naturales provienen de fuentes renovables, son biodegradables, de bajo impacto ambiental, abundantes y económicas. En esta investigación se aborda la caracterización de una nueva fibra natural de origen animal “plumas de aves”, un desperdicio masivo de la industria alimentaria en todo el mundo y su uso en morteros. Las propiedades morfológicas, físicas, mecánicas y químicas de las plumas de aves se determinan antes de ser utilizadas como refuerzo de los morteros de cemento y con la finalidad de proteger a la fibra del medio alcalino que posee el compuesto. El objetivo principal de esta investigación, es examinar si con el tratamiento adecuado de la fibra de plumas aves de pollo broiler, pollo criollo, ganso, pavo y avestruz, las propiedades físico-mecánicas del mortero de cemento mejoran y determinar si el contenido de queratina presente en las diferentes plumas influyen también en el comportamiento mecánico del compuesto, para lo cual, se utilizarán las diferentes normas locales e internacionales NTE-INEN, ASTM y ACI.

Palabras clave: Mortero de cemento, reacción álcali-agregado, fibras animales, plumas de aves, puzolana de piedra pómez, agente hidrofóbico de parafina.

Abstract

Cement mortar is one of the most used materials in the construction industry. However, its range of application is limited by some drawbacks, such as its low tensile and flexural strength. That is why, in recent decades, one of the fibers that has been most studied to reinforce this type of cementitious compounds, is the use of natural fibers, since, in addition to having very good physical-mechanical properties, the fibers natural products come from renewable sources, are biodegradable, low environmental impact, abundant and economic. This research addresses the characterization of a new natural fiber of animal origin "bird feathers", a massive waste of the food industry worldwide and its use in mortars. The morphological, physical, mechanical and chemical properties of bird feathers are determined before they are used as reinforcement for cement mortars and in order to protect the fiber from the alkaline medium that the compound possesses. The main objective of this research is to examine whether with the proper treatment of feather fiber poultry chicken broiler, chicken, goose, turkey and ostrich, the physical-mechanical properties of cement mortar improve and determine if the keratin content present in the different pens also influence the mechanical behavior of the compound, for which, the different local and international standards NTE-INEN, ASTM and ACI will be used.

Key words: Cement mortar, alkali-aggregate reaction, animal fibers, bird feathers, pumice pozzolana, hydrophobic paraffin agent.

**MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN
NATURALES “PLUMAS DE AVES”**

Índice de Contenido

Resumen	v
Abstract.....	vi
Índice de Contenido.....	vii
Índice de Tablas.....	xi
Índice de Ilustraciones	xiii
Índice de Gráficos.....	xv
Índice de Anexos	xvi
CAPÍTULO I	¡Error! Marcador no definido.
1. Protocolo de investigación	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Problemática	2
1.3. Justificación	5
1.4. Hipótesis	6
1.5. Objetivos.....	7
1.5.1. Objetivo general	7
1.5.2. Objetivos específicos.....	7
1.6. Metodología.....	8
CAPÍTULO II.....	14
2. Marco Teórico.....	14

2.1.	Materiales compuestos	14
2.1.1.	Estructura de los materiales compuestos	14
2.1.2.	Tipos de materiales compuestos	15
2.2.	Mortero de cemento.....	18
2.2.1.	Usos del mortero de cemento	18
2.2.2.	Tipos de mortero de cemento	21
2.2.3.	Clasificación de los morteros de cemento	22
2.2.4.	Propiedades de los morteros de cemento.....	24
2.2.5.	Componentes del mortero de cemento	28
2.3.	Reactividad álcali-agregado (RAA)	34
2.3.1.	Tipos de RAA.....	35
2.3.1.1.	Reacción álcali-sílice (RAS)	35
2.3.1.2.	Reacción álcali-carbonato (RAC).....	35
2.3.2.	Condiciones para que se desarrolle la reacción álcali-sílice.....	36
2.3.3.	Materiales y métodos para el control del RAS	37
2.4.	Fibras naturales.....	38
2.4.1.	Ventajas y desventajas del uso de fibras naturales	39
2.4.2.	Clasificación de las fibras naturales	39
2.4.3.	Fibras naturales utilizadas como refuerzo en los morteros de cemento	40
2.5.	Fibras naturales de origen animal (Plumas de aves)	41
2.5.1.	Usos de las plumas en la industria.....	41
2.5.2.	Estructura de las plumas	44
2.5.3.	Tipos de plumas.....	46
2.5.4.	Propiedades de las plumas.....	49
2.5.4.1.	Estructura Morfológica.....	49
2.5.4.2.	Propiedades físicas	50
2.5.4.3.	Propiedades químicas	57
2.5.4.4.	Propiedades mecánicas	60
2.6.	Estado del arte	62

2.6.1. Uso de las fibras naturales de origen animal como refuerzo del mortero de cemento	62
2.6.2. Métodos para mejorar la durabilidad de las fibras naturales dentro de los compuestos cementicios	69
2.6.2.1. Tratamientos realizados sobre la matriz	72
2.6.2.2. Tratamientos realizados sobre la fibra.....	78
2.6.3. Estudio de la geometría y dimensiones de la fibra (Polímero) utilizada como refuerzo en compuestos cementicios	80
CAPÍTULO III	84
3. Materiales y Métodos	84
3.1. Materiales	84
3.1.1. Materiales de construcción	91
3.1.2. Equipos e instrumentos de laboratorio	92
3.2. Métodos	92
3.2.1. Dosificación de materiales	92
3.2.2. Ensayos de resistencia mecánica	96
3.2.3. Ensayos de resistencia física	99
CAPÍTULO IV.....	102
4. Proceso experimental	102
4.1. Estudio preliminar para determinar la dosificación máxima de fibra	102
4.2. Aplicación de ensayos de resistencia mecánica	107
4.2.1. Ensayos de resistencia a la compresión.....	108
4.2.2. Ensayos de resistencia a la flexión	111
4.2.3. Ensayos de resistencia a la tracción.....	114
4.3. Aplicación de ensayos de resistencia física.....	117
4.3.1. Ensayo de absorción de agua por inmersión	117
4.3.2. Ensayo de absorción de agua por capilaridad.....	119
CAPÍTULO V	122

5. Discusión de resultados	122
5.1. Ensayos de resistencia mecánica	122
5.1.1. Resistencia a la compresión.....	122
5.1.2. Resistencia a la flexión	124
5.1.3. Resistencia a la tracción	127
5.2. Ensayos de resistencia física	129
5.2.1. Absorción de agua por inmersión.....	129
5.2.2. Absorción de agua por capilaridad	131
6. Conclusiones.....	133
7. Recomendaciones.....	135
8. Bibliografía.....	136
9. Anexos.....	143

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de mortero	21
Tabla 2. Especificación por dosificación. Requisitos	22
Tabla 3. Especificación por propiedades. Requisitos	23
Tabla 4. Propiedades del mortero en estado plástico	24
Tabla 5. Propiedades del mortero en estado endurecid	26
Tabla 6. Clasificación de los materiales cementantes	28
Tabla 7. Clasificación de los áridos por el tamaño de sus partícula	30
Tabla 8. Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería	31
Tabla 9. Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezcla	32
Tabla 10. Fibras naturales en los morteros de cemento.....	39
Tabla 11. Longitud de las diferentes partes de la pluma de pollo	48
Tabla 12. Diámetro de las diferentes partes de la pluma de pollo.....	49
Tabla 13. Masa de las diferentes partes de la pluma de pollo	49
Tabla 14. Densidad de las diferentes partes de la pluma de pollo.....	50
Tabla 15. Medición del color de las diferentes partes de la pluma de pollo	50
Tabla 16. Relación de esbeltez y flexibilidad de las diferentes partes de la pluma de pollo.....	51
Tabla 17. Contenido y recuperación de humedad de la pluma de poll.....	52
Tabla 18. Composición química de las plumas de pollo	53
Tabla 19. Resistencia química de las plumas de pollo	54
Tabla 20. Aminoácidos presentes en la proteína de las plumas de pollo	56
Tabla 21. Fibras naturales de origen animal en compuestos cementicios	59
Tabla 22. Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de humo de sílice.....	72
Tabla 23. Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de ceniza volante	73
Tabla 24. Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de escoria granulada de alto horno	74
Tabla 25. Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de piedra pómez	75
Tabla 26. Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana compuesta por metacaolín, filosilicato y montmorillonita	76
Tabla 27. Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de ceniza de cáscara de arroz	77

Tabla 28. Tratamiento realizado sobre la fibra con una película de polímero de latex natural y puzolana de humo de sílice.....	78
Tabla 29. Tratamiento realizado sobre la fibra con hidróxido de calcio Ca(OH)	78
Tabla 30. Tratamiento realizado sobre la fibra con agentes hidrofóbicos.....	79
Tabla 31. Tratamiento realizado sobre la fibra con agentes hornificación.....	79
Tabla 32. Estudio de la geometría y dimensiones de la fibra (Polímero).....	80
Tabla 33. Requerimientos físicos	92
Tabla 34. Dosificación de materiales para elaborar 1m ³ de mortero	95
Tabla 35. Ensayo de fluidez del mortero base.....	102
Tabla 36. Ensayo de fluidez del mortero base con el 0,75% de fibra	103
Tabla 37. Ensayo de fluidez del mortero base con el 1,75% de fibra	105
Tabla 38. Ensayo de fluidez del mortero base con el 2,25% de fibra	106
Tabla 39. Dosificación para 9 especímenes cúbicos de 50 mm de aríst.....	108
Tabla 40. Resumen de resultados de la resistencia a la compresión	109
Tabla 41. Dosificación para 9 especímenes tipo primas de 40x40x160 mm de arista	111
Tabla 42. Resumen de resultados de la resistencia a la flexión.....	112
Tabla 43. Dosificación para 9 especímenes tipo briquetas.....	114
Tabla 44. Resumen de resultados de la resistencia a la tracción	115
Tabla 45. Resumen de resultados de la absorción de agua por inmersión	117
Tabla 46. Resumen de resultados de la absorción de agua por capilaridad.....	118
Tabla 47. Resistencia a la compresión promedio (28 días de curado).....	123
Tabla 48. Resistencia a la flexión promedio (28 días de curado	125
Tabla 49. Resistencia a la tracción promedio (28 días de curado)	127
Tabla 50. Absorción de agua promedio por inmersión	129
Tabla 51. Diferencia porcentual de la velocidad de absorción inicial.....	131

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Fases de investigación	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 2. Estructura de un material compuesto	14
Ilustración 3. Tipos de materiales compuestos.....	15
Ilustración 4. Fabricación y utilización de materiales compuestos particulados.....	16
Ilustración 5. Orientación de las fibras en el material compuesto.....	17
Ilustración 6. Fabricación y utilización de materiales compuestos laminados.....	18
Ilustración 7. Morteros de pega	19
Ilustración 8. Morteros de relleno	20
Ilustración 9. Morteros de recubrimiento	20
Ilustración 10. Componentes del mortero de cemento	28
Ilustración 11. Fases de la reacción álcali-agregado	34
Ilustración 12. Clasificación de las fibras naturales	40
Ilustración 13. Estructura de una pluma	45
Ilustración 14. Tipos de plumas.....	47
Ilustración 15. Estructura morfológica de la pluma de pollo	50
Ilustración 16. Ensayo de hidrofobicidad en las pluma de pollo.....	61
Ilustración 17. Cemento Portlánd Puzolánico Tipo IP (Guapan).....	85
Ilustración 18. Árido fino recolectado del centro de acopio de materiales pétreos.....	85
Ilustración 19. Análisis granulométrico del árido	86
Ilustración 20. Determinación del contenido de humedad en el árido	87
Ilustración 21. Recolección de las diferentes plumas.....	89
Ilustración 22. Proceso para la obtención de la fibra.....	90
Ilustración 23. Equipos e instrumentos de laboratorio	91
Ilustración 24. Trabajabilidad del mortero base con el 0,75% de fibra.....	103
Ilustración 25. Ensayo de fluidez del mortero base con el 1,25% de fibra	104
Ilustración 26. Trabajabilidad del mortero base con el 1,25% de fibra.....	104
Ilustración 27. Trabajabilidad del mortero base con el 1,75% de fibra.....	105
Ilustración 28. Trabajabilidad del mortero base con el 2,25% de fibra.....	106
Ilustración 29. Proceso para la aplicación de ensayos de resistencia a la compresión.....	108

Ilustración 30. Proceso para la aplicación de ensayos de resistencia a la flexión	111
Ilustración 31. Proceso para la aplicación de ensayos de resistencia a la tracción.....	115
Ilustración 32. Proceso para determinar la absorción de agua por inmersión	118
Ilustración 33. Falla de especímenes sometidos a esfuerzos de compresión.....	124
Ilustración 34. Falla de especímenes sometidos a esfuerzos de flexión.....	127
Ilustración 35. Falla de especímenes sometidos a esfuerzos de tracción	129
Ilustración 36. Velocidad de absorción capilar en los diferentes tipos de mortero	131

Índice de Gráficos

Gráfico 1. Características de hinchamiento de las diferentes partes de la pluma de pollo.....	58
Gráfico 2. Determinación del contenido de cemento y de la relación agua/cemento	93
Gráfico 3. Resumen de la resistencia a la compresión	110
Gráfico 4. Resumen de la resistencia a la flexión.....	113
Gráfico 5. Resumen de la resistencia a la tracción.....	116
Gráfico 6. Resumen de la absorción de agua por inmersión	118
Gráfico 7. Resumen de la velocidad de absorción inicial y secundaria	119
Gráfico 8. Diferencia porcentual de la resistencia a la compresión	123
Gráfico 9. Diferencia porcentual de la resistencia a la flexión.....	125
Gráfico 10. Diferencia porcentual de la resistencia a la tracción	127
Gráfico 11. Diferencia porcentual de la absorción de agua por inmersión	129
Gráfico 12. Velocidad de absorción inicial promedio	131

Índice de Anexos

Anexo 1. Contenido de azúcares, aceites-grasas, proteína y nivel de pH en la pluma de pollo broiler no tratada.....	143
Anexo 2. Contenido de azúcares, aceites-grasas y nivel de pH en la pluma de pollo broiler tratada	144
Anexo 3. Contenido de azúcares, aceites-grasas, proteína y nivel de pH en la pluma de pollo criollo no tratada.....	145
Anexo 4. Contenido de azúcares, aceites-grasas y nivel de pH en la pluma de pollo criollo tratada	146
Anexo 5. Análisis granulométrico del árido fino	147
Anexo 6. Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base	148
Anexo 7. Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo broiler	149
Anexo 8. Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo criollo	150
Anexo 9. Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo broiler	151
Anexo 10. Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo criollo	152
Anexo 11. Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo broiler	153
Anexo 12. Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo criollo	154
Anexo 13. Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base	155
Anexo 14. Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo broiler	156
Anexo 15. Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo criollo	157
Anexo 16. Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo broiler	158

Anexo 17. Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo criollo	159
Anexo 18. Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo broiler	160
Anexo 19. Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo criollo	161
Anexo 20. Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base	162
Anexo 21. Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo broiler	163
Anexo 22. Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo criollo	164
Anexo 23. Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo broiler	165
Anexo 24. Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo criollo	166
Anexo 25. Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo broiler	167
Anexo 26. Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo criollo	168
Anexo 27. Resultados de la absorción de agua por inmersión – mortero base y reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	169
Anexo 28. Resultados de la absorción de agua por inmersión – mortero base y reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo criollo	170
Anexo 29. Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base	171
Anexo 30. Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo broiler	172
Anexo 31. Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo criollo	173
Anexo 32. Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo broiler	174

Anexo 33. Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo criollo	175
Anexo 34. Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo broiler	176
Anexo 35. Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo criollo	177

CAPÍTULO I

Protocolo de investigación

1.1. Introducción

A través del tiempo, la innovación constante de los materiales disponibles en la industria de la construcción, se ha desarrollado con el fin de solucionar las diferentes necesidades de habitabilidad, confort y seguridad de los seres humanos, un claro ejemplo de esto se ve reflejado en la utilización constante de nuevos materiales para la elaboración de estructuras, mamposterías y acabados, en donde la obtención de aquellos materiales se ha dado a partir de la incesante investigación, experimentación y tecnología disponible (Gutiérrez de López, 2003).

Uno de los materiales que ha estado en continua investigación e innovación es “el mortero de cemento, debido a que es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción desde hace varios siglos atrás” (Rodríguez, 2003). Sin embargo, su rango de aplicación está limitado por algunos inconvenientes, como por ejemplo: su bajo aislamiento termo-acústico, su agrietamiento por contracción plástica, su baja resistencia a la tracción, y, lo que es más restrictivo, el modo de falla frágil (Bernat-Masoa et al., 2018). Para solucionar este problema de los compuestos cementicios una de las primeras alternativas fue la de utilizar la fibra de amianto (Kratzke & Kratzke, 2018), pero debido a sus propiedades químicas perjudiciales para salud se inicio nuevamente con la búsqueda de posibles alternativas, como es el caso de las fibras sintéticas y metálicas, que actualmente son las más utilizadas. No obstante, el uso de estas fibras acarreo nuevos problemas, ya que su producción conlleva la explotación de los recursos minerales que perjudican al medio ambiente, además de requerir un alto consumo energético y económico para su elaboración (Onuaguluchi & Banthia, 2016).

“Debido a que en medio de las actividades industriales, la actividad de la construcción es la mayor consumidora de recursos naturales (madera, minerales, agua y energía)” (Enshassi et al., 2014). Hoy en día, la producción e innovación de los materiales de construcción conllevan nuevos criterios, tales como: sostenibilidad, disponibilidad en el medio, reciclabilidad, bajo consumo de energía y poca emisión de CO₂. Con la finalidad de llevar a cabo esta nueva perspectiva, en la última década se ha estudiado el uso de fibras naturales para reforzar los morteros de cemento, ya que además de poseer muy buenas propiedades mecánicas, estas fibras provienen de fuentes renovables, son biodegradables, de bajo impacto ambiental, abundantes (en la mayoría del planeta) y económicas.

“En cuanto a su aplicación en compuestos cementicios, las principales ventajas que se han obtenido, son mejoras en la resistencia al impacto, abrasión, flexibilidad, ductilidad y la disminución de los agrietamientos por contracción plástica” (Onuaguluchi & Banthia, 2016). Sin embargo, se debe tener en cuenta la poca durabilidad y adherencia de las fibras en estos compuestos, por lo que se debe realizar un tratamiento de la misma antes de su aplicación.

Las fibras naturales que más se han estudiado y experimentado en compuestos cementicios son las de origen vegetal, pero recientemente las fibras naturales de origen animal han despertado un especial interés, ya que, al igual que las fibras vegetales poseen muy buenas propiedades físico-mecánicas. Motivo por el cual, esta investigación pretende continuar aportando con información valiosa, acerca de la aplicación de estas nuevas fibras en compuestos cementicios.

1.2. Problemática

Debido a los problemas de baja resistencia a tracción y contracción que presenta el mortero de cemento y a los problemas medioambientales provocados por las industrias cárnicas en cuanto a la eliminación de sus residuos, Araya-Letelier, Antico, Carrasco, Rojas, & García-Herrera (2017)

proponen en su investigación el reciclaje y uso del pelo de cerdo para mejorar las propiedades mecánicas del mortero. Los resultados obtenidos arrojaron que la resistencia al impacto, la resistencia a la abrasión, el agrietamiento por contracción plástica, la edad y anchos de agrietamiento mejoran significativamente a medida que se aumenta el volumen de fibra. Además de que otras propiedades como la resistencia a la compresión y flexión, densidad aparente, porosidad y el modulo dinámico de elasticidad del mortero no se ven significativamente afectados.

Tomando como base el estudio mencionado anteriormente, sobre la utilización de fibras naturales de origen animal para mejorar las propiedades mecánicas del mortero de cemento y a la vez contribuir con el reciclaje de los residuos producidos por la industria cárnica. Se pretende estudiar y experimentar si las fibras presentes en las plumas de aves, pueden llegar a obtener resultados similares al estudio realizado por Araya-Letelier et al. (2017) en su aplicación como refuerzo de los morteros de cemento.

De acuerdo con el estudio realizado por Tesfaye, Sithole, Ramjugernath, & Chunilall (2017), en todo el mundo la industria de procesamiento de carne aviar genera enormes cantidades de plumas como subproducto inútil, que ascienden anualmente a 40×10^9 kg. Conforme algunas cifras disponibles en las publicaciones de Linden (2014), el consumo doméstico per capita al año de carne aviar es de 59 kg en los Estados Unidos; 48 kg en Arabia Saudita, 67,1 kg en Hong Kong, 69,7 kg en Israel y 35,4 kg en Canadá. En Ecuador según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2013) la principal fuente de producción pecuaria es la aviar, ya que de acuerdo a las cifras obtenidas el consumo per cápita al año de carne de ave de corral es de 32 Kg, la de carne bovina 17 Kg y la carne de cerdo 11 Kg. Considerando que las plumas representan el 5-7% del peso total de los pollos maduros (Rahayu & Bata, 2014), es evidente que la industria aviar genera una gran cantidad de este tipo de desechos en todo el mundo, en donde

cabe mencionar que los métodos más utilizados para su eliminación son el relleno de tierras y la incineración (Stingone & Wing, 2011). Sin embargo, según el estudio de Tronina & Bubel (2008) la eliminación inadecuada de este tipo de desechos biológicos no solo afecta gravemente al medio ambiente, sino también pone en riesgo la salud de las personas.

Por otro lado, el interés por el cual se usará las fibras procedentes de las plumas de aves para mejorar el rendimiento del mortero de cemento, también se apoya en las investigaciones realizadas por Tesfaye et al. (2017) y Kock (2006), en donde los resultados obtenidos describen que dichas fibras poseen una muy buena estructura morfológica, propiedades físicas, mecánicas y químicas ideales para ser aplicadas en combinación con otros compuestos. Cabe mencionar que ya se han utilizado este tipo de fibras dentro del mortero de cemento, sin embargo, el diseño de la mezcla fue hecha para elaborar tableros de fibrocemento ecológicos de baja densidad y conductividad térmica; y no específicamente con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del mismo (Zhang et al., 2018).

Con la finalidad de obtener mejores resultados en las propiedades mecánicas del mortero de cemento reforzado con este tipo de fibras, en la presente investigación se utilizará el filamento (raquis) de las plumas de aves, ya que según el estudio de Tesfaye et al. (2017) es la parte de la pluma que mejores propiedades físico-mecánicas posee. Además, se realizará un estudio químico de las plumas de dos clases de aves (pollo broiler y criollo), con la finalidad de determinar si el mayor contenido de proteína (queratina) presente en cada una influye de manera positiva en el rendimiento del mortero; ya que de acuerdo a la investigación realizada por Kock (2006) el mayor contenido de esta proteína en las plumas permite que las fibras aumenten sus propiedades físico-mecánicas. Por último, a partir del estudio químico de las diferentes plumas, se podrá determinar

que tipo de tratamiento y protección deben de tener las fibras para que la alcalinidad del cemento y la arena no las perjudiquen.

1.3. Justificación

“Frente a la inercia del ámbito de la construcción, estacionado en tecnologías y materiales ya experimentados y conocidos, la arquitectura puede y debe incorporar la investigación y experimentación de nuevas soluciones constructivas y promover la utilización y reutilización de materiales no convencionales y reciclados, en búsqueda de optimizar la relación entre recursos utilizados y resultados obtenidos” (Tato & Vallejo, 2012, p. 10).

Las buenas propiedades de resistencia a tracción, resistencia al impacto, capacidad de deformación, tenacidad, flexión y densidad que poseen las fibras naturales, las convierte en una opción muy interesante e innovadora dentro de la industria de la construcción, para mejorar el rendimiento de los compuestos cementicios. Este potencial de las fibras naturales aún en continua exploración, representan una de las soluciones más viables que se pueden llegar a emplear en aquellos países menos desarrollados o países que necesitan construcciones de bajo costo. Es por ello, que a través de la continua investigación y experimentación que se realice para mejorar su aplicabilidad en los diferentes compuestos, permitirá que en un futuro cercano estas fibras naturales sean las sustitutas definitivas de las fibras metálicas y sintéticas, que actualmente se usan para reforzar ciertos compuestos cementicios (Onuaguluchi & Banthia, 2016).

En busca de fomentar el uso de materias primas renovables en la industria de la construcción, para disminuir la explotación de los recursos minerales no renovables causantes del deterioro medioambiental que actualmente esta pasando el planeta y que además su extracción requieren altos costos económicos y energéticos. La presente investigación pretende aportar información valiosa sobre la influencia de las fibras naturales de origen animal (plumas de aves)

en el comportamiento mecánico del mortero de cemento, ya que según el estudio realizado por Tesfaye et al. (2017) las fibras provenientes de las plumas de aves de consumo cotidiano (pollos) poseen muy buenas características, como la resistencia a tracción, buena longitud de hilado, alta flexibilidad, baja densidad y una estructura panal hueca, que mediante un correcto tratamiento y estudio químico de sus propiedades, pueden representar una muy buena opción para mejorar las propiedades mecánicas del mortero de cemento y que de ser así, no solo se estaría contribuyendo con avances tecnológicos sino también se obtendrían beneficios medioambientales en todo el planeta, debido a que se disminuiría el consumo y explotación de los recursos minerales que son empleados para elaborar las fibras metálicas y sintéticas.

Por otro lado, es bueno acotar que se realizará procesos de reciclaje para la obtención de la fibra que se encuentra presente en la pluma, ya que estas se encuentran principalmente disponibles en los residuos generados por la producción y consumo de carne aviar. Estos residuos que se generan en la producción y consumo de carne aviar a menudo son incinerados o colocados en relleno de tierras, lo cual, a su vez provoca una contaminación constante del medio ambiente. Al proponer su reciclaje para utilizar las fibras existentes en las plumas, no solo se está pensando en generar soluciones en la industria de la construcción, sino también, en contribuir con alternativas que ayuden a las industrias alimenticias de procesamiento de carne a aprovechar de mejor manera sus residuos.

1.4. Hipótesis

Los filamentos (raquis) de las plumas de aves (pollo broiler y pollo criollo) y su mayor contenido de proteína (queratina), al ser utilizadas como fibras de refuerzo en el mortero de cemento, podrán mejorar las propiedades mecánicas del mismo, al igual que los estudios realizados con fibras de pelo humano, pelo de cerdo y lana de oveja.

1.5. Objetivos

1.5.1. *Objetivo general*

- Examinar si las propiedades mecánicas del mortero de cemento, mejoran a través de la incorporación de fibras (filamentos) de plumas de aves (pollo broiler y pollo criollo); y determinar si el mayor contenido de proteína (queratina) presente en las diferentes plumas, influye de manera positiva en el comportamiento mecánico del compuesto.

1.5.2. *Objetivos específicos*

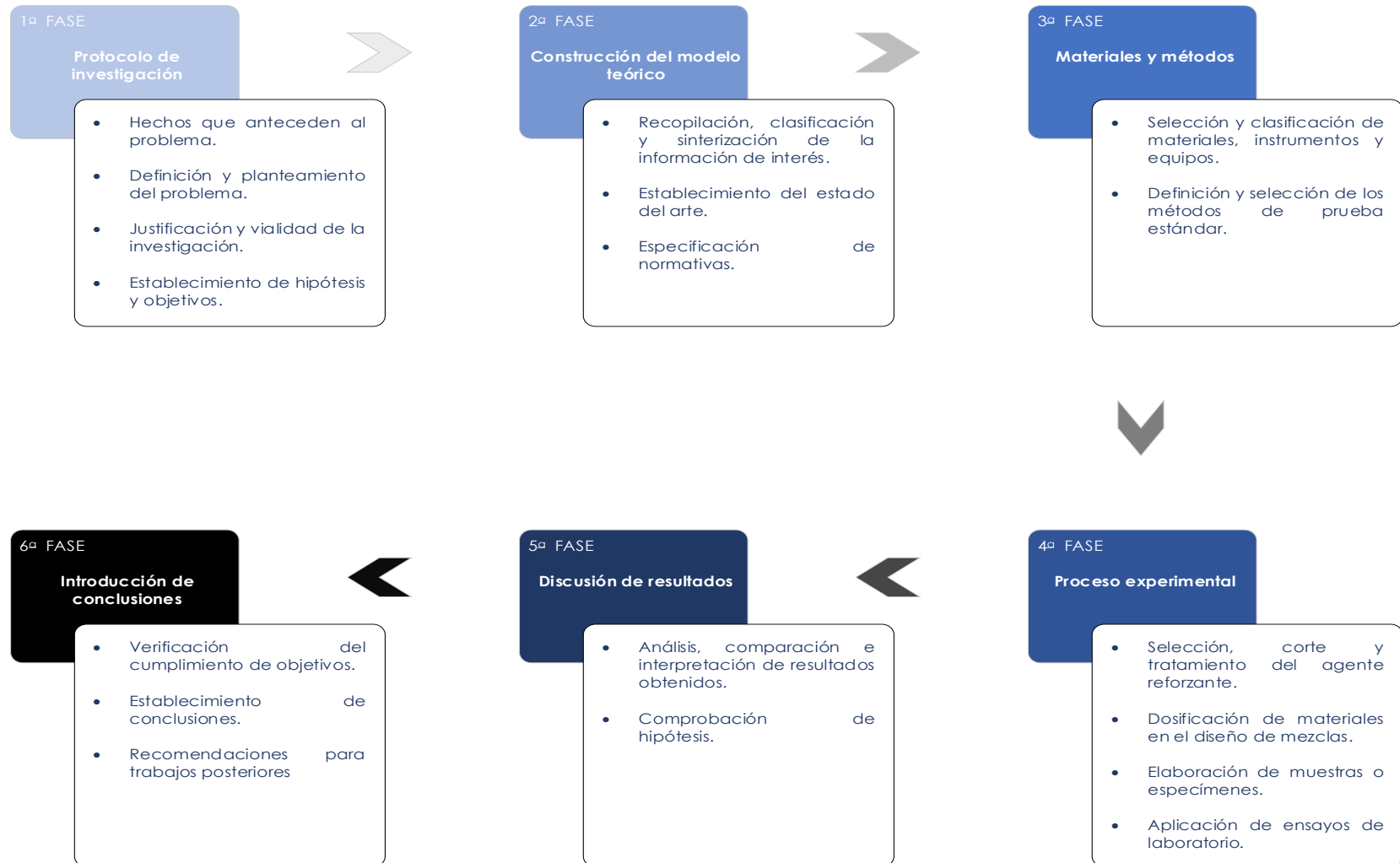
- Realizar una revisión bibliográfica sobre el tema de estudio, con el fin de establecer el estado del arte de la adición de las fibras naturales de origen animal en matrices cementicias.
- Examinar el contenido de proteína (queratina) que poseen las diferentes plumas de aves e identificar que tipo de tratamiento deben de tener tanto las fibras como la matriz cementicia antes de su unión.
- Establecer una mezcla trabajable y eficaz de mortero de cemento reforzado con fibras (filamentos) de plumas de aves, mediante un estudio de dosificaciones, y
- Verificar mediante ensayos de laboratorio si existe una mejora en el comportamiento mecánico del mortero de cemento reforzado con este tipo de fibras y de haberlo, analizar de que manera influye el contenido de proteína (queratina) presente en cada pluma.

1.6. Metodología

Para el desarrollo del siguiente trabajo de investigación se utilizará el método científico-cuantitativo, el cual consiste en el desarrollo de seis fases secuenciales que permitirán cumplir con cada uno de los objetivos planteados anteriormente.

Ilustración 1.

Fases de investigación



Fuente: Bunge (1987). La investigación científica

Elaborado por: El autor

- **Primera fase (Planteamiento del problema)**

En esta primera fase de investigación se realizará una indagación sobre los hechos que anteceden al problema con la finalidad de conocer el origen del mismo y que alternativas se han tomado para solucionarlo. Se desarrollará el planteamiento del problema identificando que se va a resolver específicamente, además de justificar su viabilidad e importancia de ser investigado. Por último, se planteará la hipótesis y objetivos que sean necesarios para solucionar dicha problemática.

- **Segunda fase (Construcción del modelo teórico)**

Se realizará la fundamentación teórica, conceptos básicos y aspectos generales de los materiales compuestos, morteros de cemento y fibras naturales. Se analizarán las diferentes propiedades químicas, físicas y mecánicas de las fibras naturales de origen animal “Plumas de aves”. Se establecerá el estado del arte, sobre la aplicación de fibras naturales de origen animal y vegetal en compuestos cementicios, con la finalidad de conocer los diferentes materiales y métodos que se han utilizado para el tratamiento de la fibra y matriz antes de su unión, para la diseño de mezclas y para la aplicación de los distintos ensayos. También se estudiarán a las fibras sintéticas de plástico PET, con el objetivo de establecer una adecuada geometría y dimensión de la fibra a utilizar. Y finalmente se analizarán los resultados obtenidos en cada investigación con el propósito de conocer a que conclusiones y recomendaciones se han llegado.

- **Tercera fase (Construcción del modelo teórico)**

Se establecerán los distintos materiales y métodos para determinar las propiedades fisico-químicas de las plumas de aves (pollo broiler y pollo criollo); para el tratamiento de la fibra y matriz antes de su unión; y para el diseño de mezclas del mortero de cemento simple y reforzado

con fibras (filamentos) de plumas de aves. Por otro lado, también se establecerán los materiales y métodos necesarios para el diseño de probetas o especímenes (en base al tipo de ensayo al que serán sometidos) y para la aplicación de los distintos ensayos de laboratorio (de resistencia física y mecánica).

- **Cuarta fase (Proceso experimental)**

Se realizará la selección, corte y tratamiento de las fibras naturales procedentes de las plumas de pollos broiler y criollo. Se dosificarán los distintos materiales para diseñar mezclas de mortero de cemento simple y reforzado con fibras. Y se producirán las distintas probetas o especímenes con el objetivo de aplicar los respectivos ensayos de resistencia física y mecánica.

- **Quinta fase (Discusión de resultados)**

Se analizarán, compararán e interpretarán los resultados obtenidos en cada ensayo, con la finalidad de obtener parámetros concisos que permitan comprobar la hipótesis planteada inicialmente, además de detectar las fortalezas y las debilidades que supone la incorporación de esta nueva fibra (plumas de aves) como refuerzo de los morteros de cemento.

- **Sexta Fase (Introducción de conclusiones)**

Se verificará el cumplimiento de todos los objetivos propuestos inicialmente, además de exponer las conclusiones finales del trabajo de investigación, sin dejar de lado las debidas recomendaciones que se deben tener en cuenta para el desarrollo de futuras investigaciones.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1. Materiales Compuestos

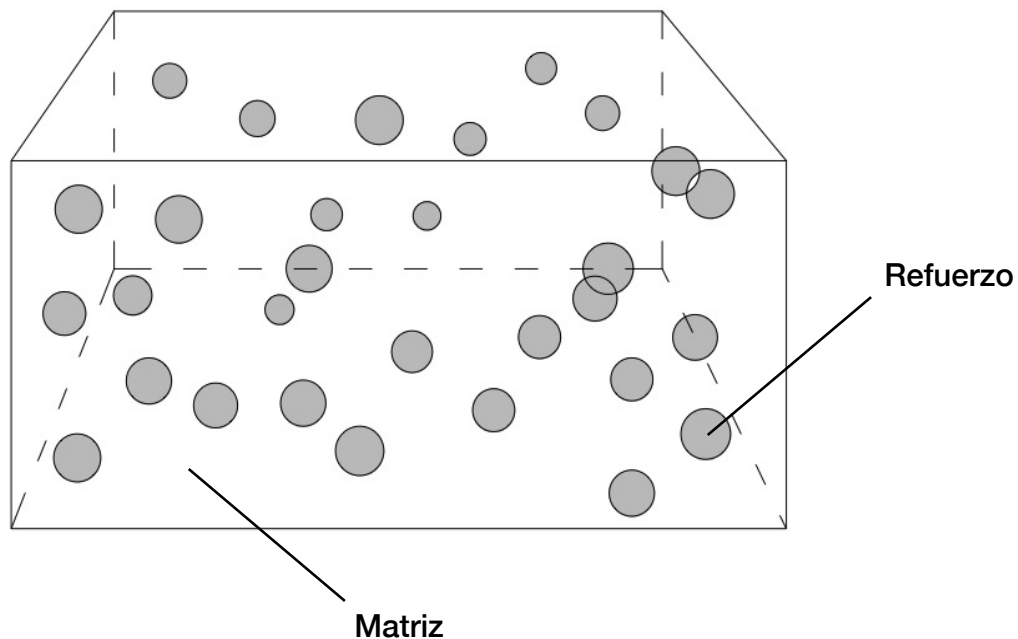
Los materiales compuestos son combinaciones de dos o más materiales distintos sin que se produzca una reacción química entre ellos. Se utiliza esta “unión” de materiales para dar lugar a nuevos productos con ciertas propiedades físico-mecánicas desarrolladas y que no se consiguen al estar presente únicamente un material (Olivares, Galán & Roa, 2003).

2.1.1. Estructura de los Materiales Compuestos

Aunque existe una gran variedad de materiales compuestos, todos se encuentran constituidos por dos elementos: matriz y refuerzo.

Ilustración 1.

Estructura de un material compuesto



Fuente: Olivares et al. (2003).

Elaborado por: El autor

- **Matriz**

“Es la fase continua (o agrupada) en la que el refuerzo queda embebido, además de presentarse como el componente menos flexible, elástico y resistente” (Stupenengo, 2011). Entre sus principales funciones esta:

- Definir las propiedades físico-químicas del compuesto
- Transmitir las distintas cargas al agente reforzante, y
- Proteger y dar cohesión al material

- **Refuerzo**

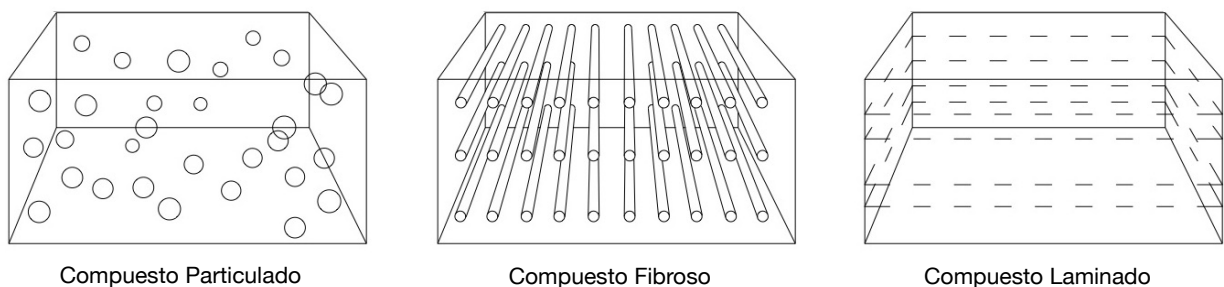
Es la fase discontinua (o dispersa) que se agrega a la matriz para conferirle una mayor resistencia y rigidez mecánica. Sin embargo, en algunas ocasiones estos refuerzos también se emplean para mejorar el comportamiento del compuesto en altas temperaturas y para brindarle una mayor resistencia a la abrasión (Stupenengo, 2011).

2.1.2. Tipos de Materiales Compuestos

De acuerdo a la forma del refuerzo se clasifican en: Compuestos particulados, Compuestos fibrosos y Compuestos laminados.

Ilustración 2.

Tipos de materiales compuestos



Fuente: Olivares et al. (2003).

Elaborado por: El autor

- **Compuesto particulado**

Están compuestos por partículas de un material duro y frágil, disperso uniformemente y rodeado por una matriz blanda y dúctil. Para que el reforzamiento de estos compuestos particulados sea más efectivo, las partículas deben ser del menor tamaño posible y estar distribuidas homogéneamente dentro de la matriz, con la finalidad de evitar la incorporación de aire dentro de la misma y a la vez aumentar su resistencia (Olivares et al., 2003).

Ilustración 3.

Fabricación y utilización de materiales compuestos particulados



Fuente: Itacamba (2018), Pretensados Córdoba y Plataforma Arquitectura.

Elaborado por: El autor

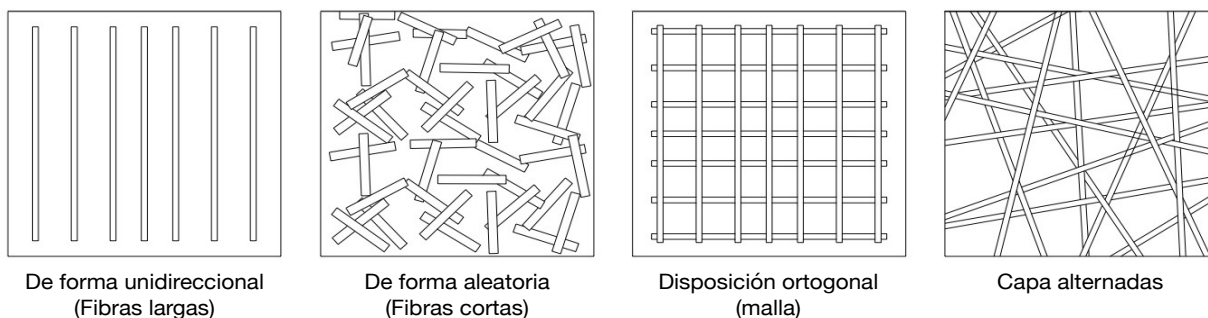
En la industria de la construcción, el uso de materiales compuestos reforzados con partículas de diferente granulometría (arena y piedra) es muy común, y entre los más utilizados tenemos al mortero, hormigón y asfalto. Sin embargo, debido a que el siguiente caso de estudio abarca sobre el reforzamiento del mortero de cemento con fibras naturales, más adelante se profundizara con más información acerca de este tipo de compuestos.

- **Compuesto fibroso**

Se componen por la introducción de fibras manufacturadas o naturales, dentro de una matriz blanda y dúctil, con la finalidad de mejorar las diferentes propiedades del compuesto (Olivares et al., 2003). Las fibras de refuerzo pueden quedar orientadas de diversas formas:

Ilustración 4.

Orientación de las fibras en el material compuesto



Fuente: Olivares et al. (2003).

Elaborado por: El autor

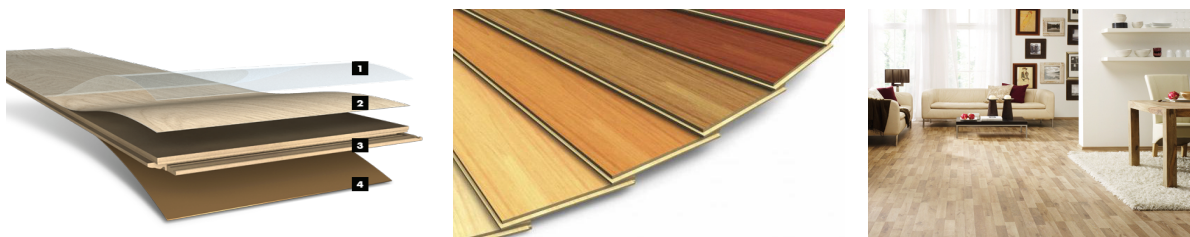
Debido a que hoy en día las fibras de refuerzo más utilizadas son las fibras sintéticas, en esta investigación se abordará sobre el estudio de fibras naturales de origen animal (plumas de aves) como agente reforzante del compuesto particulado (mortero de cemento), motivo por cual más adelante se profundizará con más información acerca de este tipo de fibras.

- **Compuesto laminado**

Los compuestos laminados se caracterizan por su elevada resistencia en todas direcciones, siendo además ligeros y de bajo coste. Pueden tener también espesores variados y propiedades térmicas interesantes. Estos compuestos laminados generalmente se diseñan para que su resistencia a la abrasión y a la corrosión sea buena (Olivares et al., 2003).

Ilustración 5.

Fabricación y utilización de materiales compuestos laminados



Fuente: Maderame (Parquets laminados) y Plataforma Arquitectura.

Elaborado por: El autor

2.2. Mortero de Cemento

El mortero de cemento es un material de construcción obtenido al mezclar agua, arena y cemento (Portland). En donde, en algunos casos a la mezcla también se le añade ciertos aditivos con la finalidad de mejorar o modificar sus propiedades físico-mecánicas. Las principales características de este tipo de morteros radica en sus altas resistencias iniciales, en su carencia de plasticidad y en su baja retención de agua. Sin embargo, sus características de trabajabilidad son variables, ya que dependen de la proporción de cemento, tipo arena (fina y gruesa) y agua usada (Sánchez de Guzmán, 2001).

2.2.1. Usos del Mortero de Cemento

El mortero de cemento es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, en comparación a otro tipo de morteros (barro, yeso y cal), y se clasifican en:

- **Morteros de cemento para pega**

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014), este tipo de morteros son utilizados para unir piezas de mampostería (ladrillos, bloques, etc). Por lo tanto deben poseer una muy buena resistencia a compresión, flexión y tensión; ya que en obra siempre estarán sometidos a las condiciones especiales del sistema constructivo.

Ilustración 6.

Morteros de pega



Fuente: Arteaga, S. (2017), Suderow, J. (2016) y El ingenioso (2016).

Elaborado por: El autor

Estos morteros de pega deben tener buena trabajabilidad, plasticidad y consistencia, además de ser capaces de retener el agua mínima para la hidratación del cemento. Otro factor importante que deben garantizar es su adherencia con las unidades de mampostería, para formar un solo elemento a través de su acción cementante (Gutiérrez de López, 2003).

