

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA
DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE OAXACA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA

INGENIERÍA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

**ESTUDIO DE PANELES DELGADOS ELABORADOS CON MORTERO LIGERO
REFORZADO CON MALLAS Y FIBRAS ESTRUCTURALES**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

DIANA GUADALUPE AVENDAÑO CABALLERO

ASESOR:

M.C. GUILLERMO QUERO RAMIRÉZ

COMISIÓN REVISORA:

DR. ESTEBAN LÓPEZ VÁZQUEZ

M.C. SILVIA OLIVIA RAMÍREZ MARTÍNEZ

DR. RICARDO CARRILLO MACIEL

OAXACA DE JUÁREZ, OAXACA

MAYO 2023

AGRADECIMIENTOS

Para mi familia, quienes han sabido guiar mis pasos hacia el conocimiento y han sembrado en mi la vocación de servir y ser cada día mejor, cuya principal satisfacción ha sido verme convertido en un profesionista y a quienes nunca podre defraudar.

A mi amado Andy Arath por confiar en mis capacidades e impulsarme todos los días, por su amor incondicional y sus palabras de afirmación constante.

Por último, quiero agradecer a mi institución educativa el Instituto Tecnológico de Oaxaca y al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Oaxaca; a mis asesores, él Dr. Víctor Guillermo Jiménez Quero, él M.C Guillermo Quero Ramírez, él Ing. Margarito Ortiz Guzmán y a mis revisores él Dr. Esteban López Vázquez, la M.C Silvia Olivia Ramírez Martínez y el Dr. Ricardo Carrillo Maciel, quienes, con su conocimiento y apoyo, dedicaron tiempo en mi formación académica para alcanzar los resultados deseados en este proyecto.

RESUMEN

La resistencia a la flexión de paneles delgados de mortero reforzados con mallas y fibras estructurales y la resistencia a la compresión de especímenes cúbicos de mortero sin refuerzo se evaluaron mediante pruebas de laboratorio. Las mezclas de mortero se diseñaron de acuerdo a la norma ASTM C109 la cual establece que se deben emplear 2.75 partes de agregado fino por una de material cementante, mantenido una relación de agua-cemento de 0.5 para todos los morteros, como refuerzo se emplearon malla hexagonal de alambre galvanizado y fibras estructurales de polipropileno.

El agregado fino empleado en el presente proyecto, se conformó por 88.46% arena de río y 11.54% de partículas de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (RPAEE), mientras que el material cementante se formó con 85% cemento Portland, 10% ceniza volante o de bagazo de caña y 5% polvo de vidrio ámbar.

Después de ser colados los especímenes (los paneles y cubos de mortero) fueron curados en agua e hidróxido de calcio durante 7, 14 y 28 días de edad para su ensayo por triplicado para conocer sus resistencias a flexión (S_F) y compresión (f'_c).

Los resultados de las pruebas de resistencia a flexión indican un aumento en la resistencia del 1.33% en la muestra M2 con ceniza volante más polvo de vidrio sin refuerzo, 6.42% en la muestra M2 con malla y 14.94% en la muestra M3 con malla, en comparación con la muestra control, pero una disminución de 8.76% en la muestra M1 con ceniza de bagazo de caña más polvo de vidrio sin refuerzo. No obstante, en las pruebas de resistencia a compresión se observó una reducción de la resistencia de 21.44% a 7 días, 29.78% a 14 días y 21.09% a 28 días de la muestra M2 en comparación con la muestra control. En relación con el análisis de las densidades de los morteros control y los morteros que contiene RPAEE, se observó que la muestra con RPAEE reforzada con mallas y fibras estructurales tuvo una disminución en su peso de 5.4% en comparación con la muestra control, obteniendo así un panel ligero con uso potencial dentro de la ingeniería civil.

ÍNDICE	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PUESTO O ÁREA.....	2
PROBLEMAS A RESOLVER	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
JUSTIFICACIÓN.....	6
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	7
1.1 PANELES DELGADOS	7
1.2 MORTERO	8
1.2.2 MATERIALES PARA ELABORACIÓN DE MORTERO	9
1.2.2.1 Cemento Portland.....	9
1.2.2.2 Materiales Puzolánicos	10
1.2.2.3 Polvo de Vidrio	12
1.2.2.4 Agregado Fino	12
1.2.2.5 Residuos Plásticos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RPAEE)	14
1.2.2.5 Agua.....	14
1.2.3 TIPOS DE MORTEROS	16
1.2.3.1 Características de los morteros tipo “M”	17
1.2.3.2 Características de los morteros tipo “S”	18
1.2.3.3 Características de los morteros tipo “N”	18
1.2.3.4 Características de los morteros tipo “O”	18
1.2.4 PROPIEDADES DEL MORTERO	18
1.2.4.1Trabajabilidad	18
1.2.4.2 Fluidez	19
1.2.4.3 Capacidad de retención de agua	19

1.2.4.4 Adherencia.....	20
1.2.4.5 Resistencia a la compresión	20
1.2.5 PRUEBAS PARA MORTERO	21
1.2.5.1 Prueba de Fluidéz para Mortero	21
1.2.5.2. Prueba de Resistencia a Flexión de Morteros Hidráulicos.....	22
1.2.5.3. Prueba de Resistencia a Compresión en Morteros Hidráulicos.....	24
1.3 MALLAS DE REFUERZO	26
1.4 FIBRAS ESTRUCTURALES	28
CAPÍTULO II PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.	31
2.1 OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES	31
2.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO.....	32
2.2.1 GRANULOMETRÍA	32
2.2.2 PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO	35
2.2.3 PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO.....	36
2.2.4 DENSIDAD RELATIVA DE LA ARENA	37
2.2.5 ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	40
2.3 CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS DE RPAEE	42
2.3.1 CRIBADO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	42
2.4.2 PESO VOLUMÉTRICO DEL RPAEE.....	43
2.4 DISEÑO DE MEZCLAS	44
2.4.1 MEZCLA CONTROL PARA PANELES DELGADOS (MC)	45
2.4.2 MEZCLA CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (M1).....	46
2.4.3 MEZCLA CON CENIZA VOLANTE (M2)	47
2.4.4 MEZCLA CONTROL PARA CUBOS (MCC)	48
2.4.5 MEZCLA CON CENIZA VOLANTE PARA CUBOS (M2C).....	49
2.5 PREPARACIÓN DE MOLDES PARA COLADO DE PANELES Y CUBOS	50

2.5.1 PREPARACIÓN DE MOLDES PARA PANELES DELGADOS	50
2.5.2 PREPARACIÓN DE MOLDES PARA CUBOS	51
2.6 HABILITACIÓN DE MALLAS DE REFUERZO	51
2.7 ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS	52
2.7.1 ELABORACIÓN DE MEZCLA CONTROL DE PANELES DELGADOS (M1)	52
2.7.2 ELABORACIÓN DE MEZCLA CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (M2)	53
2.7.3 ELABORACIÓN DE MEZCLAS CON CENIZA VOLANTE (M3)	55
2.7.4 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA CON CENIZA VOLANTE Y FIBRAS ESTRUCTURALES (M4)	56
2.7.5 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA CONTROL PARA CUBOS (MCc)	57
2.7.6 ELABORACIÓN DE MEZCLA CON CENIZA VOLANTE PARA CUBOS (M2)	58
2.8 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE FLUIDEZ	60
2.9 PROCEDIMIENTO PARA COLADO DE PANELES DELGADOS	62
2.10 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE PANELES DELGADOS	64
2.11 PROCEDIMIENTO PARA COLADO DE CUBOS	66
2.12 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS	67
CAPÍTULO III. RESULTADOS	69
3.1 RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE PANELES DELGADOS DE MORTERO	69
3.1.2 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M1 PANEL B	69
3.1.3 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M2 PANEL C	70
3.1.4 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M2 PANEL D	71
3.1.5 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M3 PANEL E	71
3.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO	72
3.2.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MUESTRA MCC CUBO A	73
3.2.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MUESTRA M2C CUBO B	73
CONCLUSIONES	74

BIBLIOGRAFÍA.....	75
HEMEROGRAFÍA	75

ÍNDICE DE IMÁGENES	Pág.
FIGURA.01 MACRO LOCALIZACIÓN DE LA EMPRESA.	04
FIGURA.02 ORGANIGRAMA DE LA INSTITUCIÓN.	04
FIGURA.03 MEZCLADO DE ARENA PARA CUARTEO.	33
FIGURA.04 CUARTEO DE ARENA.	33
FIGURA.05 TOMA DE MUESTRA REPRESENTATIVA.	33
FIGURA.06 CRIBADO DE MUESTRA REPRESENTATIVA.	33
FIGURA.07 AGITADOR DE CRIBAS RO-TAP.	33
FIGURA.08 JUEGO DE TAMICES.	33
FIGURA.09 RETENIDOS EN CADA MALLA DURANTE CRIBADO.	34
FIGURA.10 LIMITES GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO.	35
FIGURA.11 CUARTEO DE ARENA.	36
FIGURA.12 COLOCACIÓN DE ARENA EN MOLDE.	36
FIGURA.13 PESADO DE ARENA.	36
FIGURA.14 LLENADO DE MOLDE.	37
FIGURA.15 COMPACTACIÓN DE LA ARENA.	37
FIGURA.16 ENRASE DE ARENA.	37
FIGURA.17 SATURACIÓN DE ARENA.	38
FIGURA.18 SECADO EN ESTUFA DE ARENA.	38
FIGURA.19 ENFRIAMIENTO DEL MATERIAL.	38
FIGURA.20 COLOCACIÓN DE ARENA EN CONO.	38
FIGURA.21 COMPACTACIÓN DEL MATERIAL.	38
FIGURA.22 EXTRACCIÓN DE CONO.	38

FIGURA.23 CONDICIÓN DE ARENA SSS.....	39
FIGURA.24 VACIADO DE ARENA EN MATRAZ.....	39
FIGURA.25 ELIMINACIÓN DE AIRE.....	39
FIGURA.26 PESADO DE MATRAZ, ARENA Y AGUA.....	40
FIGURA.27 TOMA DE TEMPERATURA DEL AGUA.	40
FIGURA.28 SECADO EN HORNO DE MUESTRA.....	40
FIGURA.29 OBTENCIÓN DE LA MUESTRA.....	41
FIGURA.30 SECADO DE ARENA EN PARRILLA.	41
FIGURA.31 MONITOREO DE HUMEDAD.	41
FIGURA.32 CRIBADO DE RPAEE.....	42
FIGURA.33 JUEGO DE TAMICES PARA CRIBADO.	42
FIGURA.34 SEPARACIÓN DE PARTÍCULAS.	42
FIGURA.35 PESADO DEL RECIPIENTE.	43
FIGURA.36 COLOCACIÓN DE RPAEE EN RECIPIENTE.....	43
FIGURA.37 ENRASE DE RPAEE.....	43
FIGURA.38 ELABORACIÓN DE MOLDE PARA PANEL.....	50
FIGURA.39 ATORNILLADO DE MOLDE PARA PANEL	50
FIGURA.40 LUBRICACIÓN DE MOLDE PARA PANEL.....	50
FIGURA.41 MOLDES TRIPLES CÚBICOS.....	51
FIGURA.42 SELLADO DE MOLDE CÚBICO.....	51
FIGURA.43 LUBRICACIÓN DE MOLDE CÚBICO.....	51
FIGURA.44 MEDICIÓN DE LA BASE PARA MOLDE.	51
FIGURA.45 ELABORACIÓN DE LA BASE.	51
FIGURA.46 COLOCACIÓN DE MALLA DE REFUERZO.....	51
FIGURA.47 COLOCACIÓN DE AGUA EN LA OLLA.....	52
FIGURA.48 INCORPORACIÓN DEL CEMENTO.....	52

FIGURA.49 COLOCACIÓN DE ARENA.	52
FIGURA.50 REPOSO DE LA MEZCLA.	53
FIGURA.51 DESPEGADO DE MEZCLA EN LA OLLA.	53
FIGURA.52 REINICIO DEL MEZCLADO.	53
FIGURA.53 INCORPORACIÓN DE RPAEE.	53
FIGURA.54 MEZCLADO DE AGREGADO FINO.	53
FIGURA.55 COLOCACIÓN DE AGUA.	53
FIGURA.56 INCORPORACIÓN DE CEMENTO.	54
FIGURA.57 VERTIDO DE POLVO DE VIDRIO ÁMBAR.....	54
FIGURA.58 COLOCACIÓN DE CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA.	54
FIGURA.59 DESPEGADO DE MEZCLA EN LA OLLA.	54
FIGURA.60 INCORPORACIÓN DE SÚPER PLASTIFICANTE.	54
FIGURA.61 TOMA DE MUESTRA.	54
FIGURA.62 COLOCACIÓN DE AGUA EN LA OLLA.	55
FIGURA.63 INCORPORACIÓN DE CEMENTO.	55
FIGURA.64 COLOCACIÓN DE POLVO DE VIDRIO ÁMBAR.	55
FIGURA.65 COLOCACIÓN DE CENIZA VOLANTE.....	55
FIGURA.66 INCORPORACIÓN DE ARENA.	55
FIGURA.67 COLOCACIÓN DE RPAEE.	55
FIGURA.68 COLOCACIÓN DE AGUA EN LA OLLA.	56
FIGURA.69 INCORPORACIÓN DE CEMENTO.	56
FIGURA.70 COLOCACIÓN DE CENIZA VOLANTE Y POLVO DE VIDRIO ÁMBAR.	56
FIGURA.71 COLOCACIÓN DE ARENA.	56
FIGURA.72 INCORPORACIÓN DE RPAEE.	56
FIGURA.73 COLOCACIÓN DE FIBRAS ESTRUCTURALES.	56
FIGURA.74 COLOCACIÓN DE AGUA EN TAZÓN.	57

FIGURA.75 INCORPORACIÓN DE CEMENTO EN TAZÓN.	57
FIGURA.76 MEZCLADO DE AGUA Y CEMENTO.	57
FIGURA.77 INCORPORACIÓN DE ARENA EN TAZÓN.	57
FIGURA.78 DESPEGADO DE MEZCLA EN TAZÓN.....	57
FIGURA.79 MEZCLADO DE MATERIALES.....	57
FIGURA.80 COLOCACIÓN DE AGUA EN TAZÓN.	58
FIGURA.81 INCORPORACIÓN DE CEMENTO.	58
FIGURA.82 COLOCACIÓN DE POLVO DE VIDRIO ÁMBAR.	58
FIGURA.83 COLOCACIÓN DE CENIZA VOLANTE.	58
FIGURA.84 INCORPORACIÓN DE ARENA Y RPAEE.	58
FIGURA.85 DESPEGADO DE LA MEZCLA.	58
FIGURA.86 CALIBRACIÓN DE MESA DE FLUIDEZ.	59
FIGURA.87 COLOCACIÓN DE MOLDE EN MESA DE FLUIDEZ.	59
FIGURA.88 TOMA DE UNA MUESTRA PARA PRUEBA DE FLUIDEZ.	59
FIGURA.89 COLOCACIÓN DE LA MUESTRA EN MOLDE.	60
FIGURA.90 APISONADO DE LA MUESTRA.	60
FIGURA.91 ENRASADO DE LA MUESTRA.	60
FIGURA.92 REALIZACIÓN DE 25 GOLPES.	60
FIGURA.93 MEDICIÓN DE DIÁMETRO.	60
FIGURA.94 INCORPORACIÓN DE SÚPER PLASTIFICANTE.	60
FIGURA.95 COLOCACIÓN DE PRIMERA CAPA.....	61
FIGURA.96 VIBRACIÓN DE PRIMERA CAPA.	61
FIGURA.97 COLOCACIÓN DE MALLA DE REFUERZO.	61
FIGURA.98 COLOCACIÓN DE SEGUNDA CAPA.....	62
FIGURA.99 VIBRACIÓN DE SEGUNDA CAPA.	62
FIGURA.100 ENRASADO DE LA MEZCLA.	62

FIGURA.101 DESMOLDE DE LA MUESTRA.....	62
FIGURA.102 COLOCACIÓN DE NOMENCLATURA.....	62
FIGURA.103 CURADO DE ESPÉCIMEN.....	62
FIGURA.104 PESADO DE ESPÉCIMEN.....	63
FIGURA.105 COLOCACIÓN DE LÍNEAS.....	63
FIGURA.106 COLOCACIÓN DE ARENA EN ÁREA DE CONTACTO.....	63
FIGURA.107 COLOCACIÓN DE PLACA.....	64
FIGURA.108 CENTRADO DE PANEL.	64
FIGURA.109 COLOCACIÓN DE MIC 0.01 CHICO.	64
FIGURA.110 TOMA DE LECTURAS EN EQUIPOS.	64
FIGURA.111 FALLADO DE ESPÉCIMEN.....	64
FIGURA.112 RETIRO DE PANEL ENSAYADO.....	64
FIGURA.113 COLOCACIÓN DE PRIMERA CAPA EN MOLDE.....	65
FIGURA.114 VIBRACIÓN DE PRIMERA CAPA.	65
FIGURA.115 COLOCACIÓN DE SEGUNDA CAPA.....	65
FIGURA.116 VIBRACIÓN DE SEGUNDA CAPA.	66
FIGURA.117 ENRASADO DE LA MEZCLA.	66
FIGURA.118 DESMOLDE DE ESPECÍMENES.....	66
FIGURA.119 PESADO DE CUBOS.....	67
FIGURA.120 MEDICIÓN CON VERNIER.	67
FIGURA.121 COLOCACIÓN DE LÁMINA PROTECTORA.	67
FIGURA.122 ACOMODO DE CUBO EN EQUIPO.	67
FIGURA.123 FALLADO DE ESPÉCIMEN CUBICO.	67
FIGURA.124 RETIRO DE CUBO ENSAYADO.....	67
FIGURA.125 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE PANELES DE MORTERO EN MPA.....	68
FIGURA.126 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M1 PANEL B.....	69

FIGURA.127 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M2 PANEL C.....	69
FIGURA.128 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M2 PANEL D.....	70
FIGURA.129 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M3 PANEL E.....	70
FIGURA.130 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS EN DIFERENTES EDADES.....	71
FIGURA.131 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MUESTRA MCc CUBO A	72
FIGURA.132 RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MUESTRA M2c CUBO B	72

ÍNDICE DE TABLAS	Pág.
TABLA.01 LÍMITES GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO FINO.....	13
TABLA.02 ESPECIFICACIONES DE PROPIEDADES DE MORTEROS.....	16
TABLA.03 REQUISITOS PARA ESPECIFICACIONES DE PORCIONES DE MORTEROS..	17
TABLA.04 CLASIFICACIÓN DE LOS TIPOS DE MORTEROS.....	17
TABLA.05 RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS	21
TABLA.06 TIPOS DE MALLAS PARA LA ELABORACIÓN DE FERROCEMENTO.....	27
TABLA.07 PROPIEDADES DE LAS FIBRAS DE PROLIPOPILENO	30
TABLA.08 CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO	32
TABLA.09 GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.	34
TABLA.10 CARACTERÍSTICAS DE RPAEE	42
TABLA.11 PORCENTAJES DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS.....	44
TABLA.12 TIPOS DE PANELES Y PROBETAS.	45
TABLA.13 DISEÑO DE MEZCLA CONTROL MC PARA 3 PANELES DELGADOS.....	46
TABLA.14 DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA M1.....	47
TABLA.15 DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA VOLANTE M2	48
TABLA.16 DISEÑO DE MEZCLA CONTROL PARA 9 CUBOS MCc.....	49
TABLA.17 DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA VOLANTE PARA 9 CUBOS M2c.	49
TABLA.18 RESULTADOS DE PRUEBA DE FLUIDEZ.	61
TABLA.19 RELACIÓN DE PESOS Y RESISTENCIAS DE LOS ESPECIMENES.	65

INTRODUCCIÓN

El mortero es un material de construcción cuya dosificación requiere del agregado fino, el cemento y el agua, sin embargo, la fabricación del cemento y la utilización del agregado fino ocasiona problemas ambientales como son la emisión de contaminantes y la sobre explotación de recursos; con el objetivo de generar una alternativa que reduzca dichos problemas ambientales, en el presente proyecto se propone el uso de materiales que resulten más amigables con el medio ambiente y sustituyan parcialmente a los materiales de construcción convencionales.

De manera que el desarrollo de investigaciones como la descrita en este proyecto puede contribuir a la reducción de problemas ambientales dentro del área de la ingeniería civil a través del diseño y aplicación de mezclas de mortero sostenibles.

El estudio de la sustitución parcial del cemento Portland y de la arena de río busca mantener y en el mejor caso incrementar la resistencia a la flexión y trabajabilidad en paneles delgados de mortero ligero reforzado con mallas y fibras estructurales mediante pruebas de laboratorio basadas en las normas ASTM.

En el primer capítulo se describen las variables y los conceptos básicos para el entendimiento del tema de investigación, mientras que en el segundo capítulo se realizan los procedimientos necesarios para determinar los porcentajes de materiales a utilizar en la dosificación de las mezclas de mortero con la finalidad de elaborar paneles ligeros que reduzcan el uso de agentes contaminantes sin disminuir su resistencia. Además, se describen las actividades realizadas para la preparación de los moldes, la elaboración y colado de las mezclas, así como las pruebas de fluidez empleadas al mortero en estado fresco, las pruebas de resistencia a flexión de los paneles delgados y las pruebas de resistencia a compresión de los cubos de mortero.

Finalmente, en el tercer capítulo se analizan los resultados obtenidos de la prueba de resistencia a flexión de los paneles delgados de mortero por triplicado a 28 días de edad de curado y la prueba de resistencia a compresión a 7,14 y 28 días de edad de curado de los especímenes cúbicos de mortero.

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PUESTO O ÁREA

Nombre de la empresa: Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca.

Misión: El Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, es una unidad de excelencia académica del Instituto Politécnico Nacional creada para realizar investigación aplicada, científica y tecnológica interdisciplinaria, y para formar recursos humanos a nivel de Posgrado, tendientes a proponer soluciones a los problemas de conservación y aprovechamiento de los recursos naturales y de uso de tecnologías sustentables, que atiendan el sentir social y contribuyan al desarrollo integral de la Región Sur-Sureste de México.

Visión: Ser un centro de excelencia académica y humana, que a través de sus acciones promueva el respeto a la persona, a la sociedad y a la naturaleza, la justicia e igualdad social y la ética profesional. Además;

- Con un modelo de investigación que fomente la generación, uso, circulación y protección del conocimiento útil para el bienestar social, en sectores regionales estratégicos.
- Que se transforme para lograr mayor flexibilidad, capacidad de innovación constante, nuevas estructuras que le permitan la colaboración horizontal, una oferta de servicios educativos pertinente y actualizada, con participación del sector productivo en su diseño, definición y seguimiento.
- Que cuente con profesores de alta calidad y estudiantes que asuman el compromiso de tomar en sus manos su futuro profesional desde su proceso formativo.
- Con una infraestructura compartida y moderna, eficaz y eficiente; una gestión ágil y transparente.
- Que disponga de fuentes diversificadas de financiamiento, en especial las derivadas de la prestación de servicios y de proyectos de vinculación con el sector productivo.

Objetivos: se crea el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, cuyos objetivos son:

- Realizar investigación orientada a proponer soluciones a los problemas regionales y crear la tecnología requerida para promover el desarrollo regional integral.
- Establecer cursos de graduados vinculados a las necesidades regionales de recursos humanos, que sean capaces de desarrollar investigación científica y tecnológica tendiente al mejor aprovechamiento de los recursos naturales y proponer soluciones a los problemas regionales.
- Favorecer la desconcentración de la investigación y de los cursos de graduados del IPN en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo y con el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología, así como con las escuelas, centros y unidades del Instituto Politécnico Nacional.

Historia de la empresa: El Instituto Politécnico Nacional, consecuente con sus atribuciones de promover la desconcentración de la investigación y de sus cursos de graduados, instalando Centros de Investigación y de Docencia de alto nivel en lugares estratégicos del país, el 15 de noviembre de 1983 a través de su Director General, el Ing. Manuel Garza Caballero, llevó a cabo la firma del Convenio de Cooperación Científica para la Investigación y el Desarrollo Tecnológico con el Gobierno del Estado de Oaxaca, representado por su titular, el Lic. Pedro Vázquez Colmenares, creando el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral de la Comunidad Rural (CIIDIR), Unidad Oaxaca, cuyos objetivos son el de realizar investigación orientada a proponer soluciones a los problemas regionales y establecer cursos de graduados vinculados a las necesidades de recursos humanos, que sean capaces de desarrollar investigación científica y tecnológica tendiente al mejor aprovechamiento de los recursos naturales.

Dirección de la empresa: Hornos N°. 1003, Colonia Noche Buena, CP.71230, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca.

Teléfono: 9515170610 Ext. 82700 Correo electrónico: sseisciidiroaxaca@ipn.mx.

RFC de la empresa: IPN811229H26.

Macro localización.

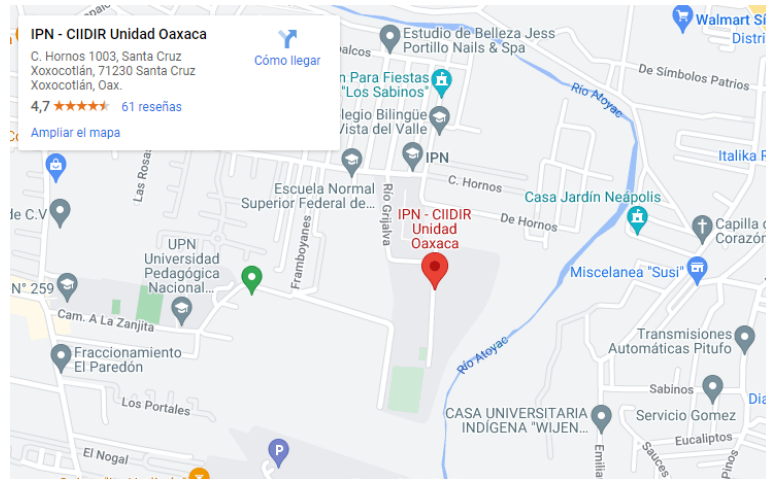


Figura. 1. Macro localización de la empresa., Google Maps, 2023.

Estructura organizacional.

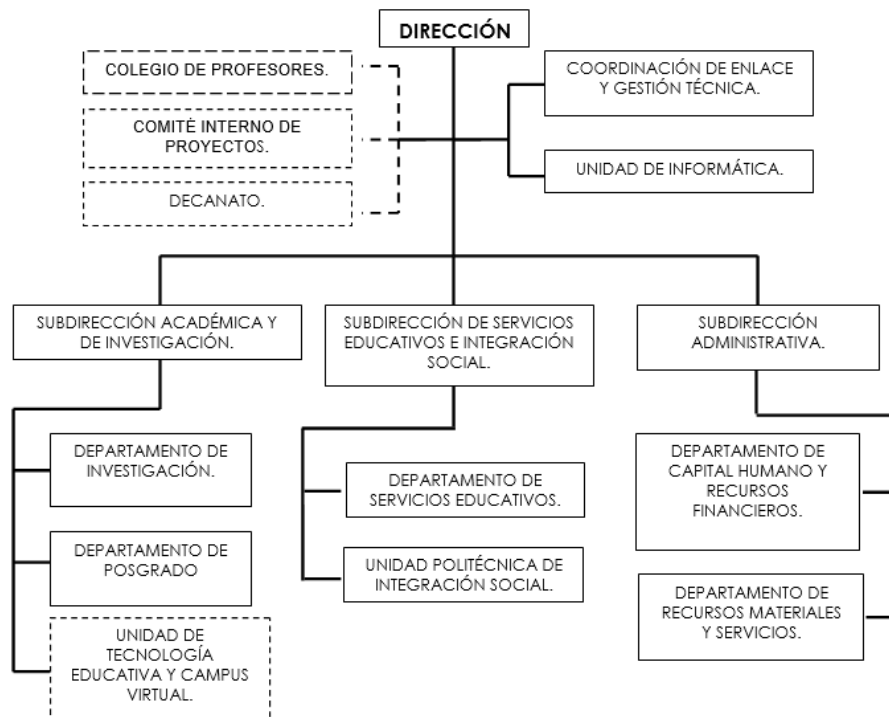


Figura. 2. Organigrama de la empresa, CIIDIR Oaxaca.

PROBLEMAS A RESOLVER

Este proyecto surge debido a la necesidad de obtener un mortero de menor densidad, pero resistente a la flexión, minimizando el uso de cemento y agregados finos en la elaboración de morteros en consonancia con el desarrollo sostenible.

El mortero simple es un material de construcción con baja resistencia tanto a la tensión como a la propagación de grietas. La elaboración de mortero reforzado implica el uso de grandes cantidades de acero, lo que repercute en el costo y en la densidad del compuesto. La densidad de los materiales (peso) juega un papel importante en el comportamiento sísmico de las estructuras y los elementos que las integran. Esto significa que un material menos denso funciona mejor para prevenir daños en una estructura expuesta a sismos.

Por otra parte, y con la finalidad de minimizar el uso de cemento en la industria de la construcción, investigadores en diferentes partes del mundo están explorando el uso de varios subproductos industriales, generalmente ricos en sílice, que pueden emplearse como materiales sustitutos de cemento.

El objetivo del presente proyecto es evaluar la resistencia a flexión de paneles delgados de mortero ecológico y ligero, empleando subproductos industriales (de menor densidad que el cemento) y agregado ligero como sustituto parcial de arena, finalmente como refuerzo se emplearon mallas de alambre galvanizado y fibras sintéticas estructurales.

OBJETIVO GENERAL

Estudiar paneles delgados de mortero ligero reforzado con mallas y fibras estructurales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar arena de río por medio de pruebas de granulometría, peso volumétrico seco suelto, seco compacto, densidad y absorción para su empleo en mezclas de mortero.

Obtener partículas de desechos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos para su empleo como sustituto parcial de la arena.

Diseñar mezclas de mortero para paneles delgados y cubos.

Preparar moldes para colado de paneles y cubos de mortero.

Habilitar mallas de refuerzo para reforzar paneles de mortero.

Elaborar mezclas de mortero con base a su diseño.

Llevar a cabo pruebas de fluidez de las mezclas de mortero.

Realizar pruebas de resistencia a flexión y compresión a las probetas de mortero.

JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica considerando que la problemática de estudio tiene una magnitud de afectación significativa en el medio ambiente, dado que la producción de cemento Portland emite a la atmosfera considerables cantidades de gases de efecto invernadero, mientras que el agregado fino es un material sobre explotado actualmente, por estas razones, se busca la sustitución parcial de ambos componentes en la elaboración de morteros.

Estudios recientes han demostrado que “el uso de aditivos de cemento para compensar la proporción de cemento en el concreto es un enfoque prometedor para reducir la contaminación ambiental” (Islam et al, 2011 obtenido de Islam et al, 2016) y argumentado que “una solución ecológica que puede proporcionar importantes beneficios ambientales es la reutilización de productos de desecho, como los residuos plásticos en la producción de concreto” (obtenido de A.Al-Mansour et al, 2021), sin embargo; aún se desconoce con exactitud el comportamiento de estos materiales en el mortero. Esta investigación puede, por lo tanto, aportar una alternativa sostenible que además de ser amigable con el ambiente incremente la resistencia a flexión en paneles delgados de mortero ligero.

De esta manera el desarrollo de estudios como el que se propone en esta investigación puede facilitar la solución del problema ambiental en la industria de la construcción, mediante el diseño de propuestas y líneas de acción estratégicas en el diseño y aplicación de mezclas de mortero sostenible.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO

Es importante que dentro del presente estudio se analicen distintos conceptos referentes a la elaboración de los paneles delgados de mortero ligero reforzados con mallas y fibras estructurales; los cuales permitan definir y comprender con mayor claridad la problemática del tema de investigación.

1.1 PANELES DELGADOS

Como señala el American Concrete Institute, el ferrocemento es un panel generalmente compuesto por mortero hidráulico reforzado con malla de acero, caracterizado por una alta flexibilidad y resistencia al agrietamiento, cuyas propiedades se encuentran determinadas por la naturaleza del refuerzo y del mortero, así como la distribución de los mismos (ACI, 1989 como se citó en Mejías, Águila, 2013).

En otras palabras, la capacidad de carga a flexión y la protección del refuerzo se logra combinando el mortero y la malla en paneles delgados de ferrocemento. Guzmán y Salcedo lo describen como “un material compuesto laminado, formado por mallas que se encuentran inmersas en capas de mortero” (Guzmán, Salcedo. S.f.).

Mientras que Yerramala define a el ferrocemento como paneles de mortero de cemento hidráulico que no requieren de agregado grueso, y en su lugar se refuerzan con malla de alambre de acero. (Yerramala et al, 2013)

Por lo tanto, podemos definir al elemento de ferrocemento como un material de construcción compuesto por mortero y malla de acero de diámetro pequeño distribuida uniformemente a través de la sección transversal y longitudinal del elemento para su refuerzo, formando un panel homogéneo, flexible y de poco espesor, cuyas propiedades mecánicas son de alta resistencia al agrietamiento.

El panel de ferrocemento es fabricado con mortero mediante el mezclado de agua, cemento Portland como material aglutinante y arena como agregado fino, formando una mezcla homogénea que será sobre la malla de alambre hasta cubrirla totalmente, obteniendo una estructura rígida, resistente a la compresión, liviana y de bajo costo.

El ferrocemento tiene diversas aplicaciones en la edificación que van desde la elaboración de estructuras curvas, estructuras de forma libre y domos, hasta cubiertas, elementos de pared, depósitos de agua, revestimientos, encofrados, monumentos y elementos ornamentales etc.

Algunas de las razones por las que el ferrocemento es considerado en el sector de la construcción como una alternativa modular del concreto armado son:

- El bajo nivel de habilidades técnicas requeridas para su construcción, la disponibilidad de los materiales y su rápida producción.
- La adaptabilidad en diseños arquitectónicos con formas libres sin afectar su funcionalidad, calidad o seguridad.
- Cuentan con un alto grado de impermeabilidad, alta resistencia a la corrosión y al agrietamiento.
- Representa un ahorro en los materiales y una disminución del peso de la estructura de la edificación en comparación con el concreto.

Muchos investigadores de la industria de la construcción, se han dedicado al estudio e investigación del uso potencial de los paneles de mortero reforzados con malla, como material de construcción prometedor, beneficioso en la reducción de costos de obra y en la disminución del impacto ambiental.

Para el diseño de los paneles delgados de mortero en el presente proyecto se emplearon además de los materiales base, adiciones minerales (materiales puzolánicos) como sustituto del cemento Portland, las partículas de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (RPAEE) como sustitutos parciales del agregado fino y como refuerzo adicional las mallas de acero galvanizado y las fibras estructurales de polipropileno.

1.2 MORTERO

La normativa N.CMT.2.01.004/02 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) menciona que “el mortero es una mezcla plástica aglomerante obtenida de la combinación de agregado fino y agua con uno o dos materiales cementantes, posiblemente cemento Portland y/o cal, que al endurecerse presenta propiedades

químicas, físicas y mecánicas similares a las del concreto” (N.CMT.2.01.004/02, 2022) y es ampliamente utilizado para pegar las unidades de mampostería en la construcción de muros y el revestimiento tanto de paredes interiores como exteriores .