- **Morteros de cemento para relleno**

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2014), “este tipo de morteros se emplean para rellenar las celdas de los elementos de mampostería estructural; y al igual que los mortero de pega deben tener una adecuada resistencia a compresión, flexión y tracción”.

Ilustración 7.

Morteros de relleno



Fuente: Plataforma Arquitectura.

Elaborado por: El autor

“Estos morteros de relleno (lechada) deben tener buena consistencia y fluidez suficiente para penetrar en las celdas de inyección sin segregación, es decir, se debe controlar todas las fuentes internas de agua” (Gutiérrez de López, 2003).

- **Morteros de cemento para recubrimiento**

Según Gutiérrez de López (2003) este tipo de morteros “se utilizan para realizar enlucidos exteriores o interiores, con la finalidad de obtener una superficie uniforme que permita la posterior aplicación del empaste y pintura”.

Ilustración 8.

Morteros de recubrimiento



Fuente: El Oficial, Construrama (2015) y Rodacal Beyem.

Elaborado por: El autor

La única función de este tipo de morteros es estética ya que no cumplen función estructural alguna. No requieren una resistencia determinada, sin embargo, la plasticidad juega en ellos un papel muy importante.

En el desarrollo del presente trabajo de investigación se diseñará un mortero cemento para recubrimientos de paredes y pisos. El motivo por el cual se pretende utilizar este tipo de morteros, recae en que, de acuerdo a su uso, son los que más requieren de un material de refuerzo para solucionar sus problemas de baja resistencia a tracción, contracción e impacto.

2.2.2. Tipos de Mortero de Cemento.

La tipificación de los morteros esta regulada por la norma ASTM C 270-10 (2010) y es tomada como referencia en la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 2518, 2010. "Morteros para unidades de mampostería. Requisitos"). Esta norma establece que a los morteros se les asigne una letra para poder distinguirlos según sus propiedades y usos. Las letras designadas son la M, S, N, O y K, las cuales corresponden al deletreo de la palabra en inglés "MASON WORK" o trabajo de albañilería. Cada una de estas letras describen a un tipo de mortero con características propias, detalladas a continuación:

Tabla 1.*Tipos de mortero*

Tipo de mortero	Características
M	Es una mezcla que se caracteriza por su alta resistencia y mayor durabilidad en comparación con otros morteros, es recomendado para mampostería con o sin refuerzo que pueda someterse a grandes esfuerzos de compresión, a condiciones de congelamiento, a presión lateral de tierra, a presencia de vientos fuertes y terremotos. Por las características expuestas este mortero puede ser utilizado en estructuras o elementos que estén en contacto con el suelo, tales como: cimentaciones, muros de contención, aceras y pozos.
S	Es el mortero que posee las más altas características adherentes en comparación a otros de su misma clase. Es ideal para usarse en estructuras sometidas a cargas de compresión normales pero que requieren a la vez de una alta adherencia. Debe usarse en aquellos casos en los que el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como es el caso de revestimientos cerámicos, baldosines de barro cocido, etc.
N	Es un mortero multipropósito en la elaboración de mamposterías. Es útil para enlucidos y levantamiento de paredes interiores de división, por su conveniente resistencia media es la mezcla que combina de mejor manera las propiedades de resistencia a la compresión, trabajabilidad y bajos costos. Usualmente las mezclas de tipo N, alcanzan cerca de 120 kg/cm ² de resistencia a la compresión, en los ensayos en laboratorio. Debe tenerse en cuenta que la calidad de mano de obra, la succión propia de los elementos de mampostería y otras variables afectan su resistencia una vez colocado".
O	Es un mortero de baja resistencia y con una alta composición de cal. Es útil para enlucidos, para construir paredes y divisiones sin carga vertical y se lo recomienda para viviendas de uno o dos pisos. Debido a su excelente trabajabilidad y bajo costo es el mortero preferido por los albañiles.
K	Esta clasificación ya no aparece dentro de los cuadros o tablas de tipos de morteros porque la diferencia con el tipo O es mínima y ha sido reemplazado por este en la aplicación práctica.

Nota: Una vez analizados los distintos tipos de mortero se ha elegido diseñar el tipo N, ya que es el indicado para el recubrimiento superficial de paredes y pisos.

Fuente: Salamanca (2001).

Elaborado por: El autor

2.2.3. Clasificación de los Morteros de Cemento.

De acuerdo a la NTE INEN 2518 (2010) los morteros se clasifican en dos grupos: Morteros según sus especificaciones por dosificación y Morteros según sus especificaciones por propiedades.

- **Especificaciones por dosificación**

En el numeral 6.1.2.2 de la NTE INEN 2518 (2010) se indica lo siguiente: “Los morteros que estén de acuerdo con las especificaciones por dosificación deben cumplir con los requisitos del numeral 6.1.1 y los requisitos por dosificación especificados en la tabla 2”.

Tabla 2.

Especificación por dosificación. Requisitos

Mortero	Tipo	Dosificaciones por volumen (materiales cementantes)							Relación de áridos (Medios en condición húmeda suelta)	
		Cemento Portland o cemento compuesto	Cemento para mortero			Cemento para mampostería				Cal hidratada o masilla de cal
			M	S	N	M	S	N		
Cemento y cal	M	1	--	--	--	--	--	--	1/4	
	S	1	--	--	--	--	--	--	Sobre 1/4 a 1/2	
	N	1	--	--	--	--	--	--	Sobre 1/2 a 1¼	
	O	1	--	--	--	--	--	--	Sobre 1¼ a 2½	
Cemento para mortero	M	1	--	--	1	--	--	--	--	
	M	--	1	--	--	--	--	--	--	No menos que 2¼ y no más que 3 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes.
	S	1/2	--	--	1	--	--	--	--	
	S	--	--	1	--	--	--	--	--	
	N	--	--	--	1	--	--	--	--	
O	--	--	--	1	--	--	--	--		
Cemento para mampostería	M	1	--	--	--	--	--	1	--	
	M	--	--	--	--	1	--	--	--	
	S	1/2	--	--	--	--	--	1	--	
	S	--	--	--	--	--	1	--	--	
	N	--	--	--	--	--	--	1	--	
	O	--	--	--	--	--	--	1	--	

Nota: En el mortero no deben ser combinados dos agentes incorporadores de aire.

Fuente: NTE INEN 2518 (2010).

Elaborado por: El autor

- **Especificaciones por propiedades**

En el numeral 6.1.2.3 de la NTE INEN 2518 (2010) se indica lo siguiente: “Para que los morteros se ubiquen dentro de las especificaciones por sus propiedades, se realizarán ensayos de laboratorio de acuerdo con los numerales 5.1.1 y 8. El mortero preparado en laboratorio deben cumplir con los requisitos del numeral 6.1.1 y las propiedades del mortero preparado deben estar de acuerdo con los requisitos de la tabla 3”.

Tabla 3.

Especificación por propiedades. Requisitos

Mortero	Tipo	Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min, (MPa)	Retención de agua, % min.	Contenido de aire, % max.	Relación de áridos (Medidos en condición húmeda, suelta)
Cemento y cal	M	17,2	75	12	No menos que 2¼ y no más que 3½ veces los volúmenes separados de materiales cementantes 2 ½
	N	12,4	75	12	
	S	5,2	75	14 ^C	
	O	2,4	75	14 ^C	
Cemento para mortero	M	17,2	75	12	
	S	12,4	75	12	
	N	5,2	75	14 ^C	
	O	2,4	75	14 ^C	
Cemento para mampostería	M	17,2	75	18	
	S	12,4	75	18	
	N	5,2	75	20 ^D	
	O	2,4	75	20 ^D	

^A Únicamente morteros preparados en laboratorio (ver la nota 6).

^B Ver la nota 6

^C Cuando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento y cal, el contenido máximo de aire debe ser 12%.

^D Cuando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento con mampostería, el contenido máximo de aire debe ser 18%.

Fuente: NTE INEN 2518 (2010).

Elaborado por: El autor

2.2.4. *Propiedades de los morteros de cemento.*

De acuerdo a la NTE INEN 2518 (2010), “Muchas propiedades del mortero no son cuantitativamente definibles en términos precisos debido a una falta de normas de medición. Por estas y otras razones no existen normas para mortero basadas totalmente en el rendimiento y en el tipo de uso que se le pretenda asignar, por ende, el uso continuo de la especificación de prescripción tradicional prevalece en la mayoría de las situaciones”. Sin embargo, los morteros para mampostería tienen dos diferentes conjuntos de propiedades importantes, aquellas del mortero en estado plástico y aquellas del mortero en estado endurecido.

- **Propiedades del mortero en estado plástico**

Las propiedades del mortero en estado plástico determinan la facilidad de construcción de la mampostería y a su vez están relacionadas con las propiedades del mortero en estado endurecido, por lo tanto, con los elementos estructurales terminados. Entre las propiedades que más importancia se le deben dar al mortero en estado plástico a la hora de construir, son: la trabajabilidad y la retención de agua.

Tabla 4.

Propiedades del mortero en estado plástico

Estado	Propiedades	
	Tipo	Descripción
	Trabajabilidad	La trabajabilidad es la propiedad más importante del mortero en estado plástico. Un mortero trabajable puede extenderse con facilidad con un palustre en las separaciones y agrietamientos de la unidad de mampostería. Un mortero trabajable también resiste el peso de las unidades de mampostería al ser colocadas y facilita su alineamiento. Se adhiere a las superficies verticales de la mampostería y se filtra fácilmente por las juntas del mortero cuando el obrero aplica presión para alinear la unidad. La trabajabilidad es una combinación de varias propiedades, incluyendo plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia, las cuales son medidas con exactitud en el laboratorio.

Flujo

Es la propiedad del mortero que se mide en laboratorio e indica el aumento porcentual del diámetro de un mortero confeccionado en un molde troncocónico. Primeramente, la muestra es desmoldada y sometida al movimiento de una mesa vibratoria para dejarlo caer 25 veces en un periodo de 15 segundos, posteriormente se mide el diámetro final y se determina el porcentaje de fluidez de la mezcla, según la norma NTE INEN 2518.

Se recomienda que la fluidez esté entre el 100 y 120 %, así se compensará la absorción que ejercerán los mampuestos o unidades de mampostería.

CONSISTENCIA	FLUIDEZ %	PENETRACIÓN mm	CONDICIONES DE COLOCACIÓN	TIPOS DE ESTRUCTURAS	SISTEMAS DE COLOCACIÓN
Dura (Seca)	80 a 100	30-45	Secciones sujetas a vibración	Reparaciones, recubrimientos de túneles, galerías, pantallas de cimentación y pisos	Proyección neumática con vibradores de pared
Media (Plástica)	100 a 120	45-55	Sin vibración	Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos	Manual con palas bailejos
Fluida (Húmeda)	120 a 150	55-89	Sin vibración	Pañetes, rellenos de mampostería estructural, morteros autonivelantes para pisos	Manual, bombeo e inyección

La fórmula para calcular la fluidez es la siguiente:

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\varnothing \text{ final} - \varnothing \text{ inicial}}{\varnothing \text{ inicial}} \times 100$$

Retención de agua

Es la cualidad de un mortero para retener agua cuando está sometido a absorción. Esta propiedad del mortero da tiempo al obrero para colocar y ajustar una unidad de mampostería sin que el mortero se endurezca. La capacidad de retención de agua se aumenta mediante el incremento de cal o contenido de aire, adición de arena fina dentro de los límites de graduación permitidos, o usando materiales retenedores de agua.

Velocidad de endurecimiento

El endurecimiento del mortero en estado plástico está relacionado con las características de fraguado, tal como, lo indica la resistencia a la deformación. La medición del fraguado inicial para los materiales cementantes se lo hace en el laboratorio, indica el nivel de hidratación o las características que la pasta de cemento adquiere al fraguar. Un endurecimiento precoz del mortero antes de su uso, es perjudicial para su colocación. El mortero para mampostería se torna rígido a medida que pierde agua y se endurece mediante el fraguado normal del cemento. Esa transformación se puede acelerar con calor o retardarse con frío.

Fuente: NTE INEN 2518 (2010).

Elaborado por: El autor

- **Propiedades del mortero en estado endurecido**

Las propiedades del mortero en estado endurecido que ayudan a determinar el comportamiento final de la mampostería incluyen la adherencia, la extensibilidad, la resistencia a la compresión y la durabilidad.

Tabla 5.

Propiedades del mortero en estado endurecido

Estado	Propiedades	
	Tipo	Descripción
ENDURECIDO	Adherencia	La adherencia es probablemente una de las más importantes pero al mismo tiempo es la más variable y poco previsible ya que está condicionada a una serie de variables, como el contenido de aire, cohesión del mortero, tiempo transcurrido entre la aplicación del mortero y la colocación de la unidad de mampostería, absorción de unidades de mampostería, capacidad de retención de agua del mortero, presión aplicada a la junta de mampostería durante la colocación, acabado, textura de la superficie de pega de la unidad de mampostería y condiciones de curado. La resistencia a la tracción y a la compresión es superior a la resistencia de la adherencia entre el mortero y la unidad de mampostería, por lo tanto, las juntas de mortero están sujetas a falla por adherencia.
	Extensibilidad	Es la máxima deformación unitaria por tracción a la rotura. Esta indica la máxima elongación posible bajo las fuerzas de tracción, además en la norma NTE INEN 2518 (2010), se indica que los morteros de baja resistencia presentan un flujo plástico mayor a aquellos con módulo de elasticidad alto con igual relación pasta-áridos. Por esta razón, no se debe usar morteros con resistencias más altas que las necesarias. El flujo plástico o creep aporta flexibilidad a la mampostería, permitiendo pequeños movimientos sin la abertura visible en las juntas.
	Resistencia a la compresión	Algunas veces la resistencia a la compresión del mortero es usada como el criterio principal para seleccionar el tipo de mortero, puesto que es relativamente fácil de medir y comúnmente se relaciona con otras propiedades, como la resistencia a la tracción y la absorción del mortero. La resistencia a la compresión del mortero depende significativamente del contenido de cemento y de la relación agua-cemento. El procedimiento de laboratorio aceptado para medir la resistencia a la compresión es el de cubos de mortero de 50 mm de lado. Debido a que el referido ensayo es relativamente simple y proporciona resultados consistentes y reproducibles, la resistencia a la compresión es considerada como la base para determinar la compatibilidad de los ingredientes del mortero.

Durabilidad

La durabilidad es la capacidad que tiene una mampostería para resistir la penetración del agua. La unión del mortero con cierta unidad de mampostería y diseñada sin consideraciones de exposición, puede llevar a la unidad o al mortero a tener problemas de durabilidad. Generalmente se considera que las paredes de mampostería calentadas de un lado, no requieren de mantenimiento durante muchos años, indicando la longevidad potencial del mortero. Los antepechos, pavimentos de mampostería, muros de retención u otro tipo de mampostería expuesta a la congelación cuando están saturados, representan una exposición extrema y por esto se requiere de un mortero más durable.

Fuente: NTE INEN 2518 (2010).

Elaborado por: El autor

2.2.5. Componentes del Mortero de Cemento.

El material cementante, el árido y el agua son los componentes principales del mortero, sin embargo, existen algunos componentes eventuales (aditivos o adiciones) que se agregan al mortero para transformarlo, mejorarlo u obtener propiedades especiales. A éstos componentes se le adicionan otros que sirven para mejorar algunas de sus propiedades, por ejemplo: velocidad de fraguado, plasticidad, resistencia en ambientes agresivos, etc.

Ilustración 9.

Componentes del mortero de cemento



Fuente: Leroy, M. (2016).

Elaborado por: El autor

La NTE INEN 2518 (2010), indica que los materiales a ser utilizados como componentes en la estructura del mortero para unidades de mampostería deben cumplir con los requisitos establecidos en los numerales 6.1.1.1 a 6.1.1.4.

- **Material Cementante**

Los materiales cementantes son conglomerantes hidráulicos que están compuestos de minerales y materia inorgánica. Al ser estos compuestos finamente molidos y posteriormente mezclados con agua, forman pastas que se fraguan y endurecen a causa de las reacciones químicas de cada uno de sus componentes, tanto en el aire como el bajo agua, dando lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables. Dentro del numeral 6.1.1.1 de la NTE INEN 2518 (2010), se establecen los distintos materiales cementantes y las normas respectivas para cada uno de ellos, entre los materiales cementantes tenemos: cementos Portland en varios de sus tipos, cementos hidráulicos compuestos, cementos hidráulicos, cementos portland de escoria de altos hornos, cementos de mampostería y cementos para mortero. Por otro lado, los materiales cementantes descritos anteriormente también pueden clasificarse en tres grandes grupos: Puros, compuestos y por su desempeño (Ver tabla 6).

Tabla 6.

Clasificación de los materiales cementantes

Tipo	Descripción	Norma		
		NTE INEN	ASTM	
Puros (Cementos Portland)	I	Debe ser utilizado cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.	152	C150
	II	Para uso general, en especial cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos.	152	C150
	III	Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.	152	C150
	IV	Para ser utilizado cuando se desea bajo calor de hidratación.	152	C150
	V	Para ser utilizado cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos.	152	C150

También existen los cementos con incorporador de aire (IA, IIA, IIMHA y IIIA) y con moderado calor de hidratación (IIMH).

Compuestos (Cementos hidráulicos compuestos)	IS	Cemento portland de escoria de altos hornos.	490	C595
	IP	Cemento portland puzolánico.	490	C595
	IT	Cemento compuesto ternario.	490	C595
También existen los morteros con moderada resistencia a los sulfatos (MS), alta resistencia a los sulfatos (HS), moderado calor de hidratación (MH), bajo calor de hidratación (LH) y con incorporador de aire (A).				
Por desempeño (Cementos hidráulicos)	GU	Para construcción en general. Se lo debe utilizar cuando no se requieren uno o más de los tipos especiales.	2380	C1157
	HE	Alta resistencia inicial.	2380	C1157
	MS	Moderada resistencia a los sulfatos.	2380	C1157
	HS	Alta resistencia a los sulfatos.	2380	C1157
	MH	Moderado calor de hidratación.	2380	C1157
	LH	Bajo calor de hidratación.	2380	C1157
Si adicionalmente tiene R, indica baja reactividad con áridos álcali-reactivos.				

Fuente: NTE INEN 152 (2012), NTE INEN 490 (2011) y NTE INEN 2380 (2011).

Elaborado por: El autor

- **Áridos finos**

Los áridos son un conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles. Su naturaleza se define como inerte ya que por sí solos no deben actuar químicamente frente a los componentes del cemento o frente a agentes externos como el aire, agua, hielo, etc. Sin embargo, sí influyen de forma determinante en las propiedades físicas y mecánicas del mortero, esto se debe principalmente a la reacción química que se da entre sus diferentes componentes (Gutiérrez de López, 2003). Por otro lado,

cabe mencionar que los áridos también se clasifican por el tamaño de sus partículas: fracción fina, agregados finos y agregados gruesos (Ver tabla 7).

Tabla 7.

Clasificación de los áridos por el tamaño de sus partículas

Tamaño de la partícula	Denominación común	Clasificación
Pasante del tamiz N° 200 inferior a 0,002 mm. Es decir, los que rondan con tamaños entre 0,074 mm y 0,002 mm.	Arcilla Limo	Fracción fina o finos
Pasante del tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 200. Es decir, los que rondan con tamaños de partícula entre 4,76 mm y 0,074 mm.	Arena	Agregado fino
Pasante del tamiz 3/4" y retenido en el tamiz N° 4. Es decir, los que rondan con tamaños de partícula entre 19,1 mm y 4,76 mm.	Gravilla	Agregado grueso
Pasante del tamiz 2" y retenido en el tamiz 3/4". Es decir, los que rondan con tamaños de partícula entre 50,8 mm y 19,1 mm.	Grava	
Pasante del tamiz 6" y retenido en el tamiz 2". Es decir, los que rondan con tamaños de partícula entre 152,4 mm y 50,8 mm.	Piedra	
Material retenido en el tamiz 6". Es decir, tamaños de partícula superior a 152,4 mm.	Rajón Piedra bola	

Fuente: Gutiérrez de López (2003).

Elaborado por: El autor

La NTE INEN 2536 (2010) “Áridos para uso en Morteros para Mampostería. Requisitos.”, establece que el árido a utilizar en la composición de morteros, debe ser de granulometría fina que va desde 0,075 a 4,75 mm, es decir los tamaños de partícula que pasan por el tamiz N° 4 y son retenidos en el tamiz N° 200 (Ver tabla 8). Finalmente, la norma también establece la composición, impurezas inorgánicas, degradación a la acción de sulfatos, muestreo y métodos de ensayo del árido a utilizar en cada investigación.

Tabla 8.*Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería*

Tamiz	Porcentaje pasante	
	Arena natural	Arena elaborada
4,75 mm (No. 4)	100	100
2,36 mm (No. 8)	95 a 100	95 a 100
1,18 mm (No. 16)	70 a 100	70 a 100
600 μm (No. 30)	40 a 75	40 a 75
300 μm (No. 50)	10 a 35	20 a 40
150 μm (No. 100)	2 a 15	10 a 25
75 μm (No. 200)	0 a 5	0 a 10

Nota: El árido no debe tener una masa retenida mayor a 50% entre dos tamices consecutivos, ni más de 25% entre el tamiz de 300 μm (No. 50) y de 150 μm (No. 100).

Fuente: NTE INEN 2536 (2010).

Elaborado por: El autor

- **Agua**

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y mortero, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. Una de las normas que habla sobre la calidad del agua para su uso en compuestos cementicios es la ASTM C 1602-06 (2006).

Dentro del numeral 6.1.1.3 de la NTE INEN 2518 (2010), se establece que el agua para el amasado debe ser limpia, potable y libre de elementos perjudiciales tales como: ácidos, álcalis, aceites, sales, materiales orgánicos, alcoholes, u otras sustancias que puedan ser dañinas para el mortero o para cualquier metal en la pared. En la tabla 9 aparecen las concentraciones máximas de impurezas que pueden ser toleradas en el agua para su uso en las mezclas.

Tabla 9.*Tolerancias de concentraciones de impurezas en el agua de mezclas*

Impurezas	Máxima concentración tolerada
Carbonatos de sodio y de potasio	1.000 ppm
Cloruro de sodio	20.000 ppm
Cloruro como Cl (concreto preesforzado)	500 ppm
Cloruro como Cl (concreto húmedo o con elemento de aluminio, metales similares o galvanizados)	1.000 ppm
Sulfato de sodio	10.000 ppm
Sulfato como SO ₄	3.000 ppm
Carbonatos de calcio y magnesio, como ion bicarbonato	400 ppm
Cloruro de magnesio	40.000 ppm
Sulfato de magnesio	25.000 ppm
Cloruro de calcio (por peso de cemento en el concreto)	2%
Sales de hierro	40.000 ppm
Yodato, fosfato, arsenato y borato de sodio	500 ppm
Sulfito de sodio	100 ppm
Ácido sulfúrico y ácido clorhídrico	10.000 ppm
Ph	6 a 8
Hidróxido de sodio (por peso de cemento en el concreto)	0,50%
Hidróxido de potasio (por peso del cemento en el concreto)	1,20%
Azúcar	500 ppm
Partículas en suspensión	2.000 ppm
Aceite mineral (por peso del cemento en el concreto)	2%
Agua con algas	0
Materia orgánica	20 ppm
Agua de mar (concentración total de sales para concreto no reforzado)	35.000 ppm
Agua de mar para concreto reforzado o preesforzado	No recomendable

Fuente: Gutiérrez de López (2003).

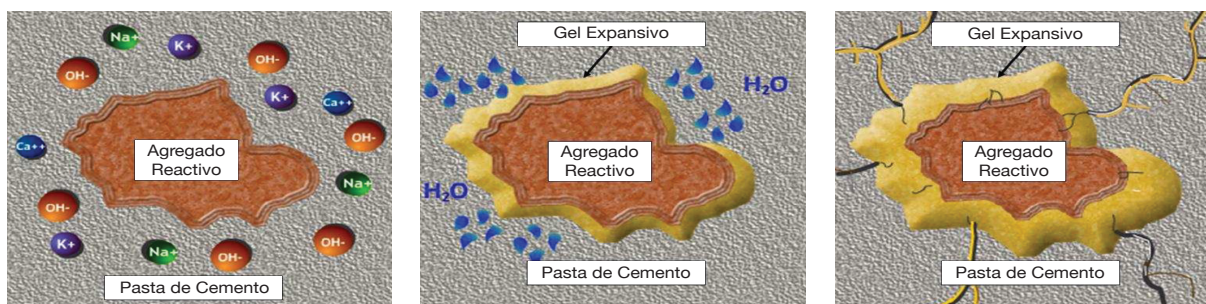
Elaborado por: El autor

2.3. Reactividad álcali-agregado (RAA)

Es un fenómeno químico que se produce en el interior de los compuestos cementicios desde su fabricación. Su aparición es causada por la reacción química entre los compuestos del agregado, los álcalis del cemento (óxido de sodio y óxido potasio), la presencia de humedad y alteraciones de la temperatura en un indeterminado tiempo. Como resultado de estas reacciones químicas, justo alrededor de las partículas de los agregados gruesos se forma un gel que se hincha gradualmente (debido a la absorción de agua) hasta romper la estructura interna del compuesto, ocasionando la fisuración y desintegración de la estructura. “La reactividad álcali-agregado es potencialmente peligrosa sólo cuando se produce la expansión considerable de este gel mencionado anteriormente” (Pasquel, 2009).

Ilustración 10.

Fases de la reacción álcali-agregado



Fase 1: Agregado reactivo dentro de la pasta de cemento con álcalis (Na y K) y radicales OH

Fase 2: La presencia de humedad activa la reacción álcali-agregado

Fase 3: Hinchamiento y fisuración

Fuente: Pasquel (2009).

Elaborado por: El autor

2.3.1. Tipos de RAA

La reactividad álcali-agregado se produce por medio de de dos reacciones, y entre ellas tenemos:

- Reacción álcali-sílice (RAS), y
- Reacción álcali-carbonato (RAC)

2.3.1.1. Reacción álcali-sílice (RAS)

El RAS o ASR (Alkali Silica Reactivity) se define, como la reacción química que se produce entre los álcalis del cemento y ciertas partículas de sílice de los agregados. Como resultado de esta reacción química se genera un gel que se hincha a medida que absorbe agua de la pasta de cemento que esta a su alrededor, con lo cual a su vez puede inducir presión, expansión y fisuración del agregado y la pasta. Este tipo de reacción fue descubierto en 1930 por el Profesor Thomas E. Stanton, director de California State Highway Division.

2.3.1.2. Reacción álcali-carbonato (RAC)

La RAC o ACR (Alkali Carbonate Reactivity) se define, como la reacción química que se produce al estar en contacto con ciertos agregados dolomíticos, con los álcalis del cemento y algunos carbonatos. Como resultado de esta reacción química se origina un gel expansivo que ocasiona la fisuración del compuesto. Esta versión de reactividad fue descubierta en el año 1957 por el profesor E. G. Swenson, de la National Research Council, Canadá.

De entre los dos tipos de reacción el más preocupante, difundido y estudiado es la reacción álcali-sílice (RAS), esto se debe principalmente a la gran variedad de agregados que contienen minerales reactivos de sílice. En el segundo caso, los agregados con carbonatos reactivos al álcalis, tienen una composición específica que no es muy común, además de que normalmente no se emplean para producir compuestos cementicios debido a sus bajas propiedades de resistencia y dureza. Por otro lado, en la primera reacción (RAS) también existe uno de los factores más importantes a tener en cuenta para permitir una mayor durabilidad de los materiales compuestos reforzados con fibras naturales (vegetales y animales). Por lo tanto, se realizará un estudio más profundo de esta reacción, con la finalidad de conocer que materiales y métodos existen para controlarlo debidamente.

2.3.2. Condiciones para que se Desarrolle la Reacción álcali-sílice

Para que la RAS ocurra deben darse estas cuatro condiciones de forma simultánea:

- Agregado sensiblemente reactivo con los álcalis.
- Una solución en el poro altamente alcalina (pH).
- Humedad suficiente para que los álcalis del cemento entren en solución y generen la reacción química, y.
- Mantenimiento de la reacción química por un tiempo determinado hasta dar origen al gel expansivo.

2.3.3. Materiales y métodos para el control del RAS

Existen tres formas para prevenir el desarrollo de la reacción álcali-sílice: Controlando el contenido de álcalis en el compuesto cementicio; Controlando el contenido de humedad en el compuesto cementicio; y Determinando si un agregado es reactivo con los álcalis del cemento.

- **Controlar el contenido de álcalis en el compuesto cementicio**

- El primer método existente, consiste en usar cementos con un bajo contenido de álcalis (usualmente cementos tipo II y tipo V) no mayor a 0,6% (óxido de sodio equivalente).
- El segundo método es el más conocido y utilizado debido a su eficacia, este consiste principalmente en disminuir el uso del cemento y reemplazarlo con adiciones puzolánicas tales como: cenizas volantes, escoria granulada de alto horno, humo de sílice, etc.
- Finalmente el tercer método existente, consiste en usar como aditivo químico sales de litio, ya que en estudios recientes han demostrado ser muy efectivas para neutralizar la acción de los álcalis formando un gel no expansivo.

- **Controlar el contenido de humedad en el compuesto cementicio**

La humedad puede provenir de dos fuentes: la primera de ellas se debe a la exposición del compuesto a condiciones externas del medio ambiente, que incluyen humedad relativa elevada, lluvia, flujo de agua si se trata de estructuras hidráulicas, ambiente marino, riego, etc. La segunda se produce cuando las estructuras son de grandes dimensiones y nunca llegan a eliminar totalmente su humedad, como es el caso característico de las represas, hidroeléctricas, puentes, etc.

Para limitar el ingreso de la humedad externa, podemos colocar en algunas estructuras una barrera superficial impermeable como pinturas, bitúmenes, láminas plásticas, etc. Sin embargo, esta alternativa no es posible en muchas de las estructuras, por lo que la mejor recomendación es reducir su porosidad limitando la relación agua/cemento a valores no mayores de 0,50 o menos y mejor aún si se emplean adiciones minerales ya que reducen efectivamente su permeabilidad (Pasquel, 2009).

- **Determinar si un agregado es reactivo con los álcalis del cemento**

Cabe recalcar que no existe a la fecha ninguna prueba que por si sola sea totalmente concluyente en demostrar que un agregado puede ser potencialmente reactivo en un caso particular, esto debe principalmente a que al fenómeno le toma años en desarrollarse y la mayoría de las pruebas se simulan en un tiempo relativamente corto y bajo condiciones de agresividad muy intensa para reproducir dicho fenómeno.

No obstante, existe una manera muy simple y práctica para evaluar los agregados ante este problema, sin embargo, esta no siempre está disponible. Este método consiste en tener evidencia documentada de su empleo en estructuras de concreto con antigüedad no menor de 15 años, que hayan sido construidas con el tipo y cantidad de cemento, relación agua/cemento, cantidad de álcalis y condiciones de servicio similares a las del proyecto a desarrollarse, habiéndose

comprobado que no haya habido problemas de expansión y/o fisuración, lo que representa la prueba de laboratorio a escala natural más objetiva y usualmente más barata (Pasquel, 2009).

Por otro lado, si se trata de agregados sobre los cuales no existe historia previa de utilización, se considera internacionalmente que el primer paso a efectuar es un “Ensayo Petrográfico”, es decir recurrir a un profesional experto para determinar mediante un microscopio de luz polarizada y metodología estandarizada, si el agregado en cuestión tiene en su composición alguno o varios de los minerales y/o rocas que pudieran causar la reacción (Pasquel, 2009).

2.4. Fibras naturales

Las fibras naturales son cada uno de los filamentos que entran en la composición de los tejidos orgánicos vegetales o animales y entre sus principales beneficios tenemos que son abundantes, económicas, renovables y de muy buenas propiedades físico-mecánicas. Desde hace varios siglos atrás, se han usado principalmente para la fabricación y diseño de prendas de vestir, decoraciones y materiales de construcción (Carrera, 2017).

2.4.1. Ventajas y Desventajas del uso de Fibras Naturales.

- **Ventajas**

- Se requiere poca inversión y consumo de energía para su elaboración, lo que las convierte en una excelente opción para la población de escasos recursos.
- Son abundantes y por ende económicas, ya que se pueden encontrar en cualquier parte del planeta, ya sea en la mayoría de plantas o animales.
- A partir de su uso se pueden desarrollar nuevas tecnologías que permitan producir materiales con menos impacto ambiental.

- Poseen muy buenas propiedades físico-mecánicas y en un futuro cercano pueden llegar a sustituir a la fibras sintéticas.
- Se reciclan de manera natural ya que son materiales biodegradables y renovables, por lo tanto amigables con el medio ambiente.

- **Desventajas**

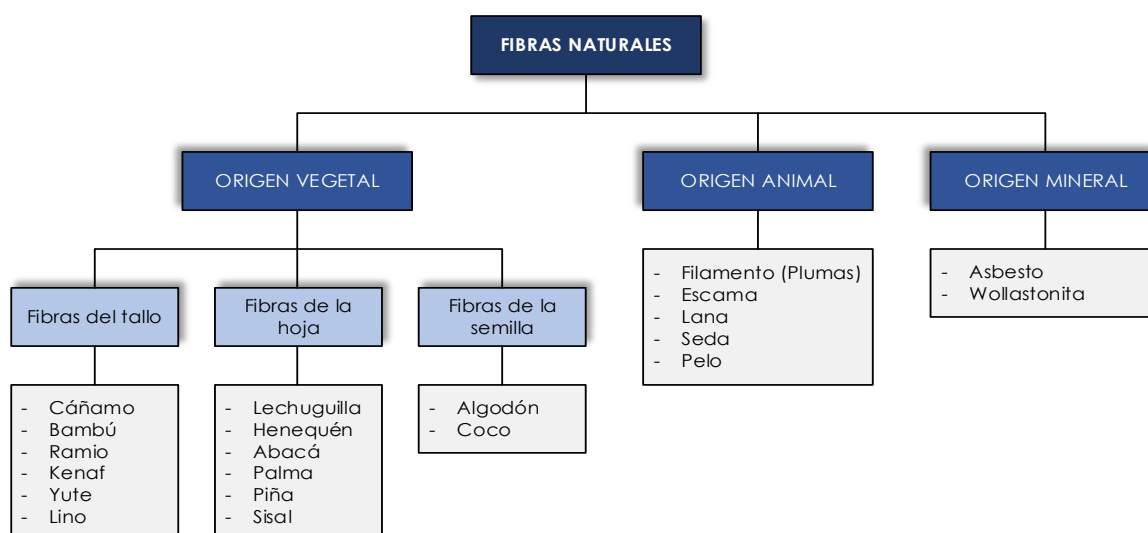
- Alta absorción de agua llegando a valores que sobrepasan el 100%, en una hora de inmersión. Esto produce importantes variaciones de peso y volumen, afectando su durabilidad y resistencia mecánica.
- Presentan poca durabilidad al estar expuestas en un medio alcalino, y
- En general tienen baja resistencia al fuego.

2.4.2. Clasificación de las fibras naturales

Las fibras naturales provienen de tres fuentes descritas a continuación:

Ilustración 11.

Clasificación de las fibras naturales



Fuente: Carrera (2017).

Elaborado por: El autor

2.4.3. *Fibras Naturales Utilizadas como Refuerzo en los Morteros de Cemento.*

Entre las principales fibras naturales de origen vegetal y animal que se han estudiado para ser utilizadas como refuerzo en los morteros de cemento tenemos:

Tabla 10.

Fibras naturales en los morteros de cemento

Fibras vegetales		Fibras animales	
Lino	Bambú	Coco	Pelo de humano (animal racional)
Yute	Bagazo de caña	Abacá	Pelo de cerdo
Cáñamo	Palma aceitera	Totorá	Plumas de aves
Sisal	Agave de lechuguilla	Cabuya	Lana de oveja

Fuente: Llerena (2014).

Elaborado por: El autor

2.5. Fibras naturales de origen animal (Plumas de aves)

Las plumas son la característica distintiva de las aves de otros vertebrados y desempeñan un papel importante en numerosos procesos fisiológicos y funcionales. Son las que también proporcionan a las aves su colorido llamativo, la regulación de los cambios de temperatura y el fácil desplazamiento por el aire y agua, además de permitirles camuflarse de la mayoría de sus enemigos.

Las plumas son estructuras epidérmicas, lo que quiere decir que se derivan de la piel. Se ha mencionado que el antecesor inmediato de las plumas son las escamas de los reptiles, pues crecen de la misma manera y están formadas de la misma sustancia llamada queratina. La queratina es la proteína que forma las uñas, el pelo y las escamas en otros grupos de vertebrados. El hecho de que las plumas estén compuestas de este material les permite tener características ventajosas, como mayor duración y resistencia a los efectos del medio ambiente (Senar, 2004).

2.5.1. Usos de las Plumas en la Industria

Debido a que las plumas representan del 5-7% del peso total de las aves adultas (maduras) y que en todo el mundo las industrias de procesamiento de carne aviar generan anualmente alrededor de 40 millones de toneladas de estos subproductos, es evidente el problema que se genera al momento de realizar su eliminación. En donde solamente una pequeña parte de estos desechos es reutilizada para crear nuevos productos, mientras que la parte restante es eliminada mediante la incineración o enterramiento en vertederos controlados, provocando así una continua contaminación del medio ambiente. De acuerdo a la investigación realizada por Tesfaye et al. (2017d), entre los principales usos que se le da este tipo de desechos tenemos:

- **Escenario actual del uso de las plumas**
 - Debido a que las plumas son cálidas, suaves y ligeras, algunas industrias las utilizan como material de relleno para cojines y edredones de extravagancia (Bonser & Dawson, 1999).
 - Debido a la gran variedad de aves y a sus diferentes tipos de plumas, en algunos países son utilizadas como símbolos culturales, religiosos y espirituales (Levine, 1991).
 - Debido a que existen diferentes diseños, formas, tamaños y colores de plumas, en algunos países se utilizan con fines decorativos (Levine, 1991).
 - Debido a que las plumas acumulan electricidad a base de fricción al momento de ser frotadas con otros objetos, en algunos países se utilizan como dispositivos de limpieza para atrapar y retener el polvo (Tesfaye et al., 2017d).
 - Debido a que las plumas en su proceso de degradación emanan nitrógeno, en algunos sectores agrícolas se utilizan como abono para aumentar la fertilidad del suelo y calidad de sus productos (Choi & Nelson, 1996).

- Debido a que las plumas están compuestas en su mayoría por proteínas y cantidades significativas de grasa, en algunas industrias se utilizan para elaborar y producir harinas de alimento para cierto tipo de animales (El Boushy et al., 1990).
- Finalmente, en algunas partes de América del Sur las plumas son utilizadas para elaborar productos farmacéuticos convencionales y en la India en cambio se utilizan como medicina tradicional para tratar los cortes y mordeduras de serpientes (Murari et al., 2005).
- **Escenario futuro del uso de las plumas**
 - Al estar compuestas las púas de las plumas por una proteína suave y duradera similar a la del raquis, permite que se puedan hilar y utilizar como fibra textil (Seawright et al., 2013).
 - Debido a las altas cantidades de proteína cruda, carbono, nitrógeno e hidrógeno que poseen las plumas, las convierten en ideales para producir biocombustibles (Tesfaye et al., 2017b).
 - Al carecer las plumas de contenido de humedad, ser extremadamente ligeras, huecas y lo suficientemente resistentes como para soportar tensiones mecánicas y térmicas, representan una excelente opción para ser utilizadas como materiales aislantes (Murillo et al., 2013).
 - Debido a la naturaleza higroscópica de la proteína queratina que componen a las plumas y a sus propiedades inherentes como la tenacidad estructural, estabilidad en un amplio rango de pH, insolubilidad en agua y alta resistencia a la tensión, las convierten en una excelente opción para ser utilizada en los procesos de purificación del agua (Kar & Misra, 2004).
 - Al estar compuestas las plumas por grasas que son una buena fuente de colesterol, el cual desempeña un papel importante para el correcto funcionamiento del cuerpo y en la producción de hormonas, podrían usarse como un componente básico para la síntesis de diferentes productos farmacéuticos (Tesfaye et al., 2017d).

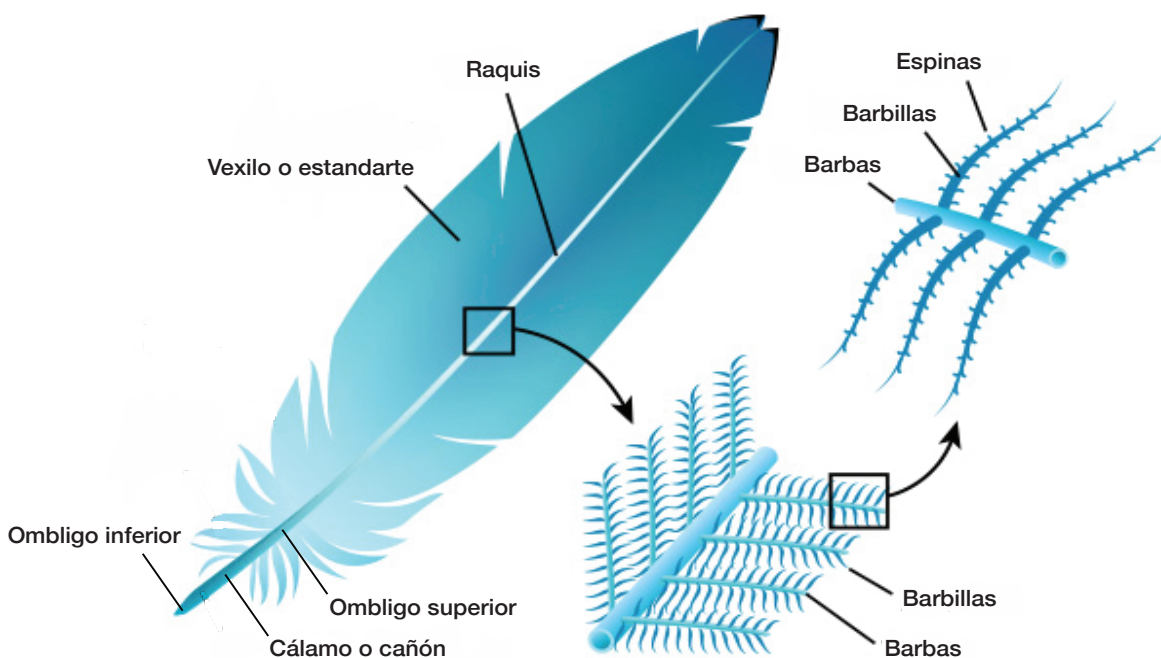
- Debido al tamaño y a la forma super fina de las fibras presentes en las plumas, permite que se puedan usar para elaborar papeles de filtro y decoración (Tesfaye et al., 2017d).
- Al estar compuestas las plumas en su mayoría por queratina y aminoácidos, sus hidrolizados se pueden utilizar en la industria cosmética (Ortega et al., 2017).
- Debido a que las plumas están compuestas en gran parte por la proteína queratina, las convierte en una excelente opción para desarrollar envases plásticos biodegradables, refuerzos para composites, fertilizantes y tejidos ignífugos (AIMPLAS, 2017).
- Al estar compuestas las plumas en su mayoría por la proteína llamada queratina, la cual les confiere muy buenas propiedades de resistencia mecánica, aislamiento termo-acústico, baja densidad, alta tenacidad y biodegradabilidad, representan una excelente opción para desarrollar materiales industriales que podrían ser utilizados en varios sectores de la automoción, construcción y empaquetado (Aymerich, 2012).
- Debido a la alta superficie, flexibilidad, diámetro fino y propiedades de durabilidad de las plumas, las convierte en un recurso valioso para remplazar a las costosas fibras naturales (pulpa de madera) y sintéticas (Tesfaye et al., 2017d).
- Al estar compuestas las plumas por materias primas biodegradables, de buena calidad, bajo costo y sobre todo ligeras, representan una excelente opción para fabricar diferentes partes de automóviles y aviones (Tesfaye et al., 2017a).

2.5.2. Estructura de las Plumas

“La estructura de una pluma es muy compleja, podríamos decir que se trata de una lámina que se subdivide finamente en gran cantidad de elementos: Ombligo inferior y superior, Cálamo o cañón, Raquis, Vexilo o estandarte, Barbas, Barbillas y Espinas” (Senar, 2004).

Ilustración 12.

Estructura de las plumas



Fuente: Senar (2004).

Elaborado por: El autor

- **Cálamo o cañón**

Es la parte inferior y más ancha del eje de la pluma, que se inserta en la piel del ave. Poseen muy buenas propiedades mecánicas, su estructura es hueca, translúcida y lleva dos aberturas llamadas omblogo inferior y superior, tal como se puede observar en la ilustración anterior. El omblogo inferior es por donde la pluma es alimentada durante su crecimiento, mientras que el omblogo superior es por donde el cuerpo laminar de la pluma emergió al comenzar a crecer.

- **Raquis**

Es la parte central o eje de la pluma y tiene un aspecto de caña hueca. Se caracteriza por ser resistente, flexible y de peso ligero, lo cual permite que la pluma pueda mantenerse firme y flexible. También se encuentra lleno de sustancias muertas, pigmentos y proteínas que quedaron ahí como resultado de su desarrollo.