1.2.2 MATERIALES PARA ELABORACIÓN DE MORTERO

En el siguiente capítulo se describen los materiales convencionales empleados en la elaboración de morteros, así como los materiales de desecho considerados en la producción de morteros como alternativa para minimizar el uso del cemento y agregados finos en la obra civil.

1.2.2.1 Cemento Portland

El cemento Portland es un polvo de color gris, fabricado con piedra caliza y arcilla finamente pulverizadas y mezcladas, para su cocción a altas temperaturas de entre 1400 a 1450°C, lo cual produce emisiones excesivas de dióxido de carbono.

Cuando el cemento es mezclado con una cantidad considerable de agua, los componentes del cemento reaccionan y se combinan con el agua lentamente hasta formar una pasta, a la cual se le puede adicionar al mismo tiempo el agregado fino, desarrollando así progresivamente la resistencia y rigidez de la pasta.

Considerando la definición de la normativa de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT), “el cemento Portland es un conglomerante hidráulico con la propiedad de solidificarse y endurecerse al hidratarse” (N.CMT.2.02.001, 2002).

De acuerdo con la norma ASTM C150 (ASTM, 2007a), el cemento Portland es clasificado en cinco tipos, las características de cada tipo son:

- Tipo I. Es el cemento Portland destinado a obras de concreto en general, utilizado cuando no es especificado la utilización de algún otro tipo de cemento.
- Tipo II. Es el cemento Portland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o en el caso de que se requiera moderar el calor de hidratación.

- Tipo III. Es el cemento de alta resistencia inicial. El concreto elaborado con este cemento adquiere en tres días una resistencia similar a la desarrollada en 28 días por concretos realizados con el cemento tipo I o tipo II.
- Tipo IV. Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.
- Tipo V. Es el cemento que requiere de una alta resistencia a la acción de los sulfatos. Sus aplicaciones más comunes son en las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

El cemento Portland empleado en el proyecto es de la marca Holcim Apasco y cumple con las especificaciones de calidad establecidas en la normativa ASTM C150 (ASTM, 2007a), cuyas condiciones de trabajabilidad varían con base a la proporción cemento: arena utilizada.

Un aspecto importante en el diseño de morteros de cemento es su trabajabilidad, debido a que esta indica la facilidad de colocación de la mezcla, desde el punto de vista de Sánchez, la trabajabilidad se encuentra directamente relacionada con el estado de fluidez del mortero, es decir, que tan seca o fluida es la mezcla cuando se encuentra en estado plástico (Sánchez, 2001) y para su determinación es empleado un ensayo en la mesa de fluidez cuyo procedimiento está establecido por la norma ASTM C1437 (ASTM, 2001).

Desafortunadamente el cemento portland es uno de los materiales aglutinantes de fácil acceso comercial que para su producción requiere de grandes cantidades de energía y emite considerables porciones de CO₂ al ambiente, por esta razón, se busca disminuir el impacto ambiental mediante el uso de materiales puzolánicos que sustituyan a el cemento Portland en la elaboración de mortero.

1.2.2.2 Materiales Puzolánicos

Aunque el cemento Portland debe constituir el conglomerante principal en la elaboración de morteros, se recomienda añadir materiales que disminuyan los problemas de contaminación ocasionados por su uso y además mejoren su plasticidad y resistencia a los agentes agresivos. Entre estos materiales se encuentran las puzolanas, las cuales

pueden cumplir con los requisitos para la mayoría de las aplicaciones del cemento en las construcciones actuales.

Los materiales puzolánicos son aquellos que a pesar de no ser conglomerantes por si solos, al hidratarse y combinarse con hidróxido de calcio forman una pasta que se solidifica y adquiere rigidez. La mayor parte de puzolanas tienen un gran poder de fijación de agua que restituyen al cemento progresivamente, permitiendo un proceso de endurecimiento prolongado (Soria, 1963).

Las puzolanas naturales están formadas en su mayor parte por materiales de origen volcánico, mientras que las puzolanas artificiales son residuos de diversos procesos industriales y agrícolas, e Independientemente del material puzolánico puesto en contacto con la cal deben tenerse en cuenta tres cosas: los constituyentes químicos, el tipo de unión o enlace entre ellos y su estado físico. De los constituyentes químicos, los más importantes son la sílice y la alúmina (Soria, 1963).

De acuerdo con Soria “la ceniza volante es un subproducto de la combustión de combustibles sólidos pulverizados en grandes plantas de energía termoeléctrica, cuya composición química, estado físico vítreo y contenido de partículas carbonosas resultantes de la combustión, la hace apta para su uso como material puzolánicos y sustituto del cemento portland en la elaboración de morteros” (Soria, 1963).

Las cenizas volantes se consideran un producto residual contaminante al estar en contacto con el agua, el suelo y el aire, lo que requiere del desarrollo de nuevos métodos para su procesamiento y potenciales aplicaciones en la industria de la construcción, siendo el material cementante suplementario más utilizado en Estados Unidos (Kosmatka, et al., 2004 obtenido de Huasquito & Belizario, 2018)

De acuerdo con los resultados de estudios previos realizados por Molina, Moragues y Gálvez, el agregar pequeñas cantidades del 15 al 35% de ceniza volante en la elaboración de mezclas de mortero no genera cambios significativos en las propiedades mecánicas del material e incluso mejoran su resistencia (Molina, Moragues & Gálvez, 2008), se optó por sustituir un 10% de cemento Portland por ceniza volante que cumpla

con la especificación estándar de la norma ASTM C618 (ASTM, 2015) para la elaboración de las mezclas de mortero.

1.2.2.3 Polvo de Vidrio

Las propiedades del polvo fino de vidrio como su estructura amorfa, el carácter no biodegradable y la fácil disponibilidad del material, lo convierten en una opción viable para la elaboración de morteros, mediante su implementación como material puzolánico.

El vidrio se compone principalmente de sílice y, una vez que se convierte en desecho, sus restos pasan por un procedimiento de trituración para obtener micro partículas que sufran reacciones puzolánicas con los hidratos de cemento, para el desarrollo de sistemas de infraestructura amigables con el ambiente, energéticamente eficientes y económicos (GM Sadiqul Islam et al., 2016).

Erupción expresa que “la molienda de vidrio a partículas de tamaño micrométrico, para mejorar las reacciones entre el vidrio y los hidratos de cemento, puede generar importantes beneficios energéticos, ambientales y económicos al reemplazar parcialmente al cemento con vidrio de desecho molido para la obtención de concreto o mortero” (Erupción, 2014 como se citó en GM Sadiqul Islam et al., 2016).

Por lo tanto, el vidrio que se desecha diariamente tienen un alto grado de recuperación y numerosas posibilidades de reutilización, con el objetivo de aprovechar los residuos de vidrio molido, se eligió reemplazar 5% de cemento Portland por polvo de vidrio ámbar en la elaboración de mezclas de mortero.

1.2.2.4 Agregado Fino

Según el sistema de clasificación de suelos SUCS, el agregado fino representa la porción del agregado pétreo que por el tamaño de sus partículas pasa a través de la malla n° 4 y permanece retenido en la malla n° 200, proveniente de la desintegración natural de las rocas. (Padilla, 2004).

Teniendo en cuenta que el mortero está constituido en su mayor parte por agregado fino que debe formar una masa uniforme y densa, las propiedades de la arena, tales como la

granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, deben ser idóneas para lograr la máxima compactación y un bajo consumo de cemento (Sánchez, 2001), por ende, la selección del agregado fino depende de su disponibilidad en la zona, limpieza y graduación.

Algunos de los requisitos para el uso del agregado fino en la elaboración de las mezclas de mortero están especificados en la norma ASTM C33 (ASTM, 2016a) y son los siguientes:

- El agregado fino estará compuesto por arena natural y deberá estar libre de materia orgánica, cantidades perjudiciales de polvo, álcalis, sales u otras sustancias dañinas para el mortero.
- Debe cumplir con los límites granulométricos establecidos en la norma.
- El contenido de sustancias dañinas no excederá del 3% en partículas deleznales o quebradizas y del 5% de materiales más finos que los retenidos por la malla N° 200.

La granulometría de la arena para la preparación de mortero deberá cumplir con los límites granulométricos establecidos por la norma ASTM C33 (ASTM, 2016a), los cuales se encuentran mostrados en la Tabla 1 y deberá contar con un módulo de finura dentro del rango de entre 2.3 a 3.1.

Tabla 1. Límites granulométricos del agregado fino.

Límites granulométricos del agregado fino en norma ASTM C33		
N° de malla	Malla (mm)	Porcentaje acumulativo (%)
3/8"	9.5	100
4	4.75	95 a 100
8	2.36	80 a 100
16	1.18	50 a 85
30	0.06	25 a 60
50	0.03	10 a 30
100	0.015	2 a 10

Fuente: Norma ASTM C33, 2016.

Considerando que el agregado fino es un recurso no renovable que actualmente es sobreexplotando, en el proyecto se sustituyó cierto porcentaje de agregado fino por partículas de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos.

1.2.2.5 Residuos Plásticos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RPAEE)

Una propuesta para el reciclaje de residuos plásticos es la elaboración de mezclas de mortero, las cuales podrían traer consigo múltiples beneficios, como el aprovechamiento de residuos sólidos, la sustitución de agregados naturales o materiales convencionales y la mejora de ciertas propiedades del material, como la posible disminución del peso específico de paneles de mortero volviéndolos más ligeros.

Frigione es uno de los investigadores que ha indagado en la incorporación del plástico en morteros, estudiando el uso de PET molido de botellas residuales sin limpiar, mediante el remplazo de un 5% del agregado fino por el PET molido, ejecutando ensayos el ensayo de los especímenes a 28 y 365 días de edad con diferentes contenidos de cemento y relación agua/cemento; obteniendo una trabajabilidad similar a las muestras control y una disminución en las resistencias a compresión y a la tracción (Frigione, 2010 obtenido de Ojeda et al., 2019).

El RPAEE está conformado por los residuos plásticos resultantes de aparatos eléctricos y electrónicos obsoletos o defectuosos que han sido desechados y que pueden ser recuperados para su reutilización como nuevos materiales de construcción.

Enfatizando en la importancia de impulsar propuestas que promuevan la reutilización y aprovechamiento de las partículas de desechos plásticos eléctricos y electrónicos (RPAEE) como sustitutos parciales de agregado fino en el área de la construcción, se determinó la sustitución parcial de la cantidad de arena retenida por el tamiz no. 8 por los desechos plásticos eléctricos y electrónicos, la cual representa un 11.54% de agregado fino mostrada en la Tabla. 10. Granulometría de agregado fino.

1.2.2.5 Agua

El agua es un elemento básico en la elaboración de morteros, reacciona con el cemento y le otorga las propiedades de fraguado y endurecimiento, formando un único sólido con

el árido fino (Sánchez, 2001). La cantidad de agua utilizada está relacionada con las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido, por eso es importante clasificarla en agua de mezclado y de curado.

El agua de mezclado es la cantidad de agua requerida para que el cemento forme una pasta completamente hidratada y permita la lubricación suficiente de los agregados finos mientras la mezcla se encuentre en estado plástico.

La cantidad de agua necesaria para hidratar el cemento durante el mezclado es de un 25% a un 30% de la masa de cemento, pero esta no permite que la mezcla sea trabajable, por lo que se debe considerar la cantidad mínima de agua que permita la trabajabilidad del mortero (Rivera, 2017) y cumpla con los requisitos de fluidez de la norma ASTM 1437.

Basándose en algunas de las especificaciones de la norma ASTM C1602 (ASTM, 2006) el agua para mezclado debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El agua empleada en la elaboración de mortero, debe estar limpia y libre de materiales orgánicos y cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales u otras sustancias que puedan ser nocivas para el mortero.
- Si la calidad del agua empleada para la elaboración de mortero es incierta, será necesario realizar su análisis químico para asegurar que se cuenta con los valores máximos admisibles de las sustancias que puedan existir en el agua.
- En ningún caso debe usarse agua de mar para la preparación del mortero y curado.

Mientras que el agua de curado es el suministro adicional de agua para humectar sin interrupción el cemento, una vez que la pasta de mortero ha endurecido, aproximadamente 24 horas después del mezclado y hasta que el mortero alcance sus propiedades potenciales (Sánchez, 2001).

Finalmente, el agua de curado para los especímenes de mortero debe cumplir con las mismas especificaciones que la de mezclado, dicha agua debe ser saturada con hidróxido de cal al 2% (2 g por cada L de agua).

1.2.3 TIPOS DE MORTEROS

La norma ASTM C 270 clasifica a los morteros empleados en mampostería en cuatro tipos de acuerdo a sus especificaciones de propiedades y de proporciones (ASTM, 2007b), descritas a continuación.

Especificaciones de propiedades, es principalmente para morteros preparados en laboratorio que se han mezclado con cierta cantidad de agua para obtener una fluidez de $110 \pm 5\%$, constituido por una mezcla de material cementante, agregado y agua que cumplan con las especificaciones y requerimientos de calidad de los materiales de las normas ASTM C150, C33 Y C160, mientras que las propiedades del mortero deben satisfacer los requisitos establecidos en la Tabla 2.

Tabla 2. Requisitos para especificaciones de propiedades de morteros.

Mortero	Tipo de mortero	F'c mínima prom. a 28 días en MPa	% de retención mínima de agua	% máximo de contenido de aire	Relación de agregados
Cemento-cal	M	17.2	75	12	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes en condición húmeda y suelta.
	S	12.4	75	12	
	N	5.2	75	14 *B	
	O	2.4	75	14 *B	
Cemento de mampostería	M	17.2	75	*C	
	S	12.4	75	*C	
	N	5.2	75	*C	
	O	2.4	75	*C	

Fuente: Norma ASTM C 270, 2007.

*B, cuando se incorpora refuerzo estructural en el mortero de cemento-cal, el contenido de aire máximo es del 12%.

*C, cuando se incorpora refuerzo estructural en el mortero de mampostería, el contenido de aire máximo es del 18%.

Las especificaciones de proporciones se basan en el conocimiento previo de los pesos unitarios de los materiales que componen el mortero, y la clasificación para los morteros de cemento y cal se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3 Requisitos para especificaciones de proporciones de morteros.

Mortero	Tipo de mortero	Proporciones en volumen de materiales cementantes		Relación de agregados en condición suelta y húmeda
		Cemento Portland o mezclado	Cal hidratada o apagada	
Cemento-cal	M	1	$\frac{1}{4}$	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de cementantes en volumen
	S	1	Más de $\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$	
	N	1	Más de $\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{4}$	
	O	1	Más de $1 \frac{1}{4}$ a $2 \frac{1}{2}$	
Cemento de mampostería	M	1	-	
	N	$\frac{1}{2}$	-	

Fuente: Norma ASTM C 270, 2007.

Mientras que la normativa N.CMT.2.01.004/02 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT) clasifica a los morteros como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los tipos de morteros.

Tipo de mortero	Partes de cemento Portland	Partes de cemento de albañilería	Partes de cal	Partes de arena
I	1	0	0 a $\frac{1}{4}$	No menos de 2.25 ni 4 veces más la suma de cementantes en volumen
	1	0 a $\frac{1}{2}$	0	
II	1	0	$\frac{1}{4}$ a $\frac{1}{2}$	
	1	$\frac{1}{2}$ a 1	0	
III	1	0	$\frac{1}{2}$ a $1 \frac{1}{4}$	

Fuente: N.CMT.2.01.004/02, 2022

1.2.3.1 Características de los morteros tipo “M”

De acuerdo con Salamanca el mortero tipo M es una mezcla muy duradera que le otorga más durabilidad a el mortero. Indicado para estructuras en contacto con el suelo, tales como cimentaciones, muros de contención, pavimentos, tuberías de aguas negras,

pozos, etc. y recomendado para mampostería expuesta a grandes cargas de compresión (Salamanca, 2001).

1.2.3.2 Características de los morteros tipo “S”

Es un mortero con las más altas propiedades de adherencia, utilizado para estructuras sometidas a cargas normales de compresión que requieran altas propiedades de adherencia, como su adherencia en muros para revestimientos (Salamanca, 2001).

1.2.3.3 Características de los morteros tipo “N”

La resistencia a la compresión del mortero tipo N alcanza los 125 kg/cm² y es un mortero de uso general con suficiente trabajabilidad, utilizado para estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo, muros interiores, divisiones, etc. (Salamanca, 2001).

1.2.3.4 Características de los morteros tipo “O”

Es un mortero de baja resistencia debido a su alto contenido de cal, pero económico y con una gran trabajabilidad, usualmente son usados para las viviendas, en muros y divisiones sin carga, o en revestimientos sometidos a congelamiento aun cuando estos puedan estar húmedos (Salamanca, 2001).

1.2.4 PROPIEDADES DEL MORTERO

El mortero cuenta con dos tipos importantes de propiedades de acuerdo con su estado físico, denominadas estado fresco, el cual corresponde a la fase del mortero una vez mezclado y amasado, su duración varía de acuerdo con el tiempo de fraguado requerido por la mezcla y agentes externos como la temperatura y humedad, mientras que en estado endurecido la mezcla de mortero se endurece y adquiere ciertas propiedades.

Las propiedades que adquiere el mortero en estado plástico son la trabajabilidad, la fluidez y la capacidad de retención de agua.

1.2.4.1 Trabajabilidad

La trabajabilidad es la propiedad más importante que presenta el mortero en estado fresco, debido a que esta propiedad le permite ser mezclado, colocado, compactado y

acabado con facilidad sin segregación y exudación. Está determinada por la graduación del agregado, las proporciones de materiales y el contenido de agua.

La trabajabilidad es una combinación de varias propiedades, incluyendo la plasticidad, consistencia, cohesión y adhesión, de las cuales no se cuenta con una medición exacta mediante pruebas de laboratorio (NTG, 2012).

Un aspecto importante en la trabajabilidad de las mezclas es el contenido de aire dado que este aumenta la trabajabilidad, debido a que los vacíos se llenan con burbujas de aire que promueven el roce entre las partículas, facilitando el manejo de la mezcla, sin embargo, debe de tenerse cuidado porque demasiado aire podría afectar la resistencia o durabilidad del mortero (Navas & Arias, 2015).

1.2.4.2 Fluidez

La fluidez está determinada sobre todo por el contenido de humedad de la mezcla, de acuerdo con la prueba de laboratorio ASTM 1437, la fluidez expresa el porcentaje de aumento en el diámetro de la mezcla cuando se vierte en un cono truncado sobre la parte inferior de la mesa de fluidez, para después levantar el cono y realizar 25 golpes de la mesa en 15 segundos (ASTM, 2001).

1.2.4.3 Capacidad de retención de agua

La retención del agua es una medida de la capacidad del mortero para retener el agua de mezclado cuando entra en contacto con agentes externos como la temperatura, el viento o el sol. Esta propiedad proporciona el tiempo necesario para trabajar la mezcla sin dificultar el proceso constructivo, por ejemplo, en la colocación y nivelación de los elementos de mampostería, por otro lado, la pérdida acelerada de humedad podría ocasionar la contracción, agrietamiento o desprendimiento del mortero (NTG, 2012).

la capacidad de retención del agua puede aumentarse con la adición de cal, aditivos inclusores de aire o con materiales retenedores de agua.

La prueba de laboratorio para determinar la retención de agua en el mortero es la ASTM C1506, la cual es realizada en mortero fresco midiendo la fluidez de la mezcla recién

preparada para compararla con la obtenida después de aplicar una succión de siete KPa durante un minuto (ASTM, 2017).

Las propiedades en estado endurecido están estipuladas por las prescripciones del proyecto, el cumplimiento de las exigencias normativas y reglamentario, las cuales son la adherencia y la resistencia a compresión.

1.2.4.4 Adherencia

Es una propiedad física del mortero en estado seco que le permite adherir elementos de mampostería. Algunos aspectos que afectan la adherencia del mortero y la hacen impredecible son las condiciones de curado, el tiempo transcurrido entre la aplicación del mortero y la colocación del elemento de mampostería, así como la capacidad de retención de agua y cohesión del mortero. (NTG, 2012)

1.2.4.5 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la base para establecer la compatibilidad de los ingredientes del mortero y es uno de los principales criterios para elegir el tipo de mortero que será utilizado en cualquier construcción (NTG, 2012).

La resistencia a compresión del mortero se determina fácilmente mediante un ensayo simple de laboratorio que proporciona resultados consistentes y reproducibles. El procedimiento está establecido por la norma ASTM C109, consta del ensayo de especímenes cúbicos de mortero de 50 mm (2 pulgadas) de lado o de pequeños cilindros de mortero, en períodos de prueba especificado, empleados en máquinas de ensayo del tipo hidráulico o de tornillo disponibles en el laboratorio (ASTM b, 2021).

De acuerdo con la clasificación de tipos de morteros proporcionada en la normativa N.CMT.2.01.004/02 de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes de México (SCT), la resistencia mínima a la compresión simple para cada tipo de mortero obtenida del ensayo de los especímenes cúbicos a los 28 días de edad, expresada en kg/cm² y en MPa, será la indicada en la Tabla 5. Resistencia a la compresión de morteros (N.CMT.2.01.004/02, 2022).

Tabla 5. Resistencia mínima a la compresión de morteros.

Resistencia mínima a la compresión de morteros.		
Tipo de mortero	S _F en MPa	S _F Kg/cm ²
I	12.5	127
II	7.5	76
III	4.0	41

Fuente: N.CMT.2.01.004/02, 2022

1.2.5 PRUEBAS PARA MORTERO

La realización de diversas pruebas de laboratorio para los materiales de construcción es esencial para determinar el cumplimiento de los requerimientos necesarios para su uso dentro del proyecto.

En este proyecto se realizaron tres pruebas para determinar las propiedades de las mezclas de mortero; la prueba de fluidez en estado fresco, la prueba de resistencia a flexión (de paneles delgados) y la prueba de resistencia a compresión (de especímenes cúbicos) en estado endurecido.

1.2.5.1 Prueba de Fluidez para Mortero

El propósito de realizar una prueba de fluidez es determinar la manipulación de la mezcla sin que se produzcan problemas de segregación, el tiempo que puede trabajarse sin secarse y la facilidad de colocación durante el colado.

El método de prueba de la norma ASTM 1437 está diseñado para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico y de morteros que contengan materiales cementicos que no sean cementos hidráulicos.

Con base a la norma ASTM 1437, “el flujo es el resultado de un aumento del diámetro de la base de la masa de mortero, expresada en porcentaje del diámetro original de la base” (ASTM, 2001) y puede calcularse mediante la ecuación:

$$F = \frac{(D_1 - D_0)}{D_0} * 100$$

En dónde:

F = es el flujo, D_0 = es el diámetro del molde y D_1 = es el promedio de los diámetros obtenidos a lo largo de las cuatro líneas marcadas en la parte superior de la mesa de fluidez.

El equipo empleado para la realización de la prueba de fluidez de morteros en estado fresco es:

- Una mesa de fluidez con la cara superior plana, pulida y libre de defectos superficiales, con ocho líneas marcadas equidistantes de 68 mm de largo, que van desde la parte exterior de la circunferencia hasta el centro de la plataforma y un molde de bronce o latón de fácil remoción con forma de tronco de cono recto, el cual cumple con la norma ASTM C230 (ASTM, 2020).
- Flexómetro. Se puede usar cualquier calibre de medición exterior construido con material resistente a la corrosión, siempre que se incremente en milímetros y su extensión máxima de medición sea de al menos 260 mm.
- Espátula. De hoja de acero de 4 a 6 pulgadas de longitud, con bordes rectos. Los bordes cuando se colocan sobre una superficie plana, no se apartarán de la rectitud en más de 1 mm.
- Regla. Elaborada de acero, con al menos 8 pulgadas de largo y no menos de 0.06 pulgadas, ni más de 3.5 mm de espesor, cuyo borde no se apartará de una superficie plana en más de 1 mm.

El procedimiento establecido por esta norma se especifica e ilustra en el capítulo II “Procedimiento y descripción de las actividades realizadas” dentro del punto 2.8 “Realización de pruebas de fluidez”.

1.2.5.2. Prueba de Resistencia a Flexión de Morteros Hidráulicos

El método de prueba de la norma ASTM C 348, se realiza con la intención de determinar la resistencia a fuerzas aplicadas perpendicularmente al eje longitudinal de los especímenes de morteros de cemento hidráulico mediante el ensaye de tres o más especímenes para cada período de prueba especificado (ASTM C 348, 2021a).

Registrando la carga máxima total y calculando la resistencia a la flexión en MPa mediante la siguiente formula:

$$S_F = 5.0028 P$$

En dónde:

S_F =resistencia a la flexión, MPa, y P = carga máx. total, N.

El equipo empleado para el ensayo de resistencia a la flexión debe contar con las siguientes especificaciones:

- Pesas y dispositivos de pesaje. Deben cumplir con los requisitos de la especificación ASTM C 1005.
- Mezclador, tazón y paleta. Una mezcladora mecánica activada eléctricamente del tipo equipada con una paleta y tazón de mezclado, especificados en la sección de aparatos de práctica ASTM C 305.
- Moldes de especímenes. Los moldes para especímenes de paneles son de 35 cm de largo, 25 cm de ancho y 3cm de espesor, deben ser suficientemente rígidos y estar hechos de un material no atacado por el mortero de cemento, diseñados de manera que los especímenes se moldeen con sus ejes longitudinales en posición horizontal. Las partes de los moldes deberán estar marcadas, y cuando se ensamblen, deberán ajustarse herméticamente. Los lados de los moldes deberán ser lo suficientemente rígidos para evitar que se extiendan o se deforman y las caras interiores serán superficies planas.
- Apisonador. Debe ser de un material no absorbente, no abrasivo, no quebradizo o de madera de roble convertido en no absorbente por inmersión durante 15 min en parafina a aproximadamente 200°C. La cara de apisonamiento debe ser plana y perpendicular a la longitud del apisonador.
- Paleta. Deberá tener una hoja de acero de 4.5 pulgadas a 10 pulgadas de longitud, con bordes rectos.
- Dispositivo de prueba de flexión. El método de carga del punto central se utilizará para realizar pruebas de flexión en las muestras y el dispositivo utilizado debe

estar diseñado de tal manera que las fuerzas aplicadas al espécimen sean únicamente verticales y aplicadas sin excentricidad.

Conforme a la norma ASTM C 348 los aparatos utilizados para realizar los ensayos de flexión de especímenes de mortero deben estar diseñados para incorporar los siguientes principios:

- La distancia entre los apoyos y los puntos de aplicación de la carga deben permanecer constante.
- La carga se debe aplicar normal a la superficie cargada del espécimen y de tal manera que se evite toda excentricidad de la carga.
- La dirección de las reacciones debería ser paralela a la dirección de la carga aplicada en todo momento durante el ensayo.
- La carga debe aplicarse a un ritmo uniforme y de manera que se eviten golpes.

El procedimiento establecido por esta norma se especifica e ilustra dentro del capítulo II “Procedimiento y descripción de las actividades realizadas”, en el punto 2.10 “Realización de pruebas de resistencia a flexión de paneles delgados”.

En el caso de los especímenes de ensayo considerados defectuosos o que difieran en más del 10% del valor promedio de todos los especímenes de ensayo hechos de la misma muestra y ensayados en el mismo periodo no deben ser considerados para determinar la resistencia a la flexión y si después de descartar estos especímenes o valores de resistencia, quedan menos de dos valores obtenidos para determinar la resistencia a flexión en cualquier periodo dado, se debe realizar una nueva prueba.

1.2.5.3. Prueba de Resistencia a Compresión en Morteros Hidráulicos

El método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión de los morteros de cemento hidráulico de la norma ASTM C 109, indica la capacidad del espécimen de mortero para soportar una carga por unidad de área, mediante el ensaye de tres o más especímenes cúbicos de 50 mm de dimensión en cada período de prueba especificado (ASTM C 109, 2021b).

El procedimiento establecido por esta norma se especifica e ilustra en el capítulo II “Procedimiento y descripción de las actividades realizadas”, específicamente en el punto 2.12 “Realización de pruebas de resistencia a compresión de cubos”.

Registrando la carga máxima total con una exactitud del $\pm 1.0 \%$, indicada por la máquina de ensayo del tipo hidráulico o de tornillo y calculando la resistencia a la

compresión en MPa mediante la siguiente formula:

$$f' c = P/A$$

En dónde:

P= carga máxima total, Kg y A= área de la superficie sometida a la carga en cm².

El equipo empleado para el ensayo cuenta con las siguientes especificaciones:

- Pesas y dispositivos de pesaje. Deben cumplir con los requisitos de la especificación ASTM C 1005 y el dispositivo de pesaje debe ser evaluado en precisión y sesgo para una carga total de 2000 g.
- Probetas graduadas de vidrio. Deben ser preferentemente lo suficiente grandes para medir el agua de mezclado en una operación única para entregar el volumen indicado a 20°C y la variación admisible debe ser ± 2 ml.
- Moldes de especímenes. Los moldes para especímenes cúbicos de 50 mm deben ser suficientemente rígidos y estar hechos de metal duro no atacado por el mortero de cemento, ajustados herméticamente y no deben tener más de tres compartimientos cúbicos, separables en no más de dos partes. Las partes de los moldes cuando están ensambladas deben ser sostenidas juntos en forma segura, y las caras interiores deben ser superficies planas.
- Mezclador, tazón y paleta. Una mezcladora mecánica activada eléctricamente del tipo equipada con una paleta y tazón de mezclado, especificados en la práctica ASTM C 305.
- Apisonador. Debe ser de un material no absorbente, no abrasivo, no quebradizo o de madera de roble convertido en no absorbente por inmersión durante 15 min en

parafina a aproximadamente 200°C, con una sección transversal de aproximadamente 13 por 25 mm y una longitud de aproximadamente 120 a 150 mm. La cara de apisonamiento debe ser plana y perpendicular a la longitud del apisonador.

- Espátula. De hoja de acero de 4 a 6 pulgadas de longitud, con bordes rectos.
- Máquina de ensayo. Debe ser del tipo hidráulico o de tornillo, con suficiente abertura entre la superficie superior de carga y la superficie inferior de carga de la máquina para permitir la utilización de aparatos de verificación y deben ser verificadas de acuerdo con la práctica de ASTM E4, por lo menos anualmente, para determinar si la carga máxima indicada es exacta al ± 1.0 %.
- Los bloques de apoyo de la máquina de compresión deben ser comprobados para su planicidad de acuerdo con este método de ensayo, por lo menos anualmente, utilizando una regla de acero de borde recto y un medidor de espesores.

1.3 MALLAS DE REFUERZO

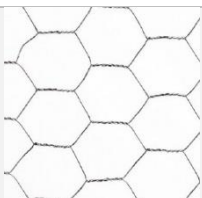
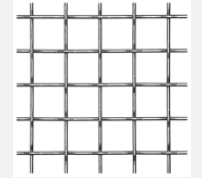
La malla de alambre de acero es uno de los componentes principales en los paneles delgados de mortero, fabricada con alambres delgados y poco espaciados entre sí, tejidos, trenzados o soldados, lo suficientemente flexibles, manuales y resistentes a la corrosión, cuyas propiedades inciden directamente en el comportamiento mecánico de los paneles de mortero

La malla de alambre es distribuida uniformemente en la pasta de mortero y colocada dentro de la estructura para dar forma, recibir y sostener el mortero en estado fresco y al endurecerse formar un elemento rígido y homogéneo que le permite absorber esfuerzos de flexión ejercidos sobre la estructura. Es importante recalcar la importancia de la implementación de la malla de refuerzo ya que el mortero por sí solo no podría soportar las cargas a flexión llevando la estructura al fallo.

De acuerdo con Wainshtok, dentro de las ventajas de utilizar malla de acero en la fabricación de paneles de mortero se encuentran la resistencia al agrietamiento, la resistencia a la corrosión, fácil reparación, bajo costo y mantenimiento, lo que permite su uso en múltiples aplicaciones (Wainshtok, 1992 como se citó en Mejías, Águila, 2013).

El comportamiento del panel de mortero depende en gran medida del tipo, grado de concentración, orientación, resistencia y tamaño de la malla de refuerzo. En la elaboración de los paneles de mortero se puede utilizar como refuerzo, cualquiera de las mallas mostradas en la Tabla 6, dependiendo de las especificaciones del tipo de estructura y la implementación de barras lisas o corrugadas de acero estructural para la confección de la malla, mientras sus diámetros no sean mayores de 6.35 mm (CEPIS, 2003).

Tabla 6. tipos de mallas empleadas en la elaboración de ferrocemento.

Tipo de malla		Norma	Descripción
Hexagonal de alambre (malla de gallinero)			Fácil de manejar, formada por el trenzado de alambres galvanizados y fabricada con alambre estirado en frío.
Malla electrosoldada		ASTM A185	Formada por alambres rectilíneos de acero, dispuestos de manera que forman cuadrados o rectángulos, soldados entre sí en los puntos de contacto.
Malla cuadrada tejida		ASTM E2016-99	Malla tejida con alambres entrelazados de forma cuadrada o rectangular un poco chuecos, con cierto grado de ondulación.
Malla de metal expandido		ASTM C847	Formada del corte de una hoja delgada de metal, desplegada para hacer aberturas en forma de diamante.

Fuente: Guía de construcción para estructuras de ferrocemento, CEPIS, 2003

Finalmente, la malla de alambre de acero empleada como refuerzo de los paneles delgados de mortero está formada por alambres de acero galvanizado torcidos entre sí en forma hexagonal de una pulgada de abertura, conocida comercialmente con el nombre de malla de gallinero, siendo un material de fácil manejo, con un bajo costo y una alta resistencia a la corrosión.

1.4 FIBRAS ESTRUCTURALES

La implementación de fibras estructurales en el diseño de mezclas de mortero ha sido estudiada con el objetivo de proporcionar una mayor resistencia mecánica, reducir el riesgo de agrietamiento y dar mayor flexibilidad al mortero, esto se logra mediante la formación de una micro armadura, obtenida al distribuir uniformemente las fibras estructurales con el resto de los materiales durante el proceso de mezclado, existiendo diferentes tipos de fibras estructurales de acuerdo con su materia prima, las cuales pueden ser del tipo natural o sintético.

La norma ASTM C1116 define a el mortero reforzado con fibras como un mortero del Tipo III, que contiene microfibras y/o macrofibras sintéticas para los cuales se puede generar evidencia de laboratorio que confirme su resistencia a la deterioración a largo plazo al estar en contacto con la humedad y los álcalis presentes en la pasta de cemento, las sustancias presentes en el aire incluido, o los aditivos químicos (ASTM, 2016b).