- **Vexilo o estandarte**

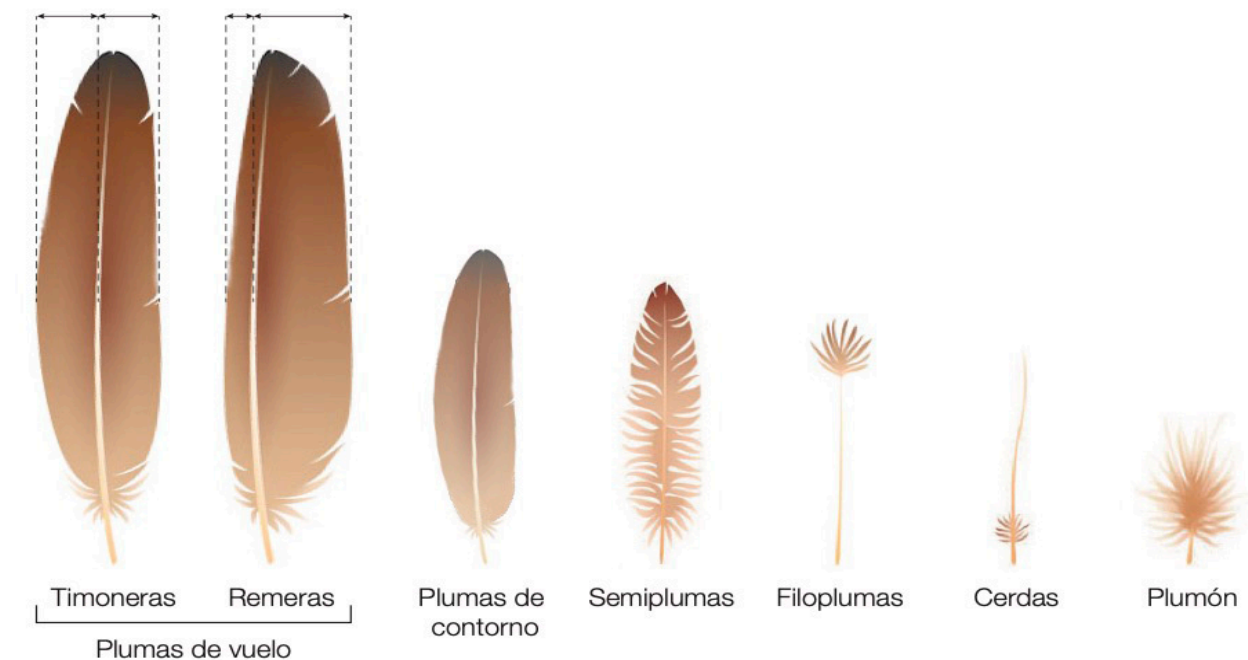
Es la parte visible y de mayor área que crece en los márgenes laterales del raquis. Se encuentra formado por láminas delgadas, paralelas y rectas llamadas barbas que crecen perpendicularmente desde el eje principal de la pluma (raquis). De la misma manera, a partir de estas barbas también se desarrollan otras láminas perpendiculares llamadas barbillas, las cuales además poseen varios ganchillos para entrelazarse entre sí y formar una lámina fuerte capaz de repeler el agua.

2.5.3. Tipos de Plumas

“Existen varios tipos de plumas y esto se debe principalmente a la localización corporal y funcional que cumple cada una. Entre los principales tipos de plumas tenemos: Plumas de contorno, Semiplumas, Filoplumas, Cerdas, y Plumón” (Senar, 2004).

Ilustración 13.

Tipos de Plumas



Fuente: Senar (2004).

Elaborado por: El autor

- **Plumas de vuelo**

Como su nombre lo indica, son las que ayudan a las aves a volar y a controlar sus cambios de dirección en el aire. Se subdividen en dos grupos llamadas timoneras y remeras; las timoneras son las que se encuentran ubicadas en la cola y su estandarte es simétrico, mientras que las remeras son las que se encuentran ubicadas en el ala y su estandarte es asimétrico. Otra de las funciones que cumplen este tipo de plumas es de ornato, ya que son exhibidas durante el cortejo al ave que intentan conquistar.

- **Plumas de contorno**

Son las que envuelven a todo el cuerpo del ave y estilizan su forma; se caracterizan por ser suaves, lisas y de varios colores, encontrándose ordenadas de manera similar a las tejas de un techo. Entre las principales funciones que cumplen este tipo de plumas están el proteger al ave de la lluvia, regular su temperatura corporal interior y servir de camuflaje contra sus enemigos.

- **Semiplumas**

Son un híbrido entre el plumón y la pluma de contorno; poseen un raquis desarrollado pero con barbas laxas; se encuentran generalmente debajo de las plumas de contorno y en lugares donde se produce flexión de la piel, como los codos, axilas e ingles; su función principal es de aislamiento, ya que protegen al ave de las bajas temperaturas y de los rayos solares.

- **Filoplumas**

Son plumas filamentosas, muy delgadas y de raquis largo que termina con unas cuantas barbas en su punta; se encuentran en todo el cuerpo del ave, preferentemente entre las plumas de contorno y las alas; son difíciles de ver y su función principal es sensorial, ya que se encargan de monitorear el movimiento y posición de las plumas mecánicamente activas o móviles.

- **Cerdas o bridas**

Son plumas con apariencia de pelo grueso, debido a su raquis rígido y delgado; poseen unas pocas barbas en su parte basal y se encuentran alrededor de la cabeza, ojos y pico. Su función principal es sensorial, ya que le permiten al ave detectar los insectos que están a su alrededor.

- **Plumón**

Es el primer tipo de pluma que presentan las aves cuando salen del cascarón, presentándose en los adultos por debajo de las plumas de contorno. Se caracteriza por tener un raquis muy corto o ausente, con barbas largas y barbillas carentes de ganchillos; tienen aspecto de mechón laxo y poseen una importante función termorreguladora.

2.5.4. Propiedades de las Plumas

Debido a que en la presente investigación se propone el uso de las plumas de dos aves domésticas (pollo broiler y pollo criollo) como refuerzo del mortero de cemento, es de gran importancia analizar sus diferentes propiedades morfológicas, físicas, químicas y mecánicas. Sin embargo, en la mayoría de las investigaciones realizadas, únicamente existe información sobre las propiedades de las plumas del pollo broiler y no del criollo. Puesto que el análisis descrito a continuación pertenece al primero de ellos, siendo concluido por un estudio químico adicional sobre las plumas de los dos tipos de aves (Ver anexo 3).

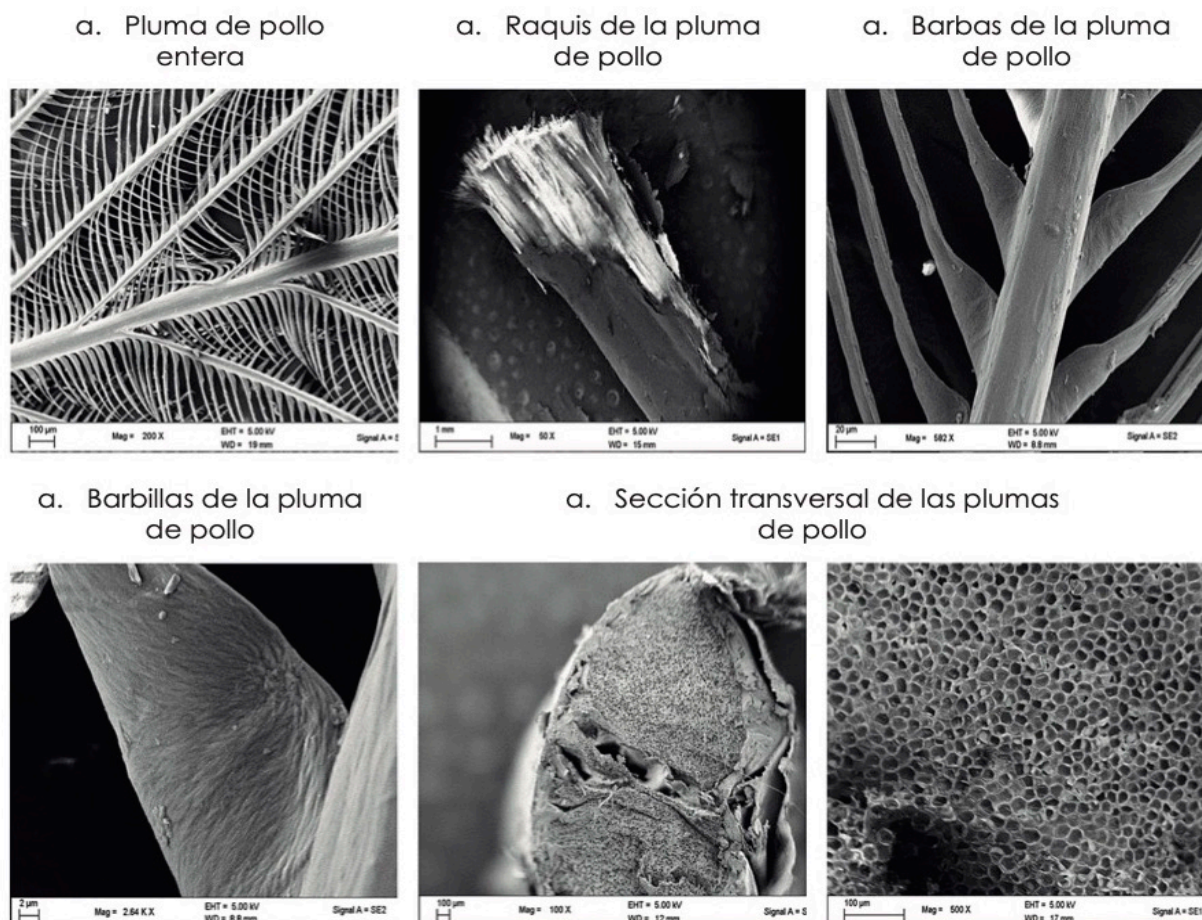
2.5.4.1. Estructura Morfológica

Las plumas de pollo están compuestas por tres unidades distintas: raquis, barbas y barbillas. En la ilustración 16, se puede observar que las plumas poseen una microestructura casi redonda, además de que su médula en fibras gruesas es concéntrica y de tamaño irregular. Por otro lado, la sección transversal de las barbas y del raquis, está formada por una estructura de células huecas en

forma de panal, proporcionándoles ligereza y una alta resistencia a la compresibilidad. Sin embargo, esta estructura también confirma la existencia de amplias bolsas de aire en su interior, lo cual contribuye a la alta resistencia térmica y buenas características de transporte de la humedad en las plumas. El poseer una estructura panal hueca con amplias bolsas de aire en su interior, implica que estos filamentos (barbas y raquis) puedan ser usados en la fabricación de materiales ligeros con excelente retención térmica. Finalmente, las barbas también presentan una superficie fibrilar carente de escamas y sus barbillas se encuentran retorcidas en forma de hélice, con la finalidad de conceder una mayor resistencia mecánica al resto de la fibra (Tesfaye et al., 2017a).

Ilustración 14.

Estructura morfológica de la pluma de pollo



Fuente: Tesfaye et al. (2017a).

Elaborado por: El autor

2.5.4.2. Propiedades Físicas

Las plumas de pollo poseen características únicas, entre las cuales tenemos su baja densidad, bajo grosor, buena retención de calor y excelente capacidad para absorber el sonido; convirtiéndola en una fibra notable en comparación con otras. Las partes de la pluma que mejores propiedades poseen, son el raquis y las barbas; caracterizándose el primero de ellos por su baja rigidez, buena flexibilidad, notable resistencia, excelente longitud y baja recuperación de humedad, mientras que la segunda se distingue por su finura, buena longitud de hilado, alta relación de esbeltez, excelente flexibilidad y al igual que el raquis una muy baja recuperación de la humedad (Tesfaye et al., 2017a). Entre las propiedades físicas de la pluma de pollo que se analizaron, tenemos: longitud, diámetro, masa, densidad, color, relación de esbeltez-flexibilidad y contenido-recuperación de humedad.

- **Longitud**

En la tabla 11 se puede contemplar la longitud promedio de las diferentes partes de la pluma de pollo. En adición a estos datos, cabe resaltar que la longitud del raquis varía según la posición de la pluma en el cuerpo del ave, mientras que la longitud de las barbas y barbillas varía de acuerdo a su ubicación a lo largo del raquis, siendo mayormente homogéneas.

Tabla 11.

Longitud de las diferentes partes de la pluma de pollo

Parte de la pluma	Rango de longitud (mm)	Longitud media (mm)	Desviación estándar (mm)	Grado de curtosis (mm)	Coefficiente de variación (%)
Barbillas	0.001 – 0.8	0.398	0.154	-	38.84
Barbas	1 - 45	24.75	19.14	21 - 30	77.31
Raquis	40 - 150	92.13	55.28	121 - 140	60.01

Fuente: Tesfaye et al. (2017a).

Elaborado por: El autor

- **Diámetro**

Los datos expuestos en la tabla 12, ilustran el diámetro de las diferentes partes de la pluma de pollo. En donde, cabe señalar que los diámetros de las barbas y barbillas son muy consistentes a lo largo de su longitud, variando en menos de un 10% y 4% respectivamente, mientras que los diámetros del raquis son inconstantes a lo largo de su longitud, variando en más de un 40%.

Tabla 12.

Diámetro de las diferentes partes de la pluma de pollo

Parte de la pluma	Rango de Diámetro (μm)	Diámetro medio (μm)	Desviación estándar (μm)	Grado de curtosis (μm)	Coefficiente de variación (%)
Barbillas	1 - 10	4.93	1.73	-	35.12
Barbas	1 - 125	46.65	34.37	5 - 50	73.66
Raquis	1000 - 4000	2260	1170	3000 - 4000	51.65

Fuente: Tesfaye et al. (2017a).

Elaborado por: El autor

- **Masa**

En la tabla 13 se puede observar la masa promedio de toda la pluma de pollo y la de sus distintas partes. En complemento a los datos expuestos en la tabla, cabe mencionar que el coeficiente de variación tanto del raquis como de las barbas es relativamente alto, debido a la posición de la pluma en el cuerpo del ave y a la ubicación de las barbas a lo largo del raquis.

Tabla 13.

Masa de las diferentes partes de la pluma de pollo

Parte de la pluma	Rango de masa (mg)	Masa media (mg)	Desviación estándar (mg)	Coefficiente de variación (%)	Porcentaje de masa (%)
Pluma entera	22.5 – 200	95.356	56.14	58.87	100
Raquis	12.5 – 12.5	48.28	25.12	52.03	52.13
Barbas en toda la pluma	7.5 – 100	44.27	24.52	55.39	48.87
Barba simple	-	0.10	0.05	55.02	-

Fuente: Tesfaye et al. (2017a).

Elaborado por: El autor

- **Densidad**

Los datos expuestos en la tabla 14, ilustran la densidad promedio de toda la pluma de pollo y la de sus distintas partes. Cabe señalar que actualmente en el mercado no existe fibra natural o sintética que posea una densidad tan baja como la de las plumas de pollo, cuya característica se debe principalmente a su estructura porosa.

Tabla 14.

Densidad de las diferentes partes de la pluma de pollo

Valores a determinar	Pluma entera		Raquis		Barbas	
	Estado seco	Estado húmedo	Estado seco	Estado húmedo	Estado seco	Estado húmedo
Rango de la densidad (g/cm ³)	0.55 – 0.80	0.67 – 1.27	0.30 – 0.57	0.52 – 1.00	0.70 – 1.12	0.95 – 1.67
Densidad media (g/cm ³)	0.68	0.97	0.44	0.76	0.91	1.31
DS - Desviación estándar (g/cm ³)	0.13	0.31	0.13	0.23	0.22	0.36
Cv - Coeficiente de variación (%)	18.91	31.96	28.99	27.48	24.29	30.26

Fuente: Tesfaye et al. (2017a).

Elaborado por: El autor

- **Color**

La tabla 15 muestra las mediciones de color realizadas a las plumas de pollo. En complemento a estos datos, cabe señalar que el color de las plumas varía debido a la naturaleza biológica del pollo, al proceso de faenado, al método de transporte y al tiempo de almacenamiento.

Tabla 15.

Medición del color de las diferentes partes de la pluma de pollo

Parte de la pluma	Espacio de color			Diferencia de color	Índice de blancura	Índice de amarillez
	L*	a*	b*	ΔE	WI CIE	YI E313
Barba	75.36	2.81	19.59	77.91	-57.75	43.18
Raquis	78.54	1.43	11.32	79.36	48.34	41.62

Fuente: Tesfaye et al. (2017a).

Elaborado por: El autor

- **Relación de esbeltez y flexibilidad**

Los valores obtenidos para la relación de esbeltez y flexibilidad de las distintas partes de la pluma de pollo, se exponen en la tabla 16. Los resultados arrojaron que la relación de esbeltez y flexibilidad es mucho mayor en las barbas que en el raquis, lo cual se debe principalmente a los parámetros dimensionales de las fibras, entre los cuales tenemos a la longitud, al diámetro y al espesor de la pared. Debido a que el raquis y las barbas poseen una relación de esbeltez superior a 15, ambas se consideran como fibras continuas, mientras que de acuerdo a la clasificación de las fibras textiles con respecto al coeficiente de flexibilidad, las barbas se ubicarían en el grupo de las fibras elásticas y el raquis en cambio en el grupo de las fibras rígidas.

Tabla 16.

Relación de esbeltez y flexibilidad de las diferentes partes de la pluma de pollo

Parte de la pluma	Longitud media (μm)	Diámetro medio (μm)	Diámetro de médula (μm)	Espesor de pared (μm)	Relación de esbeltez	Relación de flexibilidad
Barbas	24750	46.65	26.88	3.31	530.55	57.62
Raquis	92130	2260	57.50	9.27	40.77	2.54

Fuente: Tesfaye et al. (2017a).

Elaborado por: El autor

- **Contenido y recuperación de humedad**

Los datos sobre el contenido y recuperación de humedad de la pluma de pollo entera y la de sus fracciones, se ilustran en la tabla 17. Los resultados obtenidos indican que las plumas de pollo poseen características higroscópicas y una baja recuperación de humedad en comparación a otras fibras naturales que alcanzan valores de hasta el 20% de humedad. Finalmente, cabe destacar la capacidad que poseen las plumas de pollo y sus distintas fracciones para absorber la humedad del entorno, ya que cuya característica tiene implicaciones importantes en el procesamiento, almacenamiento, transporte y durabilidad de los materiales compuestos.

Tabla 17.*Contenido y recuperación de humedad de la pluma de pollo*

Parte de la pluma	Rango del contenido humedad (%)	Contenido de humedad medio (%)	Rango de la recuperación de humedad (%)	Recuperación de humedad media (%)	% de recuperación
Pluma entera	9.72 – 11.35	10.54	11.20 – 14.15	12.69	2.13
Raquis	7.80 – 9.70	8.75	9.80 – 13.92	11.85	3.11
Barbas	11.47 - 13.20	12.33	12.2 – 15.23	13.72	1.39

Fuente: Tesfaye et al. (2017a).

Elaborado por: El autor

2.5.4.3. Propiedades Químicas

De acuerdo a la investigación realizada por Florida (2019), las plumas de pollo están compuestas en gran mayoría por la proteína llamada queratina. La queratina es un polímero o plástico natural que se caracteriza por ser un material fuerte, ligero y duradero, además de contener en su interior una gran cantidad de aminoácidos. Este tipo de queratina también se encuentra presente en el pelo, uñas, cuernos, pezuñas y escamas de varios animales, en los cuales está incluido el ser humano. La reticulación intermolecular (propiedades químicas) de la proteína, también está formada por enlaces de disulfuro e hidrógeno, que contribuyen a la alta tenacidad, peso ligero y excelentes propiedades de aislamiento térmico-acústico de las plumas (Rahhali, 2015).

A continuación se analizará la composición química de las plumas de pollo, su resistencia química, sus características de hinchamiento, su hidrofobicidad y cantidad de aminoácidos que componen a la proteína (queratina).

- **Composición Química**

Para obtener una mayor exactitud en cuanto a la composición química de las plumas de pollo, se llevó a cabo una revisión bibliográfica del tema, obteniendo como resultado los siguientes nutrientes y antinutrientes de la tabla 18.

Tabla 18.*Composición química de las plumas de pollo*

Composición química (%)	Referencias				Media (%)	
	Coello et al. (2003)	FEDNA (2012)	Benítez et al. (2014)	Tesfaye et al. (2017b)		
Mediante análisis proximal	Fibra cruda	0.60	2.10	6.40	2.15	2.81
	Proteína cruda	83.0	83.9	77.7	82.36	81.74
	Cenizas	0.91	2.20	3.28	1.49	1.97
	Lípido crudo (grasa)	2.01	1.80	1.40	0.83	1.51
	Humedad (agua)	7.00	6.80	4.89	10.54	7.31
	ELN (carbohidratos, azúcares, almidones, etc.)	6.48	3.20	6.36	1.02	4.27
Mediante análisis final CHNS	Carbono	-	-	-	47.4	47.4
	Hidrógeno	-	-	-	7.20	7.20
	Nitrógeno	11.0	-	-	15.1	13.0
	Oxígeno	-	-	-	22.3	22.3
	Azufre	-	1.39	-	2.9	2.15
	Materia inorgánica	7.00	-	-	5.06	6.03
	Materia orgánica	93.0	-	-	94.9	94.0

Fuente: Bertsch et al. (2003), FEDNA (2012), Benítez et al. (2014) & Tesfaye et al. (2017b).

Elaborado por: El autor

- **Resistencia química**

Los datos expuestos en la tabla 19, describen la reacción química de las plumas de pollo cuando son introducidas en distintos productos químicos. Las reacciones observadas indican que las plumas son inestables dentro de los ácidos y álcalis fuertes, mientras que su resistencia es significativamente buena dentro de los ácidos y álcalis suaves. Finalmente, los reactivos con poco efecto sobre la estructura y tenacidad de las fibras son los blanqueadores y detergentes, por lo que se pueden utilizar de forma segura para la limpieza (pre-tratamiento) de las diferentes plumas.

Tabla 19.*Resistencia química de las plumas de pollo*

Categoría	Químico	Reacción inmediata observada	Después de 2 horas
Agua	Caliente/frío	Sin cambios visibles de color o estructura.	En agua fría, no hay ningún cambio en absoluto, pero en agua caliente se observa un pliegue y rizado de la pluma
	Ácido acético	La fibra no cambió de color ni estructura	La fibra no cambió de color ni estructura
Ácidos débiles	Ácido cítrico	La fibra blanqueada, sin cambios de estructura	La fibra se mantuvo fuerte y blanqueada
	Ácido oxálico	La fibra blanqueada, sin cambios de estructura	La fibra no cambió de estructura ni de color
	Conc. Ácido sulfúrico	Las fibras se desintegraron y disolvieron. Las fibras cambiaron de color blanco a marrón	Las fibras se desintegraron y luego se disolvieron por completo
Ácidos fuertes	Conc. Ácido nítrico	Ningún cambio visible en la estructura. El color de la fibra cambió de blanco a marrón y luego se blanqueó a blanco	Resultó un marcado debilitamiento y ablandamiento de las fibras. La fibra se disolvió parcialmente
	Conc. ácido clorhídrico	La fibra no cambió de color ni estructura	La fibra se debilitó y se disolvió parcialmente
	Hipoclorito de sodio	Fibra blanqueada, sin cambios de estructura	Plegado y rizado de la fibra. Hubo una distorsión visible de las fibras
Álcalis débiles	Hidróxido de amonio	No se observó reacción	No se observó reacción
	Hidrógeno de sodio carbonatado	No se observó reacción	No se observó reacción
Álcalis fuertes	Hidróxido de sodio	Las fibras no cambiaron de color o estructura	Fibra debilitada y desintegrada

Fuente: Tesfaye et al. (2017b).

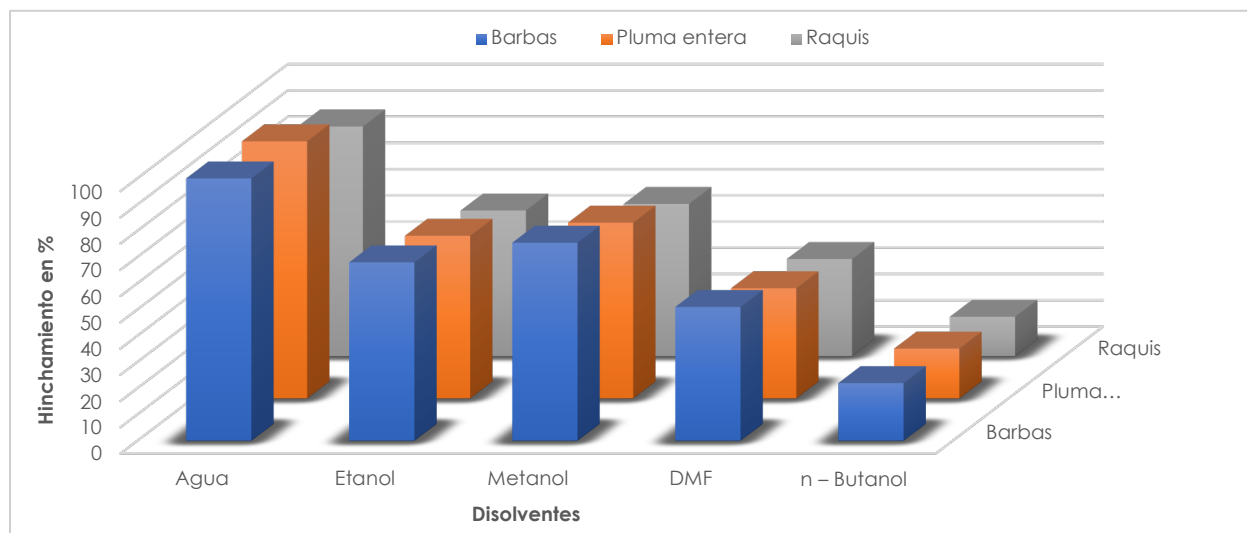
Elaborado por: El autor

- **Características de hinchamiento**

El gráfico 1 muestra los datos de las propiedades de hinchamiento de las plumas de pollo en diferentes disolventes. Los resultados obtenidos indican que las plumas de pollo sufren mayor hinchazón en el agua que en el resto de los disolventes orgánicos estudiados. Además de que entre las distintas partes de la pluma, las barbas fueron las que mayor hinchazón exhibieron.

Gráfico 1.

Características de hinchamiento de las diferentes partes de la pluma de pollo



Fuente: Tesfaye et al. (2017b).

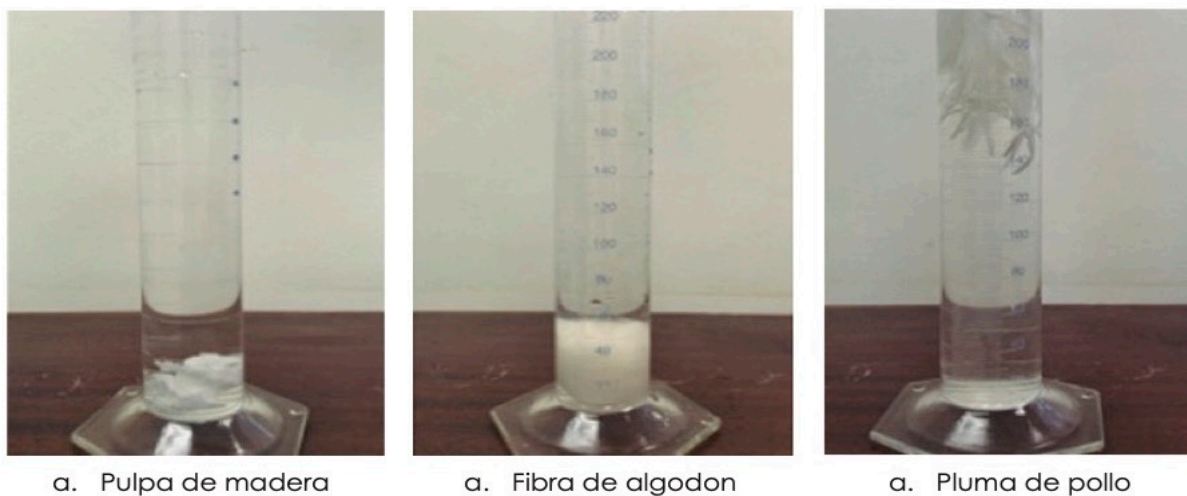
Elaborado por: El autor

- **Hidrofobicidad**

En la ilustración 17 se puede observar que las plumas de pollo poseen una baja humectabilidad en capas de agua y éter etílico, al ser comparadas con otras fibras naturales.

Ilustración 15.

Ensayo de hidrofobicidad en las plumas de pollo



Fuente: Tesfaye et al. (2017b)

Elaborado por: El autor

- **Aminoácidos que componen a la proteína (queratina)**

En la tabla 21 se ilustran los valores promedio de los diferentes aminoácidos que componen a la proteína de las plumas de pollo. En complemento a los datos obtenidos, cabe señalar que la proteína está compuesta por dos tipos de queratina, α -queratina y β -queratina. Las α -queratinas se encuentran en las fibras proteicas de tejidos blandos de lana, pelo y piel de oveja, mientras que las β -queratinas se encuentran en las fibras proteicas de los tejidos duros como plumas de aves, uñas, escamas de pescado, etc.

Tabla 20.

Aminoácidos presentes en la proteína de las plumas de pollo

Aminoácidos (%)	Referencias				Media (%)
	Staroń et al. (2011)	Gupta et al. (2012)	Tesfaye et al. (2017d)	Kumar & Shardendu (2020)	
Ácido aspártico	5.60	4.76	6.00	4.36	5.18
Treonina	4.10	4.11	4.00	4.05	4.07
Serina	14.1	13.6	16.0	13.5	14.3
Prolina	9.80	1.01	12.0	1.01	5.95
Ácido glutámico	6.90	9.18	-	9.90	8.66
Glicina	13.7	7.57	7.62	7.57	9.12
Alanina	8.70	3.66	3.44	3.66	4.87
Valina	7.80	7.24	1.61	7.23	5.97
Cistina	7.80	2.11	8.85	2.11	5.22
Metionina	0.10	0.03	1.02	0.03	0.30
Isoleucina	3.20	4.93	3.32	4.73	4.05
Leucina	8.30	7.48	2.62	7.25	6.41
Tirosina	1.40	1.85	1.00	1.85	1.53
Fenilalanina	3.10	4.11	0.86	4.11	3.05
Lisina	0.60	0.57	-	0.57	0.58
Histidina	0.20	0.02	-	0.02	0.08
Arginina	3.80	6.57	4.30	6.57	5.31

Fuente: Gupta et al. (2012), Bertsch et al. (2003), Staroń et al. (2011) & (FEDNA, 2012).

Elaborado por: El autor

2.5.4.4. Propiedades Mecánicas

Es importante señalar que las propiedades mecánicas de las plumas de aves están altamente relacionadas con la función que cumplen y con la estructura molecular de la proteína (queratina). Las plumas de pollo están compuestas por α -queratinas y β -queratinas, sin embargo la estructura molecular de las barbas y barbillas está constituida en mayor cantidad por α -queratinas, mientras que la del raquis está constituida mayormente por β -queratinas, las cuales además son mucho más fuertes que las anteriores (Saravanan, 2012). Por otro lado, cabe mencionar que la resistencia y rigidez de la queratina también depende del clima, edad y tipo de alimentación que tenga el ave (Kock, 2006). Debido a que en la mayoría de las investigaciones realizadas sobre las propiedades mecánicas de las plumas de pollo únicamente se centran en determinar el módulo de Young y la resistencia a tracción de las plumas, a continuación se realizará un análisis bibliográfico sobre el tema con el fin de obtener una mayor exactitud en cuanto a los resultados.

- **Módulo de Young**

El módulo de elasticidad que poseen las diferentes plumas de aves estudiadas va desde 1.78 GPa a 10 GPa. Por otro lado, según los resultados obtenidos por algunos investigadores, este módulo de elasticidad aumenta notablemente a lo largo del raquis, obteniendo los valores más altos en la punta de la pluma; su valor es mucho mayor en las aves voladoras que en las aves no voladoras o terrestres; y si el contenido de humedad es alto el comportamiento elástico de la pluma disminuirá. Sin embargo, si el contenido de agua es mínimo la resistencia y rigidez de la pluma va a ser mayor.

- **Resistencia a la tracción**

La resistencia a tracción de la pluma al igual que en el módulo elástico, es mucho mayor en las aves voladoras que en las aves terrestres. Además, la resistencia a tracción de las fibras

húmedas es menor en comparación a las fibras que están en estado seco, sin embargo, el alargamiento a la rotura es mucho mayor cuando la fibra se encuentra en estado húmedo. En las investigaciones también se determinó que la resistencia a tracción de las diferentes plumas no era uniforme, debido a que la forma del raquis (fibra) no era del todo cilíndrica a lo largo de sus dimensiones longitudinales, y que al poseer un diámetro muy variado el valor de las resistencias también variaba. Finalmente, en la mayoría de las pruebas realizadas y de acuerdo a la humedad relativa presente en la pluma, el valor de la resistencia a tracción va desde los 100 MPa a los 221 MPa.

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Kock (2006) y Tesfaye et al. (2017ab - 2018) sobre las propiedades químicas, físicas y mecánicas de las plumas de aves, en su parte final concluyen que las fibras presentes en las plumas de aves tienen un gran potencial para ser utilizadas en varias industrias, como por ejemplo: en la industria textil (para la creación de fibras textiles que permitan la producción de hilados y tejidos), industria del plástico y embalaje (utilización de la queratina para la producción de nuevos plásticos biodegradables), industria del papel (para la creación de un nuevo papel de filtro y decorativo) y en la industria de la construcción (para la creación de nuevos materiales con un peso ligero, aislamiento acústico, buena retención del calor y excelentes propiedades físico-mecánicas).

2.6. Estado del Arte

En esta parte de la investigación se realizará una revisión bibliográfica sobre el uso de fibras naturales de origen animal como refuerzo del mortero de cemento y sobre los distintos métodos que existen para mejorar la durabilidad de las fibras naturales dentro de los compuestos cementicios.

2.6.1. Uso de las Fibras Naturales de Origen Animal como Refuerzo del Mortero de Cemento.

En base al estudio que se va a llevar a cabo, se han encontrado varios casos análogos sobre la aplicación de fibras naturales de origen animal en matrices cementicias, de los cuales se analizará la problemática a resolver, materiales y métodos utilizados, resultados obtenidos y las conclusiones e inconvenientes que se han presentado durante el desarrollo de cada investigación. El estudio y análisis de los casos análogos se lo realiza con la finalidad de obtener los criterios necesarios que contribuyan a elaborar de una forma eficiente el presente trabajo investigativo. Entre los estudios realizados con fibras naturales de origen animal como refuerzo del mortero de cemento tenemos:

Tabla 21.

Fibras naturales de origen animal en compuestos cementicios

Título de la investigación	Autores	Año
El uso de la lana como refuerzo de fibra en morteros a base de cemento.	- Alessandro P. Fantilli - Silvio Sicardi, y - Francesca Dotti	2016
Estudio experimental sobre concreto reforzado con pelo humano y remplazo parcial de cemento por GGBFS.	- S. Manivel - S. Nisanth Kumar - S. Prakashchandar, y - S. Anil Kumar	2017
Eficacia de las nuevas fibras naturales de origen animal (pelo de cerdo) sobre el rendimiento mecánico del daño del mortero.	- G. Araya-Letelier - F.C. Antico - M. Carrasco - P. Rojas, y - C.M. García-Herrera	2017
Propiedades de los morteros de cemento de hidrato de silicato de magnesio (M-S-H) que contienen fibras de plumas de pollo.	- Tingting Zhang - Elena Dieckmann	2018

- Shizhuo Song
 - Jingyi Xie
 - Zewei Yu, y
 - Christopher Cheeseman
-

Fuente: Fantilli et al. (2017), Manivel et al. (2017), Araya-Letelier et al. (2017) & Zhang et al. (2018).

Elaborado por: El autor

- **Fantilli et al. (2016)**

En su investigación proponen el uso de la lana de oveja (un desecho de la industria textil), para reducir el consumo de cemento en la fabricación de los compuestos cementicios. Esto se puede lograr con la denominada estrategia de rendimiento de los materiales, que consiste en mejorar el rendimiento del mortero o concreto a través del reforzamiento de su matriz con fibras cortas y dispersas al azar, de tal manera que no comprometan la trabajabilidad y los rendimientos mecánicos de dichos compuestos. El interés de reducir el consumo de cemento en la fabricación de compuestos cementicios recae en que su producción genera grandes cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y la explotación continua de varios recursos naturales (arcilla, caliza yeso, etc.) que perjudican al medio ambiente.

Luego de realizar una revisión bibliográfica, los autores de la presente investigación determinaron que el tratamiento con plasma atmosférico puede mejorar las propiedades y adherencia de la nueva fibra en su aplicación a compuestos cementicios. Por otro lado, es preciso mencionar que las fibras que se utilizaron tenían un diámetro de 19 μm en promedio (aproximadamente una cuarta parte del cabello humano), su longitud promedio era de aproximadamente 16 mm y la sustitución del cemento por fibra fue del 1% (10g) en volumen. Para realizar las diferentes pruebas mecánicas de las muestras de mortero de cemento liso y reforzado con fibra tratada y sin tratar, en la presente campaña experimental se utilizaron las normas europeas

UNI EN. En donde, los resultados obtenidos mostraron que tanto en adiciones del 1% en volumen de lana tratada y sin tratar, la resistencia a flexión, la resistencia a fractura y la tenacidad de los morteros de cemento, mejoran significativamente.

- **Manivel et al. (2017)**

En su estudio experimental proponen el uso del pelo humano (un desecho de la industria estética) como una solución innovadora que permitirá prevenir los problemas relacionados con la formación de micro fisuras en la estructura de los compuestos cementicios y la escoria de alto horno granulada molida (GGBFS) como material de reemplazo del cemento Portland. El propósito de usar los GGBFS como material de reemplazo del cemento Portland en la fabricación de compuestos cementicios, al igual que en la investigación anteriormente analizada recae en cuestiones medioambientales. Los GGBFS son un producto de desecho obtenido durante la fabricación de acero y que debido a su baja emisión de CO₂ en la atmósfera y su composición química casi similar a la del cemento Portland, los convierte en el material adecuado para su reemplazo.

Para realizar las distintas muestras y pruebas mecánicas del concreto reforzado con y sin adición de fibra, los investigadores utilizaron las normas indianas (IS) y materiales como: cemento Portland, áridos finos y gruesos, agua, fibra de cabello humano y GGBFS. La fibra capilar contaba con un diámetro de 60-100 μm y con una longitud de 4 cm, su dosificación se realizó en dosis de 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% y 3% con respecto al peso del concreto. El reemplazo de cemento Portland por GGBFS fue en dosis de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%. En donde, los resultados obtenidos mostraron que el nivel óptimo de adición de fibra capilar es del 2%, mientras que el reemplazo de GGBFS por cemento Portland fue del 20%, ya que, en estas dosificaciones, tanto la

resistencia a la compresión como la resistencia a la tracción dividida del concreto aumentaron gradualmente en comparación a las muestras convencionales.

- **Araya-Letelier et al. (2017)**

En su estudio experimental proponen el uso del pelo de cerdo para mejorar las propiedades mecánicas y durabilidad de los materiales a base de cemento (CBM), y que a través de su reciclaje, se permita dar una solución viable para mitigar los impactos medio ambientales que se producen en el desecho de este producto por parte de la industria porcina en todo el mundo. Para la dosificación y diseño de mezclas los investigadores utilizaron el método ACI Comité 211 y los distintos materiales como: cemento, agregados finos, agua, plasticante y fibra de pelo de cerdo en dosis de 2, 4 y 8 kg/m³, la cual a su vez poseía un diámetro de 0,07-0,23 mm y una longitud entre 22-60 mm. Una vez obtenidas las distintas muestras, se llevaron a cabo pruebas físicas (porosidad y densidad superficial) y mecánicas (resistencia a la compresión, flexión y abrasión; módulo dinámico de elasticidad y comportamiento a fractura) de los morteros de cemento simple y reforzado con fibra, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos de cada mezcla posteriormente. Para estas pruebas mencionadas anteriormente se tomaron en cuentas las normas ATSM, ACI y UNE-EN.

Los resultados de esta investigación mostraron que la resistencia al impacto, la resistencia a la abrasión, el agrietamiento por contracción plástica, la edad al agrietamiento y los anchos de agrietamiento de los morteros reforzados con fibra de pelo de cerdo, mejoran a medida que se aumenta el volumen de fibra. Y que otras propiedades, como la resistencia a la compresión y la flexión, la densidad, la porosidad y el módulo dinámico de elasticidad no se ven afectadas significativamente por la adición de esta fibra, demostrando que estas nuevas fibras poseen un gran potencial para ser utilizadas como reemplazo de algunas fibras comerciales.

- **Zhang et al. (2018)**

En su investigación proponen el uso de las fibras naturales de origen animal “plumas de pollo”, que comúnmente son desechos producidos por las industrias de procesamiento de carne aviar, para reforzar los morteros de cemento de hidrato de silicato de magnesio. Los morteros de hidrato de silicato de magnesio (M-S-H) tienen una alta resistencia y un pH (10.8) que es relativamente más bajo en comparación al pH (12.6) de los compuestos de cemento Portland. Este tipo de compuestos se pueden formar utilizando el 40% en peso de Óxido de Magnesio (MgO), 60% en peso de humo de sílice (SF) y 2% en peso de hexametáfosfato sódico (NaPO₃). Debido a que el ambiente altamente alcalino de los compuestos de cemento Portland, causa la degradación de las fibras de plumas de pollo, los investigadores se han inclinado por utilizar este tipo de morteros. Cabe mencionar además que no se utilizó un tamaño y diámetro de fibra específico, ya que estas luego de ser obtenidas de la planta de procesamiento de carne aviar fueron lavadas, secadas, desinfectadas y posteriormente molidas con bolas de acero, hasta obtener fibras de pollo fibriladas que permitan una mejor trabajabilidad de la mezcla. Para la realización de las diferentes muestras de mortero con y sin fibras; y para llevar a cabo las distintas pruebas físicas (densidad y conductividad térmica) y mecánicas (resistencia a la compresión y flexión), los investigadores se basaron en las normas británicas BS-EN.

Los resultados de esta investigación, mostraron que los morteros de cemento de M-S-H reforzados con este tipo de fibras, poseen muy buenas propiedades para formar tableros de fibrocemento con baja densidad, alta resistencia y baja conductividad térmica en comparación a los morteros de cemento Portland reforzados con el mismo tipo de fibra. También se determinó que la adición óptima de fibra es del 4% con respecto al peso total de la mezcla en estado seco, debido a que se obtuvo una mínima mejora en la resistencia a contracción y estabilidad en el resto

de sus propiedades físico-mecánicas, sin embargo al exceder esta dosificación provoca una reducción considerable del módulo de elasticidad (MOE) y del módulo de ruptura (MOR), además de generar una mayor absorción de agua, hinchamiento y disminución de la estabilidad dimensional del material.

De acuerdo a esta primera parte del estado arte realizado, se pudo apreciar que la utilización de fibras naturales de origen animal como refuerzo de los compuestos cementicios, obtienen muy buenos resultados en el mejoramiento de sus propiedades físico-mecánicas. También se pudo observar que las dosis óptimas de fibra con respecto al peso del aglomerante fueron del 1% y en cuanto al peso total de la mezcla en estado seco fue del 2%, 4% y 8%, ya que en estas dosis se logra obtener un diseño de mezcla trabajable y eficaz. Para la realización de las diferentes pruebas físicas y mecánicas en la mayoría de las investigaciones se basaron en las normas UNE-EN, ASTM y ACI, debido a que son normas bastante conocidas y de uso general. Por otro lado, se encontró que ya existen investigaciones realizadas sobre la utilización de las fibras de plumas de pollo como refuerzo del mortero de cemento, sin embargo, el diseño de la mezcla fue hecha para elaborar tableros de fibrocemento de baja densidad y conductividad térmica y no específicamente con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas del mortero de cemento, además, solamente se utilizó la fibra de una clase de ave por lo que no se tiene conocimiento si el contenido de queratina presente en la pluma de otra clase de aves puede influir de mejor manera en el compuesto, ya que de acuerdo a la investigación realizada por Kock (2006), el contenido de queratina presente en las plumas depende mucho del tipo de ave (voladoras o terrestres) y del tipo de alimentación que tenga la misma.

En la presente investigación se buscará mejorar las propiedades mecánicas del mortero de cemento, utilizando el filamento (raquis) principal de la pluma como refuerzo, además de

especificar un diámetro y tamaño de fibra a utilizar. Por otro lado, también se analizará el tratamiento más adecuado para proteger a la fibra del medio alcalino del compuesto y de qué manera influye el contenido de proteína presente en los dos tipos de fibra (pollo broiler y criollo), sobre las propiedades mecánicas del compuesto.