Las microfibras sintéticas son aplicables en la mayoría de las estructuras de concreto, especialmente en aquellas que tienen grandes superficies, que durante su proceso constructivo están expuestas a las condiciones ambientales, en las que con frecuencia hay diferenciales de humedad, de temperatura e incluso corrientes de aire y se utilizan generalmente para el control del agrietamiento por retracción plástica pero no aportan una capacidad estructural al mortero. Las microfibras son de adquisición comercial y se encuentran disponibles en diámetros entre 0.02 mm y 0.05 mm, regularmente en longitudes desde 6 mm hasta 25.4 mm. La mayoría de proveedores recomienda la dosificación de 0.6 kg/m^3 (EUCLID CHEMICAL, 2020).

Las macrofibras se utilizan para controlar grietas por temperatura, así como para mejorar el desempeño post agrietamiento de los elementos de mortero sometidos a flexión y tensión, lo cual permite reemplazar la malla electrosoldada y las barras de acero en un buen número de aplicaciones. Las macrofibras sintéticas son relativamente gruesas y se adquieren en diámetros entre 0.5 mm y 0.7mm, con longitudes típicas de entre 19 mm y 50 mm (EUCLID CHEMICAL, 2020).

Considerando la afirmación de Acosta de que las fibras de polipropileno “son químicamente inertes y no sufren alguna afectación por los elementos básicos del mortero, no se oxidan ni se corroen y pueden tener una vida útil igual al de las estructuras en las que se empleen” (como se citó en Acosta, 1991).

En el presente proyecto se decidió utilizar como refuerzo adicional fibras sintéticas de polipropileno de la marca EUCO®, que cumplan con las especificaciones estándar de la norma ASTM C1116 (ASTM b, 2016), en las siguientes cantidades: 5 g de fibras sintéticas de polipropileno de 15 mm de longitud y 5 g de fibras sintéticas de polipropileno de 25 mm de longitud.

Las fibras sintéticas de polipropileno de la marca EUCO® están diseñadas para ayudar a mitigar la formación de agrietamiento por contracción plástica en el mortero y de acuerdo con su ficha técnicas las ventajas de su implementación son:

- Controlar y mitigar el agrietamiento por contracción plástica.
- Mejorar la resistencia a la flexión y al cizallamiento.
- Mejorar la capacidad de carga y la ductilidad.
- Aumentar la tenacidad y la resistencia a la abrasión.
- Proporcionar refuerzo tridimensional contra micro-agrietamiento.
- Incrementar la durabilidad de la superficie.
- Reducir los costos de colocación en comparación con el mortero reforzado con malla electrosoldada.
- La fibra sintética no sufrirá corrosión, uno de los principales factores que afectan a la durabilidad.
- El refuerzo con fibra sintética ofrece una reducción del 70% en la huella de carbono en comparación con el refuerzo de fibra de acero y varillas de acero.

Las aplicaciones principales de las fibras de polipropileno son:

- Losas sobre rasante de concreto industrial, sobrecapas y toppings.
- Bases de concreto y mortero, cimentaciones, muros.
- Aplanados, prefabricados de concreto y mortero y vigas pres forzadas.

- Concreto lanzado, pavimentación en aplicaciones peraltadas y sistemas losa-acero.

Algunas de las consideraciones que deben tenerse son:

- Las fibras de polipropileno están diseñadas para actuar como refuerzo por temperatura y no deben utilizarse para sustituir el acero estructural.
- El producto tiene un tiempo de vida de 3 años en su envase original sin abrir y debe almacenarse bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.
- El uso de las fibras puede ocasionar una pérdida aparente en el revenimiento del mortero y esto debe disminuirse con el uso de un aditivo reductor de agua en caso necesario.

La información técnica de las propiedades de las fibras de polipropileno se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. propiedades de las fibras de polipropileno

Propiedades de la fibra de polipropileno	
Gravedad específica	0.91
Dosificación típica	0.6 kg/m ³
Longitud disponible	12 mm y 19 mm
Resistencia a la tensión	520 MPa
Módulo de elasticidad	3.8 GPa
Punto de fundición	160 °C
Conductividad eléctrica	Baja
Absorción de agua	Insignificante
Resistencia a ácidos y álcalis	Excelente
Conteo de fibra	Aprox. 0.45 Kg

Fuente: Ficha técnica Fiberstrand 100, EUCO MEX, 2022.

Finalmente, tal como lo afirma Acosta, “las propiedades del polipropileno hacen a los atados fibrosos especialmente útiles y económicamente viables como un elemento adicional en el diseño de mezclas, e incluso se consideran una innovación para el mejoramiento de las mezclas de mortero” (como se citó en Acosta, 1991).

CAPÍTULO II PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

En este capítulo se describen las actividades realizadas en el laboratorio del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, para el diseño, preparación y colado de las mezclas de mortero, así como la realización de las pruebas de fluidez de las mezclas y las pruebas de flexión y compresión de los especímenes.

2.1 OBTENCIÓN DE LOS MATERIALES

A continuación, se describen los materiales para la elaboración de las mezclas:

- El Cemento Portland (CP) empleado para el diseño de mezclas es de la marca Holcim Apasco®, obtenido comercialmente y se empleó sin requerir de ningún tratamiento.
- La ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC) fue recolectada de un tiradero a cielo abierto en el ingenio azucarero “Constancia”, que pertenece al Grupo Beta San Miguel, ubicado en Tezonapa, Veracruz, México. La ceniza se recolectó y se tamizó a través de la malla No. 200 ASTM (75 μm) durante cuatro minutos.
- La ceniza volante (CV) utilizada es de la marca Admix Tech®, se adquirió comercialmente y no requirió de ningún tratamiento.
- El polvo de vidrio ámbar (PVA) se obtuvo de la trituración, pulverización y molienda de botellas de desecho color ámbar. Las botellas se lavaron con agua y jabón para eliminar residuos y se dejaron secar a temperatura ambiente por 24 horas. Posteriormente se trituraron, empleando una trituradora de mandíbula, durante tres ciclos de 1 minuto cada uno para obtener partículas de tamaño aproximado de 1 cm, posteriormente las partículas fueron pulverizadas empleando un equipo pulverizador Bico UA® en dos ciclos de 1 minuto y se obtuvieron partículas inferiores a 5 mm. Finalmente, las partículas se molieron en un molino de bolas durante 4 horas para obtener polvos con un tamaño promedio de partícula (D50) 5.07 μm .

- El agregado fino utilizado es arena de río adquirida comercialmente y se realizaron pruebas para su caracterización.
- Las partículas de desechos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (RPAEE) fueron otorgados por parte de la Universidad Tecnológica de la Mixteca en donde pasaron por un proceso de trituración y se realizaron pruebas para su caracterización.

2.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO FINO

En esta sección se describen las actividades que se realizaron para caracterizar el agregado fino por medio de pruebas de Granulometría, peso volumétrico seco suelto, peso volumétrico seco compacto, densidad relativa y absorción, para el diseño de las mezclas de mortero.

Dichas actividades fueron realizadas en el laboratorio del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, cuyos resultados se encuentran concentrados en la Tabla 8 características del agregado fino.

Tabla 8. Características del agregado fino.

Características del agregado fino.		
M _F	2.97	Norma ASTM C33
W.v.s.s	1 548.5 kg/m ³	Norma ASTM C29
W.v.s.c	1 753.3 kg/m ³	Norma ASTM C29
Dr	2.67 kg/m ³	Norma ASTM C128
Abs (%)	0.34 %	Norma ASTM C70

Fuente: DGAC,2022

2.2.1 GRANULOMETRÍA

El análisis granulométrico consiste en la separación de las partículas que constituyen el agregado fino mediante un procedimiento manual o mecánico, con la finalidad de conocer las cantidades en peso y porcentaje de los diversos tamaños de las partículas de agregado fino aportadas al peso total. Con el propósito de establecer una granulometría del agregado fino a utilizar que se encuentre dentro de los límites de la norma ASTM C33 se realizó el procedimiento descrito a continuación:

Se llevó a cabo el mezclado (Figura 3) y cuarteo de la arena (Figura 4) para la obtención de una muestra representativa de 300 g para la realización de la prueba (Figura 5).



Figura.3. Mezclado de arena. Figura. 4. Cuarteo de arena. Figura 5. Toma de muestra.

Fuente: DGAC,2022

La arena fue cribada durante un tiempo aproximado de 5 minutos (Figura 6)., mediante un procedimiento mecánico haciendo uso del agitador de cribas Ro-Tap (Figura 7) que reproduce un movimiento circular y de golpeteo, y utilizando el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, correspondientes a las mallas 8,16,30,50,100 y 200 (Figura 8).



Figura. 6. Cribado de muestra. Figura. 7. Agitador Ro- Tap. Figura 8. Juego de tamices.

Fuente: DGAC,2022

La cantidad de partículas retenidas en cada uno de los tamices después del cribado, fue depositada cuidadosamente en recipientes para registrar su masa (Figura 9).



Figura.9. Retenidos en cada malla durante cribado. Fuente: DGAC,2022.

Los pasos empleados para determinar el módulo de finura del agregado fino son descritos a continuación y representados en la Tabla 9.

- Se procedió a calcular el porcentaje retenido en cada malla, mediante la división del peso de la fracción que se retuvo entre el peso de la muestra y el resultado se multiplico por 100, el valor obtenido fue registrado en la columna de porcentajes retenidos y en seguida se obtuvo el porciento retenido acumulativo.
- El módulo de finura de la arena se calculó sumando los porcentajes acumulados retenidos en cinco mallas utilizadas, correspondientes de a la N° 8 hasta la N°100, cuya cantidad fue dividida entre 100.

$$M_F = \frac{\sum \% \text{ acumulados retenidos}}{100} \quad M_F = \frac{12 + 39 + 64 + 86 + 97}{100} = 2.97$$

Tabla 9. Granulometría del agregado fino.

N° Malla	Malla (mm)	Peso (g)	Porcientos	% enteros	%Acumulado
Ret. 08	2.36	34.61	11.54	12	12
Ret. 16	1.18	80.99	27.00	27	39
Ret. 30	0.06	77.06	25.69	26	64
Ret. 50	.030	64.14	21.38	21	86
Ret. 100	.015	33.77	11.26	11	97
Ret. 200	.0075	7.39	2.46	2	99
Pasa 200	-----	1.95	0.65	1	100

Fuente: DGAC,2022

Para comprobar si la arena está bien graduada y está dentro de los límites que marca la norma ASTM C33 se graficaron los valores de la columna de % acumulado en las mallas, en color verde se representa la arena (Figura 10).

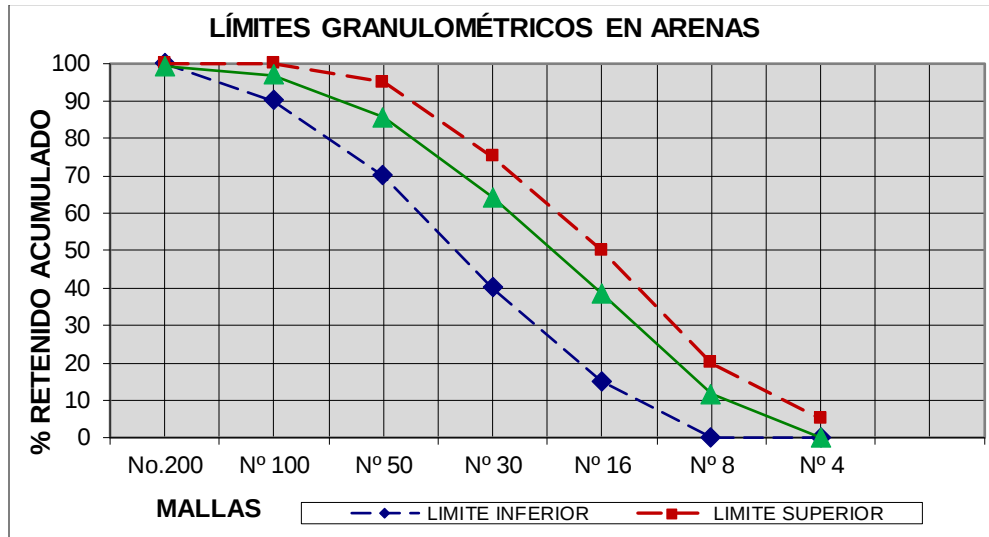


Figura. 10. Límites granulométricos del agregado fino, norma ASTM C33. Fuente: DGAC,2022

Tal como se pudo observar en la gráfica anterior, la arena cribada se encuentra dentro de los límites granulométricos establecidos en la norma ASTM C33 y es apta para su uso en el diseño de las mezclas de mortero.

2.2.2 PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO

Basándose en la norma ASTM C29 se pudo calcular la cantidad de arena en kilogramos por metro cúbico y el contenido de vacíos, al verter material en un recipiente de volumen conocido sin darle una compactación a las partículas.

Para ello, se realizó un cuarteo de la arena seca (Figura 11) para tener una muestra representativa del material y con apoyo de una báscula se analizó el peso del recipiente vacío, el cual corresponde a 2464 g.

Con el uso de un cucharón se dejó caer el material dentro del recipiente a una altura aproximada de 20 cm (Figura 12) hasta llenarlo completamente para enrasar la arena con ayuda de un hilo.

Una vez enrasado el material se colocó en la báscula para registrar el peso del recipiente más la arena (Figura 13), el cual fue de 6.631 g.



Figura.11. Cuarteo de arena. Figura. 12. Colocación en molde. Figura 13. Pesado de arena.

Fuente: DGAC,2022

Finalmente se calcula el peso volumétrico del material seco y suelto, sustituyendo los valores en la siguiente fórmula:

$$W.V.S.S. = \frac{W_m}{V_r}$$

En dónde:

W_m = (peso del recipiente + material) – (Peso del recipiente), Kg y V_r = Volumen del recipiente ,m³.

Obteniendo un valor para W.V.S.S. de 1 548.5 kg/m³

2.2.3 PESO VOLUMÉTRICO SECO COMPACTO

Se procedió a calcular la cantidad de arena en kilogramos por metro cúbico sin vacíos, al verter material en un recipiente de volumen y peso conocido correspondiente a 2464 g y 2691 cm³, con una compactación de las partículas por medio de golpes con la varilla punta de bala como lo dicta la norma ASTM C29.

Se empleó un cucharón para verter el material dentro del recipiente (Figura 14) a una altura aproximada de 20 cm en 3 fases y dándole 25 golpes con la varilla punta de bala

(Figura 15) a cada capa hasta llenarlo para después enrasar con la varilla punta de bala (Figura 16) y pesar el material, obteniendo un peso de 7182 g.



Figura.14. Llenado de molde. Figura.15. Compactación de la arena. Figura.16. Enrase de arena.

Fuente: DGAC,2022

Para sustituir los valores en la siguiente formula:

$$W.V.S.C. = \frac{W_m}{V_r}$$

En donde:

W_m = (peso del recipiente + material) – (Peso del recipiente), Kg y V_r = Volumen del recipiente ,m³.

Obteniendo un valor para W.V.S.C. de 1 753.3 kg/m³

2.2.4 DENSIDAD RELATIVA DE LA ARENA

La densidad relativa es la masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro cubico, el método empleado por la norma ASTM C128 determina la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino, empleando un matraz de fondo plano de 500 ml de capacidad y su correspondiente curva de calibración, dicho método es detallado en seguida.

Previo al inicio de la prueba, la arena se saturó en agua por 24 horas (Figura 17).

Para la obtención del estado saturado superficialmente seco (SSS) se retiró el agua de la arena y se comenzó el secado en estufa (Figura 18), para lo que se necesitó del movimiento constantemente del material con apoyo de una pala de madera y el retiro de la charola de la estufa para la aplicación de movimientos horizontales y de rotación que ayudaran a enfriar el material. (Figura 19)



Figura.17. Saturación de arena. Figura.18. Secado en estufa. Figura.19. Enfriamiento arena
Fuente: DGAC,2022

Se utilizó un cono truncado vertiendo la arena en dos capas para determinar el momento del estado SSS (Figura 20) y empleando 15 golpes con el pisón en la primera aplicación de arena y 10 golpes en la segunda (Figura 21). Se enraso con el mismo pisón y se levantó el cono con un movimiento vertical constante hacia arriba sin movimientos laterales (Figura 22).



Figura.20. Colocación de cono. Figura.21. Compactación de arena. Figura.22. Extracción de cono.
Fuente: DGAC, 2022

Cuando se retiró el cono, los granos de arena se movieron produciendo una especie de montaña con terminación en pico indicando que se alcanzó la condición del estado saturado superficialmente seco del agregado fino (SSS) (Figura 23).

Después, se tomaron dos muestras representativas de la arena seca saturada y al matraz se le añadió agua hasta la mitad de la parte curva de la botella para proceder a la obtención de la densidad relativa del agregado fino.

A continuación, se vaciaron cuidadosamente 200 gramos de arena a través de un embudo (Figura 24) y el aire atrapado en la muestra de arena se eliminó girando la botella alrededor de su eje longitudinal aproximadamente 5 veces (Figura 25).



Figura.23. Condición de arena SSS. Figura.24. Vaciado de arena en matraz. Figura.25. Eliminación de aire en el matraz.

Fuente: DGAC, 2022

Luego se añadió agua hasta la marca de volumen del matraz, asegurando que la parte inferior del menisco coincida con la marca de 500 ml, consiguiendo un peso total del matraz con agua más arena (W_{mws}) de 780.08 g (Figura 26).

Se midió la temperatura de la suspensión registrando un valor de 24°C (Figura 27) en la curva de calibración del matraz y obteniendo el valor correspondiente al peso del matraz con agua hasta la marca de aforo (W_{mw}) de 657.6 g.

Al mismo tiempo, la segunda muestra se secó completamente en el horno durante 24 hrs para tener el peso seco de arena (W_s), cuyo resultado fue 195.88 g (Figura 28).