2.6.2. Métodos para mejorar la durabilidad de las fibras naturales dentro de los compuestos cementicios.

Existen dos maneras para mejorar la durabilidad de la fibras naturales dentro de los compuestos cementicios entre los cuales tenemos: Tratamientos realizados sobre la matriz y Tratamientos realizados sobre la fibra.

2.6.2.1. Tratamientos realizados sobre la matriz

Tabla 22.

Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de humo de sílice

Materiales	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
<p>Fibras naturales de sisal (con un diámetro de 0,2 mm y una longitud de 1,5 cm y 3,5 cm)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cemento Portland ordinario - Puzolana de humo de sílice - Agua - Agregados finos 	<p>El cemento Portland se mezcló con la relación agua / cemento de 0,4.</p> <p>Se utilizó humo de sílice ultrafino y altamente activo en dosis de 40% - 50% en peso del cemento.</p> <p>Las fibras fueron secadas durante 2 horas en un horno a 100 °C y las dosis que se emplearon fueron del 2% y 4% en peso del aglomerante (cemento) seco.</p>	<p>Con la sustitución del 40% y 50% del cemento Portland por humo de sílice, se logró que la alcalinidad del agua de los poros (pH) en la matriz cementicia se redujera tanto que la fragilidad del material compuesto es prácticamente eliminada. Por otro lado, con el empleo de estas dosis también se logró que la durabilidad de la fibra aumentara.</p> <p>La adición de humo de sílice acelera la hidratación del cemento en todas las etapas de hidratación. La acción puzolánica del humo de sílice parece ser muy activa en las primeras horas de hidratación.</p> <p>La adición de humo de sílice da como resultado una reducción significativa en la difusión de iones de cloruro.</p> <p>Por último, con la adición del humo de sílice se logra mejorar la resistencia a la corrosión a largo plazo y la expansión del álcali en el compuesto.</p>	<p>No se recomienda en países en vías de desarrollo por el costo elevado del humo de sílice. Sin embargo, allí se dispone de sustancias que pueden cumplir el mismo objetivo como las cenizas de cáscara de arroz, la diatomita, etc.</p>	<p>(Gram, H. 1983)</p>

Fuente: Gram, H. (1983).

Elaborado por: El autor

Tabla 23.*Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de ceniza volante*

Materiales	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
<p>Fibras naturales de agave de lechuguilla</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cemento Portland de uso común - Cenizas volantes provenientes de la quema de carbón - Agregados de piedra caliza - Agregado fino - Agua - Aditivo superplastificante a base de naftaleno sulfonado - Parafina compuesta por aceite de linaza, cera y colofonia 	<p>Las cenizas volantes se utilizaron en una dosis del 60% en peso de cemento, para la relación agua / cemento de 0,65 y el 15% en peso del cemento, para la relación agua / cemento de 0,35.</p> <p>La proporción de agregado fino se realizó de acuerdo con la norma ASTM C 33-97.</p> <p>Se utilizaron fibras naturales con una longitud de 20–30 mm a una dosis del 1% en volumen.</p> <p>El aditivo superplastificante a base de naftaleno sulfonado disponible en el mercado se utilizó en una dosis del 1% del peso del cemento para el material compuesto con la relación agua/cemento de 0,65, y para el material compuesto con la relación agua/cemento de 0,35, la dosis fue del 1,2% del peso del cemento.</p> <p>La parafina se utilizó para reducir la absorción de agua de la fibra y, a largo plazo, preservar las propiedades mecánicas de la fibra en el entorno alcalino de la matriz de cemento.</p>	<p>El tratamiento protector de parafina permite reducir la absorción de agua en las fibras y mantener una resistencia a la tracción suficiente incluso después de un año de exposición a ambientes húmedos y alcalinos.</p> <p>La resistencia inicial de los compuestos reforzados con esta fibra natural se reduce con la exposición a ciclos secos / húmedos, así como a ambientes agresivos de cloruro y sulfato.</p> <p>Las cenizas volantes que se agregan a la mezcla proporcionan una matriz más densa, que protege al material compuesto reforzado con fibra natural, contra el deterioro.</p> <p>El efecto combinado de la protección con parafina y la aplicación de las cenizas volantes da como resultados materiales compuestos duraderos que pueden tener una aplicación económica en la construcción.</p>	<p>Los materiales compuestos desarrollados pueden aplicarse en los muros de separación no estructurales internos, tableros y mampostería con una vida útil adecuada. Sin embargo, la aplicación de dichos materiales en elementos estructurales reforzados con barras de acero, así como en materiales para techos, requerirá una investigación adicional que incluya una evaluación sobre el desempeño del material, un análisis de costos y ciclo de vida del material.</p>	<p>(Juárez, Durán, Valdez & Fajardo, 2005)</p>

Fuente: Juárez et al. (2005).

Elaborado por: El autor

Tabla 24.*Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de escoria granulada de alto horno*

Materiales	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
<p>Fibras naturales de pulpa de sisal (con longitudes de 1,65 mm y un diámetro promedio de 13,5 μm)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fibras naturales de corteza de eucalipto (con longitudes de 0,66 mm y un diámetro promedio de 10,9 μm) - Fibras naturales de tallo de banana (con longitudes de 1,95 mm y un diámetro promedio de 15,3 μm) - Escoria granulada de alto horno (GBFS) proveniente de la fabricación de hierro fundido - Yeso agrícola molido (89% en masa de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) - Cal hidratada de grado de construcción (90% en masa de $\text{Ca}(\text{OH})_2$) - Cemento Portland ordinario - Agregados finos - Agua - Humo de sílice (85% en masa de sílice activa SiO_2) 	<p>La escoria granulada de alto horno (GBFS) se molió a una finura Blaine promedio de 800 m^2/kg y se utilizaron a una dosis del 66% en peso del cemento.</p> <p>Para activar a la GBFS se le agregaron yeso agrícola molido y cal hidratada de grado de construcción en proporciones (peso) de 0.88: 0.10: 0.02 (GBFS: yeso: cal).</p> <p>Al compuesto también se le adicionó un 5% de humo de sílice.</p> <p>Se utilizaron las diferentes fibras naturales en dosis del 8% en volumen.</p> <p>La proporción de agregado fino se proporcionó de acuerdo con la norma ASTM C 33-97.</p>	<p>Las fibras de sisal, banano y eucalipto se emplearon con éxito como refuerzo de matrices cementicias.</p> <p>Con la adición de la GBFS se logró obtener un compuesto cementicio de bajo contenido alcalino (pH: 10.3)</p> <p>La adición de GBFS al compuesto cementicio también permite que las fibras se mantengan bien conservadas, incluso después de dos años de exposición al ambiente alcalino del compuesto cementicio.</p>		<p>(Savastano, Santos, Radonjic & Soboyejo 2009)</p>

Fuente: Savastano et al. (2009).

Elaborado por: El autor

Tabla 25.*Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de piedra pómez*

Materiales	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
<p>Fibras de vidrio</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cemento Portland tipo I según la norma ASTM - Agregados finos y gruesos (reactivos o no reactivos) - Agua - Piedra pómez ultrafina (tamaño de partícula 4 veces más fino que el cemento Portland común), extraída y refinada en los yacimientos de Hess (IDAHO: USA), la cual a su vez contiene los depósitos comerciales más puros de piedra pómez blanca. 	<p>Se utilizó la puzolana de piedra pómez ultrafina, debido a los excelentes resultados que obtuvo en las pruebas de resistencia a sulfato, conjunto inicial (alta resistencia temprana), hidratación, resistencia a la compresión y resistencia a ASR. Sin embargo, la puzolana de granulometría normal también arrojó muy buenos resultados.</p> <p>El remplazo de cemento Portland por piedra pómez ultrafina fue del 15, 20, 25 y 30%.</p> <p>La dosis de fibras de vidrio que se utilizó fue del 5% con respecto al peso total de la mezcla.</p> <p>Para el diseño de las mezclas de concreto utilizó la norma ACI 211.1 y la norma ASTM C1293.</p>	<p>Los mejores resultados que se obtuvieron fueron en las dosis del 25% de remplazo de cemento Portland por puzolana de piedra pómez.</p> <p>La reacción puzolánica encendida por piedra pómez, consume y reutiliza el subproducto de hidróxido de calcio para convertirlo en compuestos beneficiosos (principalmente hidrato de silicato de calcio) que ayudan a unir fuertemente los agregados y a soldar densamente la matriz compuesta de concreto.</p> <p>La permeabilidad del compuesto reforzado con fibras de vidrio disminuye significativamente, la fuerza se amplifica y su vida útil aumenta considerablemente.</p> <p>La investigación también muestra que la densidad y la fuerza del compuesto continúan mejorando durante meses, incluso años, a medida que la reacción puzolánica ejerce su función.</p>	<p>Es importante tener en cuenta que la reacción puzolánica con los subproductos alcalinos no ocurre inmediatamente, por lo que es necesario usar fibras de vidrio resistentes a los álcalis con un contenido de zirconia mayor o igual al 16%.</p>	<p>(NEGA, 2013)</p>

Fuente: NEGA (2013).

Elaborado por: El autor

Tabla 26.

Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana compuesta por metacaolín, filosilicato y montmorillonita

Materiales	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
<p>Fibras naturales de sisal (con un diámetro de 202,5 µm y una longitud de 3,5 cm)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Metacaolín - Filosilicato - Montmorillonita de sodio - Cemento Portland - Agua - Árido fino - Superplastificante (ADVA 408) - Resina epoxi 	<p>La fibra de sisal utilizada en este estudio contiene un contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina del 68,2%, 13.7% y 12.3% respectivamente. La dosis empleada fue del 2% en volumen.</p> <p>La proporción de agua / aglomerante (cemento + metacaolín y montmorillonita) que se utilizó es del 0.4 y una proporción de aglomerante / arena de 1:1 para todas las mezclas de mortero.</p> <p>Se sustituyó el porcentaje de cemento por metacaolín y montmorillonita en tres niveles, tales como 10%, 30% y 50% en peso del cemento.</p> <p>La cantidad de superplastificante (ADVA 408) que se utilizó para ajustar la viabilidad de las mezclas fue del 3% en peso de aglomerante, debido a que es la cantidad que no impactará significativamente la cinética de hidratación del cemento.</p>	<p>La sustitución acoplada de metacaolín y montmorillonita no solo mejora las propiedades de flexión iniciales de los compuestos de cemento reforzado con fibra natural, sino que también mejora significativamente su durabilidad al mitigar la degradación alcalina y la mineralización de las fibras.</p> <p>La incorporación de metacaolín mitiga la degradación de la fibra más eficazmente a una edad temprana, mientras que las altas cantidades de minerales de silicio promueven el efecto complementario de la montmorillonita en la reducción de la alcalinidad de la matriz a largo plazo y, por lo tanto, se mitigó el deterioro de la fibra de sisal en una etapa posterior.</p> <p>Las correlaciones entre la degradación de la fibra y la hidratación del cemento indican que la reducción de la alcalinidad de la solución de poros y el consumo de hidróxido de calcio en la matriz del cemento son las causas principales de la mitigación de la degradación de la fibra.</p>	<p>A un alto nivel de sustitución de cemento (50%), la degradación de la fibra de sisal se mitigó de manera más significativa. Sin embargo, tanto la resistencia de las mezclas de cemento como la resistencia de la unión interfacial entre la fibra de sisal y la matriz de cemento son menores en comparación a las muestras de mortero con 30% de remplazo.</p>	<p>(Wei & Meyer, 2016)</p>

Fuente: Wei & Meyer (2016).

Elaborado por: El autor

Tabla 27.

Tratamiento realizado sobre la matriz con puzolana de ceniza de cáscara de arroz

Materiales	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
<p>Fibras naturales de sisal (con un diámetro de 202 μm y una longitud de 3,5 cm)</p> <p>– Cenizas de cáscara de arroz (RHA)</p> <p>– Cemento Portland tipo I según la norma ASTM</p> <p>– Arena</p> <p>– Agua</p> <p>– Superplastificante (ADVA 408)</p>	<p>Se utilizó la ceniza de cáscara de arroz en dosis de 5, 10, 20 y 30% en peso del cemento.</p> <p>La trabajabilidad de la mezcla se ajustó al utilizar un superplastificante (ADVA 408) en dosis de hasta 2% en peso para morteros; con estas dosis no hubo un impacto significativo en la cinética de la hidratación.</p> <p>La dosis de fibras de sisal que se utilizó fue del 2% en volumen.</p> <p>La proporción de agua / aglomerante (cemento + ceniza de cáscara de arroz) que se utilizó es del 0.4 y una proporción de aglomerante / arena de 1:1 en masa para todas las mezclas de mortero.</p>	<p>La sustitución parcial de cemento por RHA no solo mejora las propiedades de flexión iniciales de compuestos de cemento reforzado con fibra de sisal, sino que también mejora su durabilidad expuesta a los ciclos de humedecimiento y secado.</p> <p>La ceniza de cáscara de arroz, que es un tipo de subproducto renovable, puede sustituir completamente las cenizas volantes convencionales y los minerales de arcilla para mitigar el envejecimiento del refuerzo natural modificando la matriz de cemento.</p> <p>El deterioro alcalino como la mineralización de la fibra de sisal incrustada se mitigan más eficazmente en la sustitución del 30% del cemento Portland por ceniza de cáscara de arroz.</p>	<p>La alta actividad puzolánica de RHA se atribuye a su contenido de silicato, que es comparable al humo de sílice, y la gran superficie específica debido a su estructura de poros única.</p>	<p>(Wei & Meyer, 2016)</p>

Fuente: Wei & Meyer (2016).

Elaborado por: El autor

2.6.2.2. Tratamientos Realizados sobre la Fibra

Tabla 28.

Tratamiento realizado sobre la fibra con una película de polímero de látex natural y puzolana de humo de sílice

Tipo de fibra	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
Fibras naturales de coco (con un diámetro de 0,2 mm y una longitud de 25 mm).	Antes de ser insertadas las diferentes fibras al mortero de cemento Portland, estas fueron sumergidas en una solución adherente (agua desionizada + látex natural) durante 1 minuto. En este paso, la solución adherente rodea las capas de unión generadoras de fibra de coco. Después de eso, se usaron materiales puzolánicos (humo de sílice o meta-caolín) como agente de recubrimiento. Las puzolanas se adhieren a la fibra de coco a través de la solución adherente. La metodología de este nuevo tratamiento es similar a la preparación de "dedos de pollo".	El tratamiento realizado sobre la fibra fue eficaz, ya que permite una mayor preservación de la estructura de la fibra, dentro de los agentes alcalinos del compuesto cementicio. Este tipo de tratamiento es una excelente alternativa para mejorar el rendimiento y la durabilidad de los compuestos cementicios reforzados con fibras naturales.		(Silva, Marques, Garcia, Fornari, Martínez & Mitsuuchi, 2017)

Fuente: Silva et al. (2017).

Elaborado por: El autor

Tabla 29.

Tratamiento realizado sobre la fibra con hidróxido de calcio $Ca(OH)_2$

Tipo de fibra	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
Fibras naturales de palma datilera (con un diámetro de 0,7 mm y una longitud de 10 cm).	Las fibras agrupadas se sumergieron en un solución de $Ca(OH)_2$ al 0.173% (según el rango de solubilidad a temperatura ambiente) durante una hora y luego se colocaron en un horno a 60°C durante 3 horas para secarlas. Una vez que las fibras fueron tratadas se cortaron a una longitud de 10 cm y se colocaron en las mezclas de mortero de cemento Portland en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 2.0%.	Mediante un examen microestructural realizado a los morteros endurecidos se pudo observar que las fibras naturales se mantuvieron intactas dentro de la matriz de cemento sin obstaculizar los procesos de hidratación. Además los diferentes resultados mostraron que el mortero de cemento Portland reforzado con este tipo de fibras naturales tratadas mejoran la resistencia a tracción y flexión.		(Ozercan, Ahsan, Mansour & Iyengar, 2013)

Fuente: Ozercan et al. (2013).

Elaborado por: El autor

Tabla 30.*Tratamiento realizado sobre la fibra con agentes hidrofóbicos*

Tipo de fibra	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
Fibras naturales de lechuguilla (con un diámetro de 0,15 mm a 0,25 mm y con una longitud de 20 mm a 30 mm).	Antes de que las fibras fueran colocadas en las mezclas de concreto de uso general (agua, cemento y agregados de piedra caliza), primeramente, las fibras fueron impregnadas con las sustancias AL y AL+RN a una temperatura de 80 °C y con las sustancias P y P+RN a 100 °C. La inmersión de la fibra en las diferentes sustancias fue durante 5 minutos, y una vez que las fibras fueron impregnadas se colocaron en un horno a 105 °C durante 15 minutos, con la finalidad de reducir la formación de grumos alrededor de las fibras y logrando con esto una distribución uniforme durante el mezclado.	El tratamiento protector con parafina le permite a la fibra reducir su capacidad de absorción de agua, además de mantener un porcentaje aceptable de su resistencia última a la tensión después de haber estado expuesta durante un año a un ambiente húmedo y alcalino, lo que en general resulta sumamente crítico. Por otro lado, con el tratamiento previo de la fibra se logró un comportamiento dúctil del compuesto y una mayor capacidad para soportar cargas de flexión en comparación con el concreto simple.		(Juárez, Valdes & Durán, 2004)

Fuente: Juárez et al. (2004).

Elaborado por: El autor

Tabla 31.*Tratamiento realizado sobre la fibra con hornificación*

Tipo de fibra	Procedimiento	Resultado	Observaciones	Bibliografía
Pulpa Kraft de madera blanda y linteras de algodón	Evitar que la fibra absorba el hidróxido de calcio, de una manera económica y amigable ambientalmente. Se realiza ciclos de lavado y secado de las fibras.	Las fibras muestran mejor estabilidad dimensional, mejora en la adherencia fibra-matriz reducción del porcentaje de retención de agua con lo que se reduce las incrustaciones de hidróxido de calcio en la superficie y el lumen.		(Claramount et al, 2011)

Fuente: Claramount et al. (2011).

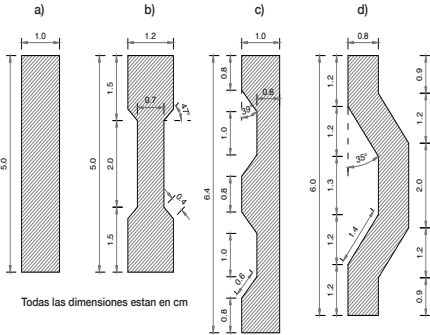
Elaborado por: El autor

2.6.3. Estudio de la geometría y dimensiones de la fibra (Polímero) utilizada como refuerzo en compuestos cementicios

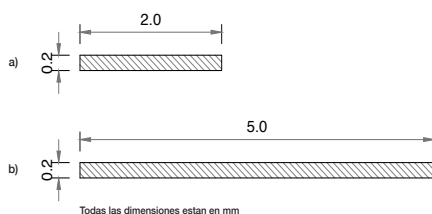
Debido a que las plumas de aves están compuestas en su mayoría por la proteína llamada queratina, la cual también es conocida por ser un polímero o plástico natural de peso ligero, fuerte y duradero. A continuación se analizarán algunas investigaciones sobre el uso de fibras de plástico PET (Tereftalato de polietileno) como refuerzo en compuestos cementicios, para determinar una adecuada geometría y dimensión de la fibra a utilizar en la presente investigación.

Tabla 32.

Estudio de la geometría y dimensiones de la fibra (Polímero)

Título de la investigación	Geometría y dimensión de la fibra utilizada	Resultados y conclusiones	Bibliografía
Influencia de la geometría de la fibra de PET en las propiedades mecánicas del hormigón	<p>El objetivo principal de este estudio, recae en realizar un análisis comparativo sobre la influencia de las fibras de diferentes geometrías en las propiedades mecánicas del hormigón. Se diseñaron 4 formas diferentes de fibras utilizando botellas de PET posconsumo: a) Fibra de lámina de hendidura recta, b) Fibra de lámina de hendidura de extremo aplanado, c) Fibra de lámina de hendidura deformada y d) Fibra de lámina de extremo ondulado.</p>  <p>Todas las dimensiones están en cm</p> <p>La fibra se obtuvo cortando a mano las botellas de PET, ya que no se pueden encontrar pautas estándar para el corte manual de la fibra con respecto a las dimensiones y formas. Todas las fibras utilizadas mantienen aproximadamente la misma área y su geometría es similar a las fibras de acero según las pautas proporcionadas por el Comité ACI 544.</p> <p>Se utilizó un contenido de fibra del 0.5% con respecto al peso total de la mezcla. Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión.</p>	<p>La trabajabilidad del hormigón reforzado con fibra de PET cayó más del 25%, esto se debe a que las formas de la fibra también juegan un papel importante en la trabajabilidad de la mezcla.</p> <p>La adición de 0.5% de fibra de PET en el hormigón mejoró la resistencia a la compresión, tracción y flexión de las muestras, sin mencionar que estos valores variaron con la geometría de la fibra.</p> <p>Los mejores resultados se obtuvieron en las fibras de sección transversal variable (lámina de hendidura de extremo aplanado, lámina de hendidura deformada y lámina de extremo ondulado) en comparación con las fibras de lámina de hendidura recta. Esto muestra que la forma de la fibra juega un papel importante para lograr una buena resistencia a la compresión, tracción y flexión del hormigón.</p>	<p>(Marthong & Sarma, 2015)</p>

El objetivo principal de este estudio, recae en investigar los efectos que producen las fibras de desechos de plástico reciclado sobre las propiedades mecánicas del mortero de cemento Portland. Estas fibras fueron utilizadas con la finalidad de mejorar el rendimiento del mortero y a la vez obtener beneficios ecológicos mediante su reciclaje. La fibra que se utilizó fue cortada en diferentes longitudes: a) Fibras laminares cortas y b) Fibras laminares largas.

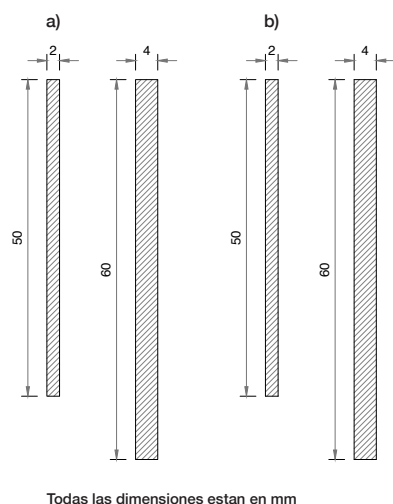


La dosificación de ambas fibras fue en fracciones volumétricas de 0.5%, 1.0% y 1.5%. Se realizaron pruebas de flexión y contracción plástica.

Los mejores resultados experimentales se obtuvieron con la fibra de mayor longitud (50 mm) y con un contenido de fibra del 1.5% (en volumen), ya que con estos valores se obtuvo un incremento sustancial en la resistencia a la flexión y una excelente reducción de los agrietamientos por contracción plástica en las losas de mortero.

(Al-Tulaian, Al-Shannag & Al-Hozaimy, 2016)

El objetivo principal de este estudio, recae en investigar la ingeniería potencial de los desechos de botellas de PET y sacos de plástico tejido, con la finalidad de producir fibras de refuerzo que permitan mejorar las propiedades mecánicas del hormigón y a la vez contribuir con la preservación del medio ambiente. Se debe señalar también que el hormigón que se utilizó es reciclado, producto de la construcción y demolición de estructuras. Como ya se mencionó anteriormente se utilizaron dos tipos de fibras: a) Fibras laminares de PET reciclado (RPET) y b) Fibras laminares de sacos de plástico tejido reciclado (RWS).

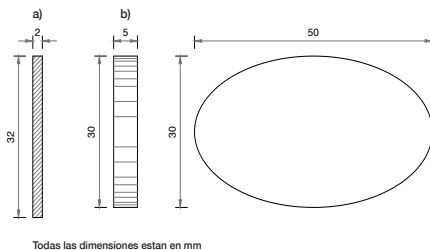


La dosificación de ambas fibras fue de 0.25%, 0.50% y 0.75% con respecto al peso total de la mezcla. Se realizaron pruebas de durabilidad, resistencia a compresión, módulo de elástico y resistencia a la rotura por tracción.

Los mejores resultados experimentales indicaron que las fibras RPET Y RWS son altamente resistentes a los ambientes alcalinos y no presentaron degradación detectable en el hormigón reciclado a los 90 días. Sin embargo, en cuanto a las pruebas mecánicas los mejores resultados se obtuvieron con las fibras RPET, ya que los valores obtenidos con las fibras RWS únicamente fueron superiores en las pruebas de resistencia a tracción. Por último, la dosificación ideal de fibra fue del 0.5%, ya que con este contenido de fibra se obtuvieron los mejores resultados.

(Bui, Satomi & Takahashi, 2018)

El objetivo principal de este estudio, recae en utilizar las fibras de PET reciclado para producir un hormigón ecológico y sostenible. Se diseñaron 2 tipos de fibras utilizando botellas de PET posconsumo: a) Fibras laminares y b) Fibras circulares.



Todas las dimensiones están en mm

Se utilizó un contenido de fibra del 0.5% y 0.75% con respecto al peso total de la mezcla. Se realizaron ensayos de resistencia a la tracción, resistencia al impacto y ductilidad.

Los resultados obtenidos arrojaron que la dosificación de fibras de PET en el hormigón permite una mayor ductilidad en las muestras y a la vez una reducción en la trabajabilidad de la misma a media que se incrementa el porcentaje de fibra.

(Foti, D. 2019)

Las fibras con forma circular mejoran en gran medida la tenacidad de las muestras, esto se debe a su forma especial que ayuda a unir cada lado de las secciones agrietadas dentro del hormigón. Sin embargo, los resultados más interesantes de obtuvieron con las fibras laminares, ya que su uso permitió una mejor resistencia a la tracción, resistencia al impacto y ductilidad de las muestras.

Fuente: Marthong & Sarma (2015), Al-Tulaian et al. (2016), Bui et al. (2018) & Foti, D. (2019).

Elaborado por: El autor

CAPÍTULO III

Materiales y Métodos

3.1. Materiales

Los materiales que se van a utilizar en la presente investigación se dividen en dos grupos: Materiales de construcción y en Equipos e Instrumentos de laboratorio.

3.1.1. Materiales de construcción

A continuación se describen los principales materiales para la elaboración de una mezcla simple y reforzada con fibra.

- **Cemento**

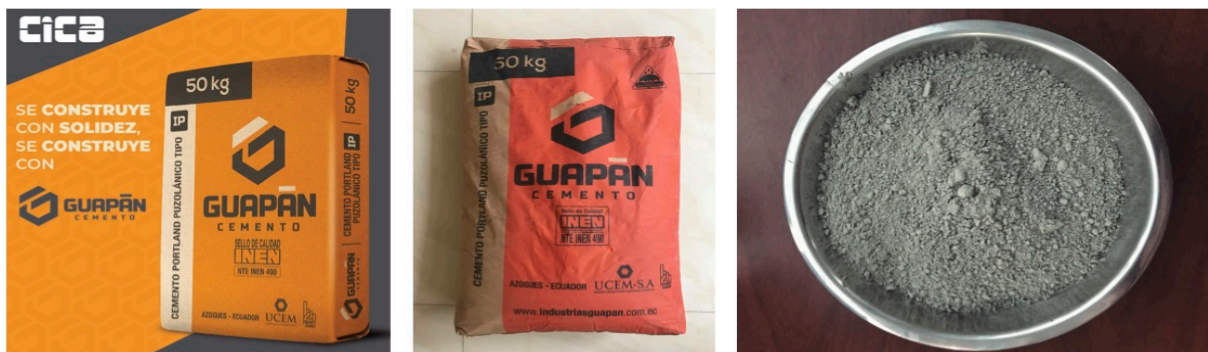
De acuerdo a la NTE INEN 1806 (2010) “Cemento para mampostería. Requisitos”, los cementos ideales para el levantamiento y recubrimiento de mamposterías se clasifican en tres grupos: Puros (Cementos Portland), Compuestos (Cementos hidráulicos compuestos) y Por desempeño (Cementos hidráulicos) (Ver tabla N° 5).

Para el desarrollo de la presente investigación se utilizará el cemento Portland puzolánico tipo IP de marca Guapán, el cual cumple con los requisitos de la NTE INEN 490 (2011). Este tipo de cementos pertenece al grupo de los cementos hidráulicos compuestos y está conformado por el 85% de cemento Portland y el 15% de puzolana de escoria granulada de alto horno.

El motivo por el cual se va a utilizar este tipo de cemento, surge a partir de la investigación realizada por Savastano et al. (2009) quién propone el uso de la puzolana de escoria granulada de alto horno, para bajar el contenido alcalino del mortero de cemento y permitir una mayor durabilidad de las fibras naturales dentro de este compuesto (Ver tabla No 14).

Ilustración 16.

Cemento Portland Puzolánico Tipo IP (Guapan)



Elaborado por: El autor

- **Áridos finos**

De acuerdo a la NTE INEN 2536 (2010) “Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos”, la arena a utilizar debe ser natural o elaborada con un tamaño de partícula entre 0,074 mm y 4,76 mm, es decir los tamaños de partícula que pasan por el tamiz No 4 y son retenidos en el tamiz No 200 (Ver tabla No 8). Además, la norma también establece que se debe tener en cuenta la composición, impurezas inorgánicas, degradación a la acción de sulfatos y el muestreo del árido. Por lo tanto, el árido fino que se utilizará en la presente investigación proviene de un centro de acopio materiales pétreos de la ciudad de Loja, ubicado en el barrio Consacola, en la Av. Pablo Palacio a 150 m de la estación de servicio Unión Cariamanga en sentido norte.

Ilustración 17.

Árido fino recolectado del centro de acopio de materiales pétreos



Elaborado por: El autor

Ilustración 18.

Análisis granulométrico del árido

Para realizar el tamizado del árido y encontrar el módulo de finura del mismo utilizamos la norma NTE INEN 696 (2011), la cual consiste en serie de pasos descritos a continuación:

1. Se toma una muestra del árido fino en estado húmedo (2304 g en este caso) y se la coloca en el horno a una temperatura de 110°C ± 5°C por 24 horas, para su respectivo secado.



2. Se arman los tamices empezando en la parte superior por el N° 4 hasta el N° 200 en la parte inferior; luego, se toma el primer tamiz (N° 4) y se pasa por él a todo el árido fino en estado seco (2132 g), descartando al árido que no logre pasar por el mismo. A continuación, tomamos el siguiente tamiz (N° 8) y pasamos nuevamente a todo el árido fino restante por él, pero esta vez pesando la muestra retenida en él. Este paso se lo realiza con el resto de los tamices hasta llegar al último (N° 200), con la finalidad de calcular el peso de la muestra retenida en cada uno.



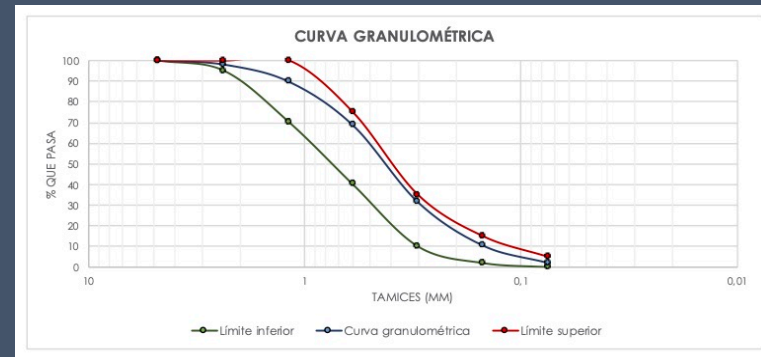
3. Armamos la tabla con los valores obtenidos en el paso anterior y calculamos el modulo de finura con la siguiente formula:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ acumulado en cada tamiz (\#4, \#8, \#16, \#30, \#50, \#100, \#200)}}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 1,97 + 10,37 + 31,38 + 68,62 + 89,59 + 97,98}{100} = \frac{299,91}{100} = 3,00$$

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ÁRIDOS FINOS – ASTM C 144-04 / NTE INEN 2536										
TAMIZ	mm	MUESTRA RETENIDA		MUESTRA ACUMULADA		MUESTRA PASANTE		LÍMITES DE % A PASAR		MODULO DE FINURA
		g	%	g	%	g	%	INFERIOR	SUPERIOR	
4	4,75	0	0	0	0	2132	100	100	100	3,00
8	2,36	42	1,97	42	1,97	2090	98,03	95	100	
16	1,18	179	8,40	221	10,37	1911	89,63	70	100	
30	0,6	448	21,01	669	31,38	1463	68,62	40	75	
50	0,3	794	37,24	1463	68,62	669	31,38	10	35	
100	0,15	447	20,97	1910	89,59	222	10,41	2	15	
200	0,075	179	8,40	2089	97,98	43	2,02	0	5	
FONDO		43	2,02							
TOTAL		2132	100							

4. Verificamos que el árido a utilizar cumpla con los límites de % a pasar establecidos en la norma, mediante el trazo de la curva granulométrica.



Fuente: NTE INEN 2536 (2010) y NTE INEN 696 (2011)

Elaborado por: El autor

Ilustración 19.

Determinación del contenido de humedad en el árido

Para determinar el contenido de humedad en el árido utilizamos la norma ASTM C 566 – 97 (2004), la cual consiste en una serie de pasos descritos a continuación:

1. Se elige una capsula cualquiera (511) y se la llena completamente del árido fino a utilizar.



2. Por medio de una balanza se registra el peso inicial de la muestra en estado húmedo (146,7 g).



3. Se coloca la capsula llena del árido fino a utilizar dentro de un horno a una temperatura $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas, con la finalidad de registrar el peso final de la muestra en estado seco (133,3 g).



4. Armamos la tabla con los valores obtenidos en el paso anterior y calculamos el porcentaje de agua retenida en el árido con la siguiente fórmula:

$$\% H = \frac{PH - PS}{PS} \times 100$$

Donde:

% H = Porcentaje de agua retenida en la arena

PH = Peso húmedo del árido

PS = Peso seco del árido

PORCENTAJE DE AGUA RETENIDA EN EL ÁRIDO	
Descripción	Peso (gr)
Árido húmedo (PH)	146,7
Árido seco (PS)	133,3
Agua retenida (%H)	10,05 % = 13,40

Fuente: ASTM C 566 – 97 (2004)

Elaborado por: El autor

• Agua

De acuerdo a la NTE INEN 2518 (2010) “Morteros para unidades de mampostería. Requisitos”, el agua para el amasado debe ser limpia, potable y libre de elementos perjudiciales tales como: ácidos, álcalis, aceites, sales, materiales orgánicos, alcoholes, u otras sustancias que puedan ser dañinas para el mortero. Por tal motivo, el agua a utilizar en la presente investigación es suministrada por la empresa local UMAPAL (Unidad municipal de agua potable y alcantarillado de Loja), quién garantiza el abastecimiento de agua potable para el consumo humano y obviamente para su uso en la construcción en general, mediante 3 plantas de tratamiento distribuidas en varios sectores de la ciudad.

- **Fibras naturales de origen animal (Plumas de aves)**

De acuerdo a las investigaciones realizadas por Jeffrey Kock (2006) y Tesfaye et al. (2017a) las fibras presentes en las plumas de aves poseen muy buenas propiedades químicas, físicas y mecánicas, lo que las convierte en ideales para ser utilizadas como refuerzo del mortero de cemento. Sin embargo, estas excelentes propiedades que poseen las plumas están relacionadas directamente con el contenido de queratina presente en ellas, el cual a su vez depende mucho del tipo de ave (voladoras o terrestres) y del tipo de alimentación que tenga la misma. Por tal motivo, en la presente investigación se utilizará la fibra procedente de dos clases de aves (pollo broiler y pollo criollo), cuya carne es además una de las de mayor consumo humano a nivel mundial. El objetivo de utilizar la fibra procedente de estas dos clases de aves, recae en analizar de que manera influye el contenido de queratina dentro de las propiedades mecánicas del mortero.

Las plumas de pollos criollos y pollos broiler que se utilizarán en la presente investigación, son desechos reciclados que se generan en el procesamiento de su carne y mudaje. Además, esta recolección de las plumas se realizó en diferentes granjas avícolas, puesto que la crianza y alimentación de cada una es distinta. Una vez recolectadas las diferentes plumas se llevarán a cabo una serie de pasos para la obtención de la fibra, entre los cuales tenemos: selección, limpieza, secado, corte, tratamiento y almacenamiento.

Ilustración 20.

Recolección de las diferentes plumas



PLUMAS DE POLLO BROILER

PLUMAS DE POLLO CRIOLLO

Ilustración 21.

Proceso para la obtención de la fibra

Una vez recolectada las diferentes plumas de pollo criollo y pollo broiler, éstas primeramente deben pasar por un proceso antes de la obtención de la fibra. Los pasos que se llevaron a cabo se describen a continuación:

1. Selección

- En este primer paso se selecciona los 3 tipos de plumas (timoneras, remeras y semiplumas) y la parte de ellas (cálamo y raquis) que se utilizará para obtener la fibra.



2. Limpieza (Pre-tratamiento)

- Debido a que las plumas fueron obtenidas en el faenamiento de cada ave, éstas se encuentran sucias y con otros desperdicios del ave. Por lo tanto, primeramente se escogen los tipos de plumas mencionadas en primer paso, descartando los demás desperdicios del ave. Luego se procede al lavado de las mismas, para lo cual se utiliza el método propuesto por Oliviera & Agopyan (1992), que consiste en utilizar detergente o jabón de pH neutro con la finalidad de eliminar impurezas y proteger a la fibra del medio alcalino del compuesto mediante el aumento de su pH (Ver anexo N°).



3. Secado

- Una vez lavadas las diferentes plumas se procede al secado natural de las mismas mediante una marquesina artesanal.



4. Corte

- En el estado del arte se puede comprobar que en la mayoría de las investigaciones se obtienen excelentes resultados utilizando fibras con longitudes entre 2 a 6 cm y con diámetros que van desde 0,01 a 0,7 mm. Por lo tanto en la presente investigación se utilizarán las siguientes dimensiones de fibra:



5. Tratamiento final y almacenamiento

- Debido a que las fibras contienen en su interior una pequeña cantidad de azúcares (Ver anexo N°), son sometidas a ciclos de lavado y secado para eliminarlos por completo. Por último, se almacena la fibra en fundas herméticas hasta ser utilizada en los diferentes ensayos.



3.1.2. Equipos e Instrumentos de Laboratorio

Ilustración 22.

Equipos e instrumentos de laboratorio



Tamiz No.16 (tamizado de arena)



Horno (Secado de fibras)



Balanza (Pesaje de cemento, arena y agua)



Bandejas (tamizado de arena y curado de especímenes)



Recipientes (colocación y mezclado del cemento, arena y agua)



Moldes para la aplicación de ensayos de resistencia a tracción



Moldes de 50mm de arista (elaboración de cubos para los ensayos de compresión)



Moldes de 40x40x160 (elaboración de prismas para los ensayos de flexión)

3.2. Métodos

A continuación se analizan los distintos métodos a utilizar para la dosificación de materiales en la elaboración de la mezcla y para llevar a cabo los ensayos de resistencia.

3.2.1. Dosificación de Materiales

Para la dosificación de los distintos materiales se toma como referencia la norma ASTM C 1329 (2004), en donde se analizan las dosificaciones por volumen para tres tipos de mortero (N, S y M) en base a su resistencia mínima a la compresión a los 7 y 28 días (Ver tabla N° 24).

Tabla 33.

Requerimientos físicos

Tipo de mortero de cemento	N	S	M
Finura, residuo en un tamiz de 45 μm (No. 325), máx, %	24	24	24
Expansión en autoclave, máx, %	1.0	1.0	1.0
Tiempo de fraguado, método Gillmore:			
– Conjunto inicial, min, no menos de	120	90	90
– Conjunto final, min, no más de	1440	1440	1440
Resistencia a la compresión (promedio de tres cubos):			
– La resistencia a la compresión de los cubos de mortero, compuestos por 1 parte de cemento y 3,375 partes de arena mezclada (arena estándar medio graduada y mitad arena estándar 20-30) por volumen, preparada y probada de acuerdo con esta especificación, será igual o mayor que los valores especificados para las edades indicadas a continuación:			
– 7 días, mínima, MPa (psi)	3.5 (500)	9.0 (1300)	12.4 (1800)
– 28 días, mínima, MPa (psi)	6.2 (900)	14.5 (2100)	20.0 (2900)
Resistencia a la flexión:			
– 28 días, mínima, MPa (psi)	0.5 (70)	0.7 (100)	0.8 (115)
Contenido de aire del mortero:			
– Volumen, mínimo en %	8	8	8
– Volumen, mínimo en %	17	15	15
Valor de retención de agua, mínimo, %, del flujo original	70	70	70

Fuente: ASTM C 1329 (2004).

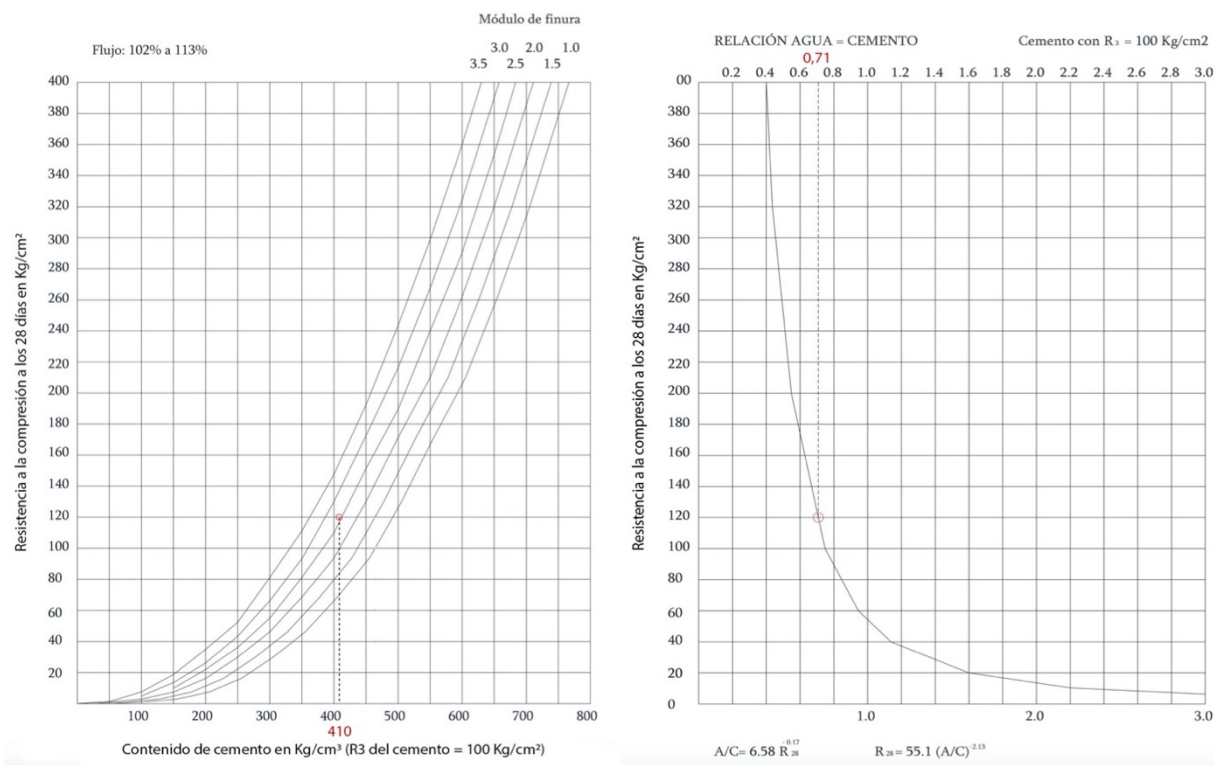
Elaborado por: El autor

Para diseñar un mortero tipo N con una resistencia a la compresión a los 28 días de 120 kg/cm² (11.8 Mpa), con una fluidez entre el 100-120% y módulo de finura de la arena de 2,60, nos basaremos en la investigación del Ing. Rodrigo Salamanca de la Universidad Nacional de Colombia. Cabe señalar que en la norma ASTM C 1329 (2004), se establece la resistencia a la compresión del mortero tipo N a los 28 días, en donde cuya resistencia mínima es de 63,2 kg/cm² y la máxima de 147,9 kg/cm², es por ello que en la presente investigación se ha optado por diseñar un mortero de tipo N con una resistencia a la compresión intermedia, es decir, de 120 kg/cm².

El método propuesto por el Ing. Rodrigo Salamanca para determinar la dosificación de los distintos materiales en el diseño de 1m³ de mortero, se divide en cuatro pasos en los cuales utilizaremos las siguientes gráficas:

Gráfico 2.

Determinación del contenido de cemento y de la relación agua/cemento



Fuente: Salamanca, R. (2001).

Elaborado por: El autor

a) Contenido de cemento

En la parte izquierda del gráfico N° 1, determinamos la cantidad de cemento para elaborar 1m^3 de mortero con resistencia a la compresión de 120 kg/cm^2 , teniendo en cuenta que el modulo de finura de la arena es de 2,60 y que la fluidez del mortero debe estar entre el 100-120%. Una vez analizada la gráfica obtenemos la siguiente cantidad de cemento:

$$\text{Cemento} = 410 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ de mortero}$$

b) Contenido de agua

En la parte derecha del gráfico N° 1, determinamos la relación agua/cemento para elaborar 1m^3 de mortero con resistencia a la compresión de 120 kg/cm^2 . Analizando la gráfica obtenemos la siguiente cantidad de agua:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0,71$$

$$\text{Agua} = 0,71 \times 410 = 291,1 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}$$

c) Contenido de arena

Se sabe por ensayos de laboratorio que:

- Densidad del cemento puzolánico tipo IP = $2,96\text{ Kg/cm}^3 = 2960\text{ kg/m}^3$.
- Peso específico de la arena saturada y superficialmente seca = $2,55\text{ gr/cm}^3 = 2550\text{ kg/m}^3$.
- Peso unitario suelto de la arena = $1,6\text{ gr/cm}^3 = 1600\text{ kg/m}^3$.
- Volumen del cemento: V_c .

$$V_c = \frac{\text{Contenido de cemento}}{\text{Densidad del cemento}} = \frac{410}{2960} = 0,139 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ de mortero}}$$

- Volumen de aire incluido = Para este caso se asume un valor 0
- Volumen de agua = 291,1 litros = 0,291 m³.
- Luego el volumen de arena (Var) será:

$$Var = 1 - (V_{\text{cimento}} + V_{\text{agua}} + V_{\text{aire}})$$

$$Var = 1 - (0,139 + 0,291 + 0,0)$$

$$Var = 0,57 \frac{m^3}{m^3 \text{ de mortero}}$$

- Masa de la arena = (Var) x (Densidad de la arena).

$$\text{Masa de la arena} = 0,57 \times 2550$$

$$\text{Masa de la arena} = 1453,5 \frac{m^3}{m^3 \text{ de mortero}}$$

d) Proporciones de mezcla

Finalmente las proporciones a utilizar para elaborar 1m³ de mortero serán los siguientes:

Tabla 34.

Dosificación de materiales para elaborar 1m³ de mortero

Tipo de mortero	Materiales	Proporciones	Dosificación por volumen (m ³)	Dosificación por peso, (kg/m ³)
N	Cemento	1	0,139	410 (1)
	Arena	3,5	0,570	1453,5 (3,5)
	Agua	0,71	0,291	291,1 (0,7)

Fuente: ASTM C 1329 (2004)

Elaborado por: El autor

Por último, la dosificación de fibra se realiza en base al estado del arte analizado anteriormente, en el cual se puede observar que en la mayoría de las investigaciones se obtienen buenos resultados utilizando del 0,5% al 2% de fibra con respecto al peso total de la mezcla. Sin embargo, más adelante se realizará un estudio de dosificaciones para determinar los porcentajes de fibra a utilizar.

3.2.2. Ensayos de Resistencia Mecánica

- **Compresión**

Este método nos permite identificar la capacidad máxima de carga que es capaz de soportar un material compuesto por unidad de superficie. La resistencia a la compresión se ve afectada principalmente por la edad del mortero, relación agua-cemento, granulometría del árido, área superficial, etc. Finalmente, para caracterizar correctamente a los morteros, es importante determinar con la mayor precisión posible cada una de sus propiedades físico-mecánicas, cuando estos están sometidos a una alta compresión.

La norma que establece la metodología de ensayos para determinar el grado de resistencia a la compresión de los morteros fabricados con cemento hidráulico, mediante el uso de cubos de 50 mm de arista es la NTE INEN 0488 (2009), la cual está basada en la norma ASTM C 109/C 109M (2007). Estas normas indican que se debe ensayar a las 24 horas de ser moldeado el mortero y posteriormente a los 3, 7 y 28 días de curado del mismo, considerando como mínimo 3 especímenes por cada intervalo de tiempo.

La resistencia a la compresión de los morteros en cubos de 50 mm de arista, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$F_m = \frac{P}{A}$$

Donde:

- **F_m** = Resistencia a la compresión en Mpa.
- **P** = Carga total máxima de la falla, en N.
- **A** = Área de la sección transversal del cubo a la que se aplica la carga, en mm².

- **Flexión**

Este método nos permite evaluar el módulo de deformación máximo que tiene un material compuesto al estar expuesto a esfuerzos perpendiculares en su eje longitudinal. La resistencia a la flexión depende mucho del tipo de fibra que se va a utilizar como refuerzo, teniendo en cuenta su geometría y propiedades físico-mecánicas. Sin embargo, también es importante su adherencia con la matriz y su orientación dentro del compuesto.

La norma que establece la metodología de ensayos para determinar el grado de resistencia a la flexión de los morteros fabricados con cemento hidráulico, mediante el uso de primas de 40x40x160 mm es la NTE INEN 0198 (1987), la cual está basada en la norma ASTM C 348 (1985). Los pasos para llevar a cabo los ensayos, tiempo de curado y número de especímenes, son similares a los que se utilizan para determinar la resistencia a la compresión.

La resistencia a la flexión de los morteros en prismas de 40x40x160 mm, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$S_f = 0,0028 \times (P)$$

Donde:

- S_f = Resistencia a la flexión, en Mpa.
- P = Carga total máxima de la falla, en N.

- **Tracción**

Este método nos permite determinar el límite de deformación máximo que tiene un material compuesto al estar expuesto a dos fuerzas que actúan en sentido contrario. Debido a que el mortero resiste bajas cargas a tracción, este valor no afecta en el diseño estructural ya que se asume que el

mortero u hormigón siempre estarán trabajando a compresión o flexión. Sin embargo, esta propiedad adquiere importancia en el proceso de secado de las mezclas para inhibir su agrietamiento.

La norma que establece la metodología de ensayos para determinar el grado de resistencia a la tracción de los morteros fabricados con cemento hidráulico, mediante el uso de briquetas estandarizadas es la AASHTO T 132 (1987). Los pasos para llevar a cabo los ensayos, tiempo de curado y número de especímenes, son similares a los que se utilizan para determinar la resistencia a la compresión y flexión.

La resistencia a la tracción de las briquetas de mortero diseñadas de acuerdo a la norma, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$R_t = \frac{F}{A}$$

Donde:

- R_t = Resistencia a la Tracción, en Mpa.
- F = Fuerza aplicada, en kgf.
- A = Área de la sección transversal de la briqueta, en cm^2 .

3.2.3. *Ensayos de resistencia física*

- **Absorción de agua por inmersión**

Este método nos permite evaluar la capacidad máxima que tiene un material compuesto para absorber agua, en donde cuyo análisis depende mucho de las características del material y del tiempo de inmersión al que esta expuesto. El tiempo en el que el agua está presente en los poros de un material, también se define como coeficiente de saturación.

La norma que establece la metodología de ensayos para determinar el porcentaje de absorción de agua por inmersión en los morteros y hormigones es la ASTM C 642 (1997). Esta norma establece que todas las caras de los especímenes a ensayar deben estar en buena condición, con la finalidad de que no sufran desprendimientos que alteren el resultado. Se utilizan como mínimo 3 especímenes, los cuales primeramente deben ser secados en un horno durante 24h y luego sumergidos en agua durante 48h. Esto se realiza con el objetivo de calcular el peso inicial y el peso saturado de cada muestra a la sumergida en agua durante un rango de tiempo, lo que a su vez permite determinar cuál es su porcentaje de absorción de agua.

El coeficiente de absorción de agua por inmersión en las diferentes muestras, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$Ca = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

- C_a = Coeficiente de absorción de agua por inmersión, en %.
- A = Masa seca, en g.
- B = Masa saturada, en g.

- **Absorción de agua por capilaridad**

Este método nos permite determinar la capacidad que tiene un material compuesto para absorber agua a través del tiempo, en donde cuyo análisis depende mucho de la porosidad del material ya que por medio de los poros se da el intercambio de humedad con el exterior. Un bajo coeficiente de absorción de agua por capilaridad en el mortero significa que es poco permeable lo que a su vez amplía su vida útil y del resto de la estructura.

La norma que establece la metodología de ensayos para determinar el coeficiente de absorción de agua por capilaridad en los morteros y hormigones es la ASTM C 1585 (2004). Al igual que en la norma anterior (ASTM C 642) se utilizan tres especímenes en buenas condiciones, los cuales primeramente deben ser secados en un horno durante 48h para registrar su peso inicial en estado seco, luego se calcula la superficie de la cara que estará sumergida a una cierta profundidad y se determina su coeficiente de absorción en varios tiempos de curado.

El coeficiente de absorción de agua por capilaridad en las diferentes muestras, se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$I = \frac{m_t}{a \times d}$$

Donde:

- **I** = Absorción, en mm.
- **m_t** = Cambio de masa del espécimen en gr, en un tiempo t.
- **a** = Área de la sección transversal de la probeta, en mm².
- **b** = Densidad del agua, en gr/mm³.

CAPÍTULO IV

Proceso experimental

4.1. Estudio preliminar para determinar la dosificación máxima de fibra

En el estado del arte se puede identificar que en la mayoría de las investigaciones se utilizan porcentajes de fibra que van desde 0,5% al 2% con respecto al peso total de la mezcla. Sin embargo, en el presente estudio se analizarán cuatro porcentajes de fibra, empezando primeramente por el 0,75% hasta llegar al 2,25% en intervalos del 0,5% de adición de fibra. Esto se realiza con la finalidad de determinar la trabajabilidad y fluidez de la mezcla al ir adicionando ciertas cantidades de fibra.

Tabla 35.

Ensayo de fluidez del mortero base

Muestra	Ø inicial	Ø final	Ø promedio (cm)	% de fluidez
1	10	23,25		
2	10	22,60	22,1	121
3	10	20,45		

Elaborado por: El autor

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{\phi \text{ final} - \phi \text{ inicial}}{\phi \text{ inicial}} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{22,1 - 10}{10} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = 121$$

En el cálculo anteriormente realizado, tenemos que la fluidez del mortero base sobrepasa mínimamente el rango establecido por la norma NTE INEN 2500 (2009) que corresponde del 100 al 120%, sin embargo esta no representaría ningún problema en las propiedades del mortero.

Tabla 36.*Ensayo de fluidez del mortero base con el 0,75% de fibra*

Muestra	Ø inicial	Ø final	Ø promedio (cm)	% de fluidez
1	10	22,60		
2	10	21,75	21,55	115,5
3	10	20,30		

Elaborado por: El autor

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{\Phi \text{ final} - \Phi \text{ inicial}}{\Phi \text{ inicial}} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{21,5 - 10}{10} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = 115,5$$

Ilustración 23.*Trabajabilidad del mortero base con el 0,75% de fibra***Elaborado por:** El autor

El mortero compuesto por el 0,75% de fibra posee una muy buena trabajabilidad en cuanto a su proceso de mezclado, y cuenta con una fluidez del 115,5% que se encuentra dentro de los porcentajes permitidos por la norma (100% - 120%). Por lo tanto, se pretende ensayar con este diseño de mortero y comprobar los beneficios que aporta al compuesto en cuanto a sus propiedades físicas y mecánicas.

Ilustración 24.*Ensayo de fluidez del mortero base con el 1,25% de fibra*

Muestra	Ø inicial	Ø final	Ø promedio (cm)	% de fluidez
1	10	21,90		
2	10	20,85	20,73	107,3
3	10	19,45		

Elaborado por: El autor

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{\Phi \text{ final} - \Phi \text{ inicial}}{\Phi \text{ inicial}} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{20,73 - 10}{10} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = 107,3$$

Ilustración 25.*Trabajabilidad del mortero base con el 1,25% de fibra***Elaborado por:** El autor

El mortero compuesto por el 1,25% de fibra posee una buena trabajabilidad en cuanto a su proceso de mezclado, y cuenta con una fluidez del 107,3% que se encuentra dentro de los porcentajes permitidos por la norma (100% - 120%). Por lo tanto, al igual que con el 0,75% de adición fibra se realizaran ensayos para determinar su influencia dentro del compuesto, en comparación con el mortero base.

Tabla 37.*Ensayo de fluidez del mortero base con el 1,75% de fibra*

Muestra	Ø inicial	Ø final	Ø promedio (cm)	% de fluidez
1	10	20,65		
2	10	19,50	19,8	98
3	10	19,25		

Elaborado por: El autor

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{\text{Ø final} - \text{Ø inicial}}{\text{Ø inicial}} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{19,8 - 10}{10} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = 98$$

Ilustración 26.*Trabajabilidad del mortero base con el 1,75% de fibra***Elaborado por:** El autor

El mortero compuesto por el 1,75% de fibra posee una trabajabilidad regular en cuanto a su proceso de mezclado, alcanzando una fluidez del 98%, la cual además es mínimamente inferior a los porcentajes establecidos por la norma (100% - 120%). Por lo tanto, al igual que con los porcentajes del 0,75% y 1,25% de adición fibra, se realizaran ensayos para determinar que beneficios aporta dentro del compuesto.

Tabla 38.*Ensayo de fluidez del mortero base con el 2,25% de fibra*

Muestra	Ø inicial	Ø final	Ø promedio (cm)	% de fluidez
1	10	18,20		
2	10	17,85	17,68	76,8
3	10	17,0		

Elaborado por: El autor

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{\Phi \text{ final} - \Phi \text{ inicial}}{\Phi \text{ inicial}} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = \frac{17,68 - 10}{10} \times 100$$

$$\% \text{ de fluidez} = 76,8$$

Ilustración 27.*Trabajabilidad del mortero base con el 2,25% de fibra***Elaborado por:** El autor

El mortero diseñado con el 2,25% de fibra presenta una mala trabajabilidad en cuanto a su proceso de mezclado, ya que su fluidez alcanzada es del 76,5%, localizándose muy por debajo de lo que establece la norma (100% –120%). Debido a su reducida trabajabilidad y fluidez en la presente investigación no se experimentara con este porcentaje de fibra, ya que no entraría dentro porcentajes estrablecidos de la norma. .

Para la dosificación de los distintos materiales utilizados en la fase experimental se tomó como referencia la investigación realizada por el Ing. Rodrigo Salamanca (Ver Capítulo III, numeral 3.2.1.), en donde se establece la dosificación ideal para 1 m³ de mortero en base a su resistencia (120 kg/cm²), los datos obtenidos en este punto fueron utilizados nuevamente con finalidad de calcular la dosificación ideal de los distintos materiales en base al volumen de los moldes y en relación a la cantidad de especímenes que se pretende elaborar para cada tiempo de curado (3 especímenes) y modelo de mortero (9 especímenes). En cuanto a la dosificación de fibra, como se puede observar, primeramente se realiza un estudio preliminar con la finalidad de establecer las dosis ideales de fibra que cumplan con los requisitos de fluidez y trabajabilidad, concluyendo finalmente utilizar las dosis de 0,75%, 1,25% y 1,75% con respecto al peso total de la mezcla. Por último, para llevar a cabo los ensayos de resistencia mecánica y física se utilizaron los puntos establecidos en las distintas normas nacionales e internacionales descritas a continuación:

4.2. Aplicación de Ensayos de Resistencia Mecánica

Los ensayos de resistencia mecánica a los que serán sometidos los especímenes compuestos por mortero patrón (cemento – arena y agua) y los compuestos por fibra natural de origen animal (plumas de pollo broiler y criollo) en porcentajes del 0,75%, 1,25% y 1,75%, son los siguientes:

4.2.1. Ensayos de Resistencia a la Compresión.

Como ya se ha analizado anteriormente, el ensayo de resistencia a la compresión se rige bajo la NTE INEN 488 (2009) y consiste en calcular el esfuerzo máximo (punto de rotura final) que es capaz de soportar un mortero de cemento al estar sometido a una carga de aplastamiento. Para llevar a cabo el siguiente ensayo se diseñaron nueve especímenes cúbicos de 50 mm de arista en relación a cada tipo de mortero, es decir al compuesto por varios porcentajes de fibra y sin

adición de ella. Los especímenes elaborados serán ensayados en grupos de tres con respecto a cada tiempo de curado, los cuales se han establecido en los siguientes rangos: 7, 14 y 28 días.

Ilustración 28.

Proceso para la aplicación de ensayos de resistencia a la compresión



Elaborado por: El autor

La dosificación empleada para elaborar 9 especímenes cúbicos de 50mm por cada diseño de mortero, se detalla a continuación:

Tabla 39.

Dosificación para 9 especímenes cúbicos de 50 mm de arista

Materiales	Volumen para 1 m ³ de mortero	Volumen para 0,001125 m ³ de mortero	Peso específico (kg/m ³)	Masa (kg)	Masa (gr)
Cemento	0,139	0,000156	2960	0,46287	462,9
Arena	0,570	0,000641	2550	1,63519	1635,2 + 164,3 (del % H) = 1799,5
Agua	0,291	0,000327	1000	0,327	327,4

Fibra (con respecto al peso total de la mezcla)	
- 0,75 %	19,4
- 1,25 %	32,4
- 1,75 %	45,3
Yeso agrícola 7,5 % en peso del cemento	34,7
Humo de sílice 5 % en peso del cemento	23,1
Cal hidratada 2,5 % en peso del cemento	11,6
Plastificante 2 % en peso del cemento	9,2

Elaborado por: El autor

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos por cada especificación de mortero, sin embargo los resultados completos se encuentran disponibles en la parte de anexos.

Tabla 40.

Resumen de resultados de la resistencia a la compresión

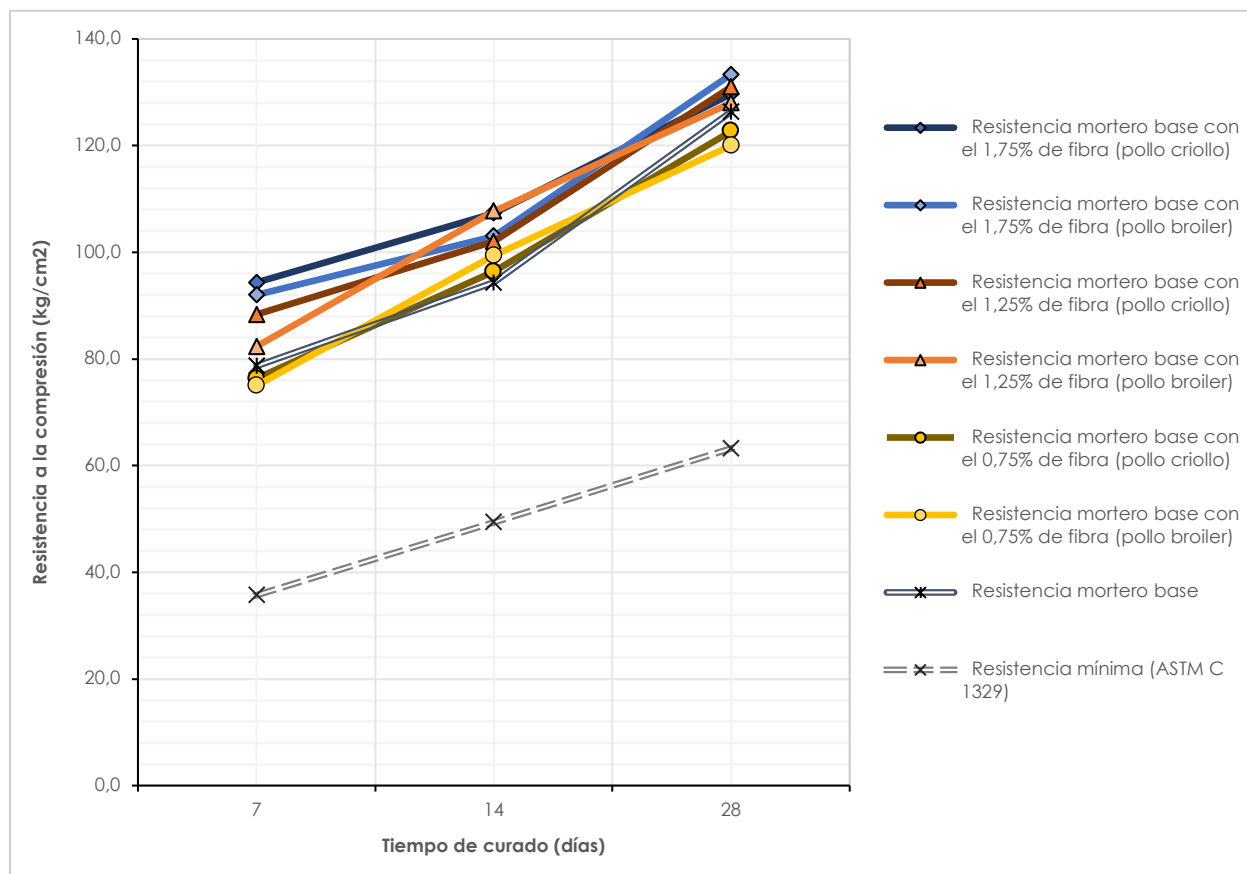
Especificación del mortero	Código del espécimen	Resistencia promedio en base a los distintos tiempos de curado		
		7 días de curado	14 días de curado	28 días de curado
Mortero base (Sin adición de fibra)	X	78,7	94,3	126,3
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	75,0	99,3	120,0
	1,25 %	82,3	107,7	128,0
	1,75 %	92,0	103,0	133,3
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	76,3	96,3	122,7
	1,25 %	88,3	102,0	131,0
	1,75 %	94,3	107,3	129,7
Resistencia mínima de acuerdo a la norma ASTM C 1329	-	35,7	-	147,9

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero base fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice y cal hidratada; y para elaborar el mortero reforzado únicamente se le añade a los anteriores, la fibra y el plastificante.

Elaborado por: El autor

Gráfico 3.

Resumen de la resistencia a la compresión



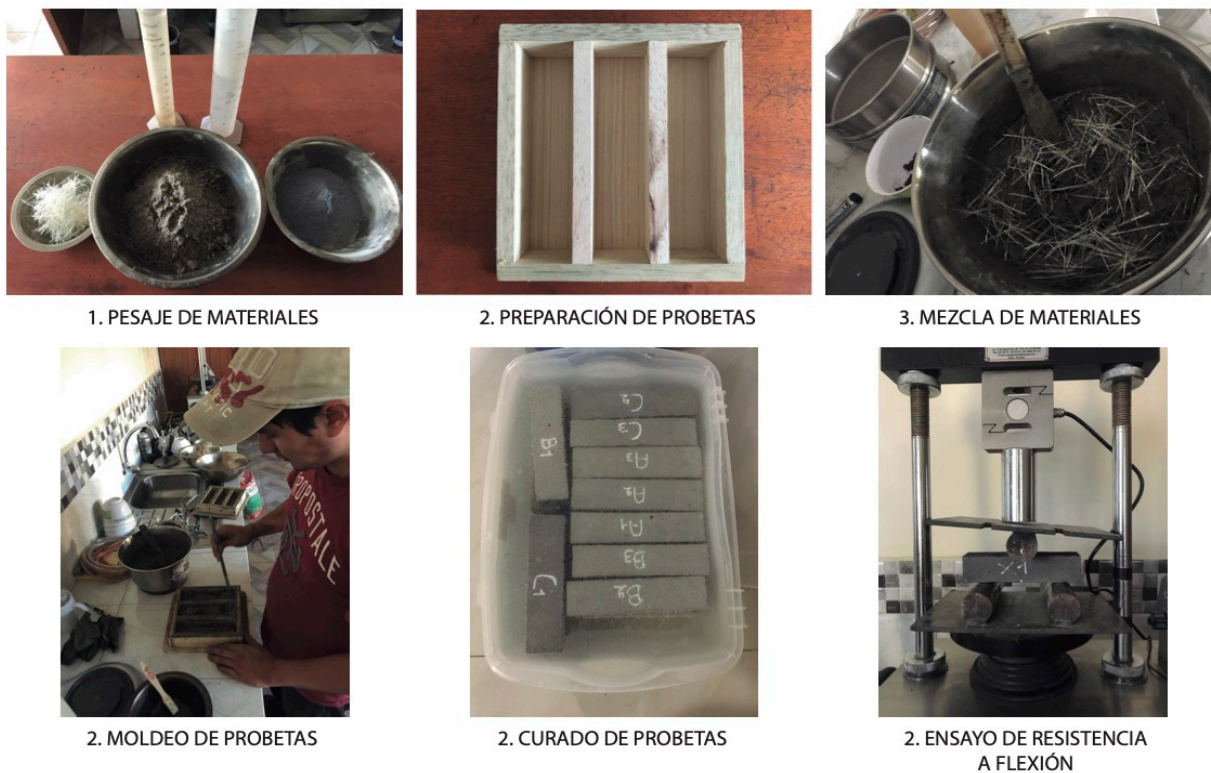
Elaborado por: El autor

4.2.2. Ensayos de Resistencia a la Flexión.

El ensayo de resistencia a la flexión se rige bajo la NTE INEN 198 (1987) y consiste en calcular el esfuerzo máximo (punto de rotura final) que es capaz de soportar un mortero de cemento al estar sometido a tres puntos de carga en su eje longitudinal. Para llevar a cabo el presente ensayo se elaboraron nueve especímenes prismáticos de 40x40x160 mm en relación a cada tipo de mortero, es decir al compuesto por varios porcentajes de fibra y sin adición de ella. Los especímenes confeccionados serán ensayados en grupos de tres con respecto a cada tiempo de curado, en donde cuyos rangos se han establecido a los 7, 14 y 28 días al igual que en los ensayos de resistencia a compresión.

Ilustración 29.

Proceso para la aplicación de ensayos de resistencia a la flexión



1. PESAJE DE MATERIALES

2. PREPARACIÓN DE PROBETAS

3. MEZCLA DE MATERIALES

2. MOLDEO DE PROBETAS

2. CURADO DE PROBETAS

2. ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN

Elaborado por: El autor

La dosificación empleada para elaborar 9 especímenes tipo prismas de 40x40x160 mm por cada diseño de mortero, se detalla a continuación:

Tabla 41.

Dosificación para 9 especímenes tipo primas de 40x40x160 mm de arista

Materiales	Volumen para 1 m ³ de mortero	Volumen para 0,002304 m ³ de mortero	Peso específico (kg/m ³)	Masa (kg)	Masa (gr)
Cemento	0,139	0,000320	2960	0,948	948
Arena	0,570	0,001313	2550	3,349	3348,9 + 336,5 (del 10,05 % H) = 3685,4
Agua	0,291	0,000670	1000	0,670	670,4

Fibra (con respecto al peso total de la mezcla)

- 0,75 %	39,8
- 1,25 %	66,3
- 1,75 %	92,8
Yeso agrícola 7,5 % en peso del cemento	71,1
Humo de sílice 5 % en peso del cemento	47,4
Cal hidratada 2,5 % en peso del cemento	23,7
Plastificante 2% en peso del cemento	19

Elaborado por: El autor

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos por cada especificación de mortero, sin embargo los resultados completos se encuentran disponibles en la parte de anexos.

Tabla 42.

Resumen de resultados de la resistencia a la flexión

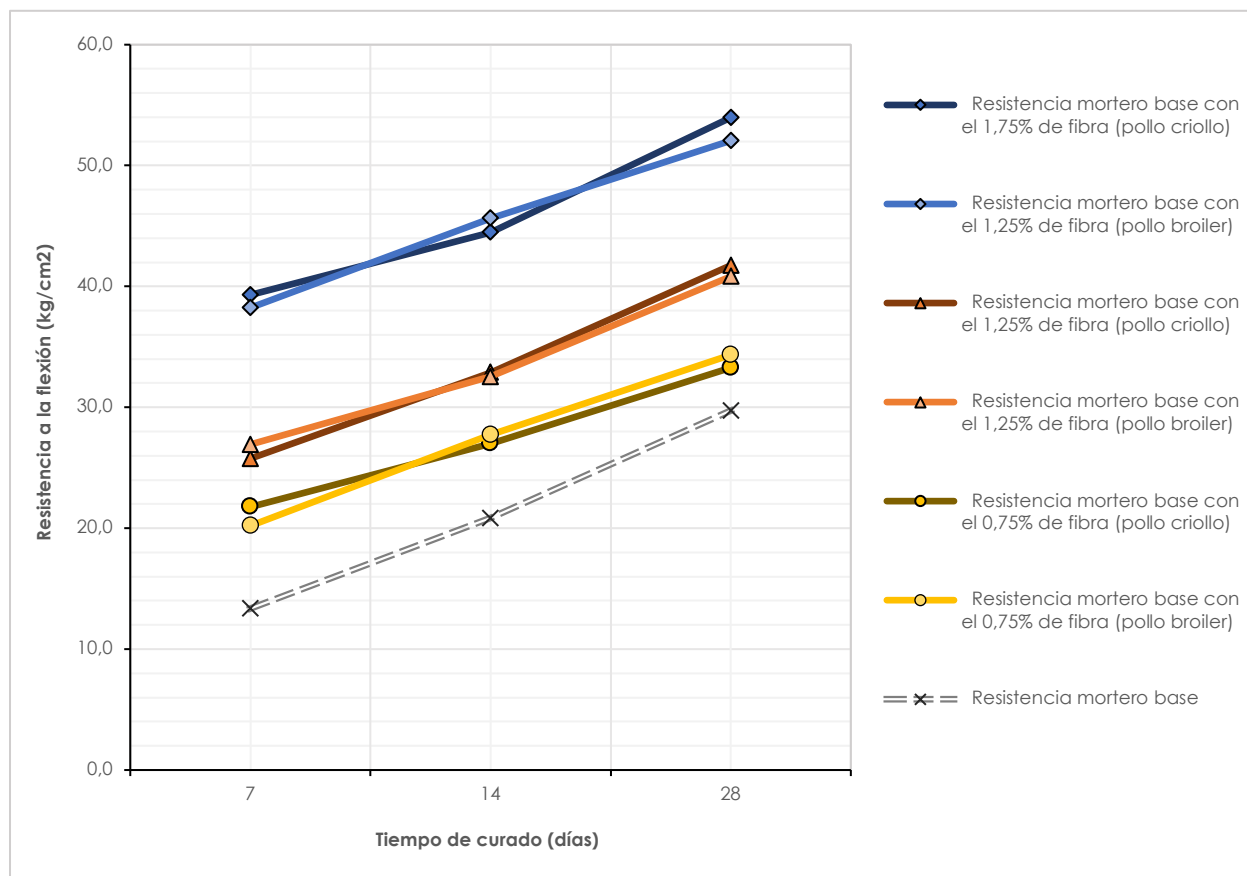
Especificación del mortero	Código del espécimen	Resistencia promedio en base a los distintos tiempos de curado			
		7 días de curado	14 días de curado	28 días de curado	
Mortero base (Sin adición de fibra)	X	13,4	20,8	29,7	
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A	20,2	27,7	34,3
	1,25 %	B	26,9	32,5	40,8
	1,75 %	C	38,2	45,6	52,1
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A'	21,8	27,0	33,3
	1,25 %	B'	25,8	32,9	41,7
	1,75 %	C'	39,3	44,5	54,0
Resistencia mínima de acuerdo a la norma ASTM C 1329	-	-	-	-	

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero base fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice y cal hidratada; y para elaborar el mortero reforzado únicamente se le añade a los anteriores, la fibra y el plastificante.

Elaborado por: El autor

Gráfico 4.

Resumen de la resistencia a la flexión



Elaborado por: El autor

4.2.3. Ensayos de Resistencia a la Tracción

El ensayo de resistencia a la tracción se rige bajo la norma ASTM C 307 (2003) y consiste en calcular el esfuerzo máximo (punto de rotura final) que es capaz de soportar un mortero de cemento al estar sometido a dos fuerzas contrarias en ambos extremos de su eje longitudinal. Para llevar a cabo el presente ensayo se elaboraron nueve briquetas en relación a cada tipo de mortero, es decir al compuesto por varios porcentajes de fibra y sin adición de ella. Los especímenes confeccionados serán ensayados en grupos de tres con respecto a cada tiempo de curado, en donde cuyos rangos se han establecido a los 7, 14 y 28 días, al igual que en los ensayos de resistencia a la compresión y flexión.

Ilustración 30.

Proceso para la aplicación de ensayos de resistencia a la tracción



1. PESAJE DE MATERIALES



2. PREPARACIÓN DE PROBETAS



3. MEZCLA DE MATERIALES



4. MOLDEO DE PROBETAS



5. CURADO DE PROBETAS



6. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Elaborado por: El autor

La dosificación empleada para elaborar 9 especímenes tipo briquetas por cada diseño de mortero, se detalla a continuación:

Tabla 43.

Dosificación para 9 especímenes tipo briquetas

Materiales	Volumen para 1 m ³ de mortero	Volumen para 0,000556 m ³ de mortero	Peso específico (kg/m ³)	Masa (kg)	Masa (gr)
Cemento	0,139	0,000077	2960	0,22876	228,8
Arena	0,570	0,000317	2550	0,80814	808,1 + 81,2 (del % H) = 889,3
Agua	0,291	0,0001618	1000	0,1618	161,8

Fibra (con respecto al peso total de la mezcla)

- 0,75 %	9,6
- 1,25 %	16
- 1,75 %	22,4
Yeso agrícola 7,5 % en peso del cemento	17,2
Humo de sílice 5 % en peso del cemento	11,4
Cal hidratada 2,5 % en peso del cemento	5,2
Plastificante 2 % en peso del cemento	4,6

Elaborado por: El autor

A continuación se presenta un resumen de los resultados obtenidos por cada especificación de mortero, sin embargo los resultados completos se encuentran disponibles en la parte de anexos.

Tabla 44.

Resumen de resultados de la resistencia a la tracción

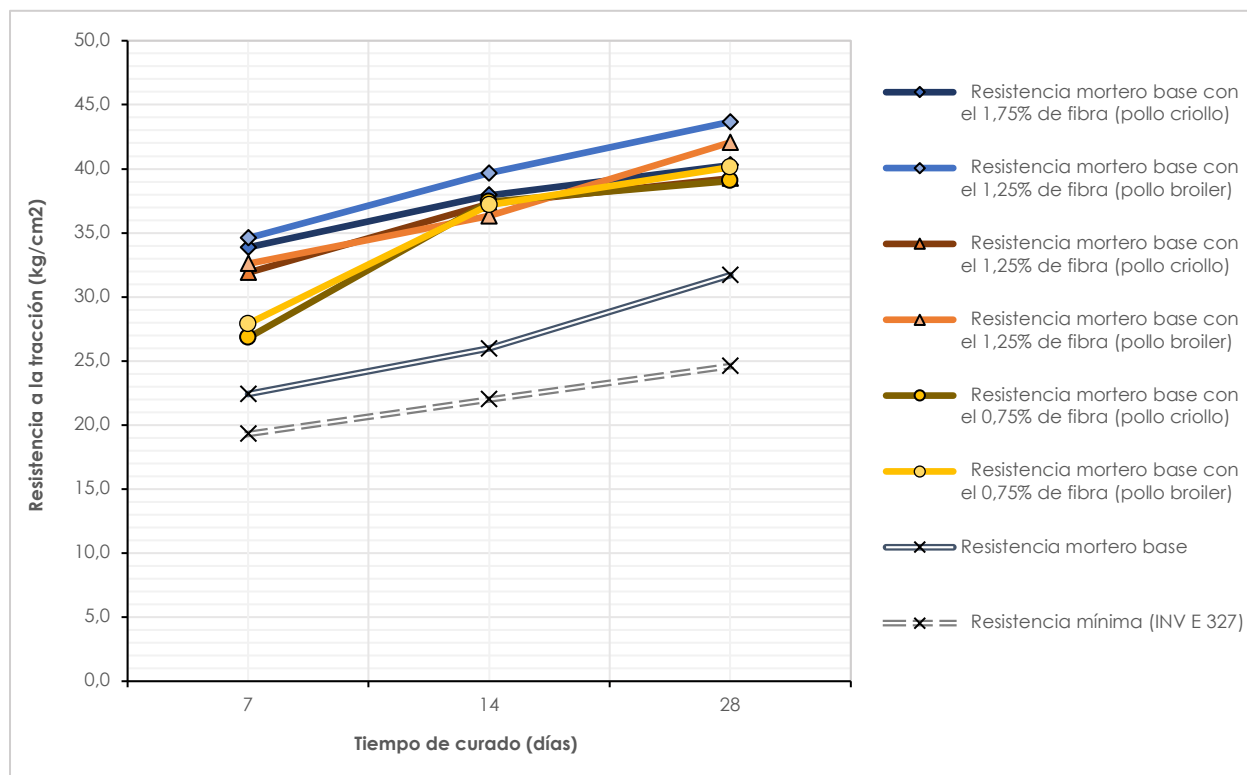
Especificación del mortero	Código del espécimen	Resistencia promedio en base a los distintos tiempos de curado			
		7 días de curado	14 días de curado	28 días de curado	
Mortero base (Sin adición de fibra)	X	22,4	26,0	31,7	
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A	27,9	37,2	40,1
	1,25 %	B	32,6	36,3	42,1
	1,75 %	C	34,6	39,7	43,7
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A'	26,8	37,4	39,1
	1,25 %	B'	31,9	37,3	39,3
	1,75 %	C'	33,9	37,9	40,3
Resistencia mínima de acuerdo a la norma ASTM C 1329	-	19,3	-	24,6	

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero base fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice y cal hidratada; y para elaborar el mortero reforzado únicamente se le añade a los anteriores, la fibra y el plastificante.

Elaborado por: El autor

Gráfico 5.

Resumen de la resistencia a la tracción



Elaborado por: El autor

4.3. Aplicación de Ensayos de Resistencia Física

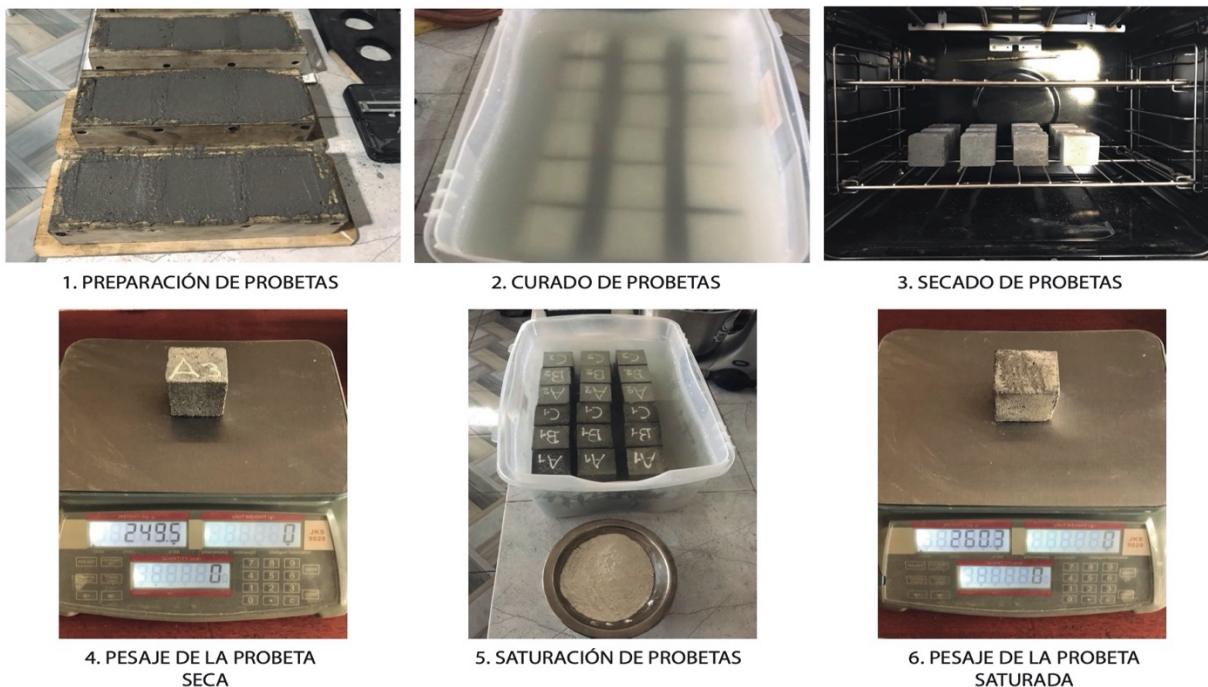
Los ensayos de resistencia física a los que serán sometidos los especímenes compuestos por mortero patrón (cemento – arena y agua) y los compuestos por fibra natural de origen animal (plumas de pollo broiler y criollo) en porcentajes del 0,75%, 1,25% y 1,75%, son los siguientes:

4.3.1. Ensayo de Absorción de Agua por Inmersión.

El ensayo de absorción de agua por inmersión se rige bajo la norma ASTM C 642 (1997) y consiste en calcular la capacidad máxima que tiene el mortero de cemento para absorber agua, en donde cuyo análisis depende mucho de las características del material y del tiempo de inmersión al que se encuentra expuesto. Finalmente, el tiempo en el que el agua está presente en los poros del material, también se define como coeficiente de saturación.

Ilustración 31.

Proceso para determinar la absorción de agua por inmersión



Elaborado por: El autor

La dosificación empleada para elaborar los diferentes especímenes, es la misma que se utilizó para realizar los ensayos de resistencia a la compresión

Tabla 45.

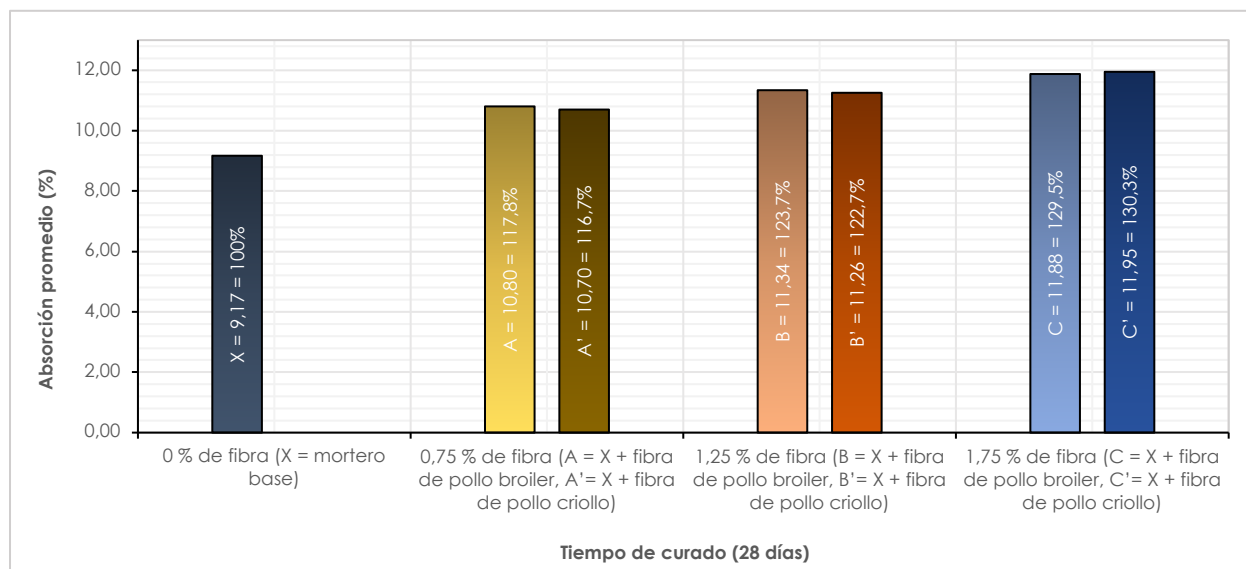
Resumen de resultados de la absorción de agua por inmersión

Especificación del mortero	Código del espécimen	Absorción promedio (%)	Porcentaje de la absorción con respecto al mortero base
Mortero base	X	9,17	100%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A	117,8%
	1,25 %	B	123,7%
	1,75 %	C	129,5%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A'	116,7%
	1,25 %	B'	122,7%
	1,75 %	C'	130,3%

Elaborado por: El autor

Gráfico 6.

Resumen de la absorción de agua por inmersión



Elaborado por: El autor

4.3.2. Ensayo de Absorción de Agua por Capilaridad

El ensayo de absorción de agua por capilaridad se rige bajo la norma ASTM C 1585 (2004) y consiste en calcular la velocidad de absorción de agua que presenta un material en comparación con otros, en donde, cuyo análisis depende mucho de la porosidad del mortero, ya que por medio de sus poros se da el intercambio de humedad con el exterior.

Tabla 46.