Por último, para el cálculo de la densidad relativa (D_r) se sustituyeron los valores obtenidos en la fórmula:

$$D_r = \frac{W_s}{W_s + W_{mw} - W_{mws}},$$

En dónde:

W_s = el peso seco de la arena, W_{mw} = el peso del matraz con agua, W_{mws} = el peso del matraz con agua y arena.

Obteniendo un valor para D_r de 2.67 kg/m^3



Figura.26. Pesado de matraz con agua y arena.



Figura.27. Toma de temperatura del agua en matraz.



Figura.28. Secado del material en horno.

Fuente: DGAC, 2022

2.2.5 ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Para comprobar el contenido neto de agua del mortero y determinar los pesos correctos del agregado fino, se debe determinar la absorción y la humedad superficial de la arena de acuerdo a lo estipulado con las normas ASTM C70, C127, C128 y C566.

Los pasos para realizar esta prueba son los siguientes:

Inicialmente se agregó una porción de arena en la tara N°13(Figura 29), para obtener el peso del material seco con la absorción a temperatura ambiente (W_{ssh})

restando 35.11 g respectivo a el peso de la tara, por lo tanto, el peso de W_{ssh} corresponde a 143.9 g.

Se procedió a colocar la muestra en la parrilla eléctrica (Figura 30) a máxima temperatura por un periodo aproximado de 5 minutos y se disminuyó la temperatura para monitorear constantemente la perdida de humedad del material con apoyo de un vidrio (Figura 31) que indica el estado seco del suelo cuando ha dejado de empañarse.

Una vez que la muestra perdió toda la humedad se dejó reposar unos minutos para que el material se enfriara y se obtuvo el peso del suelo completamente seco (W_s) de 143.41 g.

Por último, los valores de pesos W_s y W_{ssh} se sustituyeron en la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción} = \frac{W_{ssh} - W_s}{W_s} \times 100$$

En dónde;

W_{ssh} = el peso del material seco con la absorción del ambiente y W_s = el peso del material completamente seco.

Obteniendo una absorción de 0.34 %.



Figura.29. Obtención de la muestra. Figura.30. Secado de arena. Figura.31. Monitoreo de humedad.

Fuente: DGAC, 2022

2.3 CARACTERIZACIÓN DE PARTÍCULAS DE RPAEE

Enseguida se describen los procedimientos realizados en el laboratorio del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca para caracterizar los residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Los resultados obtenidos se encuentran concentrados en la Tabla 10 características de los residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos.

Tabla 10. Características de RPAEE.

Características de RPAEE.	
Porcentaje que sustituye de arena.	11.54 %
Peso volumétrico seco suelto.	512.8 kg/m^3

Fuente: DGAC, 2022

2.3.1 CRIBADO DE LOS RESIDUOS PLÁSTICOS DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

Los residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos se cribaron durante un tiempo aproximado de 5 minutos, mediante el uso del agitador de cribas Ro-Tap (Figura 32), utilizando el juego de tamices ordenados de mayor a menor abertura, correspondientes a las mallas 8,16,30,50,100 y 200 (Figura 33) para separar las partículas finas (Figura 34) y desechar el material reactivo o polvo.



Figura.32. Cribado de RPAEE. Figura.33. Juego de tamices. Figura.34. Separación de RPAEE

Fuente: DGAC, 2022

Durante el cribado se observó que la mayor parte de los residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos es retenida por el tamiz número 8, por lo tanto, se decidió sustituir el material retenido por la misma malla en el cribado de la arena por partículas de RPAEE, el cual representa un porcentaje del agregado fino del 11.54% de acuerdo con la curva granulométrica de la arena previamente realizada (Figura 10).

2.4.2 PESO VOLUMÉTRICO DEL RPAEE

Apoyándose en la norma ASTM C29 se calculó la cantidad de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos en kilogramos por metro cúbico al verter material en un recipiente cilíndrico de metal de volumen conocido sin darle una compactación a las partículas.

El volumen conocido del recipiente a emplear es de 2691 cm^3 y por medio de una báscula se obtuvo el peso del recipiente vacío que corresponde a 2464 g (Figura 35).

Posteriormente con el uso de un cucharón se dejó caer el material dentro del recipiente a una altura aproximada de 20 cm (Figura 36) hasta llenarlo completamente para después enrasar los residuos plásticos con apoyo de una varilla punta de bala (Figura 37).



Figura.35. Pesado del recipiente. Figura.36. Colocación de RPAEE Figura.37. Enrase de RPAEE.

Fuente: DGAC,2022

El peso registrado del recipiente más el plástico es de 3844 g y por último se empleo la siguiente fórmula para calcular el peso volumétrico suelto del RPAEE:

$$W.V.S.P. = \frac{W_m}{V_r}$$

En donde:

W_m = (peso del recipiente + material) – (Peso del recipiente) en Kg, y

V_r = Volumen del recipiente en m^3 .

Obteniendo un valor para W.V.S.P. (peso volumétrico suelto del RPAEE) de $512.8 \text{ kg}/m^3$.

2.4 DISEÑO DE MEZCLAS

La selección de los materiales disponibles y la determinación de la proporción de sus cantidades forman parte del proceso de diseño de mezclas para la fabricación de un mortero trabajable, resistente y durable.

En este proyecto se consideraron los requerimientos de la norma ASTM C 109 para la realización del diseño de las mezclas de mortero, en la que se establece:

- Una relación de los materiales cemento/arena de 1: 2.75 (por cada unidad de cemento se utilizarán 2.75 unidades de arena).
- Una fluidez del mortero en estado fresco equivalente a un diámetro de la mezcla de entre 20.5 a 21.5 cm (ASTM C109, 2021b).

Considerando estos parámetros, se diseñaron un total de siete grupos de especímenes de mortero, de los cuales cinco fueron elaboradas para paneles delgados ensayados a flexión y los dos restantes para cubos ensayados a compresión, con el objetivo de obtener una dosificación que en estado fresco cuente con una trabajabilidad adecuada y en estado endurecido cumpla con las resistencias apropiadas para el proyecto.

En esta sección se describirán de manera individual el cálculo de las porciones de materiales empleados en la elaboración de las mismas y, para resumir, en la Tabla 11, se indica los porcentajes de materiales considerados en el diseño de mezclas y en la Tabla 12 los tipos de paneles y probetas utilizados.

Tabla 11. Porcentajes de materiales para el diseño de mezclas de paneles y cubos.

No. de mezcla	Ingredientes	Nomenclatura de la mezcla	CP %	CBC %	CV %	PVa %	(RPAEE) %
Para Paneles							
1	CP	MC	100	0.0	0.0	0.0	0.00
2	CP+CBC+PVa	M1	85	10	0.0	5.0	11.54
3	CP+CV+PVa	M2	85	0.0	10	5.0	11.54
4	CP+CV+PVa+Fibras	M3	85	0.0	10	5.0	11.54
Para Cubos							
5	CP	MCc	100	0.0	0.0	0.0	0.00
6	CP+CV+PVa	M2c	85	0.0	10	5.0	11.54

Fuente: CIIDIR Oaxaca, 2022

Tabla 12. Tipo de paneles y probetas.

Tipo de espécimen	Mezcla con la que se elaboró	Nomenclatura de paneles y cubos	Malla de refuerzo	Fibras de polipropileno
Panel A	MC	MC Panel A	No	No
Panel B	M1	M1 Panel B	No	No
Panel C	M2	M2 Panel C	No	No
Panel D	M2	M2 Panel D	Si	No
Panel E	M3	M3 Panel E	Si	Si
Cubo A	MCc	MC Cubo A	No	No
Cubo B	M2c	M2 Cubo B	No	No

Fuente: CIIDIR Oaxaca, 2022

2.4.1 MEZCLA CONTROL PARA PANELES DELGADOS (MC)

En la elaboración de 3 paneles delgados se utilizaron 4830 grs de cemento Portland considerando un factor de desperdicio del 5% y se empleó una relación de agua/cemento (a/c) de 0.5, por lo tanto, las cantidades de agua y cemento se calcularon mediante la realización de algunos despejes descritos a continuación:

La cantidad de agua se obtuvo mediante la multiplicación de la relación a/c equivalente a 0.50 por 4830 g de cemento Portland (CP), teniendo como resultado 2415 g de agua; para determinar la cantidad de arena se multiplicaron los 4830 g de cemento por 2.75, obteniendo la cantidad de 13282.5 g de arena.

Se emplearon los resultados de la prueba de absorción y humedad del agregado fino para las correcciones correspondientes a las cantidades de arena y agua, cuyos resultados corresponden a un 2.12% de contenido de absorción y un 0.53% de humedad, por ende, la cantidad adicional de arena fue 70.397 g y la cantidad adicional de agua fue 211.192 g.

Además, dentro del diseño de la mezcla control se consideró un cálculo de súper plastificante de acuerdo con la ficha técnica del Plastol Preclas Plus (SP) de 1.04 ml por cada kilogramo de cemento portland, obteniendo la cantidad de 5 ml de súper plastificante para 3 paneles delgados de mortero, los cuales fueron adicionados durante el mezclado y previo a la realización de la prueba de fluidez.

A continuación, en la Tabla 13 se presentan las porciones de materiales establecidas para el diseño de la muestra control de paneles delgados de mortero, después de realizar las pruebas de absorción y humedad de la arena.

Tabla 13. Diseño de mezcla control (MC) para 3 paneles delgados de mortero.

Porciones de materiales para Mezcla Control	
Material	Cantidad en g
Cemento Portland (CP)	4 830
Agua	2 626.192
Arena	13 352.897
Súper plastificante (SP)	5 ml

Fuente: DGAC, 2022

2.4.2 MEZCLA CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (M1)

Se diseñó una mezcla de ceniza de bagazo de caña (CBC) tomando como base las porciones de materiales en la muestra control, sustituyendo 5 % polvo de vidrio ámbar y 10 % ceniza de bagazo de caña de la cantidad total de cemento Portland y se sustituyó 11.54% de arena por partículas de RPAEE.

Del mismo modo que en la muestra control se llevaron a cabo las pruebas de absorción y humedad del agregado fino para el diseño de la mezcla con ceniza de bagazo de caña

con el propósito de realizar las correcciones correspondientes a las cantidades de arena y agua.

Los resultados obtenidos en estas pruebas corresponden a un 2.12% de contenido de absorción y un 0.39% de humedad, por ende, la cantidad adicional de arena es de 51.80 g y la cantidad adicional de agua de 229.78 g.

Además, dentro del diseño de la mezcla se consideró un cálculo de súper plastificante (SP) de 6.21 ml por cada kilogramo de cemento portland con un 10% de ceniza de bagazo de caña y 5 % polvo de vidrio ámbar, obteniendo la cantidad de 30 ml de súper plastificante (SP) para 3 paneles delgados de mortero, los cuales fueron adicionados durante la prueba de fluidez.

Para resumir lo anterior, en la Tabla 14 se encuentran las porciones finales de los materiales para la mezcla de mortero con ceniza de bagazo de caña en la elaboración de paneles delgados.

Tabla 14. Diseño de Mezcla con Ceniza de Bagazo de Caña (M1) para 3 paneles delgados de mortero.

Porciones de materiales para Mezcla M1	
Material	Cantidad en g
Cemento Portland (CP)	4 105.5
Polvo de vidrio ámbar (PVa)	241.5
Ceniza bagazo de caña (CBC)	483.0
Agua	2 644.78
Arena	13 334.3
RPAEE	1 532.8
Súper plastificante (SP)	30 ml

Fuente: DGAC,2022

2.4.3 MEZCLA CON CENIZA VOLANTE (M2)

La mezcla de mortero que contiene ceniza volante (CV) se diseñó a partir de las porciones de materiales establecidas en la muestra control, sustituyendo un 5 % de polvo de vidrio

ámbar y un 10 % de ceniza volante de la cantidad total de cemento Portland y remplazando un 11.54% de agregado fino por partículas de RPAEE.

En este diseño no fue necesario realizar una corrección de absorción y humedad del agregado fino debido a que la arena se encontraba resguardada y totalmente seca.

Dentro del diseño de la mezcla con ceniza volante se consideró un cálculo de súper plastificante (SP) de 1.55 ml por cada kilogramo de cemento portland con ceniza volante, obteniendo la cantidad de 7.5 ml de súper plastificante para 3 paneles delgados de mortero, los cuales fueron adicionados durante el mezclado y previo a la realización de la prueba de fluidez.

La siguiente Tabla 15 contiene las porciones finales de materiales de la muestra con ceniza volante sin malla de refuerzo para paneles delgados.

Tabla 15. Diseño de Mezcla con Ceniza Volante (M2) para 3 paneles delgados de mortero.

Porciones de materiales para Mezcla M2.	
Material	Cantidad en g
Cemento Portland (CP)	4 105.5
Polvo de vidrio ámbar (PVa)	241.5
Ceniza Volante (CV)	483.0
Agua	2 644.78
Arena	13 334.3
RPAEE	1 532.8
Súper plastificante (SP)	7.5 ml

Fuente: DGAC,2022

2.4.4 MEZCLA CONTROL PARA CUBOS (MCC)

Para la elaboración de 9 cubos de mortero se utilizaron 650 grs de cemento Portland considerando una relación de agua/cemento (a/c) de 0.5, por lo tanto, las cantidades de agua y cemento se calcularon mediante la realización de algunos despejes descritos a continuación:

La cantidad de agua se obtuvo mediante la multiplicación de la relación a/c equivalente a 0.50 por 650 g de cemento, teniendo como resultado 325 g de agua; para determinar la cantidad de arena se multiplicaron los 650 grs de cemento por 2.75, obteniendo la cantidad de 1787.5 g de arena.

Con los resultados de las pruebas de absorción y humedad del agregado fino se realizaron las correcciones correspondientes a las cantidades de arena y agua, cuyos resultados corresponden a un 2.12% de contenido de absorción y un 0.53% de humedad, por ende, la cantidad adicional de arena fue de 9.47 g y la cantidad adicional de agua fue 5.167 g.

Además, se consideró un cálculo de súper plastificante (SP) de 0.41 ml por cada kilogramo de cemento portland, obteniendo la cantidad de 2 ml de súper plastificante para 9 cubos de mortero, los cuales fueron adicionados durante el mezclado y previo a la realización de la prueba de fluidez.

Finalmente, las porciones empleadas para este diseño están resumidas en la Tabla 16.

Tabla 16. Diseño de Mezcla Control (MCc) para 9 cubos de mortero.

Porciones de materiales para Mezcla MCc	
Material	Cantidad en g
Cemento Portland (CP)	650
Agua	330.167
Arena	1 796. 973
Súper plastificante (SP)	2 ml

Fuente: DGAC,2022

2.4.5 MEZCLA CON CENIZA VOLANTE PARA CUBOS (M2C)

Se diseñó una mezcla de ceniza volante a partir de las porciones de materiales en la muestra control, sustituyendo 5 % polvo de vidrio ámbar (PVa) y 10 % ceniza volante (CV) de la cantidad total de cemento Portland (CP) y un 11.54% de arena por partículas de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (RPAEE).

Además, se consideró un cálculo de súper plastificante de 0.83 ml por cada kilogramo de cemento Portland con ceniza volante, obteniendo la cantidad de 4 ml de súper plastificante para 9 cubos de mortero, los cuales fueron adicionados durante el mezclado y previo a la realización de la prueba de fluidez. Finalmente, la Tabla 17 contiene las porciones finales de los materiales para la mezcla de mortero con ceniza volante (M2c).

Tabla 17. Diseño de Mezcla con Ceniza Volante para 9 cubos de mortero.

Porciones de materiales para Mezcla M2c.	
Material	Cantidad en g
Cemento Portland (CP)	552.5
Polvo de vidrio ámbar (PVa)	32.5
Ceniza Volante (CV)	65
Agua	325
Arena	1 787.5
RPAEE	206.28
Súper plastificante (SP)	4 ml

Fuente: DGAC,2022

2.5 PREPARACIÓN DE MOLDES PARA COLADO DE PANELES Y CUBOS

Los moldes para el colado de paneles y cubos fueron realizados con equipo y material disponible en el laboratorio del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca.

2.5.1 PREPARACIÓN DE MOLDES PARA PANELES DELGADOS

Los moldes para la elaboración de los paneles delgados de mortero deben ser de material no absorbente y que no se mezcle con el mortero, por lo tanto, se elaboraron moldes rectangulares (Figura 38) con base de madera y paredes de aluminio con las siguientes dimensiones: 35 cm de largo, 25 cm de ancho y 3cm de espesor.

Para la preparación de los moldes se atornillaron las paredes de aluminio a la base de madera asegurando evitar la pérdida de material (Figura 39) y se procedió a lubricar toda la superficie para evitar la absorción de agua de la mezcla y adherencia de la mezcla de mortero al molde generando un posible daño a la muestra (Figura 40).



Figura.38. Elaboración de molde. Figura.39. Atornillado de paredes. Figura.40. Lubricación de molde.

Fuente: DGAC, 2022

2.5.2 PREPARACIÓN DE MOLDES PARA CUBOS

Se utilizaron 3 moldes triples de acero (Figura 41) para la elaboración de nueve cubos de mortero con dimensiones de 50 mm de largo, 50 mm de ancho y 50 mm de espesor. Dichos moldes fueron limpiados, sellados en la base con silicón (Figura 42) y lubricados con aceite (f Figura 43) para evitar la pérdida de agua de la mezcla y adherencia del mortero.



Figura.41. Moldes triples cúbicos. Figura.42. Sellado de molde. Figura.43. Lubricación de molde.