Resumen de resultados de la absorción de agua por capilaridad

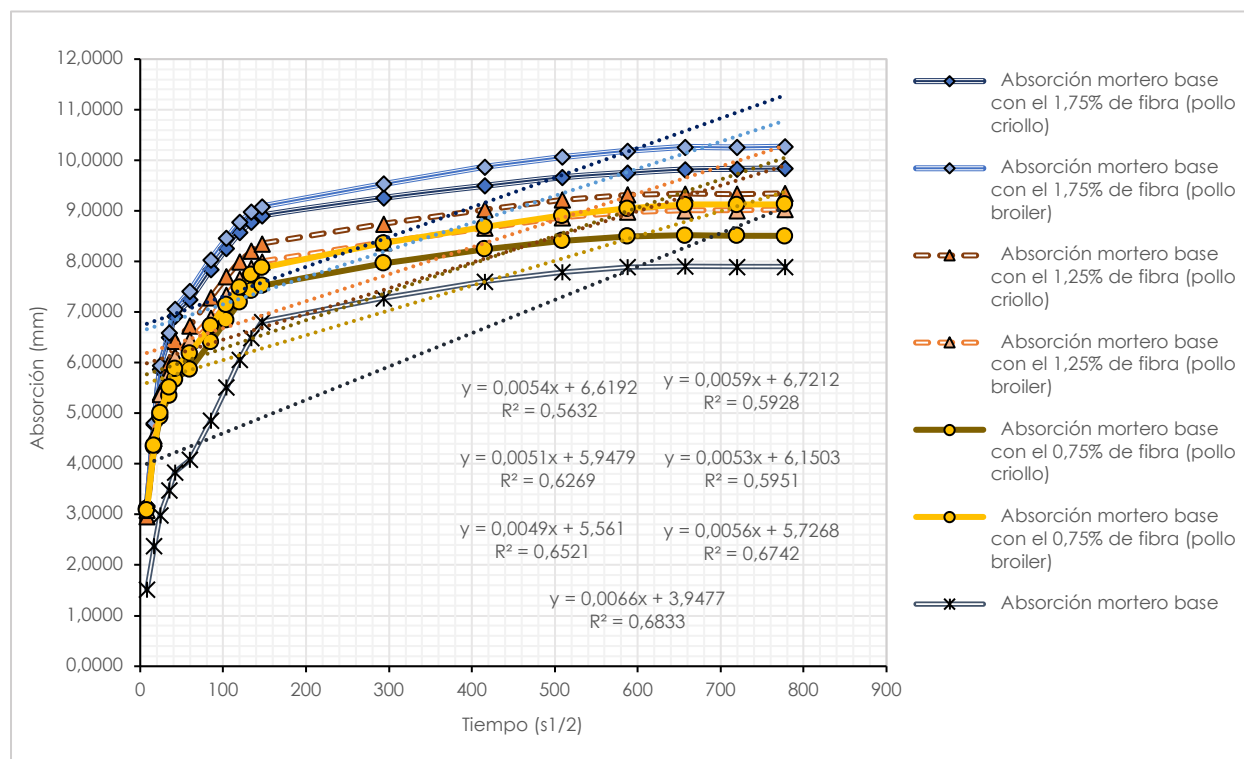
Tiempo de ensayo			Mortero base (X)	Absorción del mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler (mm)			Absorción del mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo criollo (mm)		
Días	Segundos	$\sqrt{\text{Tiempo (s}^{1/2})}$		0,75 % (A)	1,25 % (B)	1,75 % (C)	0,75 % (A')	1,25 % (B')	1,75 % (C')
1 m.	60	8	1,5130	3,0834	3,0886	3,1783	3,1183	2,9633	3,1567
2 m.	300	17	2,3736	4,3637	4,5547	4,8097	4,3428	4,5069	4,7848
10 m.	600	24	2,9871	5,0135	5,3825	5,9464	4,9293	5,4137	5,8720
20 m.	1200	35	3,4776	5,5107	5,8234	6,5911	5,3568	6,0130	6,5075
30 m.	1800	42	3,8374	5,8836	6,1271	7,0639	5,6682	6,4225	6,9255

60 m.	3600	60	4,0833	6,1899	6,4552	7,4177	5,8710	6,7351	7,2543
2 h.	7200	85	4,8547	6,7346	6,8807	8,0392	6,4109	7,2867	7,8431
3 h.	10800	104	5,5161	7,1524	7,3318	8,4596	6,8462	7,7026	8,2586
4 h.	14400	120	6,0597	7,4933	7,6599	8,7748	7,1937	8,0010	8,5731
5 h.	18000	134	6,4945	7,7457	7,8739	8,9812	7,4262	8,2090	8,7853
6 h.	21600	147	6,8103	7,8816	8,0008	9,0888	7,5231	8,3550	8,9096
1 d.	86400	294	7,2801	8,3660	8,3801	9,5361	7,9674	8,7425	9,2590
2 d.	172800	416	7,6076	8,6902	8,6621	9,8693	8,2439	9,0293	9,4972
3 d.	259200	509	7,7875	8,9081	8,8697	10,0692	8,4092	9,2217	9,6641
4 d.	345600	588	7,8884	9,0465	8,9799	10,1858	8,4958	9,3199	9,7534
5 d.	432000	657	7,9053	9,1221	9,0119	10,2640	8,5203	9,3367	9,8182
6 d.	518400	720	7,8962	9,1247	9,0094	10,2550	8,5139	9,3354	9,8311
7 d.	604800	778	7,8975	9,1285	9,0273	10,2691	8,5061	9,3470	9,8363

Elaborado por: El autor

Gráfico 7.

Resumen de la velocidad de absorción inicial y secundaria



Elaborado por: El autor

CAPÍTULO V

Discusión de resultados

Una vez culminada la fase experimental se realiza la discusión de los diferentes resultados obtenidos en cada ensayo, además de realizar una comparación de los mismos con otras investigaciones desarrolladas anteriormente en la facultad. Esta discusión de resultados permitirá comprobar si la hipótesis planteada inicialmente se cumple y partir de ello si la problemática en general ha sido resuelta.

5.1. Ensayos de Resistencia Mecánica

Para el análisis e interpretación de los diferentes resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y tracción, únicamente se utilizará la resistencia promedio obtenida a los 28 días de curado, debido a que es la máxima resistencia que puede adquirir el compuesto de acuerdo a la norma.

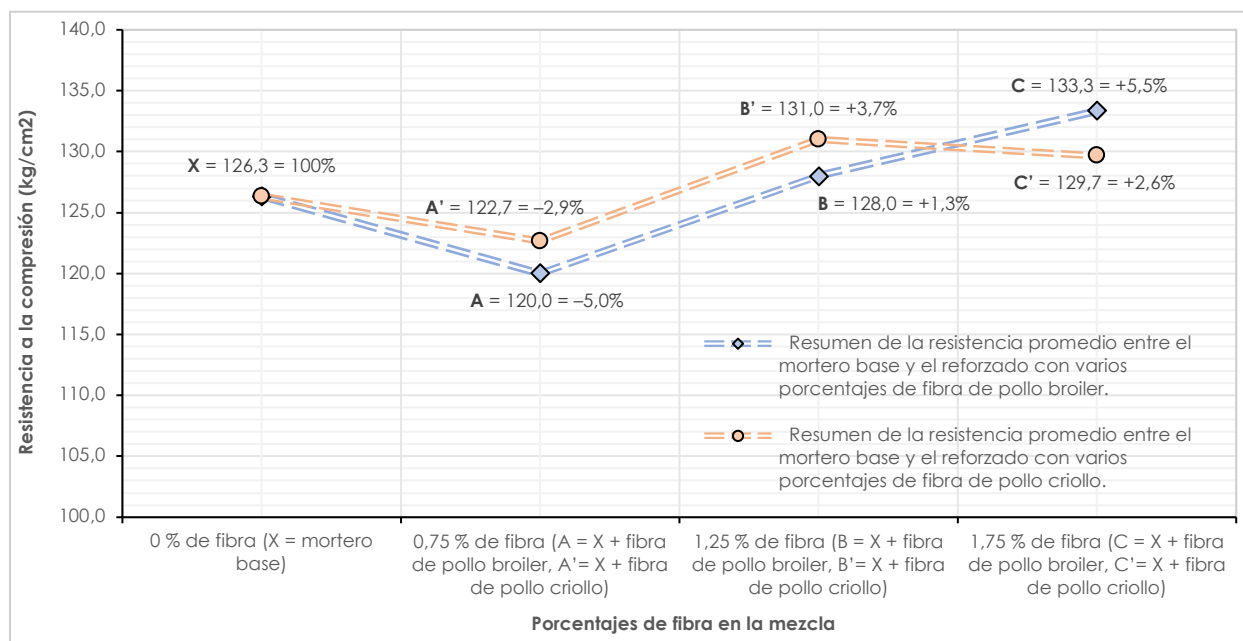
5.1.1. Resistencia a la Compresión.

Como se puede observar en la tabla N° 30 y en la gráfica N° 2, la resistencia promedio del mortero reforzado con ambos tipos de fibra en porcentajes del 1,25% y 1,75%, es ligeramente superior a la del mortero base, mientras que con los porcentajes del 0,75% esta tiende a disminuir mínimamente. Por lo tanto, se puede decir que la resistencia a la compresión del mortero reforzado con varios porcentajes de fibra no se ve significativamente afectada ya sea positiva o negativamente en comparación a la del mortero base. En cuanto a si el mayor contenido de queratina presente en las diferentes fibras aumenta las propiedades mecánicas del compuesto, se ha determinado que existe una leve influencia en los porcentajes del 0,75% y 1,25%, ya que en los porcentajes del 1,75% no se cumple dicha tendencia.

Tabla 47.*Resistencia a la compresión promedio (28 días de curado)*

Especificación del mortero	Código del espécimen	Resistencia promedio a los 28 de curado	Porcentaje de la resistencia con respecto al mortero base	Diferencia porcentual con respecto al mortero base	
Mortero base	X	126,3	100,0%	0%	
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A	120,0	95,0%	-5,0%
	1,25 %	B	128,0	101,3%	+1,3%
	1,75 %	C	133,3	105,5%	+5,5%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo criollo	0,75 %	A'	122,7	97,1%	-2,9%
	1,25 %	B'	131,0	103,7%	+3,7%
	1,75 %	C'	129,7	102,6%	+2,6%

Elaborado por: El autor

Gráfico 8.*Diferencia porcentual de la resistencia a la compresión*

Elaborado por: El autor

Con respecto a las fracturas que sufrieron los diferentes especímenes, en la ilustración No 22 se puede observar que los morteros de control (X) presentaron fallas por explosión, destruyéndose en su totalidad en algunas ocasiones. En cambio, los morteros reforzados con varios

porcentajes de fibra (A, B y C) presentaron fallas por ensanchamiento, evitando que el mortero se desprenda como en el caso anterior, en donde a mayor dosis fibra menores fallas se dieron. Esta diferencia entre ambos compuestos (reforzado y no reforzado) se debe principalmente a la buena adherencia que existe entre la fibra y el compuesto.

Ilustración 32.

Falla de especímenes sometidos a esfuerzos de compresión



Elaborado por: El autor

5.1.2. Resistencia a la Flexión

En la tabla N° 31 y en la gráfica N° 3 se puede diferenciar que existe un claro aumento en el módulo de deformación de las distintas muestras a medida que se aumenta la adición de fibra, por lo tanto, se concluye que la resistencia a la flexión es proporcional al porcentaje de fibra que se adicione. Sin embargo, esta condición no se cumple en todos los casos analizados en el estado del arte, ya que en algunas investigaciones los porcentajes elevados de adición de fibra causa que la resistencia descienda provocando la inestabilidad dimensional del material. Para evitar estos inconvenientes se ha optado por realizar un estudio de dosificaciones que permita determinar la dosis máxima de fibra, además de una adecuada trabajabilidad y fluidez de la mezcla. En cuanto a si el mayor contenido de queratina presente en las diferentes fibras aumenta las propiedades

mecánicas del compuesto, se ha determinado que existe una leve influencia en los porcentajes del 1,25% y 1,75%, ya que en los porcentajes del 0,75% no se cumple dicha tendencia.

Tabla 48.

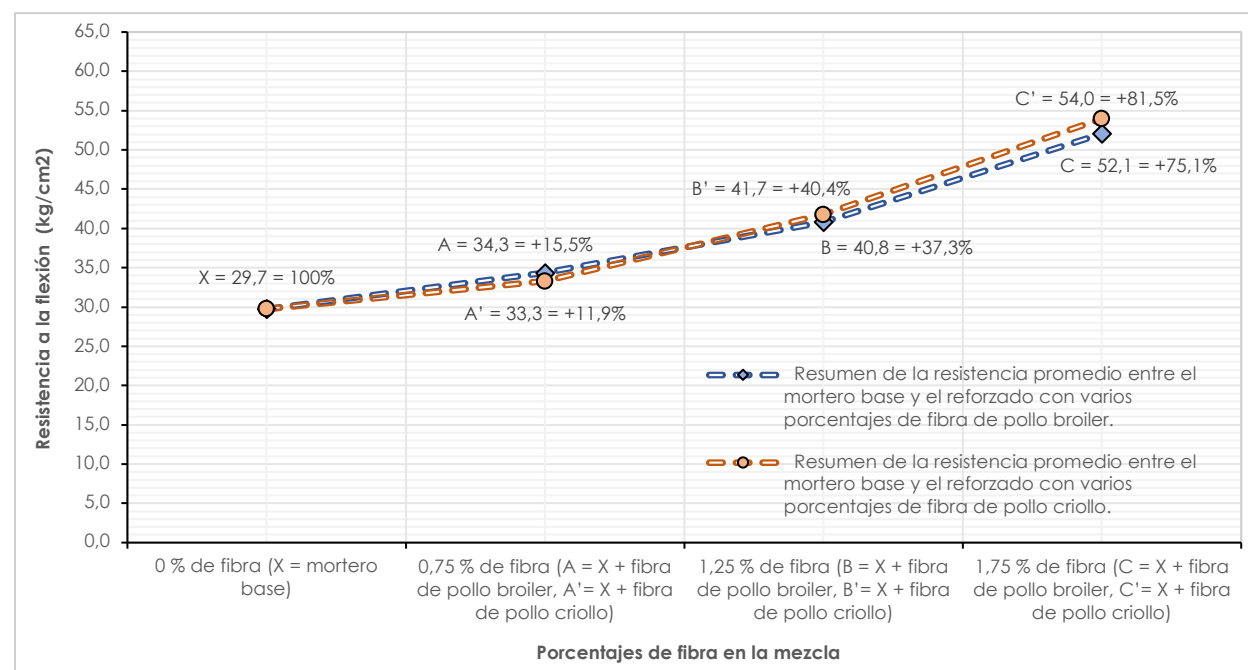
Resistencia a la flexión promedio (28 días de curado)

Especificación del mortero	Código del espécimen	Resistencia promedio a los 28 de curado	Porcentaje de la resistencia con respecto al mortero base	Diferencia porcentual con respecto al mortero base
Mortero base	X	29,7	100,0%	0%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A	34,3	+15,5%
	1,25 %	B	40,8	+37,3%
	1,75 %	C	52,1	+75,1%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo criollo	0,75 %	A'	33,3	+11,9%
	1,25 %	B'	41,7	+40,4%
	1,75 %	C'	54,0	+81,5%

Elaborado por: El autor

Gráfico 9.

Diferencia porcentual de la resistencia a la flexión

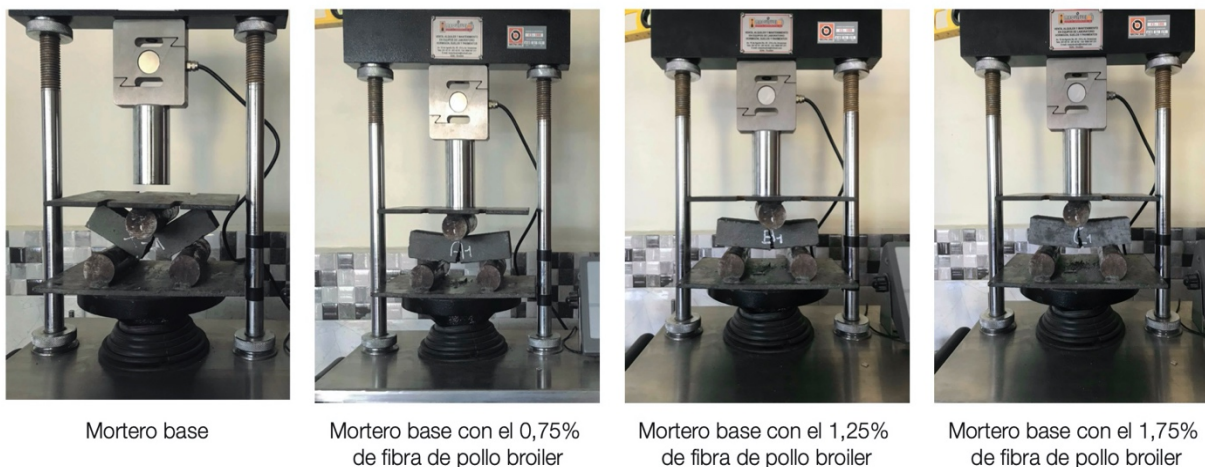


Elaborado por: El autor

Las fracturas que presentaron los diferentes especímenes sometidos a esfuerzos de flexión, se dieron en el punto medio en donde se aplica la carga (Ver ilustración No 23). En la ilustración que se presenta a continuación, se puede observar que los morteros de control (X) al ser aplicada la carga se rompen fácilmente dividiéndose en dos partes, mientras que los morteros reforzados con varios porcentajes de fibra, sufren una deformación en su parte media inferior pero sin llegar a romperse en su totalidad. Esta diferencia entre ambos compuestos (reforzado y no reforzado), radica en que la fibra trabaja principalmente frente a esfuerzos de flexión y tracción, proporcionándole mayor ductilidad y tenacidad al compuesto.

Ilustración 33.

Falla de especímenes sometidos a esfuerzos de flexión



Elaborado por: El autor

5.1.3. Resistencia a la Tracción.

En la tabla N° 32 y en la gráfica N° 4 se puede verificar que existe un claro aumento en la resistencia a la tracción a medida que se aumenta la dosis de fibra. Sin embargo, el aumento más notorio se da en las dosis del 0,75% de fibra, ya que en las dosis del 1,25% y 1,75%, el aumento de la resistencia no es proporcional al que se da en la primera. En cuanto a si el mayor contenido de queratina presente en las diferentes fibras aumenta las propiedades mecánicas del compuesto, se

ha determinado que no existe influencia de esta propiedad en ninguna de las muestras ensayadas, ya que la resistencia de los morteros reforzados con fibra de criollo siempre es inferior a la de los reforzados con fibra de pollo broiler.

Tabla 49.

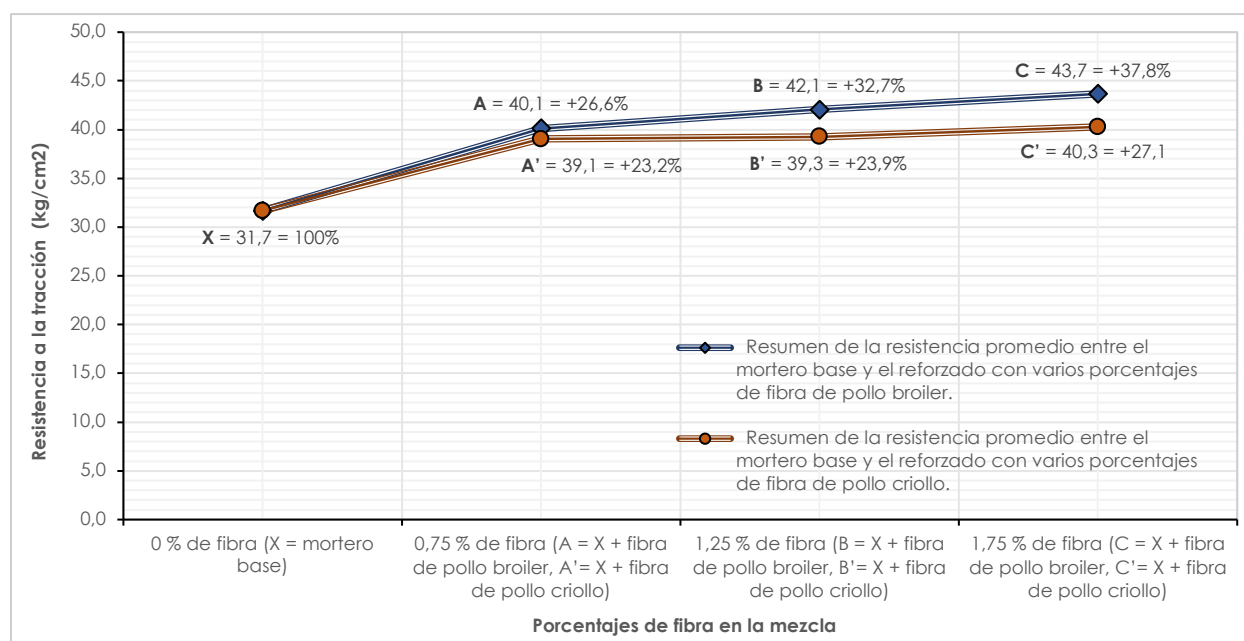
Resistencia a la tracción promedio (28 días de curado)

Especificación del mortero	Código del espécimen	Resistencia promedio a los 28 de curado	Porcentaje de la resistencia con respecto al mortero base	Diferencia porcentual con respecto al mortero base
Mortero base	X	31,7	100,0%	0%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A	40,1	+26,6%
	1,25 %	B	42,1	+32,7%
	1,75 %	C	43,7	+37,8%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo criollo	0,75 %	A'	39,1	+23,2%
	1,25 %	B'	39,3	+23,9%
	1,75 %	C'	40,3	+27,1%

Elaborado por: El autor

Gráfico 10.

Diferencia porcentual de la resistencia a la tracción

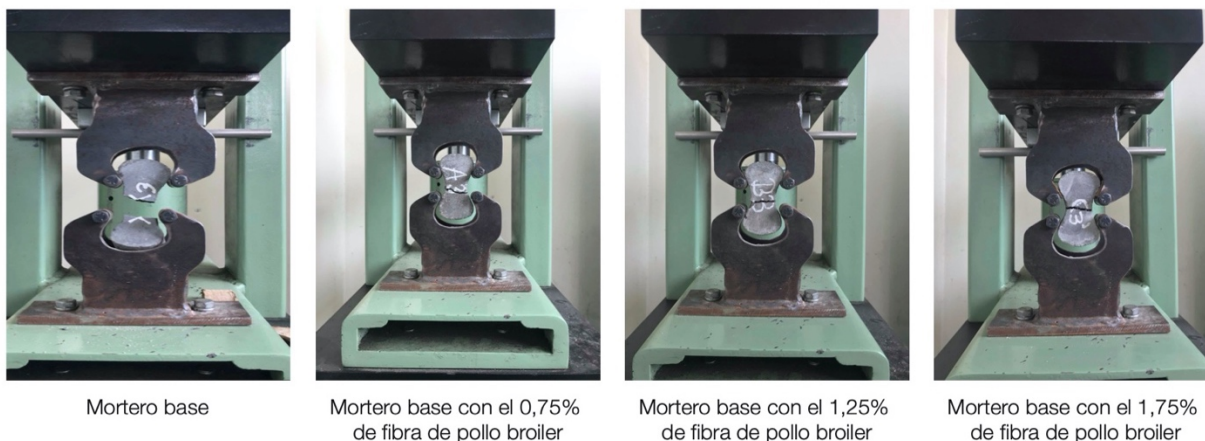


Elaborado por: El autor

Con respecto a las fracturas que sufrieron los diferentes especímenes, en la ilustración No 24 se puede observar que los morteros de control (X) al ser aplicada la carga se rompen fácilmente dividiéndose en dos partes, mientras que los morteros reforzados con varios porcentajes de fibra, sufren la misma deformación pero sin llegarse a romper en su totalidad. Esta diferencia entre ambos compuestos (reforzado y no reforzado) se debe principalmente a la función que cumple la fibra dentro del compuesto, la cual es proporcionarle mayor ductilidad y tenacidad.

Ilustración 34.

Falla de especímenes sometidos a esfuerzos de tracción



Elaborado por: El autor

5.2. Ensayos de Resistencia Física

El análisis e interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos de absorción de agua por capilaridad e inmersión, permitirá determinar cuales compuestos absorben mayor cantidad de agua y a que rapidez.

5.2.1. Absorción de Agua por Inmersión.

En la tabla N° 33 y en la gráfica N° 5 se puede apreciar claramente que el mortero patron (X) es el que menor porcentaje de absorción presenta con respecto a los demás, mientras que el mortero con mayor absorción de agua es el que contiene en su interior el 1,75% de fibra. Estas

características de permeabilidad que poseen los morteros reforzados, se debe principalmente a los vacíos que genera la fibra dentro del compuesto y a la absorción de agua que tiende a captar el mismo refuerzo al estar expuesto a zonas húmedas.

Tabla 50.

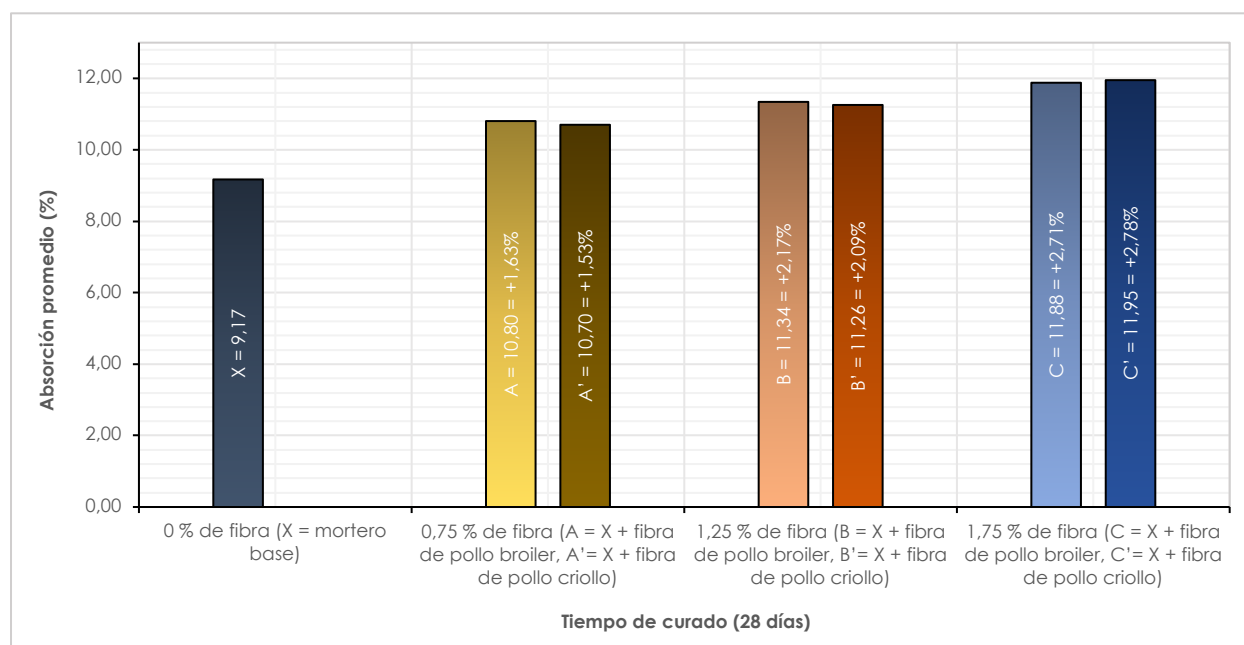
Absorción de agua promedio por inmersión

Especificación del mortero	Código del espécimen	Absorción promedio (%)	Diferencia porcentual con respecto al mortero base
Mortero base	X	9,17	0%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75 %	A	+1,63%
	1,25 %	B	+2,17%
	1,75 %	C	+2,71%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo criollo	0,75 %	A'	+1,53%
	1,25 %	B'	+2,09%
	1,75 %	C'	+2,78%

Elaborado por: El autor

Gráfico 11.

Diferencia porcentual de la absorción de agua por inmersión



Elaborado por: El autor

5.2.2. Absorción de Agua por Capilaridad

Como se puede observar en la tabla N° 34, gráfica N° 6 e ilustración N° 25, el mortero que menos agua absorbe y el que menor velocidad de absorción tiene ($0,0463 \text{ mm/s}^{1/2}$) es el mortero patrón (X), evidenciándose en la baja pendiente que posee su curva. En cuanto a los que mayor inclinación presentan en su gráfica, dan a entender que más rápido absorben humedad y en este caso tenemos a los morteros reforzados con el 1,75% de fibra. Cabe recalcar que no existe normativa que regule la velocidad inicial y secundaria de absorción para morteros, pero si se tiene referencia del hormigón de alta resistencia (350 kg/cm^2) en la investigación de Howland, donde establece como límite el $0,05 \text{ mm/s}^{1/2}$ para la velocidad inicial de absorción. En el presente caso de análisis, el mortero patrón (X) estaría dentro de este de este valor, sin embargo también entrarían los morteros reforzados con el 0,75% y 1,25% de fibra, debido a su cercanía al valor propuesto.

En base a lo anteriormente dicho, el compuesto con menor permeabilidad sería el mortero patrón (X), seguido por los que contienen el 0,75% y 1,25% de fibra, mientras que los compuestos que mayor permeabilidad presentan, serían los reforzados con el 1,75% fibra.

Ilustración 35.

Velocidad de absorción capilar en los diferentes tipos de mortero

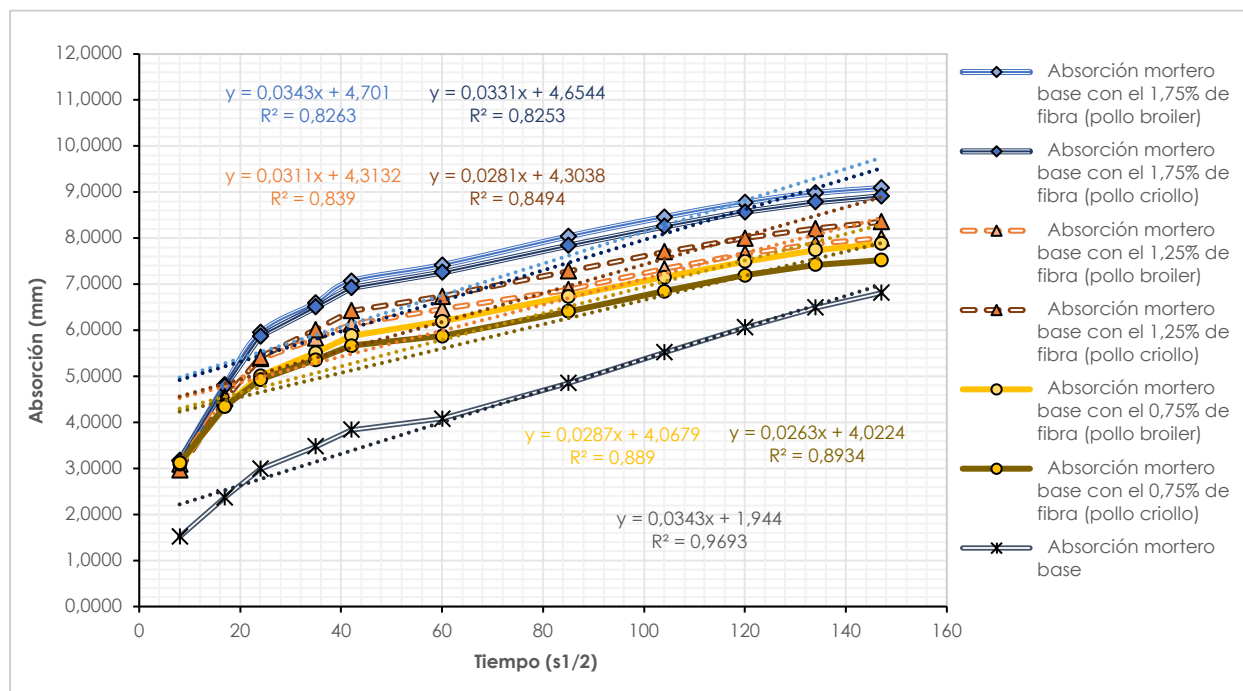


Elaborado por: El autor

Tabla 51.*Diferencia porcentual de la velocidad de absorción inicial*

Especificación del mortero	Código	Absorción en el punto crítico (mm)	Tiempo de la absorción crítica (s ^{1/2})	Velocidad de absorción (mm/s ^{1/2})	% de la velocidad de absorción con respecto al mortero base	Diferencia porcentual con respecto al mortero base	
Mortero base	X	6,8103	147	0,0463	100,0%	0%	
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler	0,75%	A	7,8816	147	0,0536	115,7%	+15,7%
	1,25%	B	8,0008	147	0,0544	117,5%	+17,5%
	1,75%	C	9,0888	147	0,0618	133,5%	+33,5%
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo criollo	0,75%	A'	7,5231	147	0,0512	110,5%	+10,5%
	1,25%	B'	8,3550	147	0,0568	122,7%	+22,7%
	1,75%	C'	8,9096	147	0,0606	130,8%	+30,8%

Elaborado por: El autor

Gráfico 12.*Velocidad de absorción inicial promedio*

Elaborado por: El autor

CONCLUSIONES

La presente investigación tuvo como propósito analizar si las propiedades mecánicas del mortero de cemento mejoran a través de la inclusión de fibras naturales de origen animal “plumas de aves”, como refuerzo. Para caracterizar dichas mejoras en las propiedades mecánicas del mortero, se ha trabajado con cuatro arquetipos del mismo; un mortero de cemento base (sin adición de fibra) utilizado como mortero de referencia y tres morteros con distintas dosificaciones de fibra (0,75% – 1,25% y 1,75%). Se han realizado ensayos para la determinación de la resistencia a compresión, flexión y tracción, además de ensayos de absorción de agua por capilaridad e inmersión, con el fin de analizar la estabilidad dimensional del material.

En base a los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación y al conocimiento adquirido en su desarrollo, se pueden enunciar las siguientes conclusiones:

- La inclusión de la fibra natural en varios porcentajes (0,75% – 1,25% y 1,75%) con respecto al peso total de la mezcla y en comparación con el mortero base (sin refuerzo), no ejerce una función significativa en cuanto a la resistencia a compresión, dándose una disminución y aumento de la misma en mínimos porcentajes. Cabe señalar que la ASTM C1329 (2004) exige una resistencia a la compresión mínima de 63,2 Kg/cm² a los 28 días de curado para morteros tipo N que es el que se ha escogido para el presente estudio, por lo que todos los morteros evaluados cumplen con dicha normativa.
- Con respecto a la resistencia a la flexión la norma costarricense INTE C106 (2019) estipula un valor mínimo de 33 Kg/cm² a los 28 días de curado para los morteros de recubrimiento (tipo N), por lo tanto tanto todos los morteros evaluados cumplen con dicha normativa. Encontrándose un aumento considerable en los especímenes que contienen el 1,75% de

fibra, en donde el incremento de la resistencia a flexión es de un 75% con respecto al mortero base, mientras que con los porcentajes del 0,75% y 1,25% el incremento es de un 12% y 40% respectivamente. Esto significa que el uso de las plumas de aves como refuerzo, ofrecen excelentes resultados para elaborar morteros de revestimiento, ya que reduciría en gran medida las fisuras y anchos de grietas en los mismos a edades tempranas.

- En cuanto al comportamiento del compuesto a esfuerzos de tracción, los resultados son bastante alentadores, ya que todos los morteros reforzados con fibra de pluma de pollo superan ampliamente la resistencia mínima (24,6 Kg/cm² - 28 días de curado) propuesta por la norma colombiana INV E327 (2004) y a la resistencia promedio del mortero base, el cual es tomado como referencia. De manera similar a los esfuerzos de flexión los mejores resultados se obtuvieron con el 1,75% de fibra, en donde el incremento de la resistencia a tracción es de un 37,8% con respecto al mortero base, mientras que con los porcentajes del 0,75% y 1,25% estas tienden a aumentar de un 26,6% hasta un 32,7% respectivamente. Estas características indican que la adición de plumas de pollo como refuerzo del mortero podrían mejorar significativamente la durabilidad, tenacidad y ductilidad del material.
- En el caso de la absorción de agua por inmersión, se indentificó una alta permeabilidad de los morteros reforzados con varios porcentajes de fibra de pluma de pollo (0,75% – 1,25% y 1,75%), ya que a mayor cantidad de fibra existe una mayor absorción de agua. Esto se debe principalmente a las características higroscópicas de la fibra y los vacíos que genera dentro del compuesto. Por lo tanto, debido a los malos resultados obtenidos en los presentes ensayos, el mortero propuesto no podría ser usado para el revestimiento de áreas exteriores, ya que al ser un mortero con alta porosidad provocaría el hinchamiento y la disminución de la estabilidad dimensional del material.

- En cuanto a la absorción de agua por capilaridad al igual que en el caso anterior (absorción de agua por inmersión), se identificó que a mayor dosificación de fibra al compuesto, existe mayor velocidad de absorción de humedad en comparación con el mortero base, lo cual significa que la adición fibra vuelve más permeable al mortero y que este no pueda ser empleado en áreas exteriores sino más bien en interiores, una solución a este inconveniente sería el tratamiento de la fibra en cuanto sus propiedades higroscópicas, lo que a su vez supondría una mejora en la estabilidad dimensional del material y en las propiedades físico-mecánicas tanto de la fibra como del mortero.
- Finalmente, dando respuesta a la hipótesis planteada inicialmente sobre “si el mayor contenido de queratina presente en las fibras de las plumas de pollo broiler y criollo, mejoran en mayor medida las propiedades mecánicas del mortero de cemento”, se ha determinado que no existe una influencia significativa de esta propiedad, ya que los resultados arrojados fueron muy similares entre sí. Sin embargo, el uso de la fibra como refuerzo si genero un aumento en las propiedades mecánicas del mortero al igual que los estudios realizados con las fibras de pelo humano, pelo de cerdo y lana de oveja.

RECOMENDACIONES

Para incentivar a futuras investigaciones a la experimentación con este tipo de fibras naturales, como una solución innovadora para los problemas que presenta el mortero, se recomienda lo siguiente:

- Para investigaciones análogas se recomienda revisar la fase de materiales y métodos, además de la fase experimental, porque se rige bajo normativa nacional e internacional.
- Los resultados de este trabajo se basan en experimentos de laboratorio con tres mezclas de mortero reforzadas con distintos porcentajes de fibra de pluma de pollo, hasta llegar a un 1,75%. Para inclusiones de fibra superiores al 1,75%, se encontró una trabajabilidad deficiente y dificultad para preparar y obtener muestras monolíticas compactadas, debido a la separación excesiva de los componentes del mortero. Por lo tanto, se recomienda que dicha inclusión de fibra en los morteros se limite a menos del 1,75% con respecto al peso total de la mezcla.
- Para complementar la investigación se sugiere realizar ensayos de aislamiento térmico y acústico, con la finalidad de determinar si existen mejoras en cuanto a otras propiedades físicas del material, ya que de acuerdo a Kock (2006) y a Tesfaye et al. (2017b), las plumas también poseen excelentes propiedades termoacústicas, por lo que se debería comprobar si dichas características también se cumplen en el mortero.
- Trabajar con la misma relación a/c, tanto el para mortero base como para el mortero reforzado con fibra, esto con la finalidad de evitar alteraciones al momento de los respectivos ensayos y así poder realizar comparaciones válidas.

- Al momento de incorporar la fibra en la mezcla, se debe remover lo máximo posible con la finalidad de obtener una mezcla homogénea y evitar formaciones de grumos con el árido y cemento.
- Se recomienda utilizar otros tipos de tratamiento a la fibra para poder realizar una comparativa entre sus resultados, para de esta manera determinar cual es el más óptimo.
- Finalmente, se recomienda complementar estos estudios con un análisis de costos a fin de comparar el uso de esta fibra con respecto a otras disponibles en el mercado y que actualmente son las más utilizadas.

BIBLIOGRAFÍA

AIMPLAS. (2017). Proyecto KARMA: Envases plásticos biodegradables a partir de plumas del sector avícola. Iresiduo. <https://iresiduo.com/noticias/espana/aimplas/17/02/27/proyecto-karma-envases-plasticos-biodegradables-partir-plumas>

Araya-Letelier, G., Antico, F. C., Carrasco, M., Rojas, P., & García-Herrera, C. M. (2017). Effectiveness of new natural fibers on damage-mechanical performance of mortar. *Construction and Building Materials*, 152(1), 672-682. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.072>

ASTM C 1602-06. (2006). Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete. United States: American Society for Testing and Material. <https://doi.org/10.1520/A0323-05.2>

ASTM C 270-10. (2010). Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. United States: American Society for Testing and Material. <https://doi.org/10.1520/C0270-10>.

Aymerich, J. (2012). Investigación con plumas de pollo para fabricar un material biocomposite. *Gestores de Residuos*. <https://gestoresderesiduos.org/noticias/investigacion-con-plumas-de-pollo-para-fabricar-un-material-biocomposite>

Benítez, R., Rosero, B., & Martín, J. (2014). Evaluación de dos materias primas como fuente de proteína: pluma de pollo (*Gallus gallus*) y pezuña de vaca (*Bos primigenius taurus*). *Ingenium*, 8(22), 21-26. <https://doi.org/10.21774/ing.v8i22.463>

Bernat-Masoa, E., Puigvertb, F., Abdelmoulac, H., & Gild, L. (2018). Adición de fibras de esparto en mortero de cemento. *Revista de la Construcción*, 17(1), 72-84. <https://doi.org/10.7764/RDLC.17.1.72>

Bertsch, A., Álvarez, R., & Coello, N. (2003). Evaluación de la calidad nutricional de la harina de plumas fermentadas por *Kocuria rosea* como fuente alternativa de proteínas en la alimentación de aves. *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, 13(2), 139-145.
<https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14971>

Bonser, R. H. C., & Dawson, C. (1999). The structural mechanical properties of down feathers and biomimicking natural insulation materials. *Journal of Materials Science Letters*, 18(21), 1769-1770. <https://doi.org/10.1023/A:1006631328233>

Bunge, M. (1987). *La Investigación científica: su estrategia y su filosofía* (1a ed.). Editorial Ariel. <https://www.academia.edu/11189579/58600342-Mario-Bunge-La-Investigacion-Cientifica?auto=download>

Carrera, E. (2017). *Física textil: Propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles* (1a ed.). Universitat Politècnica de Catalunya. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/106313>

Choi, J. M., & Nelson, P. V. (1996). Developing a slow-release nitrogen fertilizer from organic sources: III Isolation and action of a feather-degrading actinomycete. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121(4), 639-643. <https://doi.org/10.21273/jashs.121.4.639>

Coello, N., Bernal, C., Bertsch, A., Estrada, O., Moccó, Y., & Hasegawa, M. (2003). LAS PLUMAS COMO RESIDUO AGROINDUSTRIAL: SU UTILIZACIÓN BIOTECNOLÓGICA PARA PRODUCIR INSUMOS DE INTERÉS INDUSTRIAL. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 18(3), 1-9. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-2942623686&partnerID=40&md5=7da26f1322d60886448844230bd7d0bb>

El Boushy, A. R., Van der Poel, A. F. B., & Walraven, O. E. D. (1990). Feather meal-A biological waste: Its processing and utilization as a feedstuff for poultry. *Biological Wastes*, 32(1), 39-74. [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(90\)90071-Y](https://doi.org/10.1016/0269-7483(90)90071-Y)

Enshassi, A., Kochendoerfer, B., & Rizq, E. (2014). S evaluación de los Impactos Medioambientales de los Proyectos de construcción. 29, 234-254.