Fuente: DGAC,202

2.6 HABILITACIÓN DE MALLAS DE REFUERZO

La malla de refuerzo empleada para la elaboración de los paneles delgados de mortero es de fácil manejo, conocida generalmente como malla de gallinero y para asegurar que la malla quedara rígida se decidió utilizar como soporte una capa de malla electrosoldada calibre 10 de 6x6, para lo cual se midió la base de 34 cm por 24cm de longitud (Figura 44) y se cortó con ayuda de una cortadora manual (Figura 45).

Posteriormente, se cortaron unos pedazos de malla hexagonal y se amarro uno de los extremos a la base de la malla electrosoldada con apoyo de unas pinzas (Figura 46). Para finalmente estirar y amarrar el resto de los extremos de la malla a los de la base, dejando la malla adecuadamente tensada.



Figura.44. Medición de la base. Figura.45. Elaboración de base. Figura.46. Colocación de malla.

Fuente: DGAC,2022

2.7 ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS

Durante la elaboración de las mezclas se siguió el procedimiento establecido en la norma ASTM C-305 para el mezclado mecánico de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica, se realizaron algunas adaptaciones por el tipo de mezcladora utilizada; el proceso se describe a continuación.

Dicho procedimiento fue realizado dentro del laboratorio del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca con el equipo y material disponible en el área.

2.7.1 ELABORACIÓN DE MEZCLA CONTROL DE PANELES DELGADOS (M1)

Se empleó una revolvedora eléctrica para concreto hidráulico con capacidad total de 378 litros para la elaboración de la mezcla control. Primero, se colocó en la olla de la revolvedora el agua destilada (Figura 47), agregando enseguida el cemento Portland (Figura 48) y mezclando durante 30 segundos, posteriormente, se adiciono la arena lentamente en su totalidad (Figura 49) en un periodo de tiempo de 30 segundos.



Figura.47. Colocación de agua. Figura.48. Incorporación de cemento. Figura.49. Colocación de arena.
Fuente: DGAC,2022

Se detuvo la revolvedora después de mezclar los materiales por 30 segundos (Figura 50) para dejar reposar la mezcla durante 1 minuto y medio, durante los primeros 15 segundos de este intervalo se despegó el mortero que pudo quedarse adherido a las paredes de la olla (Figura 51) y una vez transcurridos el 1 minuto y medio de reposo se reinició inmediatamente el mezclado durante 1 minuto más (Figura 52).



Figura.50. Reposo de la mezcla. Figura.51. Despegado de mezcla. Figura.52. Reinicio de mezclado.
Fuente: DGAC,2022

2.7.2 ELABORACIÓN DE MEZCLA CON CENIZA DE BAGAZO DE CAÑA (M2)

Para la fabricación de la mezcla con ceniza de bagazo de caña (CBC) el primero paso fue la sustitución de la arena por el porcentaje de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (RPAEE) calculado en el diseño de mezclas, el cual corresponde a una 11.54% de retenido en la malla N° 8(Figura 53).

Luego de esto, el agregado fino fue mezclado perfectamente empleando una revolvedora de concreto (Figura 54) a la que posteriormente se le agregó el agua destilada (Figura 55)



Figura. 53. Incorporación de RPAEE en la arena.



Figura. 54. Mezclado de agregado fino en la olla.



Figura. 55. Colocación de agua en la olla.

Fuente: DGAC, 2022

En seguida, se añadieron el cemento Portland (Figura 56), el polvo de vidrio ámbar (PVA) (Figura 57) y la ceniza de bagazo de caña (CBC) (Figura 58) para iniciar con el mezclado durante 1 minuto y 30 segundos.



Figura. 56. Incorporación de cemento en la olla.



Figura. 57. Vertido de PVA en la olla.



Figura. 58. Colocación de CBC en la olla.

Fuente: DGAC, 2022

Se detuvo la revolvedora y se dejó reposar durante 1 minuto y medio. Durante los primeros 15 segundos de este intervalo, se despegó el mortero que pudo quedarse pegado en las paredes de la olla (Figura 59). Finalmente, se agregaron 5 ml de súper

plastificante (Figura 60) mezclando durante 1 minuto más para obtener la consistencia adecuada y se toma una muestra representativa para la prueba de fluidez (Figura 61).



Figura.59. Despegado de la mezcla en la olla.



Figura.60. Incorporación de súper plastificante a la mezcla.

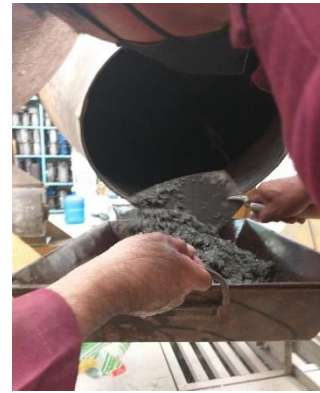


Figura.61. Toma de una Muestra de la mezcla.

Fuente: DGAC,2022

2.7.3 ELABORACIÓN DE MEZCLAS CON CENIZA VOLANTE (M3)

Se empleó una revolvedora de concreto para la elaboración de dos mezclas con ceniza volante vertiendo en la olla el agua destilada (Figura 62), e inmediatamente el cemento Portland (Figura 63), el polvo de vidrio ámbar (Figura 64) y la ceniza volante (Figura 65) para iniciar con el mezclando durante 30 segundos.



Figura.62. Colocación del agua en olla.



Figura.63. Incorporación de cemento a la olla.



Figura.64. Colocación de PVa en la olla.

Fuente: DGAC,2022

Posteriormente, se adiciono la arena lentamente en su totalidad (Figura 66) en un periodo de tiempo de 30 segundos, y se agregó el RPAEE (Figura 67) para mezclar todos los materiales por 30 segundos más.



Figura.65. Colocación de ceniza volante.



Figura.66. Incorporación de arena en la olla.



Figura.67. Colocación de RPAEE en la olla.

Fuente: DGAC, 2022

Se detuvo la revolvedora y se dejó reposar durante 1 minuto y medio. Durante los primeros 15 segundos de este intervalo, se despegó el mortero que pudo quedarse pegado en las paredes de la olla. Por último, se reinició el mezclado durante 1 minuto más y se retiró en su totalidad la mezcla de mortero de la olla.

2.7.4 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA CON CENIZA VOLANTE Y FIBRAS ESTRUCTURALES (M4)

En la preparación de las dos mezclas de mortero con ceniza volante y fibras estructurales de polipropileno se empleó una revolvedora de concreto y lo primero que se realizó fue verter en la olla el agua destilada (Figura 68) e inmediatamente el cemento Portland (Figura 69), el polvo de vidrio ámbar y la ceniza volante (Figura 70) para iniciar con el mezclado durante 30 segundos.

Posteriormente, se adiciona la arena lentamente en su totalidad (Figura 71) en un periodo de tiempo de 30 segundos, y se agregó el RPAEE (Figura 72) y las fibras estructurales de polipropileno (Figura 73) para mezclar todos los materiales por 30 segundos más.

Se detuvo la revolvedora y se dejó reposar por 1 minuto y medio, durante los primeros 15 segundos de este intervalo se despegó el mortero que pudo quedarse en las paredes de la olla y una vez transcurridos el tiempo de reposo se reinició inmediatamente el mezclado durante 1 minuto más para finalmente retirar la mezcla de la olla y proceder a realizar la prueba de fluidez y moldeado.



Figura.68. Colocación de agua en la olla.



Figura.69. Incorporación de cemento en la olla.



Figura.70. Colocación de CV y PVa.

Fuente: DGAC,2022



Figura.71. Colocación de arena en la olla.



Figura.72. Incorporación de RPAEE en la olla.



Figura.73. Colocación de fibras estructurales.

Fuente: DGAC,2022

2.7.5 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA CONTROL PARA CUBOS (MCc)

Para la elaboración de la mezcla se empleó una mezcladora marca Hamilton Beach® colocando en el tazón de la mezcladora el agua destilada (Figura 74), y en seguida se adiciono el cemento portland (Figura 75) para iniciar el mezclado con una velocidad de 140 ± 5 r / min. durante 30 segundos (Figura 76).

Posteriormente, se agregó la arena (Figura 77) lentamente en un periodo de tiempo de 30 segundos, deteniendo la mezcladora al termino de este lapso de tiempo y aumentando la velocidad a 285 ± 10 r / min para mezclar durante 30 segundos más.

Cuando se detuvo la mezcladora se dejó reposar durante 90 segundos, pero dentro de los primeros 15 segundos de este intervalo se despegó el mortero que pudo quedarse adherido a las paredes del tazón (Figura 78) para finalmente reiniciar el mezclado durante 1 minuto más a velocidad de 285 ± 10 r / min (Figura 79).



Figura.74. Colocación de agua en el tazón.



Figura.75. Incorporación del cemento.



Figura.76. Mezclado de agua y cemento.

Fuente: DGAC,2022



Figura.77. Incorporación de arena en el tazón.



Figura.78. Despegado de la mezcla en tazón.



Figura.79. Mezclado de los materiales.

Fuente: DGAC,2022

2.7.6 ELABORACIÓN DE MEZCLA CON CENIZA VOLANTE PARA CUBOS (M2)

Se empleó una mezcladora marca Hamilton Beach® colocando en el tazón de la mezcladora el agua destilada (Figura 80), e inmediatamente adicionando el cemento Portland (Figura 81), el polvo de vidrio ámbar (Figura 82) y la ceniza volante (Figura 83) para iniciar el mezclado con una velocidad de 140 ± 5 r / min durante 30 segundos,

posteriormente, se agregó la arena y el RPAEE (Figura 84) lentamente en un periodo de tiempo de 30 segundos.

En cuanto se detuvo la mezcladora inmediatamente se cambió la velocidad a 285 ± 10 r / min para mezclar durante 30 segundos más.



Figura.80. Colocación de agua en tazón.



Figura.81. Incorporación de cemento al tazón.



Figura.82. Colocación de PVA al tazón.

Fuente: DGAC,2022



Figura.83. Colocación de la Cv en el tazón.



Figura.84. Incorporación de arena.



Figura.85. Despegado de la mezcla en el tazón.

Fuente: DGAC,2022

Se detuvo la mezcladora para reposar durante 90 segundos y dentro de los primeros 15 segundos de este intervalo rápidamente se despegó el mortero que pudo quedarse adherido a las paredes del tazón (Figura 85). Finalmente, se reinició el mezclado durante 1 minuto más a velocidad de 285 ± 10 r / min.

2.8 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE FLUIDEZ

Siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM 1437 se realizaron las pruebas de fluidez; previamente, fue necesario preparar el equipo a utilizar para lo cual se limpió, seco y niveló la mesa de fluidez (Figura 86) colocando el molde exactamente en el centro de la mesa tomando como referencia las líneas en ella (Figura 87) y en seguida se tomó una muestra representativa del mortero inmediatamente después de realizar el proceso de mezclado en la olla (Figura 88).



Figura.86. Calibración de mesa de fluidez.



Figura.87. Colocación de molde en el centro de la mesa.



Figura.88. Toma de una muestra de la mezcla.

Fuente: DGAC,2022

La mezcla de mortero fue distribuida dentro del molde de la siguiente manera:

Con el uso de una cuchara se incorporó el mortero en forma de cuarteo hasta crear una capa de aproximadamente 1 pulgada de espesor (Figura.89) para apisonarla 15 veces con un pisón de madera (Figura 90), ejerciendo la presión suficiente para un llenado uniforme del molde.

Con la colocación de la segunda capa de mortero se llenó el molde hasta el borde y se apisono 5 veces, para después enrasar la mezcla de mortero realizando un movimiento de sierra a lo largo de la parte superior del molde (Figura 91) con apoyo de una espátula o madera.

Culminando con la limpieza de la superficie de la mesa de fluidez teniendo cuidado de eliminar el agua alrededor del borde del molde.



Figura.89. Colocación de la muestra en el molde.



Figura.90. Apisonado de la muestra.



Figura.91. Enrasado de la muestra.

Fuente: DGAC,2022

En seguida, se levanta el molde aproximadamente 1 minuto después de completar la operación de mezclado y se realizan 25 golpes de la mesa de fluidez durante 15 segundos (Figura 92) para medir el diámetro del mortero a lo largo de las cuatro líneas trazadas en la parte superior de la mesa de fluidez con apoyo de un flexómetro (Figura 93).



Figura.92. Realización de 25 golpes en mesa de fluidez.



Figura.93. Medición de diámetro de la mezcla.



Figura.94. Incorporación de superplastificante.

Fuente: DGAC,2022

En caso de obtener un diámetro que no cumpla con lo establecido en la norma ASTM C 109, se le agrega superplastificante a la muestra (Figura 94) para realizar nuevamente la prueba de fluidez y obtener el diámetro final correcto.

Los respectivos resultados de la prueba de fluidez para cada mezcla se encuentran resumidos en la Tabla 18 Resultados de prueba de fluidez.

Tabla 18. Resultados de prueba de fluidez.

Mezcla	Diámetro inicial (cm)	Cantidad de SP (ml)	Diámetro final (cm)
MC	18.75	05	20.50
M1	18.00	30	20.50
M2	18.00	7.5	20.50
M3	18.00	7.5	20.50
M3	18.75	7.5	20.50
MCc	18.50	02	20.50
M2c	18.50	04	20.50

Fuente: DGAC,2022

2.9 PROCEDIMIENTO PARA COLADO DE PANELES DELGADOS

Se inició el colado de los paneles dentro de un tiempo total de no más de 3 minutos después de completar el mezclado original de cada muestra de mortero colocando la mezcla en dos capas, la primera capa se vertió aproximadamente hasta la mitad de la profundidad del molde (Figura 95) para realizar la compactación del material situando el molde con el mortero sobre una mesa de vibrado durante 7 segundos (Figura 96).

En el caso de los paneles de ceniza volante reforzados con malla y fibras estructurales después de vaciar la primera capa de mezcla a la mitad del molde se colocó la malla de refuerzo (Figura 97) y se realizó el vibrado del material durante 7 segundos.



Figura.95. Colocación de 1ra. capa en el molde.



Figura.96. Vibración de 1ra. capa de la mezcla.



Figura.97. Colocación de malla en el molde.

Fuente: DGAC,2022

Inmediatamente se colocó la segunda capa de mezcla hasta llenar el molde (Figura 98) para posteriormente repetir el procedimiento de vibrado (Figura 99), al término del vibrado los moldes se enrasaron con apoyo de una cuchara de albañilería realizando un movimiento de “zigzag” a lo largo de la parte superior del molde (Figura 100), retirando el material sobrante para evitar cualquier obstrucción al desmoldar y dejando a temperatura ambiente durante 24 horas.



Figura.98. Colocación de 2da. Capa en el molde.



Figura.99. Vibración de 2da. capa de la mezcla.



Figura.100. Enrasado de la mezcla con la cuchara.

Fuente: DGAC,2022

Finalmente, transcurridas las 24 horas los paneles delgados de mortero fueron desmoldados (Figura 101) y se colocaron las nomenclaturas de cada espécimen (102) para permanecer sumergidos en una solución de hidróxido de calcio al 2% (curado) (fig.103) hasta las fechas de ensayo a 28 días.



Figura.101. Desmolde del panel.



Figura.102. Colocación de su respectiva nomenclatura.



Figura.103. Adición de cal en el agua de curado.

Fuente: DGAC,2022

2.10 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE PANELES DELGADOS

De acuerdo con la norma ASTM C348 para la determinación de la resistencia a flexión de morteros, los paneles fueron extraídos del contenedor de curado para su ensaye 28 días después de la fecha de colado, utilizándose una prensa multicarga disponible en el laboratorio del CIIDIR Unidad Oaxaca con capacidad para 5 toneladas, marca Gotest Instrument Corp. Modelo S5830 y un anillo de carga con indicador de cuadrante con capacidad de 2 toneladas.

En cada fecha de ensaye se ocuparon tres paneles, los cuales se limpiaron con un paño húmedo hasta que quedaran superficialmente secos eliminando cualquier grano de arena suelto o incrustaciones de las caras que estuvieran en contacto con las superficies de los puntos de apoyo y aplicación de carga; antes de colocarlos en la prensa se registraron sus respectivos pesos (Figura 104) los cuales se encuentran concentrados en la Tabla 19, para posteriormente marcar cuatro líneas con el uso de un plumón y un flexómetro (Figura 105) la primera a 17.5 cm (centro) para tomar las lecturas de resistencia a flexión, la segunda 8.75 cm para la deformación y las dos restantes a 2.54 cm de los extremos para los puntos de apoyo. Una vez que se marcaron los paneles, se vertió un poco de arena retenida en la malla número 30 y 50 en la zona de contacto del panel con la barra de metal para un adecuado contacto y distribución de carga (Figura 106).



Figura.104. Pesado de espécimen. Figura.105. Marcado de las líneas. Figura.106. Colocación de arena.

Fuente: DGAC,2022

A continuación, se colocó una base de metal diseñada para apoyar los extremos de los paneles (Figura 107) y después se centraron dichos especímenes en el micrómetro con apoyo de las líneas antes marcadas (Figura 108), una vez centrado se acomodó el equipo MIC 0.01 Chico (Figura 109) para la lectura de la deformación por el esfuerzo a flexión.



Figura.107. Colocación de la base en el equipo.



Figura.108. Centrado de panel en el equipo.



Figura.109. Colocación de micrómetro.

Fuente: DGAC,2022

Acto seguido, se encendió el equipo para la ejecución de la prueba y con apoyo de un cronometro (Figura 110) se registraron las líneas que recorrió la aguja de cada equipo durante cada 5 segundos hasta que el panel llego al fallo (Figura 111).

Por último, se retiraron las piezas del panel, se apagó, acomodo y limpio el equipo (Figura 112).



Figura.110. Toma de lecturas.



Figura.111. Fallado de espécimen.