Fantilli, A., Sicardi, S., & Dotti, F. (2017). The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar. *Construction and Building Materials*, 139(1), 562-569. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.096>

FEDNA. (2012). Harina de plumas hidrolizada. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal. http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/harina-de-plumas-hidrolizada-actualizada-nov-2012

Florida, N. (2019). Plumas: Implicancia ambiental y uso en la industria agropecuaria. 21(3), 225-237. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S2313-29572019000300008&script=sci_arttext

Gupta, A., Chua, G., Yunus, R., & Kamarudin, N. (2012). Extraction of keratin protein from chicken feather. *Chemeca: Engineering a Better World*, 6(1), 732-737. <http://search.informit.com.au/documentSummary;dn=177431394525590;res=IELENG>

Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción (2a ed.). Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. <http://www.bdigital.unal.edu.co/6167/>

Kar, P., & Misra, M. (2004). Use of keratin fiber for separation of heavy metals from water. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 79(11), 1313-1319. <https://doi.org/10.1002/jctb.1132>

Kock, J. (2006). Physical and mechanical properties of chicken feather materials [Thesis of master, Georgia Institute of Technology]. <https://smartech.gatech.edu/handle/1853/10555>

Kratzke, P., & Kratzke, R. (2018). Enfermedad relacionada con el asbesto. *Journal of Radiology Nursing*, 37(1), 21-26. <https://doi.org/10.1016/j.jradnu.2017.12.003>

Kumar, N., & Shardendu. (2020). Extraction of keratin protein from white chicken feathers and their nutritional application in social welfare. *International Journal of Scientific Research*, 9(1), 72-74. [https://www.worldwidejournals.com/international-journal-of-scientific-research-\(IJSR\)/article/extraction-of-keratin-protein-from-white-chicken-feathers-and-their-nutritional-application-in-social-welfare/MjM2OTk=?is=1&b1=229&k=58](https://www.worldwidejournals.com/international-journal-of-scientific-research-(IJSR)/article/extraction-of-keratin-protein-from-white-chicken-feathers-and-their-nutritional-application-in-social-welfare/MjM2OTk=?is=1&b1=229&k=58)

Levine, V. (1991). Feathers in southeast american indian ceremonialism. *Expedition*, 33(2), 3-11. <https://www.penn.museum/sites/expedition/feathers-in-southeast-american-indian-ceremonialism/>

Linden, J. (2014). TENDENCIAS DE LAS AVES GLOBALES 2014: El crecimiento del consumo de pollo en las Américas y en la población asiática ralentiza. *The poultry site*. <https://thepoultrysite.com/articles/global-poultry-trends-2014-growth-in-chicken-consumption-in-america-slows>

Llerena, A. (2014). Estudio de compuestos cementíceos reforzados con fibras vegetales: Evaluación previa del comportamiento de un panel de cemento blanco con adición de meta-caolín reforzado con un textil no-tejido de fibras largas de lino y cáñamo [Tesis de maestría, Universitat Politècnica de Catalunya]. <https://doi.org/http://hdl.handle.net/2099.1/25365>

MAGAP. (2013). Estudio de cadenas pecuarias de Ecuador. Consideraciones sobre insumos utilizados en los alimentos para organismos acuáticos bajo cultivo. <https://es.calameo.com/read/0041143065babb06950de>

Manivel, S., Nisanth Kumar, S., Prakashchandar, S., & Anil Kumar, S. (2017). Experimental study on human hair fiber reinforced concrete with partial replacement of cement by GGBFS. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(4), 1145-1155. <https://pdfs.semanticscholar.org/5570/87e2950723e8c2d11facfad4c048c370d7c2.pdf>

Murari, S. K., Frey, F. J., Frey, B. M., Gowda, T. V., & Vishwanath, B. S. (2005). Use of Pavo cristatus feather extract for the better management of snakebites: Neutralization of inflammatory reactions. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(2), 229-237. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2005.02.027>

Murillo, B., Rangel, D., Martínez, A., & Velasco, C. (2013). Materiales compuestos poliméricos reforzados con queratina de ave; estudio de sus propiedades eléctricas. *Química Hoy Chemistry Sciences*, 3(3), 36-40. <http://eprints.uanl.mx/3846/1/Revista12WEB7.pdf>

NEC. (2014). Mampostería estructural. MIDUVI. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

NTE INEN 152. (2012). Cemento portland. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://archive.org/details/ec.nte.0152.2012/mode/2up>

NTE INEN 2380. (2011). Cementos hidráulicos. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://archive.org/stream/ec.nte.2380.2011#mode/2up>

NTE INEN 2518. (2010). Morteros para unidades de mampostería. Requisitos. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. <https://archive.org/details/ec.nte.2518.2010/mode/2up>

NTE INEN 2536. (2010). Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://archive.org/details/ec.nte.2536.2010/mode/2up>

NTE INEN 490. (2011). Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos. Instituto Ecuatoriano de Normalización. <https://archive.org/details/ec.nte.0490.2011/mode/2up>

Olivares, M., Galán, C., & Roa, J. (2003). Los composites: Características y aplicaciones en la edificación. *Informes de la Construcción*, 54(484), 45-62. <https://doi.org/10.3989/ic.2003.v54.i484.568>

Onuaguluchi, O., & Banthia, N. (2016). Compuestos de cemento reforzado con fibra natural a base de plantas: una revisión. *Cement and Concrete Composites*, 68(1), 96-108. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2016.02.014>

Ortega, E. H., Quintero, G. A., & Huertas, W. A. (2017). Procesamiento de Plumas de Pollo para la Obtención de Queratina. *Cindetec*, 23(0), 81-87. <http://revistas.ugca.edu.co/index.php/ugciencia/article/view/767/1176>

Pasquel, E. (2009). Reacción Álcali-Agregado: El VIH del concreto. Sección del laboratorio del concreto. https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/35590541/1_Reaccion_alcali-agregado.pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D1_Reaccion_alcali-agregado.pdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Credential=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A%2F20200211%2Fus

Rahayu, S., & Bata, M. (2014). Calidad de la pluma de pollo procesada en diferentes condiciones. *Animal Production*, 16(3), 170-175. <https://media.neliti.com/media/publications/68039-EN-quality-of-chicken-feather-processed-in.pdf>

Rahhali, A. (2015). Valorización de residuos queratínicos para la obtención de materiales biocompuestos [Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/95771/TAR1de1.pdf>

Rodríguez, O. (2003). Morteros: guía general. Asociación nacional de fabricantes de mortero, 0(0), 7-8. http://www.arquitectosdecadiz.com/wp-content/uploads/2017/12/afam._morteros._guia_general._01.2006.pdf

Salamanca, R. (2001). La tecnología de los morteros. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 11(1), 41-48. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/33250>

Sánchez de Guzmán, D. (2001). Tecnología del concreto y del mortero (5a ed.). Pontificia Universidad Javeriana; Bhandar Editores Ltda.
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EWq-QPJhsRAC&oi=fnd&pg=PA5&dq=Tecnología+del+concreto+y+del+mortero&ots=gYKUFjv1Jq&sig=9jAEAMphMUaHkBia6OtTHkTzfuA#v=onepage&q=Tecnología del concreto y del mortero&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=EWq-QPJhsRAC&oi=fnd&pg=PA5&dq=Tecnología+del+concreto+y+del+mortero&ots=gYKUFjv1Jq&sig=9jAEAMphMUaHkBia6OtTHkTzfuA#v=onepage&q=Tecnología%20del%20concreto%20y%20del%20mortero&f=false)

Saravanan, K. (2012). Exploration on amino acid content and morphological structure in chicken feather fiber. 7(3), 1-13. <https://docplayer.net/37030686-Exploration-on-amino-acid-content-and-morphological-structure-in-chicken-feather-fiber.html>

Seawright, R., Marcicano, J., & Sanches, R. (2013). Study of Physical Properties of Chicken Feathers for Commercial Use. International Journal of Textile and Fashion Technology (IJTFT), 3(2), 29-38.
https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/31134407/3.Chicken_Feather.full.pdf?1366176797=&response-content-

disposition=inline%3B+filename%3DChicken_Feather_Study_of_Physical_Proper.pdf&Expires=1611266954&Signature=XWIOHdYrnWRbhLtKX~~~OOqkGyGwLo7ukcfv-ZdoLDFvL

Senar, J. (2004). Mucho más que plumas. ResearchGate. <http://w3.bcn.cat/fixers/icub/museuciencies/muchomasqueplumas.443.pdf>

Staroń, P., Banach, M., & Kowalski, Z. (2011). Keratin-Origins, properties, application. *Chemik*, 65(10), 1019-1026.

Stingone, J., & Wing, S. (2011). Poultry litter incineration as a source of energy: Reviewing the potential for impacts on environmental health and justice. *New Solutions: A Journal of Environmental and Occupational Health Policy*, 21(1), 27-42. <https://doi.org/10.2190/NS.21.1.g>

Stupenengo, F. (2011). *Materiales compuestos (1a ed.)*. Guías didácticas Colección Encuentro - INET. <http://www.oitcinterfor.org/node/6087>

Tesfaye, T., Sithole, B., & Ramjugernath, D. (2017). Valorisation of chicken feathers: a review on recycling and recovery route - current status and future prospects. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(10), 2363-2378. <https://doi.org/10.1007/s10098-017-1443-9>

Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D., & Chunilall, V. (2017a). Valorisation of chicken feathers: Characterisation of chemical properties. *Waste Management*, 68(1), 626-635. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.06.050>

Tesfaye, T., Sithole, B., Ramjugernath, D., & Chunilall, V. (2017b). Valorisation of chicken feathers: Characterisation of physical properties and morphological structure. *Journal of Cleaner Production*, 149(1), 349-365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.112>

Tronina, P., & Bubel, F. (2008). Production of organic fertilizer from poultry feather wastes excluding the composting process. *Polish Journal of Chemical Technology*, 10(2), 33-36.
<https://doi.org/10.2478/v10026-008-0025-3>

Zhang, T., Dieckmann, E., Song, S., Xie, J., Yu, Z., & Cheeseman, C. (2018). Properties of magnesium silicate hydrate (M-S-H) cement mortars containing chicken feather fibres. *Construction and Building Materials*, 180(1), 692-697.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.292>

ANEXOS

Anexo 1.

Contenido de azúcares, aceites-grasas, proteína y nivel de pH en la pluma de pollo broiler no tratada



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cia. Ltda.
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 33176-01-25-11-19-Q

Datos del Cliente

Cliente: ROMERO ESPARZA ALEXIS XAVIER
Representante: Alexis Romero
Dirección: Loja - Barrio Consacola
Teléfono: 0986850637

Datos del ítem de Ensayo

Identificación de la Muestra: PLUMA DE POLLO BROILER (SIN TRATAMIENTO)
Descripción de la Muestra: Sólido heterogéneo color blanco
Contenido declarado: 300g
Conservación de la Muestra: Ambiente

No. Lote o código: ND
Fecha de elaboración: ND
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Muestreo: Por el cliente
Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió.

Fecha de muestreo: ND
Fecha de recepción: 2019-11-15
Fechas de ensayo: 2019-11-18
Fecha de reporte: 2019-11-25

Resultados analíticos:

Pag.:1..... de1.....

PARÁMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
Azúcares	Interno	% p/p	1,07
Aceites y Grasas	AOAC 2003.05	% p/p	3.82
*Proteína	POE: 5.4.91 AOAC 2001.11	% p/p	75.34
*pH	Potenciométrico	Unidades de pH	6.511 25 °C

Factor de conversión 6.25

AOAC: Official Method Analysis
POE: Procedimiento interno

*Solución al 10%

CENTROCESAL Cia. Ltda.
Ing. César Acosta



CENTROCESAL Cia. Ltda.
Lcda. Marce Walker

RESPONSABLE DE ANALISIS

RESPONSABLE DE SUPERVISION

Notas:

ND: No declara NA: No aplica

- NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis
NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis
NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique
NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4
NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones
NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL

freq.:POE:7.8.1 Rev.:02 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús
Telfs: (593 2) 2230342 / 2233792 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872
e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com
QUITO - ECUADOR

Anexo 2.

Contenido de azúcares, aceites-grasas y nivel de pH en la pluma de pollo broiler tratada



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cia. Ltda.
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 33176-02-25-11-19-Q

Datos del Cliente

Cliente: ROMERO ESPARZA ALEXIS XAVIER
Representante: Alexis Romero
Dirección: Loja - Barrio Consacola
Teléfono: 0986850637

Datos del Item de Ensayo

Identificación de la Muestra: PLUMA DE POLLO BROILER (CON TRATAMIENTO)
Descripción de la Muestra: Sólido heterogéneo color blanco
Contenido declarado: 300g **No. Lote o código:** ND
Conservación de la Muestra: Ambiente **Fecha de elaboración:** ND
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Muestreo: Por el cliente **Fecha de muestreo:** ND
 Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió. **Fecha de recepción:** 2019-11-15
Fechas de ensayo: 2019-11-18
Fecha de reporte: 2019-11-25

Resultados analíticos: Pag.:1..... de1.....

PARÁMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
Azúcares	Interno	% p/p	<0,1
Aceites y Grasas	AOAC 2003.05	% p/p	<0,1
*pH	Potenciométrico	Unidades de pH	7,790 25 °C

Factor de conversión 6.25 *Solución al 10%

AOAC: Official Method Analysis
POE: Procedimiento interno


 RESPONSABLE DE ANÁLISIS


 RESPONSABLE DE SUPERVISION

CENTROCESAL Cia. Ltda. CENTROCESAL Cia. Ltda.

Notas:
ND: No declara **NA: No aplica**
 NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
 NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
 NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda. se responsabiliza únicamente de los análisis.
 NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
 NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
 NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.
 NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4.
 NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.
 NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.

ref.:POE:7.8.1 Rev.:02 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús
 Tels: (593 2) 2230342 / 2233792 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872
 e-mail: info@centrocesal.com, www.centrocesal.com
 QUITO - ECUADOR

Anexo 3.

Contenido de azúcares, aceites-grasas, proteína y nivel de pH en la pluma de pollo criollo no tratada

CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES CENTROCESAL Cía. Ltda. AREA QUÍMICA			
INFORME DE ENSAYO No.: 33176-02-25-11-19-Q			
Datos del Cliente			
Cliente:	ROMERO ESPARZA ALEXIS XAVIER		
Representante:	Alexis Romero		
Dirección:	Loja - Barrio Consacola		
Teléfono:	0986850637		
Datos del ítem de Ensayo			
Identificación de la Muestra:	PLUMA DE POLLO CRIOLLO (SIN TRATAMIENTO)		
Descripción de la Muestra:	Sólido heterogéneo color blanco		
Contenido declarado:	300g	No. Lote o código:	ND
Conservación de la Muestra:	Ambiente	Fecha de elaboración:	ND
		Fecha de caducidad:	ND
Datos de Muestreo, Recepción y Análisis			
Muestreo:	Por el cliente	Fecha de muestreo:	ND
	Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió.	Fecha de recepción:	2019-11-15
		Fechas de ensayo:	2019-11-18
		Fecha de reporte:	2019-11-25

Resultados analíticos:

Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
Azúcares	Interno	% p/p	0,87
Aceites y Grasas	AOAC 2003.05	% p/p	3,20
*Proteína	POE: 5.4.91 AOAC 2001.11	% p/p	83,56
*pH	Potenciométrico	Unidades de pH	5,474 25,2 °C

Factor de conversión 6.25

AOAC: Official Method Analysis
POE: Procedimiento interno

*Solución al 10%




RESPONSABLE DE ANALISIS RESPONSABLE DE SUPERVISION

Notas:

ND: No declara **NA: No aplica**

- NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
- NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
- NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cía. Ltda, se responsabiliza únicamente de los análisis.
- NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
- NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
- NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.
- NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4
- NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.
- NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL

Intef.:POE:7.8.1 Rev.:02 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús
 Telfs: (593 2) 2230342 / 2233792 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872
 e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com
 QUITO - ECUADOR

Anexo 4.

Contenido de azúcares, aceites-grasas y nivel de pH en la pluma de pollo criollo tratada



CENTRO DE SOLUCIONES ANALITICAS INTEGRALES
CENTROCESAL Cia. Ltda.
AREA QUÍMICA

INFORME DE ENSAYO No.: 33176-02-25-11-19-Q

Datos del Cliente

Cliente: ROMERO ESPARZA ALEXIS XAVIER
Representante: Alexis Romero
Dirección: Loja - Barrio Consacola
Teléfono: 0986850637

Datos del ítem de Ensayo

Identificación de la Muestra: PLUMA DE POLLO CRIOLLO (CON TRATAMIENTO)
Descripción de la Muestra: Sólido heterogéneo color blanco
Contenido declarado: 300g
Conservación de la Muestra: Ambiente

No. Lote o código: ND
Fecha de elaboración: ND
Fecha de caducidad: ND

Datos de Muestreo, Recepción y Análisis

Muestreo: Por el cliente
 Los resultados se aplican a la muestra tal cual como se recibió.

Fecha de muestreo: ND
Fecha de recepción: 2019-11-15
Fechas de ensayo: 2019-11-18
Fecha de reporte: 2019-11-25

Resultados analíticos: Pag.: 1 de 1

PARÁMETRO	METODO	UNIDADES	RESULTADO
Azúcares	Interno	% p/p	<0,1
Aceites y Grasas	AOAC 2003.05	% p/p	<0,1
*pH	Potenciométrico	Unidades de pH	7,475 25,2 °C

Factor de conversión 6.25
 AOAC: Official Method Analysis
 POE: Procedimiento interno

*Solución al 10%


 RESPONSABLE DE ANALISIS


 RESPONSABLE DE SUPERVISION

Nota: **ND: No declara NA: No aplica**
 NOTA 1: Los resultados reportados son válidos solo para las muestras analizadas de este reporte.
 NOTA 2: Los ensayos son realizados a temperatura ambiente excepto donde se especifique. Las condiciones ambientales de temperatura y humedad no influyen en este análisis.
 NOTA 3: Muestras recibidas en el laboratorio e información de las mismas proporcionada por el cliente. CENTROCESAL Cia. Ltda, se responsabiliza únicamente de los análisis.
 NOTA 4: La declaración sobre la incertidumbre de medición, se puede solicitar al laboratorio y será información cuando el cliente lo requiera o cuando afecte a los límites de una especificación.
 NOTA 5: El tiempo de permanencia de las muestras en el laboratorio corresponde a perecibles: 48 horas y no perecibles: 20 días desde la entrega del resultado.
 NOTA 6: Todas las actividades son realizadas en las instalaciones del laboratorio excepto donde se especifique.
 NOTA 7: La declaración de conformidad está dada de acuerdo a la guía ISO 98-4
 NOTA 8: Los datos suministrados por cliente y los requisitos de recepción de ítem de ensayo que afectan a la validez de los resultados serán declarados en observaciones.
 NOTA 9: Toda información que sea proporcionada por el cliente y que afecta a la validez resultados, es exclusiva responsabilidad de quienes las emiten y no representa responsabilidad para CENTROCESAL.

fref.:POE7.8.1 Rev.:02 Anexo 1

Este informe no podrá ser reproducido parcial o totalmente, sin la autorización escrita del Laboratorio

Av. América N31-232 y Av. Mariana de Jesús
 Telfs: (093 2) 2230342 / 2233792 Fax: Ext. 102 Celular: 099649872
 e-mail: info@centrocesal.com / www.centrocesal.com
 QUITO - ECUADOR

Anexo 5.

Análisis granulométrico del árido fino

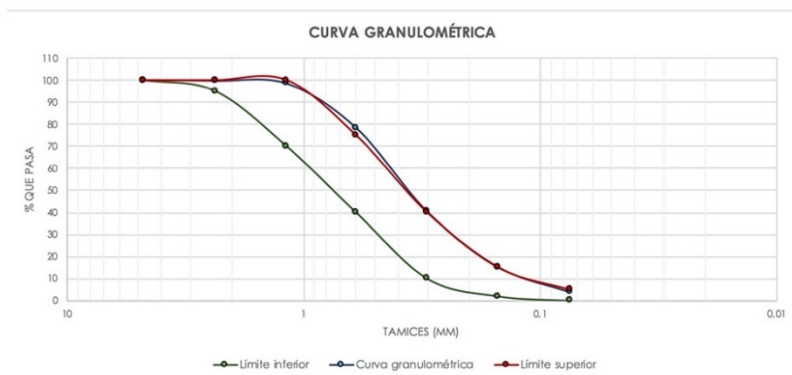


GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
 GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
 CEL: 0994974048

MATERIAL:	ARENA NATURAL		
PROCEDENCIA:	RÍO MALACATOS		
SITIO:	MALACATOS		
FECHA:	25/11/2019	OPERADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE ÁRIDOS FINOS – ASTM C 144-04 / NTE INEN 2536											
TAMIZ Nº	TAMIZ mm	MUESTRA RETENIDA		MUESTRA ACUMULADA		MUESTRA PASANTE		LÍMITES DE % A PASAR		MÓDULO DE FINURA	
		g	%	g	%	g	%	INFERIOR	SUPERIOR		
4	4.75	0	0	0	0	2200	100.00	100	100	2.6	
8	2.36	8	0.36	8	0.36	2192	99.64	95	100		
16	1.18	27	1.23	35	1.59	2165	98.41	70	100		
30	0.6	442	20.09	477	21.68	1723	78.32	40	75		
50	0.3	835	37.95	1312	59.64	888	40.36	10	35		
100	0.15	554	25.18	1866	84.82	334	15.18	2	15		
200	0.075	249	11.32	2115	96.14	85	3.86	0	5		
FONDO		85	3.86								
TOTAL		2200	100.00								




 ING. RAMIRO JIMÉNEZ
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 6.

Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base



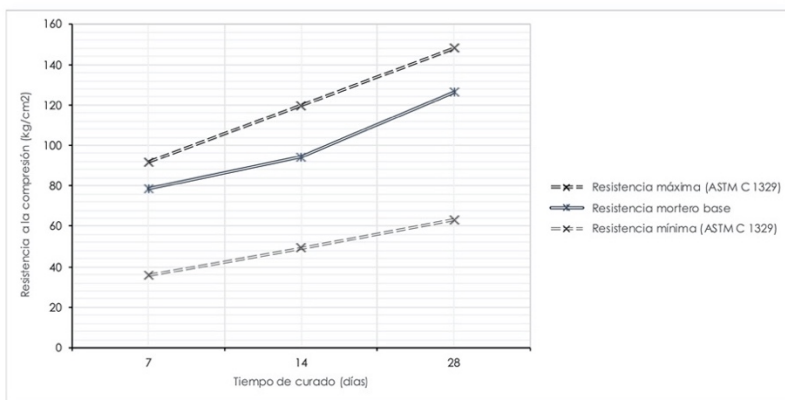
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
ESCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2019

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE) – NTE INEN 488 / ASTM C 109							
Ensayo a compresión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (8,7 % del promedio)	Resistencia de acuerdo a la norma ASTM C 1329	
						Mín. (kg/cm ²)	Máx. (kg/cm ²)
29 – nov. – 2019	06 – dic. – 2019	X ₁	85	78,7	8,1	35,7	91,8
		X ₁	78				
		X ₁	73				
Ensayo a compresión – 14 días de curado							
29 – nov. – 2019	13 – dic. – 2019	X ₂	102	94,3	8,1	-	-
		X ₂	94				
		X ₂	87				
Ensayo a compresión – 28 días de curado (F _c = 120 kg/cm ²)							
29 – nov. – 2019	27 – dic. – 2019	X ₃	132	126,3	4,5	63,2	147,9
		X ₃	125				
		X ₃	122				

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice y cal hidratada.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 7.

Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo broiler



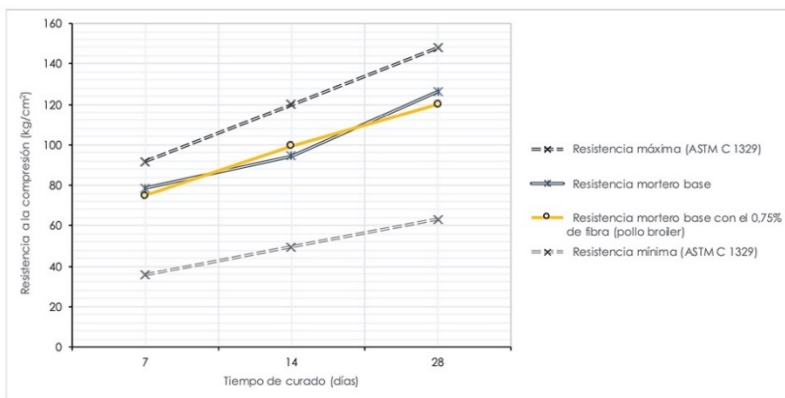
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
RECALZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2019

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 0,75% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – NTE INEN 488 / ASTM C 109							
Ensayo a compresión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (8,7 % del promedio)	Resistencia de acuerdo a la norma ASTM C 1329	
						Mín. (kg/cm ²)	Máx. (kg/cm ²)
29 - nov. - 2019	06 - dic. - 2019	A ₁	80	75,0	6,7	35,7	91,8
		A ₁	76				
		A ₁	69				
Ensayo a compresión – 14 días de curado							
29 - nov. - 2019	13 - dic. - 2019	A ₂	105	99,3	5,7	-	-
		A ₂	98				
		A ₂	95				
Ensayo a compresión – 28 días de curado (F'c = 120 kg/cm ²)							
29 - nov. - 2019	27 - dic. - 2019	A ₃	127	120,0	5,8	63,2	147,9
		A ₃	119				
		A ₃	114				

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 8.

Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo criollo



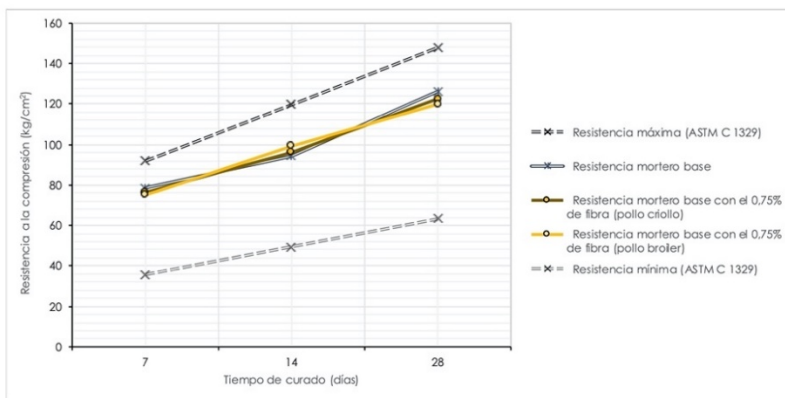
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
RECALZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2019

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 0,75% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – NTE INEN 488 / ASTM C 109							
Ensayo a compresión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (8,7 % del promedio)	Resistencia de acuerdo a la norma ASTM C 1329	
						Mín. (kg/cm ²)	Máx. (kg/cm ²)
29 – nov. – 2019	06 – dic. – 2019	A ₁ '	82	76,3	7,4	35,7	91,8
		A ₁ '	75				
		A ₁ '	72				
Ensayo a compresión – 14 días de curado							
29 – nov. – 2019	13 – dic. – 2019	A ₂ '	102	96,3	5,9	-	-
		A ₂ '	97				
		A ₂ '	90				
Ensayo a compresión – 28 días de curado (F'c = 120 kg/cm ²)							
29 – nov. – 2019	27 – dic. – 2019	A ₃ '	129	122,7	5,2	63,2	147,9
		A ₃ '	122				
		A ₃ '	117				

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso aglomerado, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 9.

Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo broiler



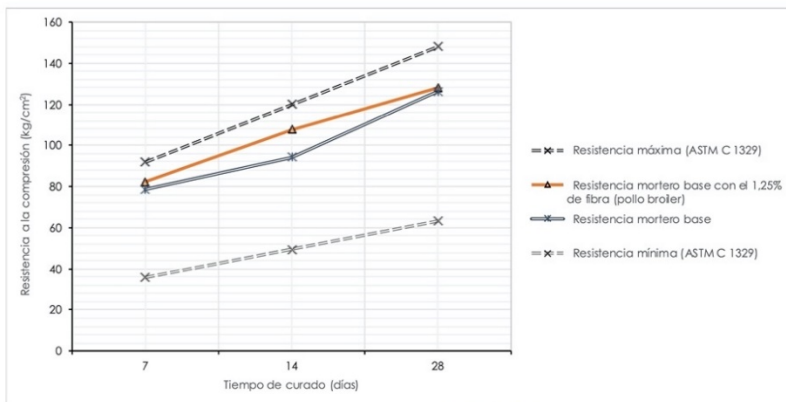
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2019

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 1,25% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – NTE INEN 488 / ASTM C 109							
Ensayo a compresión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (8,7 % del promedio)	Resistencia de acuerdo a la norma ASTM C 1329	
						Mín. (kg/cm ²)	Máx. (kg/cm ²)
02-dic.-2019	09-dic.-2019	B ₁	88	82,3	6,9	35,7	91,8
		B ₁	82				
		B ₁	77				
Ensayo a compresión – 14 días de curado							
02-dic.-2019	16-dic.-2019	B ₂	117	107,7	8,7	-	-
		B ₂	108				
		B ₂	98				
Ensayo a compresión – 28 días de curado (F'c = 120 kg/cm ²)							
02-dic.-2019	30-dic.-2019	B ₃	133	128,0	3,9	63,2	147,9
		B ₃	129				
		B ₃	122				

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso aglomerado, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 10.

Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo criollo



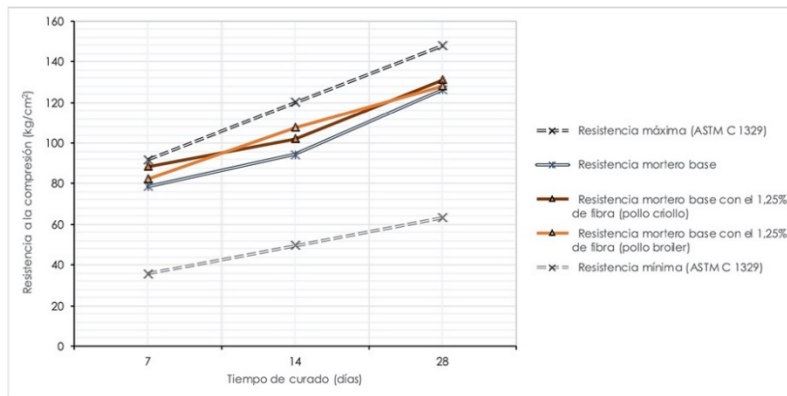
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
RECALZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2019

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 1,25% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – NTE INEN 488 / ASTM C 109							
Ensayo a compresión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (8,7 % del promedio)	Resistencia de acuerdo a la norma ASTM C 1329	
						Mín. (kg/cm ²)	Máx. (kg/cm ²)
02-nov.-2019	09-dic.-2019	B ₁ '	94	88,3	6,4	35,7	91,8
		B ₁ '	89				
		B ₁ '	82				
Ensayo a compresión – 14 días de curado							
02-nov.-2019	16-dic.-2019	B ₂ '	105	102,0	2,9	-	-
		B ₂ '	103				
		B ₂ '	98				
Ensayo a compresión – 28 días de curado (F'c = 120 kg/cm ²)							
02-nov.-2019	30-dic.-2019	B ₃ '	137	131,0	4,6	63,2	147,9
		B ₃ '	130				
		B ₃ '	126				

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 11.

Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo broiler



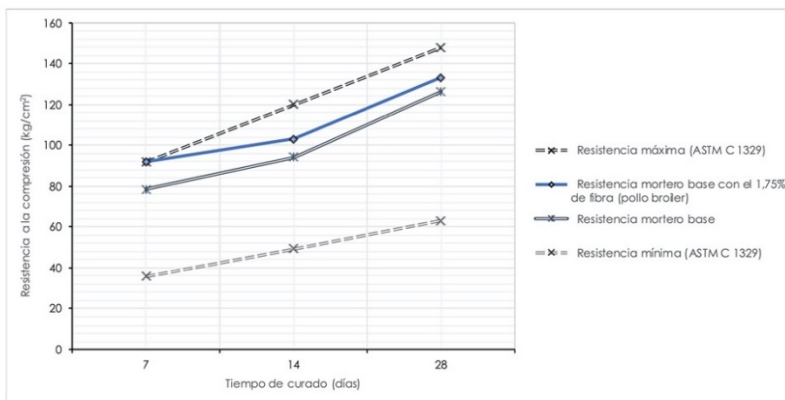
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REVISOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2019

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 1,75% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – NTE INEN 488 / ASTM C 109							
Ensayo a compresión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (8,7 % del promedio)	Resistencia de acuerdo a la norma ASTM C 1329	
						Mín. (kg/cm ²)	Máx. (kg/cm ²)
06-dic.-2019	13-dic.-2019	C ₁	96	92,0	4,3	35,7	91,8
		C ₁	93				
		C ₁	87				
Ensayo a compresión – 14 días de curado							
06-dic.-2019	20-dic.-2019	C ₂	112	103,0	8,7	-	-
		C ₂	102				
		C ₂	95				
Ensayo a compresión – 28 días de curado (F _c = 120 kg/cm ²)							
06-dic.-2019	03-ene.-2020	C ₃	139	133,3	4,2	63,2	147,9
		C ₃	135				
		C ₃	126				

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso aglomerado, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 12.

Resultados de la resistencia a la compresión – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo criollo



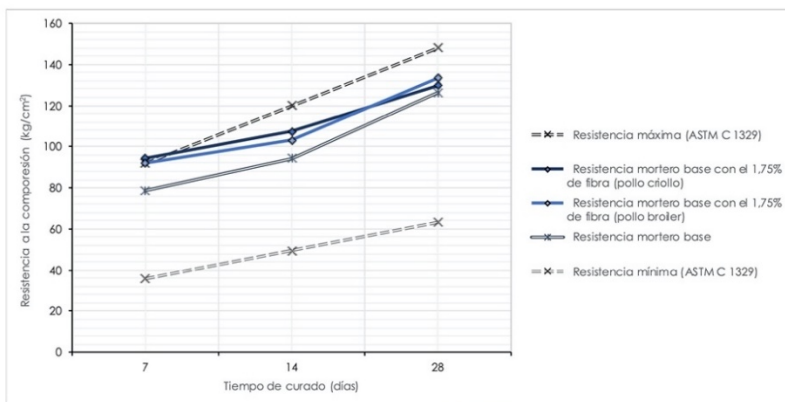
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2019

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 1,75% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – NTE INEN 488 / ASTM C 109							
Ensayo a compresión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (8,7 % del promedio)	Resistencia de acuerdo a la norma ASTM C 1329	
						Mín. (kg/cm ²)	Máx. (kg/cm ²)
06-dic.-2019	13-dic.-2019	C ₁ '	99	94,3	4,9	35,7	91,8
		C ₁ '	98				
		C ₁ '	86				
Ensayo a compresión – 14 días de curado							
06-dic.-2019	20-dic.-2019	C ₂ '	114	107,3	6,2	-	-
		C ₂ '	105				
		C ₂ '	103				
Ensayo a compresión – 28 días de curado (F'c = 120 kg/cm ²)							
06-dic.-2019	03-ene.-2020	C ₃ '	133	129,7	2,6	63,2	147,9
		C ₃ '	129				
		C ₃ '	127				

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 13.

Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base



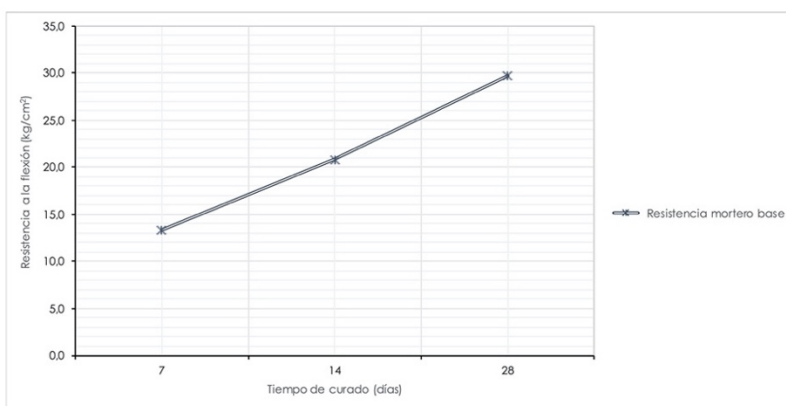
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TEL: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PRISMAS DE 40X40X160 mm (MORTERO BASE) – NTE INEN 198 / ASTM C 348							
Ensayo a flexión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (libf = 4.44822 N)	Tamaño particular del espécimen	Resistencia a la flexión (1Mpa = 10,1972 kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (14,4% del promedio)
09-dic.-2019	16-dic.-2019	X ₁	578,27	0,0023437	13,8	13,4	3,4
		X ₁	560,48		13,4		0,3
		X ₁	538,23		12,9		3,7
Ensayo a flexión – 14 días de curado							
09-dic.-2019	23-dic.-2019	X ₂	947,47	0,0023437	22,6	20,8	8,7
		X ₂	871,85		20,8		0,0
		X ₂	796,23		19,0		8,7
Ensayo a flexión – 28 días de curado							
09-dic.-2019	06-ene.-2020	X ₃	1298,88	0,0023437	31,0	29,7	4,4
		X ₃	1241,05		29,7		0,2
		X ₃	1192,12		28,5		4,2

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice y cal hidratada.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 14.

Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo broiler



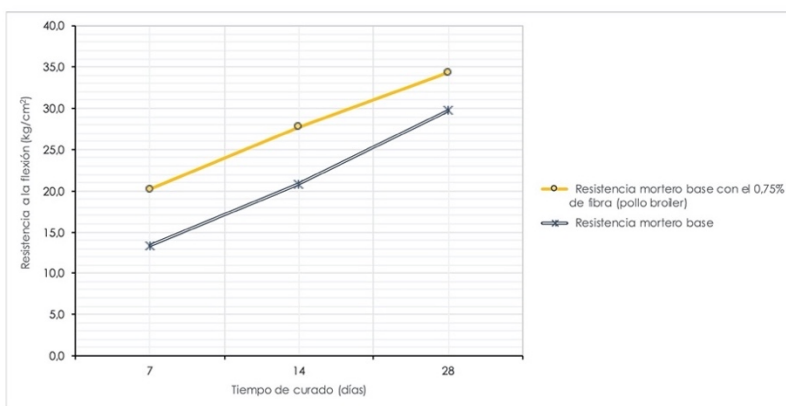
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PRISMAS DE 40X40X160 mm (MORTERO BASE CON EL 0,75% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – NTE INEN 198 / ASTM C 348							
Ensayo a flexión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (libf = 4.44822 N)	Tamaño particular del espécimen	Resistencia a la flexión (1Mpa = 10,1972 kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (14,4% del promedio)
09-dic.-2019	16-dic.-2019	A ₁	934.13	0,0023437	22.3	20.2	10.5
		A ₁	827.37		19.8		2.1
		A ₁	773.99		18.5		8.4
Ensayo a flexión – 14 días de curado							
09-dic.-2019	23-dic.-2019	A ₂	1223.26	0,0023437	29.2	27.7	5.4
		A ₂	1165.43		27.9		0.4
		A ₂	1094.26		26.2		5.7
Ensayo a flexión – 28 días de curado							
09-dic.-2019	06-ene.-2020	A ₃	1543.53	0,0023437	36.9	34.3	7.4
		A ₃	1459.02		34.9		1.5
		A ₃	1307.78		31.3		9.0

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 15.

Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo criollo



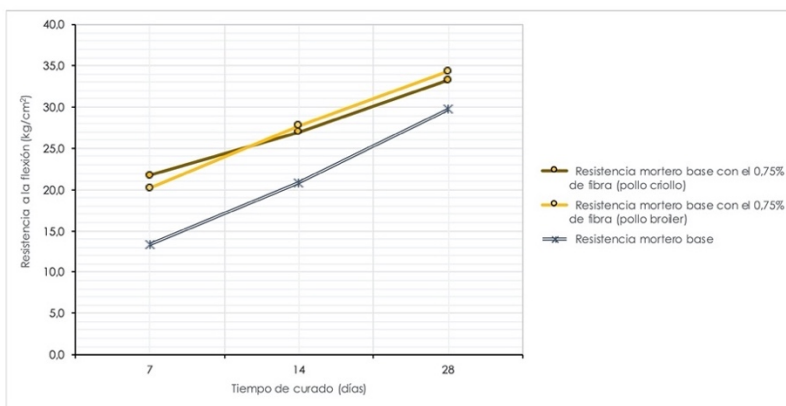
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PRISMAS DE 40X40X160 mm (MORTERO BASE CON EL 0,75% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – NTE INEN 198 / ASTM C 348							
Ensayo a flexión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (libf = 4.44822 N)	Tamaño particular del espécimen	Resistencia a la flexión (1Mpa = 10.1972 kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (14.4% del promedio)
09-dic.-2019	16-dic.-2019	A ₁ '	1000,85	0,0023437	23,9	21,8	9,9
		A ₁ '	925,23		22,1		1,6
		A ₁ '	805,13		19,2		11,6
Ensayo a flexión – 14 días de curado							
09-dic.-2019	23-dic.-2019	A ₂ '	1254,40	0,0023437	30,0	27,0	11,0
		A ₂ '	1138,74		27,2		0,8
		A ₂ '	996,40		23,8		11,8
Ensayo a flexión – 28 días de curado							
09-dic.-2019	06-ene.-2020	A ₃ '	1476,81	0,0023437	35,3	33,3	6,1
		A ₃ '	1401,19		33,5		0,6
		A ₃ '	1298,88		31,0		6,7

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 16.

Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo broiler



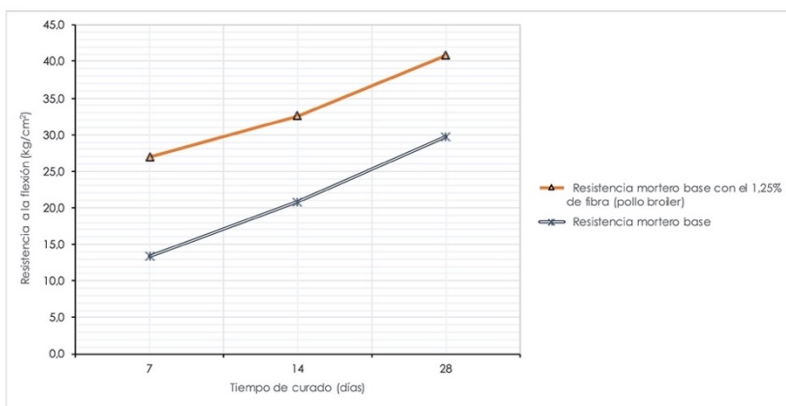
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PRISMAS DE 40X40X160 mm (MORTERO BASE CON EL 1,25% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – NTE INEN 198 / ASTM C 348							
Ensayo a flexión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (libra = 4,44822 N)	Tamaño particular del espécimen	Resistencia a la flexión (1Mpa = 10,1972 kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (14,4% del promedio)
12-dic.-2019	19-dic.-2019	B ₁	1187,67	0,0023437	28,4	26,9	5,4
		B ₂	1129,85		27,0		0,3
		B ₃	1063,12		25,4		5,7
Ensayo a flexión – 14 días de curado							
12-dic.-2019	26-dic.-2019	B ₂	1454,57	0,0023437	34,8	32,5	6,9
		B ₂	1338,91		32,0		1,6
		B ₂	1289,98		30,8		5,2
Ensayo a flexión – 28 días de curado							
12-dic.-2019	09-ene.-2020	B ₂	1846,01	0,0023437	44,1	40,8	8,1
		B ₃	1668,08		39,9		2,3
		B ₃	1610,26		38,5		5,7

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 17.

Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo criollo



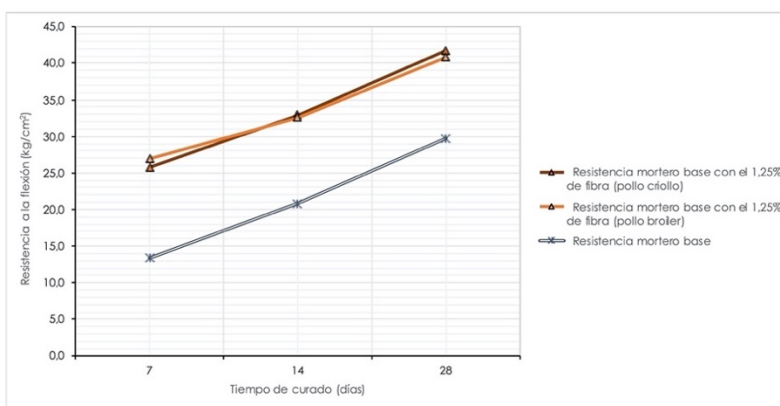
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TEL: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
RECALZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PRISMAS DE 40X40X160 mm (MORTERO BASE CON EL 1,25% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – NTE INEN 198 / ASTM C 348							
Ensayo a flexión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (libf = 4.44822 N)	Tamaño particular del espécimen	Resistencia a la flexión (1Mpa = 10.1972 kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (14.4% del promedio)
12 - dic. - 2019	19 - dic. - 2019	B ₁ '	1134,30	0.0023437	27,1	25,8	5,2
		B ₁ '	1103,16		26,4		2,3
		B ₁ '	996,40		23,8		7,6
Ensayo a flexión – 14 días de curado							
12 - dic. - 2019	26 - dic. - 2019	B ₂ '	1490,15	0.0023437	35,6	32,9	8,3
		B ₂ '	1401,19		33,5		1,8
		B ₂ '	1236,61		29,6		10,1
Ensayo a flexión – 28 días de curado							
12 - dic. - 2019	09 - ene. - 2020	B ₃ '	1899,39	0.0023437	45,4	41,7	8,7
		B ₃ '	1712,56		40,9		2,0
		B ₃ '	1628,05		38,9		6,8

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 18.

Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo broiler



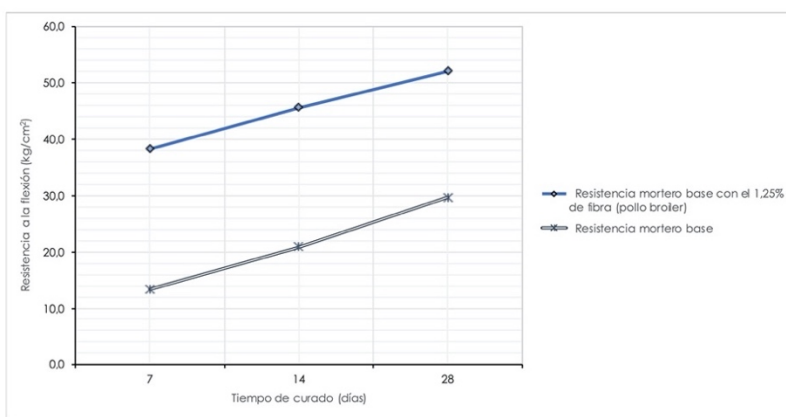
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PRISMAS DE 40X40X160 mm (MORTERO BASE CON EL 1,75% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – NTE INEN 198 / ASTM 348							
Ensayo a flexión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (libf = 4.44822 N)	Tamaño particular del espécimen	Resistencia a la flexión (1Mpa = 10,1972 kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (14,4% del promedio)
13 - dic. - 2019	20 - dic. - 2019	C ₁	1761,50	0,0023437	42,1	38,2	10,1
		C ₁	1574,67		37,6		1,6
		C ₁	1463,46		35,0		8,5
Ensayo a flexión – 14 días de curado							
13 - dic. - 2019	27 - dic. - 2019	C ₂	2006,15	0,0023437	47,9	45,6	5,0
		C ₂	1921,63		45,9		0,6
		C ₂	1801,53		43,1		5,7
Ensayo a flexión – 28 días de curado							
13 - dic. - 2019	10 - ene. - 2020	C ₃	2344,21	0,0023437	56,0	52,1	7,6
		C ₃	2144,04		51,2		1,6
		C ₃	2046,18		48,9		6,1

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 19.

Resultados de la resistencia a la flexión – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo criollo



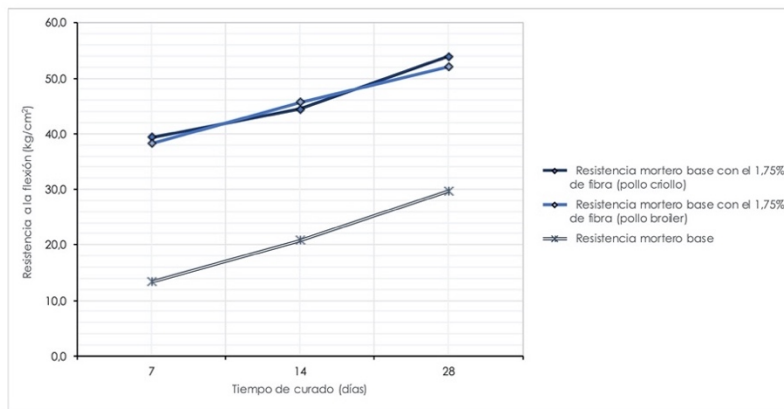
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
RECALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN PRISMAS DE 40X40X160 mm (MORTERO BASE CON EL 1,75% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – NTE INEN 198 / ASTM 348							
Ensayo a flexión – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (libf = 4.44822 N)	Tamaño particular del espécimen	Resistencia a la flexión (1Mpa = 10.1972 kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Rango máximo de variación (14.4% del promedio)
13 - dic. - 2019	20 - dic. - 2019	C ₁ '	1859,36	0,0023437	44,4	39,3	13,1
		C ₁ '	1588,01		38,0		3,4
		C ₁ '	1485,71		35,5		9,6
Ensayo a flexión – 14 días de curado							
13 - dic. - 2019	27 - dic. - 2019	C ₂ '	1979,46	0,0023437	47,3	44,5	6,4
		C ₂ '	1832,67		43,8		-1,5
		C ₂ '	1770,39		42,3		4,9
Ensayo a flexión – 28 días de curado							
13 - dic. - 2019	10 - ene. - 2020	C ₃ '	2406,49	0,0023437	57,5	54,0	6,6
		C ₃ '	2268,59		54,2		0,5
		C ₃ '	2099,56		50,2		7,0

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 20.

Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base



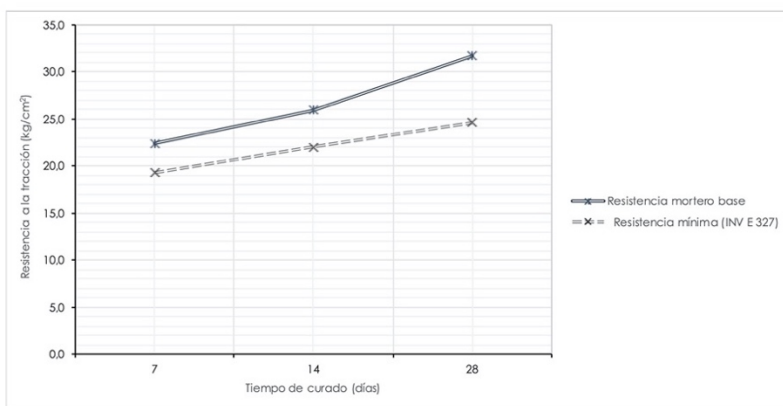
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BRIQUETAS (MORTERO BASE) – ASTM C 307							
Ensayo a tracción – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (kgf)	Área en la cintura de la briqueleta probada (cm ²)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia mínima de acuerdo a la norma INV E 327 (kg/cm ²)
26 – dic. – 2019	03 – ene. – 2020	X ₁	156,0	6,50	24,0	22,4	19,3
		X ₂	145,0	6,63	21,9		
		X ₃	139,0	6,50	21,4		
Ensayo a tracción – 14 días de curado							
26 – dic. – 2019	10 – ene. – 2020	X ₁	176,0	6,25	28,2	26,0	–
		X ₂	163,00	6,38	25,6		
		X ₃	157,0	6,50	24,2		
Ensayo a tracción – 28 días de curado							
26 – dic. – 2019	24 – ene. – 2020	X ₁	209,00	6,63	31,5	31,7	24,6
		X ₂	204,00	6,25	32,6		
		X ₃	197,00	6,38	30,9		

Nota: (1) Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice y cal hidratada. (2) El rango máximo de variación entre dos ensayos de una misma batchada de mortero elaborada con los mismos materiales es de 16,7 %.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 21.

Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo broiler



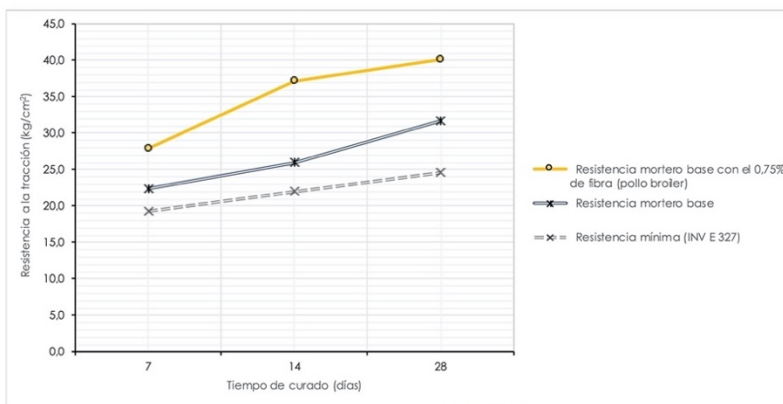
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TEL: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BRIQUETAS (MORTERO BASE CON EL 0,75% DE POLLO BROILER) – ASTM C 307							
Ensayo a tracción – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (kgf)	Área en la cintura de la briqueña probada (cm ²)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia mínima de acuerdo a la norma INV E 327 (kg/cm ²)
26 – dic. – 2019	03 – ene. – 2020	A ₁	193,0	6,63	29,1	27,9	19,3
		A ₁	189,00	6,50	29,1		
		A ₁	166,00	6,50	25,5		
Ensayo a tracción – 14 días de curado							
26 – dic. – 2019	10 – ene. – 2020	A ₂	253,0	6,25	40,5	37,2	–
		A ₂	235,0	6,38	36,9		
		A ₂	214,0	6,25	34,2		
Ensayo a tracción – 28 días de curado							
26 – dic. – 2019	24 – ene. – 2020	A ₃	280,0	6,25	44,8	40,1	24,6
		A ₃	276,0	6,63	41,6		
		A ₃	225,0	6,63	33,9		

Nota: (1) Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra. (2) El rango máximo de variación entre dos ensayos de una misma bacheada de mortero elaborada con los mismos materiales es de 16,7 %.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 22.

Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo criollo



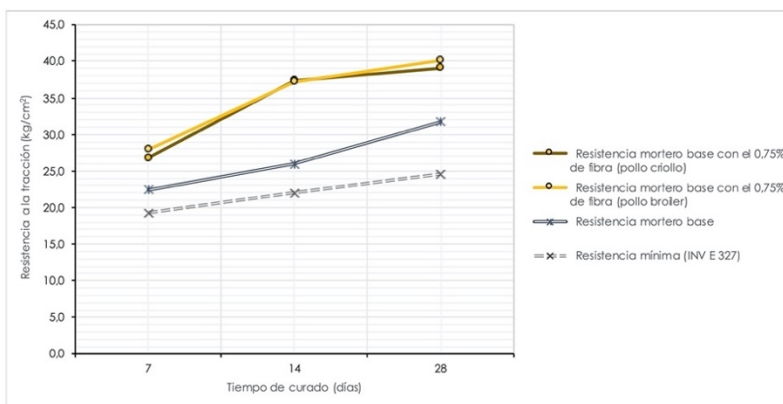
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BRIQUETAS (MORTERO BASE CON EL 0,75% DE POLLO CRIOLLO) – ASTM C 307							
Ensayo a tracción – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (kgf)	Área en la cintura de la briqueleta probada (cm ²)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia mínima de acuerdo a la norma INV E 327 (kg/cm ²)
26 – dic. – 2019	03 – ene. – 2020	A ₁ ¹	185,0	6,50	28,5	26,8	19,3
		A ₁ ²	172,0	6,38	27,0		
		A ₁ ³	169,0	6,76	25,0		
Ensayo a tracción – 14 días de curado							
26 – dic. – 2019	10 – ene. – 2020	A ₂ ¹	248,0	6,25	39,7	37,4	-
		A ₂ ²	237,0	6,50	36,5		
		A ₂ ³	230,0	6,38	36,1		
Ensayo a tracción – 28 días de curado							
26 – dic. – 2019	24 – ene. – 2020	A ₃ ¹	260,0	6,50	40,0	39,1	24,6
		A ₃ ²	258,0	6,50	39,7		
		A ₃ ³	239,0	6,38	37,5		

Nota: (1) Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra. (2) El rango máximo de variación entre dos ensayos de una misma bacheada de mortero elaborada con los mismos materiales es de 16,7 %.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 23.

Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo broiler



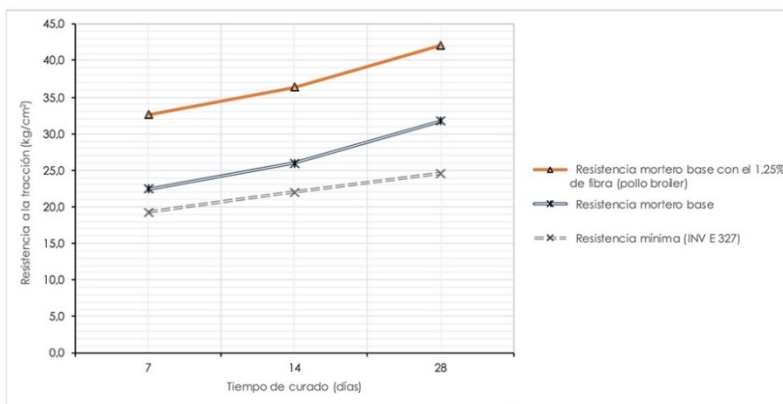
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
FISCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BRIQUETAS (MORTERO BASE CON EL 1,25% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – ASTM C 307							
Ensayo a tracción – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (kgf)	Área en la cintura de la briqueta probada (cm ²)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia mínima de acuerdo a la norma INV E 327 (kg/cm ²)
26 – dic. – 2019	03 – ene. – 2020	B ₁	213.00	6.25	34.1	32.6	19.3
		B ₁	211.00	6.38	33.1		
		B ₁	195.00	6.38	30.6		
Ensayo a tracción – 14 días de curado							
26 – dic. – 2019	10 – ene. – 2020	B ₂	242.00	6.50	37.2	36.3	–
		B ₂	239.00	6.63	36.1		
		B ₂	227.00	6.38	35.6		
Ensayo a tracción – 28 días de curado							
26 – dic. – 2019	24 – ene. – 2020	B ₃	286.00	6.63	43.1	42.1	24.6
		B ₃	267.00	6.25	42.7		
		B ₃	252.00	6.25	40.3		

Nota: [1] Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agüicola, humo de sílice, cal hidratada y fibra. [2] El rango máximo de variación entre dos ensayos de una misma batchada de mortero elaborada con los mismos materiales es de 16,7%.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 24.

Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo criollo



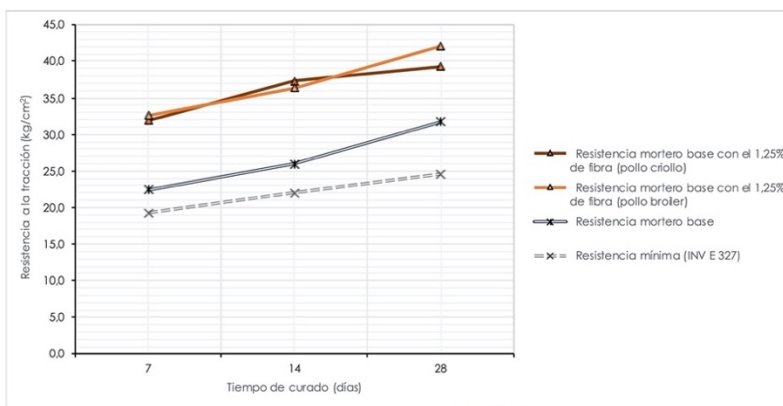
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BRIQUETAS (MORTERO BASE CON EL 1,25% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – ASTM C 307							
Ensayo a tracción – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (kgf)	Área en la cintura de la briqueta probada (cm ²)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia mínima de acuerdo a la norma INV E 327 (kg/cm ²)
27 – dic. – 2019	03 – ene. – 2020	B ₁ '	225,00	6,50	34,6	31,9	19,3
		B ₁ '	209,00	6,63	31,5		
		B ₁ '	192,00	6,50	29,5		
Ensayo a tracción – 14 días de curado							
27 – dic. – 2019	10 – ene. – 2020	B ₂ '	247,00	6,39	38,7	37,3	-
		B ₂ '	231,00	6,25	37,0		
		B ₂ '	226,00	6,25	36,2		
Ensayo a tracción – 28 días de curado							
27 – dic. – 2019	24 – ene. – 2020	B ₃ '	260,00	6,25	41,6	39,3	24,6
		B ₃ '	254,00	6,63	38,3		
		B ₃ '	251,00	6,63	37,9		

Nota: (1) Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra. (2) El rango máximo de variación entre dos ensayos de una misma batchada de mortero elaborada con los mismos materiales es de 16,7 %.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 25.

Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo broiler



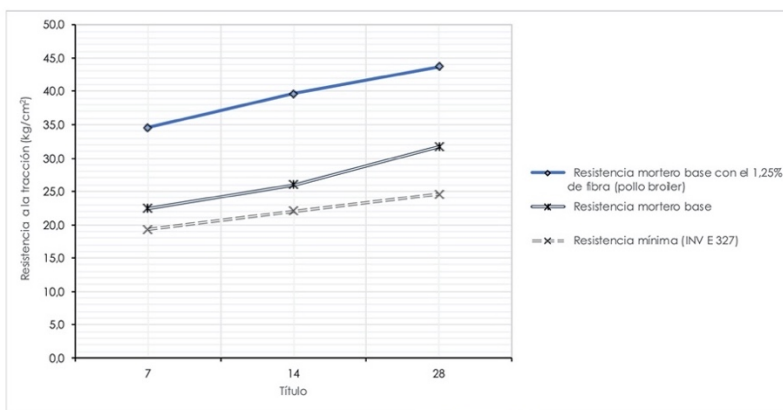
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
INSCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BRIQUETAS (MORTERO BASE CON EL 1,75% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – ASTM C 307							
Ensayo a tracción – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (kgf)	Área en la cintura de la briqueta probada (cm ²)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia mínima de acuerdo a la norma INV E 327 (kg/cm ²)
27 – dic. – 2019	03 – ene. – 2020	C ₁	232,0	6,50	35,7	34,6	19,3
		C ₁	227,0	6,38	35,6		
		C ₁	207,0	6,38	32,5		
Ensayo a tracción – 14 días de curado							
27 – dic. – 2019	10 – ene. – 2020	C ₂	265,00	6,50	40,8	39,7	-
		C ₂	253,00	6,25	40,5		
		C ₂	236,00	6,25	37,8		
Ensayo a tracción – 28 días de curado							
27 – dic. – 2019	24 – ene. – 2020	C ₃	295,00	6,63	44,5	43,7	24,6
		C ₃	286,00	6,50	44,0		
		C ₃	271,00	6,38	42,5		

Nota: (1) Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra. (2) El rango máximo de variación entre dos ensayos de una misma batchada de mortero elaborada con los mismos materiales es de 16,7 %.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 26.

Resultados de la resistencia a la tracción – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo criollo



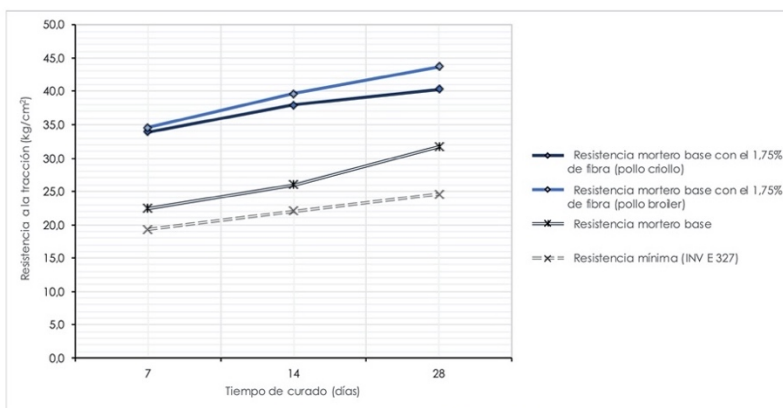
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
REALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	27/01/2020

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN BRIQUETAS (MORTERO BASE CON EL 1,75% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – ASTM C 307							
Ensayo a tracción – 7 días de curado							
Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (7, 14 y 28 días)	Carga máxima aplicada (kgf)	Área en la cintura de la briqueta probada (cm ²)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)	Resistencia promedio (kg/cm ²)	Resistencia mínima de acuerdo a la norma INV E 327 (kg/cm ²)
27 – dic. – 2019	03 – ene. – 2020	C ₁ '	225,00	6,25	36,0	33,9	19,3
		C ₁ '	212,00	6,25	33,9		
		C ₁ '	202,00	6,38	31,7		
Ensayo a tracción – 14 días de curado							
27 – dic. – 2019	10 – ene. – 2020	C ₂ '	258,00	6,50	39,7	37,9	-
		C ₂ '	245,00	6,38	38,4		
		C ₂ '	232,00	6,50	35,7		
Ensayo a tracción – 28 días de curado							
27 – dic. – 2019	24 – ene. – 2020	C ₃ '	270,00	6,25	43,2	40,3	24,6
		C ₃ '	258,00	6,38	40,5		
		C ₃ '	237,00	6,38	37,2		

Nota: (1) Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra. (2) El rango máximo de variación entre dos ensayos de una misma batchada de mortero elaborada con los mismos materiales es de 16,7 %.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 27.

Resultados de la absorción de agua por inmersión – mortero base y reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo broiler



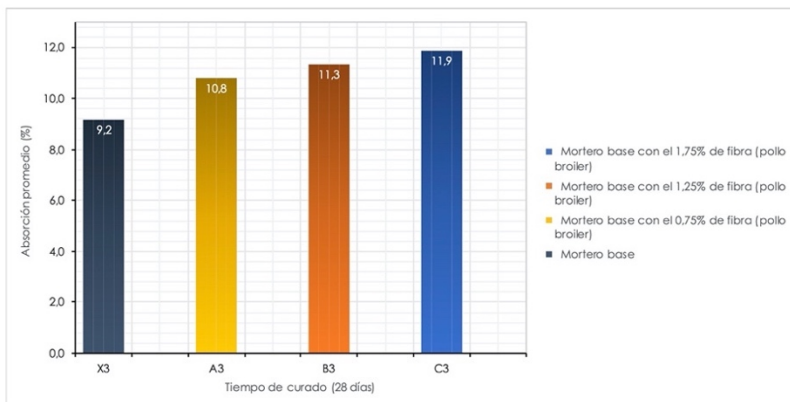
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
RECALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA – ASTM C 642									
Especificación de mortero	Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (28 días de curado)	Masa del espécimen en estado seco (g)	Masa del espécimen saturado (g)	Coefficiente de absorción (%)	Absorción promedio (%)		
Mortero base	07 - dic. - 2019	04 - ene. - 2020	X ₁ ¹	237,32	258,78	9,0	9,17		
			X ₂ ²	234,70	256,24	9,2			
			X ₃ ³	230,46	251,87	9,3			
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra natural de origen animal (pollo broiler)	0,75%	07 - dic. - 2019	04 - ene. - 2020	A ₁ ¹	221,68	245,47	10,7	10,80	
				A ₂ ²	220,45	244,53	10,9		
				A ₃ ³	218,51	242,02	10,8		
	1,25%	07 - dic. - 2019	04 - ene. - 2020	04 - ene. - 2020	B ₁ ¹	234,74	260,54	11,0	11,34
					B ₂ ²	231,35	258,36	11,7	
					B ₃ ³	229,87	255,98	11,4	
1,75%	07 - dic. - 2019	04 - ene. - 2020	04 - ene. - 2020	C ₁ ¹	247,12	276,71	12,0	11,88	
				C ₂ ²	244,39	273,35	11,8		
				C ₃ ³	243,20	271,92	11,8		

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 28.

Resultados de la absorción de agua por inmersión – mortero base y reforzado con varios porcentajes de fibra de pollo criollo



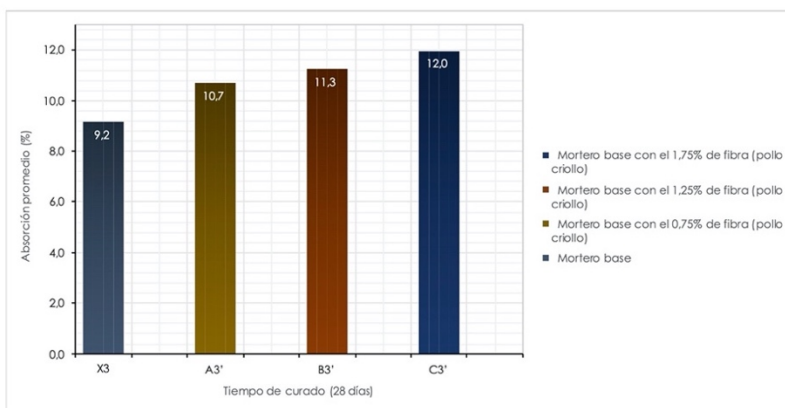
Código del
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TEL: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
RECALZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTÓN LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR INMERSIÓN EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA – ASTM C 642									
Especificación de mortero	Fecha de elaboración del espécimen	Fecha de aplicación del ensayo	Código del espécimen (28 días de curado)	Masa del espécimen en estado seco (g)	Masa del espécimen saturado (g)	Coefficiente de absorción (%)	Absorción promedio (%)		
Mortero base	07 - dic. - 2019	04 - ene. - 2020	X ₁ ¹	237,32	238,78	9,0	9,17		
			X ₂ ²	234,70	256,24	9,2			
			X ₃ ³	230,46	251,87	9,3			
Mortero base reforzado con varios porcentajes de fibra natural de origen animal (pollo criollo)	0,75%	07 - dic. - 2019	04 - ene. - 2020	A ₁ ¹	224,38	247,96	10,5	10,70	
				A ₂ ²	222,86	246,34	10,5		
				A ₃ ³	219,75	244,05	11,1		
	1,25%	07 - dic. - 2019	04 - ene. - 2020	04 - ene. - 2020	B ₁ ¹	233,22	258,92	11,0	11,26
					B ₂ ²	230,77	256,84	11,3	
					B ₃ ³	229,24	255,49	11,5	
1,75%	07 - dic. - 2019	04 - ene. - 2020	04 - ene. - 2020	C ₁ ¹	245,18	274,31	11,9	11,95	
				C ₂ ²	243,94	272,35	11,6		
				C ₃ ³	240,35	269,97	12,3		

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 29.

Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base



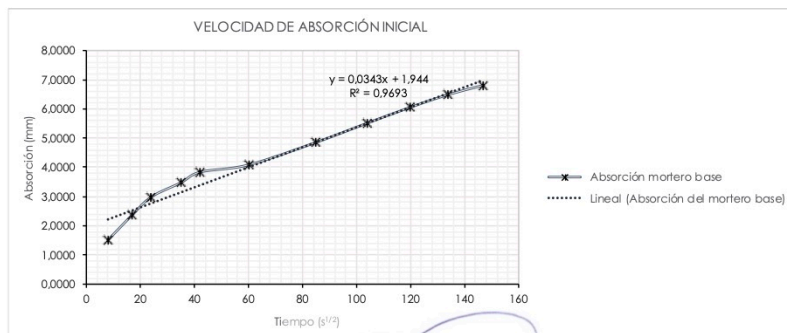
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
 GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA


TEL: 072-540907
 CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
FISCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE) – ASTM C 642									
Tiempo de ensayo			Masa de los diferentes especímenes (gr)			Masa promedio (gr)	M _i = Diferencia de masa (gr)	α = Área promedio de los especímenes (mm ²)	d = 0.001gr/mm ³
Días	Segundos	√Tiempo (s ^{1/2})	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²				
0	0	0	228.48	232.82	235.75	232.35	0.00	2575.5	0.0000
1 minuto	60	8	232.22	237.35	239.17	236.25	3.90		1.5130
5 minutos	300	17	234.66	239.58	241.15	238.46	6.11		2.3736
10 minutos	600	24	236.33	241.24	242.56	240.04	7.69		2.9871
20 minutos	1200	35	237.62	242.57	243.73	241.31	8.96		3.4776
30 minutos	1800	42	238.50	243.58	244.62	242.23	9.88		3.8374
40 minutos	2400	49	239.06	244.29	245.25	242.87	10.52		4.0833
2 horas	7200	85	241.07	246.35	247.14	244.85	12.50		4.8547
3 horas	10800	104	242.86	248.10	248.71	246.56	14.21		5.5161
4 horas	14400	120	244.28	249.55	250.04	247.96	15.61		6.0597
5 horas	18000	134	245.42	250.72	251.09	249.08	16.73		6.4945
6 horas	21600	147	246.23	251.60	251.84	249.89	17.54		6.8103
1	86400	294	247.42	252.91	252.97	251.10	18.75		7.2801
2	172800	416	248.18	253.85	253.80	251.94	19.59		7.6076
3	259200	509	248.61	254.36	254.25	252.41	20.06		7.7875
4	345600	588	248.85	254.66	254.49	252.67	20.32		7.8884
5	432000	657	249.01	254.88	254.64	252.71	20.36		7.9053
6	518400	720	248.95	254.50	254.61	252.69	20.34	7.8962	
7	604800	778	248.97	254.48	254.62	252.69	20.34	7.8975	

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice y cal hidratada.




 ING. RAMIRO JIMÉNEZ
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 30.

Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo broiler



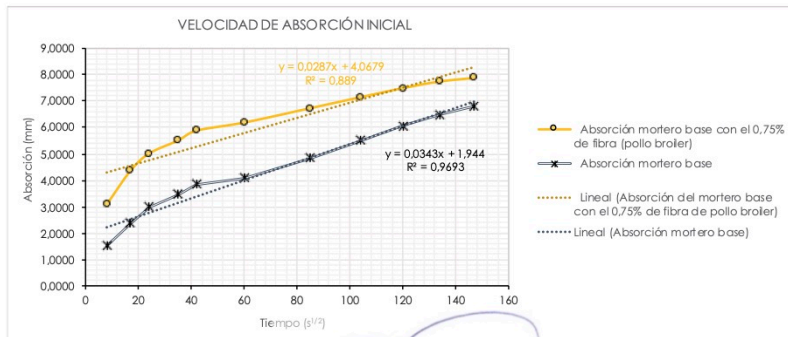
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
 GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA


TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
FISCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 0,75% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – ASTM C 642										
Tiempo de ensayo			Masa de los diferentes especímenes (gr)			Masa promedio (gr)	M _i = Diferencia de masa (gr)	a = Área promedio de los especímenes (mm ²)	d = 0,001gr/mm ³	Absorción = I = M _i / (a x d) (mm)
Días	Segundos	√Tiempo (s ^{1/2})	A _s ¹	A _s ²	A _s ³					
0	0	0	218,30	221,76	223,24	221,10	0,00	2601,0	0,0000	
1 minuto	60	8	227,09	228,55	231,72	229,12	8,02			
5 minutos	300	17	230,16	232,26	234,93	232,45	11,35			
10 minutos	600	24	231,85	234,07	236,50	234,14	13,04			
20 minutos	1200	35	232,98	235,49	237,83	235,43	14,33			
30 minutos	1800	42	233,70	236,54	238,97	236,40	15,30			
60 minutos	3600	60	234,38	237,40	239,82	237,20	16,10			
2 horas	7200	85	235,76	238,92	241,17	238,62	17,52			
3 horas	10800	104	236,87	239,98	242,26	239,70	18,60			
4 horas	14400	120	237,78	240,81	243,18	240,59	19,49			
5 horas	18000	134	238,41	241,40	243,93	241,25	20,15			
6 horas	21600	147	238,72	241,73	244,35	241,60	20,50			
1	86400	294	240,02	242,98	245,58	242,86	21,76			
2	172800	416	240,98	243,73	246,40	243,70	22,60			
3	259200	509	241,62	244,26	246,93	244,27	23,17			
4	345600	588	242,09	244,66	247,14	244,63	23,53			
5	432000	657	242,33	244,89	247,26	244,83	23,73			
6	518400	720	242,36	244,85	247,29	244,83	23,73			
7	604800	778	242,30	244,92	247,31	244,84	23,74			

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




 ING. RAMIRO JIMÉNEZ
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 31.

Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 0,75% de fibra de pollo criollo



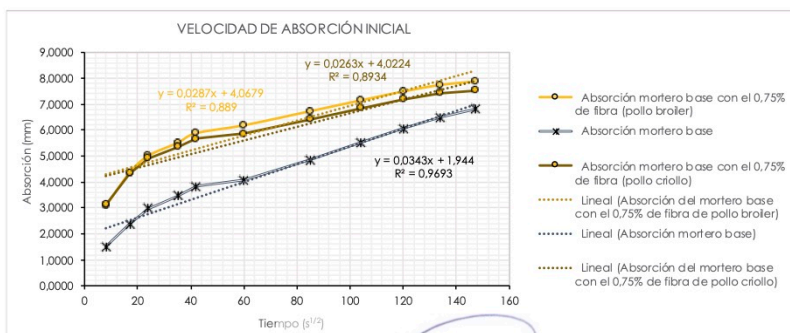
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TEL: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
FISCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 0,75% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – ASTM C 642									
Tiempo de ensayo			Masa de los diferentes especímenes (gr)			Masa promedio (gr)	M _i = Diferencia de masa (gr)	a = Área promedio de los especímenes (mm ²)	d = 0,001gr/mm ³
Días	Segundos	√Tiempo (s ^{1/2})	A ₁ ¹	A ₂ ²	A ₃ ³				
0	0	0	220,35	223,02	224,56	222,64	0,00	2580,5	0,0000
1 minuto	60	8	228,78	230,67	232,62	230,69	8,05		3,1183
5 minutos	300	17	232,46	233,82	235,27	233,85	11,21		4,3428
10 minutos	600	24	234,02	235,56	236,51	235,36	12,72		4,9293
20 minutos	1200	35	234,99	236,93	237,48	236,47	13,82		5,3568
30 minutos	1800	42	235,78	237,84	238,19	237,27	14,63		5,6682
60 minutos	3600	60	236,25	238,49	238,64	237,79	15,15		5,8710
2 horas	7200	85	237,76	239,90	239,90	239,19	16,54		6,4109
3 horas	10800	104	238,98	241,00	240,95	240,31	17,67		6,8462
4 horas	14400	120	239,96	241,88	241,78	241,21	18,56		7,1937
5 horas	18000	134	240,64	242,42	242,36	241,81	19,16		7,4262
6 horas	21600	147	240,90	242,69	242,58	242,06	19,41		7,5231
1	86400	294	242,04	243,87	243,70	243,20	20,56		7,9674
2	172800	416	242,78	244,56	244,41	243,92	21,27		8,2439
3	259200	509	243,22	245,04	244,77	244,34	21,70		8,4092
4	345600	588	243,39	245,35	244,96	244,57	21,92		8,4958
5	432000	657	243,45	245,49	244,95	244,63	21,99		8,5203
6	518400	720	243,49	245,45	244,90	244,61	21,97		8,5139
7	604800	778	243,46	245,38	244,94	244,59	21,95		8,5061

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 32.

Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo broiler



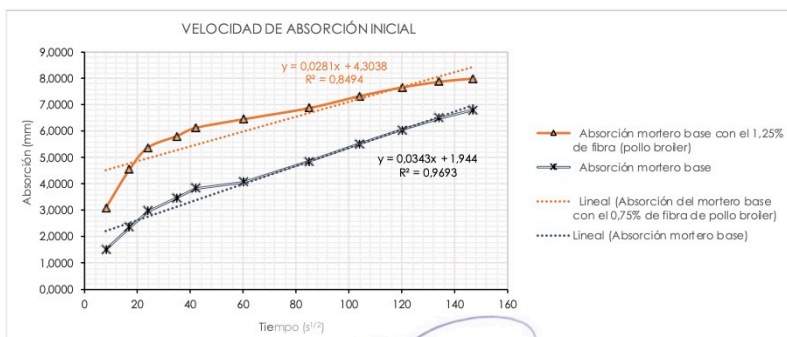
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TEL: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
FISCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 1,25% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – ASTM C 642									
Tiempo de ensayo			Masa de los diferentes especímenes (gr)			Masa promedio (gr)	M _i = Diferencia de masa (gr)	a = Área promedio de los especímenes (mm ²)	d = 0,001gr/mm ³ Absorción = $l = M_i / (a \times d)$ (mm)
Días	Segundos	√ Tiempo (s ^{1/2})	B ₁ ¹	B ₁ ²	B ₁ ³				
0	0	0	232,07	234,85	237,20	234,71	0,00	2601,0	0,0000
1 minuto	60	8	239,54	242,90	245,78	242,74	8,03	2601,0	3,0886
5 minutos	300	17	243,96	245,83	249,87	246,55	11,85	2601,0	4,5547
10 minutos	600	24	246,50	248,22	251,40	248,71	14,00	2601,0	5,3825
20 minutos	1200	35	247,73	249,29	252,54	249,85	15,15	2601,0	5,8234
30 minutos	1800	42	248,58	250,10	253,25	250,64	15,94	2601,0	6,1271
60 minutos	3600	60	249,16	251,55	253,78	251,50	16,79	2601,0	6,4552
2 horas	7200	85	250,54	252,05	255,22	252,60	17,90	2601,0	6,8807
3 horas	10800	104	251,72	253,28	256,33	253,78	19,07	2601,0	7,3318
4 horas	14400	120	252,60	254,21	257,08	254,63	19,92	2601,0	7,6599
5 horas	18000	134	253,17	254,82	257,57	255,19	20,48	2601,0	7,8739
6 horas	21600	147	253,52	255,19	257,84	255,52	20,81	2601,0	8,0008
1	86400	294	254,48	256,12	258,91	256,50	21,80	2601,0	8,3801
2	172800	416	255,20	256,85	259,66	257,24	22,53	2601,0	8,6621
3	259200	509	255,69	257,40	260,24	257,78	23,07	2601,0	8,8697
4	345600	588	255,98	257,84	260,37	258,06	23,36	2601,0	8,9799
5	432000	657	256,21	257,78	260,45	258,15	23,44	2601,0	9,0119
6	518400	720	256,15	257,85	260,42	258,14	23,43	2601,0	9,0094
7	604800	778	256,24	257,86	260,46	258,19	23,48	2601,0	9,0273

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 33.

Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 1,25% de fibra de pollo criollo



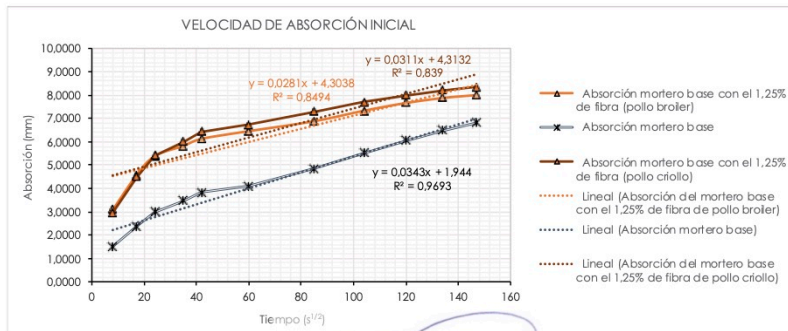
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
 GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA


TELF: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
FISCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 1,25% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – ASTM C 642									
Tiempo de ensayo			Masa de los diferentes especímenes (gr)			Masa promedio (gr)	M _i = Diferencia de masa (gr)	a = Área promedio de los especímenes (mm ²)	d = 0,001gr/mm ³ Absorción = l / l = M _i / (a x d) (mm)
Días	Segundos	√Tiempo (s ^{1/2})	B _s ¹	B _s ²	B _s ³				
0	0	0	229,78	232,86	233,90	232,18	0,00	2580,5	0,0000
1 minuto	60	8	237,09	240,15	242,24	239,83	7,65	2580,5	2,9633
5 minutos	300	17	240,85	244,02	246,56	243,81	11,63	2580,5	4,5069
10 minutos	600	24	242,96	246,37	249,12	246,15	13,97	2580,5	5,4137
20 minutos	1200	35	244,30	247,92	250,87	247,70	15,52	2580,5	6,0130
30 minutos	1800	42	245,27	249,05	251,94	248,75	16,57	2580,5	6,4225
60 minutos	3600	60	246,02	249,91	252,75	249,56	17,38	2580,5	6,7351
2 horas	7200	85	247,41	251,34	254,20	250,98	18,80	2580,5	7,2867
3 horas	10800	104	248,53	252,37	255,27	252,06	19,88	2580,5	7,7026
4 horas	14400	120	249,32	253,12	256,04	252,83	20,65	2580,5	8,0010
5 horas	18000	134	249,80	253,74	256,55	253,36	21,18	2580,5	8,2090
6 horas	21600	147	250,17	254,15	256,90	253,74	21,56	2580,5	8,3550
1	86400	294	251,15	255,07	258,00	254,74	22,56	2580,5	8,7425
2	172800	416	251,89	255,72	258,83	255,48	23,30	2580,5	9,0293
3	259200	509	252,40	256,14	259,39	255,98	23,80	2580,5	9,2217
4	345600	588	252,66	256,35	259,68	256,23	24,05	2580,5	9,3199
5	432000	657	252,74	256,44	259,64	256,27	24,09	2580,5	9,3367
6	518400	720	252,69	256,42	259,70	256,27	24,09	2580,5	9,3354
7	604800	778	252,76	256,45	259,69	256,30	24,12	2580,5	9,3470

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.




 ING. RAMIRO JIMÉNEZ
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

Anexo 34.

Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo broiler



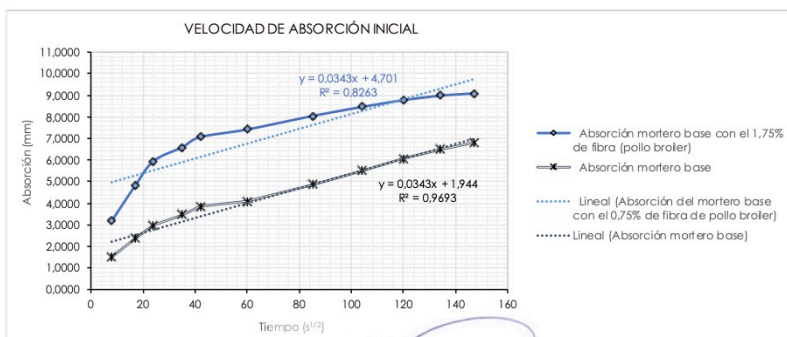
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TEL: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
FISCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 1,75% DE FIBRA DE POLLO BROILER) – ASTM C 642									
Tiempo de ensayo			Masa de los diferentes especímenes (gr)			Masa promedio (gr)	M _i = Diferencia de masa (gr)	a = Área promedio de los especímenes (mm ²)	d = 0,001gr/mm ³
Días	Segundos	√Tiempo (s ^{1/2})	C ₁ ¹	C ₁ ²	C ₁ ³				
0	0	0	242,25	245,17	246,80	244,74	0,00	2601,0	0,0000
1 minuto	60	8	251,02	252,90	255,10	253,01	8,27		3,1783
5 minutos	300	17	255,60	256,88	259,27	257,25	12,51		4,8097
10 minutos	600	24	258,52	259,57	262,53	260,21	15,47		5,9464
20 minutos	1200	35	260,05	261,24	264,36	261,88	17,14		6,5911
30 minutos	1800	42	261,13	262,51	265,70	263,11	18,37		7,0639
60 minutos	3600	60	261,96	263,46	266,68	264,03	19,29		7,4177
2 horas	7200	85	263,65	265,00	268,30	265,65	20,91		8,0392
3 horas	10800	104	264,78	266,03	269,42	266,74	22,00		8,4596
4 horas	14400	120	265,60	266,82	270,27	267,56	22,82		8,7748
5 horas	18000	134	266,14	267,35	270,81	268,10	23,36		8,9812
6 horas	21600	147	266,43	267,62	271,09	268,38	23,64		9,0888
1	86400	294	267,48	268,87	272,28	269,54	24,80		9,5361
2	172800	416	268,36	269,71	273,16	270,41	25,67		9,8693
3	259200	509	268,80	270,24	273,75	270,93	26,19		10,0692
4	345600	588	269,05	270,59	274,06	271,23	26,49		10,1858
5	432000	657	269,19	270,88	274,24	271,44	26,70		10,2640
6	518400	720	269,15	270,90	274,19	271,41	26,67		10,2550
7	604800	778	269,24	270,86	274,25	271,45	26,71		10,2691

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.



Anexo 35.

Resultados de la absorción de agua por capilaridad – mortero base con el 1,75% de fibra de pollo criollo



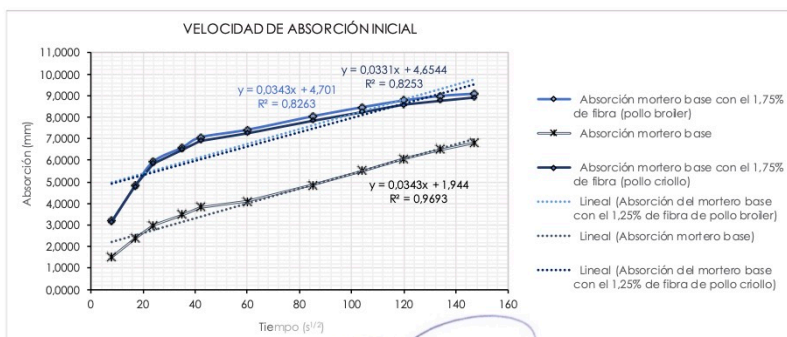
GEOCONSTRUYE CIA. LTDA.
GEOTECNIA – CONSULTORA & CONSTRUCTORA

TEL: 072-540907
CEL: 0994974048

PROYECTO:	DISEÑO EXPERIMENTAL DE UN MORTERO DE CEMENTO REFORZADO CON FIBRAS NATURALES DE ORIGEN ANIMAL "PLUMAS DE AVES"		
ESTUDIANTE:	ALEXIS ROMERO ESPARZA		
FISCALIZADOR:	ING. RAMIRO JIMÉNEZ		
UBICACIÓN:	CANTON LOJA, PROVINCIA DE LOJA	FECHA:	24/01/2020

ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD EN CUBOS DE 50 mm DE ARISTA (MORTERO BASE CON EL 1,75% DE FIBRA DE POLLO CRIOLLO) – ASTM C 642									
Tiempo de ensayo			Masa de los diferentes especímenes (gr)			Masa promedio (gr)	M _i = Diferencia de masa (gr)	a = Área promedio de los especímenes (mm ²)	d = 0.001gr/mm ³
Días	Segundos	√Tiempo (s ^{1/2})	C ₁ ¹	C ₂ ²	C ₃ ³				Absorción = I / l = M _i / (a x d) (mm)
0	0	0	242,72	244,86	247,30	244,96	0,00		0,0000
1 minuto	60	8	250,93	252,30	256,04	253,09	8,13		3,1567
5 minutos	300	17	255,21	256,05	260,59	257,28	12,32		4,7848
10 minutos	600	24	258,10	258,51	263,64	260,08	15,12		5,8720
20 minutos	1200	35	259,74	260,04	265,38	261,72	16,76		6,5075
30 minutos	1800	42	260,85	260,98	266,56	262,80	17,84		6,9255
60 minutos	3600	60	261,67	261,79	267,47	263,64	18,68		7,2543
2 horas	7200	85	263,18	263,28	269,02	265,16	20,20		7,8431
3 horas	10800	104	264,25	264,30	270,14	266,23	21,27		8,2586
4 horas	14400	120	265,07	265,08	270,97	267,04	22,08	2575,5	8,5731
5 horas	18000	134	265,62	265,55	271,59	267,59	22,63		8,7853
6 horas	21600	147	265,97	265,83	271,92	267,91	22,95		8,9096
1	86400	294	266,80	266,67	272,95	268,81	23,85		9,2590
2	172800	416	267,29	267,24	273,73	269,42	24,46		9,4972
3	259200	509	267,64	267,61	274,30	269,85	24,89		9,6641
4	345600	588	267,85	267,84	274,55	270,08	25,12		9,7534
5	432000	657	268,01	267,94	274,79	270,25	25,29		9,8182
6	518400	720	267,98	267,95	274,91	270,28	25,32		9,8311
7	604800	778	268,02	267,92	274,94	270,29	25,33		9,8363

Nota: Los materiales utilizados para el diseño del mortero fueron: cemento, arena, agua, yeso agrícola, humo de sílice, cal hidratada y fibra.



ING. RAMIRO JIMÉNEZ
RESPONSABLE DEL LABORATORIO