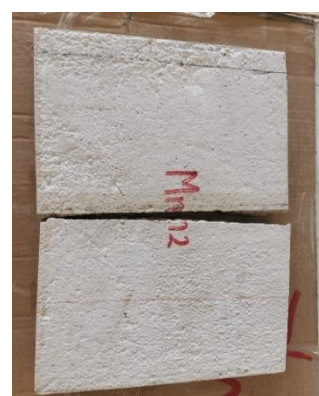


Figura.112. Retiro de panel.

Fuente: DGAC,2022

Tabla 19. Relación de pesos y resistencias de los especímenes.

Nomenclatura del panel	Peso en Kg	SF en MPa
Mc Panel A-1	6.002	25.99
Mc Panel A-2	6.060	24.94
Mc Panel A-3	6.164	27.56
M1 Panel B-1	6.230	26.51
M1 Panel B-2	5.877	22.77
M1 Panel B-3	5.955	22.31
M2 Panel C-1	5.920	25.99
M2 Panel C-2	5.830	27.04
M2 Panel C-3	5.776	26.51
M3 Panel D-1	6.002	27.97
M3 Panel D-2	6.058	27.97
M3 Panel D-3	6.011	27.56
M3 Panel E-1	5.718	32.28
M3 Panel E-2	5.802	32.98
M3 Panel E-3	5.720	24.94

Fuente: DGAC,2022

2.11 PROCEDIMIENTO PARA COLADO DE CUBOS

El colado de los cubos de mortero se inició como máximo 3 minutos después de haber completado el mezclado colocando el material en dos capas, vertiendo la primera capa hasta la mitad del molde (Figura 113) para vibrarla durante 7 segundos (Figura 114).



Figura.113. Colocación de 1ra. Capa de mezcla en molde.



Figura.114. Vibración de 1ra. capa de mezcla.
Fuente: DGAC,2022



Figura.115. Colocación de 2da capa en el molde.

Inmediatamente se colocó la segunda capa de mortero hasta llenar el molde (Figura 115) para posteriormente repetir el procedimiento de vibrado (Figura 116), al término del vibrado los cubos se enrasaron con apoyo de una cuchara de albañilería realizando un movimiento de “zigzag” a lo largo de la parte superior del molde (Figura 117), retirando el material sobrante para evitar cualquier obstrucción al desmoldar y dejándolos a temperatura ambiente durante 24 horas.



Figura.116. Vibración de 2 da. capa de mezcla.



Figura.117. Enrasado de cubos con cuchara.



Figura.118. Desmolde de especímenes cúbicos.

Fuente: DGAC,2022

Después de transcurrir las 24 horas los cubos se desmoldaron con mucho cuidado para evitar su agrietamiento (Figura 118) y fueron sumergidos en agua a la cual se le agregó hidróxido de calcio al 2% para su curado hasta las fechas de ensayo a compresión de los especímenes cúbicos.

2.12 REALIZACIÓN DE PRUEBAS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS

Con base a la norma ASTM C109 para la determinación de la resistencia a compresión de mortero de especímenes cúbicos de 50 mm de lado, los cubos se ensayaron a 7, 14 y 28 días de edad, aplicando la carga en las caras del espécimen que estuvieron en contacto con las caras laterales del molde (ASTM C109, 2021b), para lo cual se utilizó una prensa hidráulica disponible en el laboratorio del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) Unidad Oaxaca, de la marca ELVEC® E 659-5 equipada con válvula regulable de aplicación de carga y una capacidad de hasta 120 toneladas.

Para cada fecha de ensayo se eligieron tres cubos al azar de cada mezcla, registrando los pesos (Figura 119) y las dimensiones de cada uno de ellos, para lo anterior se empleó una báscula digital industrial y un Vernier electrónico (Figura 120).

Para el ensaye a compresión de los cubos se colocó una lámina de cartulina en las caras que estuvieron en contacto con la platina y la base de la prensa (Figura 121).



Figura.119. Pesado de cubos. Figura.120. Medición de los cubos. Figura.121. Colocación de lámina.

Fuente: DGAC,2022

Después se acomoda el cubo de mortero en la prensa (Figura 122) centrándolo para obtener una correcta distribución de la carga sobre la superficie en contacto con la platina y se aplicó la carga hasta lograr la falla del espécimen (Figura 123) para posteriormente retirarlo y limpiar el equipo (Figura 124).



Figura.122. Acomodo de cubo en el equipo. Figura.123. Aplicación de carga. Figura.124. Retiro de cubo.

Fuente: DGAC,2022

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE PANELES DELGADOS DE MORTERO

El efecto de la sustitución parcial de cemento Portland y agregado fino por puzolanas, polvo de vidrio y residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos en la resistencia a flexión de paneles delgados de mortero ensayados a 28 días de edad, se describe en el presente capítulo.

En la Figura 125, se muestra la resistencia a flexión promedio de tres especímenes por mezcla de mortero obtenida en mega pascales (MPa).

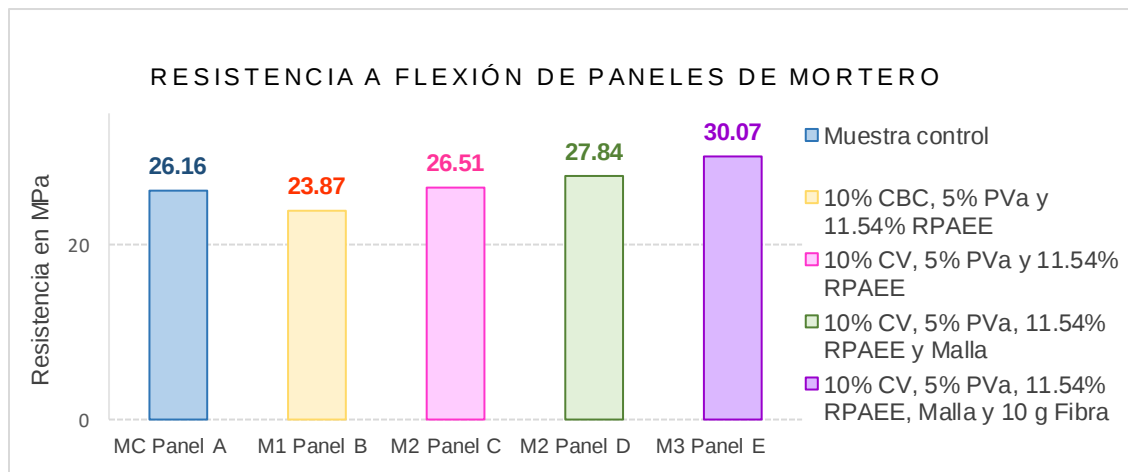


Figura.125. Resistencia a flexión de paneles de mortero en MPa. Fuente: DGAC,2022.

3.1.2 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M1 PANEL B

En la Figura 126, se muestra la disminución de la resistencia a flexión a 28 días de edad de un 8.76% en comparación con la muestra control MC Panel A.

En el espécimen M1 Panel B se presentó la menor resistencia a la flexión debido a la falta del refuerzo del panel y a la combinación de ceniza de bagazo de caña (CBC), polvo de vidrio ámbar (PVa) y residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (RPAEE) que además de disminuir la resistencia a flexión reducen la trabajabilidad de la mezcla en estado fresco.

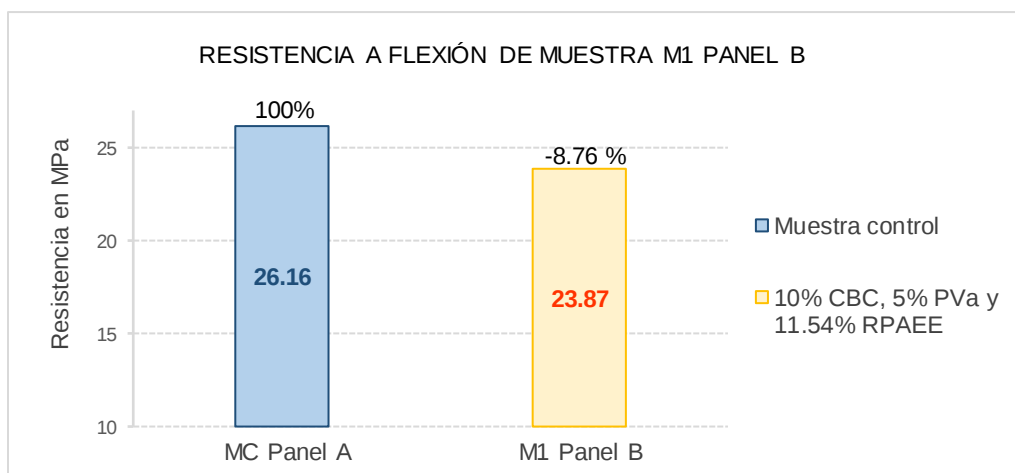


Figura.126. Resistencia a flexión de muestra M1 Panel B. Fuente: DGAC,2022.

3.1.3 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M2 PANEL C

En la Figura 127, se observa el aumento de la resistencia a flexión de un 1.33 % en comparación con la muestra control MC Panel A y de un 11.06% en comparación con la muestra M1 Panel B a 28 días de edad.

Analizando los especímenes de mortero sin refuerzo, en la muestra M2 Panel C se consiguió una resistencia a la flexión similar a la muestra control MC Panel A, mostrando que la implementación de la ceniza volante (CV) en la elaboración de paneles delgados de mortero es más viable que la ceniza de bagazo de caña (CBC).

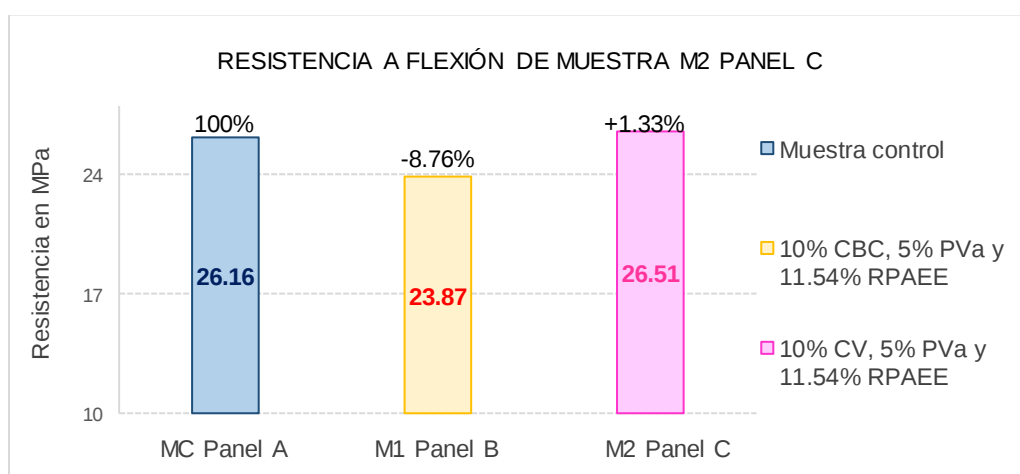


Figura.127. Resistencia a flexión de muestra M2 Panel C. Fuente: DGAC,2022.

3.1.4 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M2 PANEL D

En la Figura 128, se muestra el aumento de la resistencia a flexión de la muestra M2 Panel D con refuerzo de malla de un 6.42 % en comparación con la muestra control MC Panel A y de un 5.02% con la muestra M2 Panel C sin refuerzo, a 28 días de edad. Demostrando que la implementación de la malla de acero galvanizado es viable para el refuerzo del panel delgado.

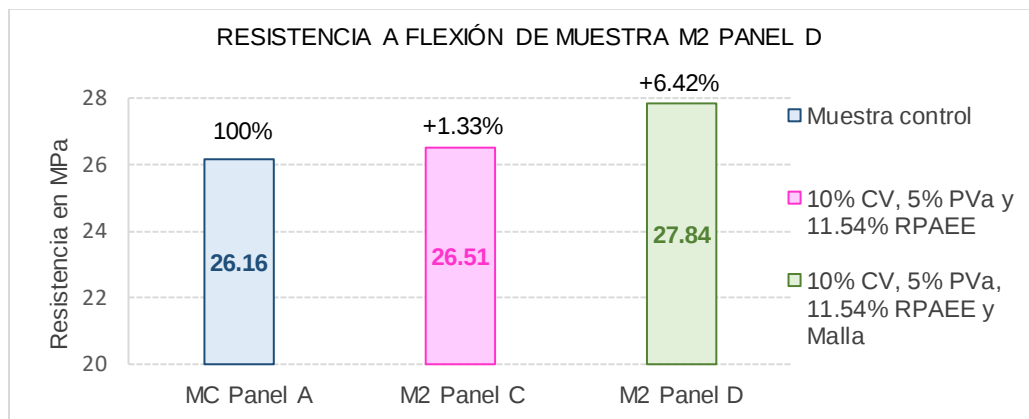


Figura.128. Resistencia a flexión de muestra M2 Panel D. Fuente: DGAC,2022.

3.1.5 RESISTENCIA A FLEXIÓN DE MUESTRA M3 PANEL E

En la Figura 129, se observa el aumento de la resistencia a flexión de un 14.94 % en comparación con la muestra control MC Panel A y de un 8.01 % en comparación con la muestra M2 Panel D que contiene malla.

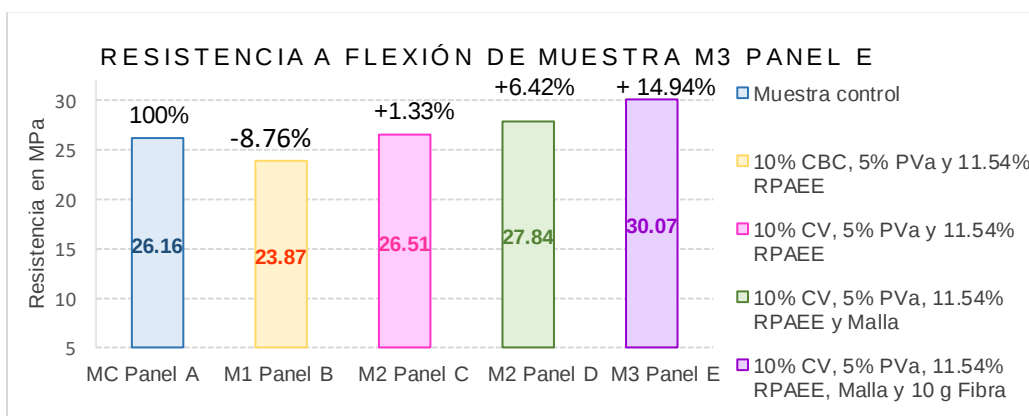


Figura.129. Resistencia a flexión de muestra M3 Panel E. Fuente: DGAC,2022.

Finalmente, se puede observar que la resistencia máxima obtenida del ensayo a flexión de 3 especímenes de mortero por mezcla se obtuvo de la muestra con la nomenclatura M3 Panel E, volviendo esta mezcla de mortero la más óptima.

Concluyendo con que la sustitución parcial de 10% ceniza volante (CV) y 5% polvo de vidrio ámbar (PVa) de la cantidad total de cemento Portland, el remplazó de 11.54% en la arena de rio por partículas de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (RPAEE), la inclusión de 15 ml de súper plastificante y la implementación de una malla de refuerzo y 10 g fibras de polipropileno, contribuyo a la ganancia de resistencia a flexión después del curado de los paneles delgados en agua e hidróxido de cal por 28 días.

3.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CUBOS DE MORTERO

Los resultados de resistencia a compresión de especímenes cúbicos de mortero a los 7,14 y 28 días se muestran en la Figura 130, reflejando un evidente incremento en la resistencia a compresión del mortero en relación con la edad de curado.

No obstante, se puede observar la disminución de la resistencia a compresión de la muestra que contiene 10% ceniza volante, 5% polvo de vidrio ámbar y 11.54% partículas de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos (M2c Cubo B) en todas las edades de ensayo en comparación de la muestra control (MCc Cubo A). La pérdida de resistencia a compresión representa un 21.44% a 7 días, 29.78% a 14 días y 21.09% a 28 días de edad en comparación de la muestra control.

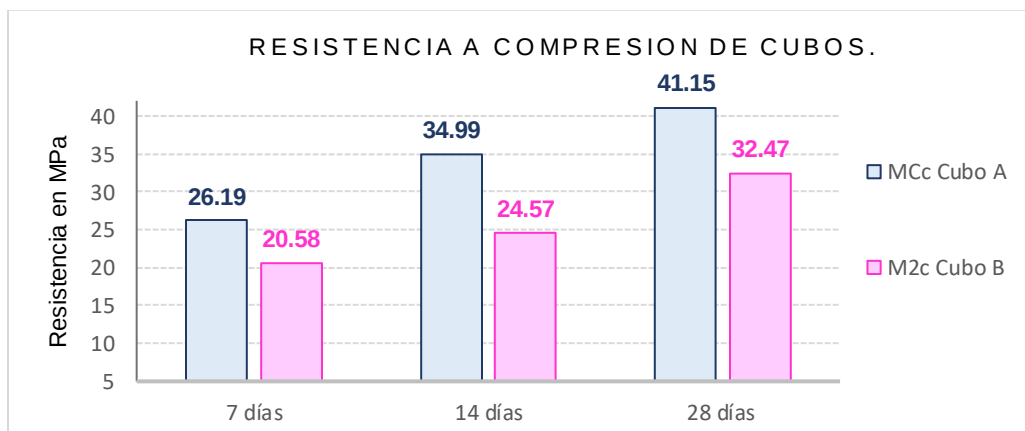


Figura.130. Resistencia a compresión de cubos de mortero en diferentes edades. Fuente: DGAC,2022.

3.2.1. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MUESTRA MCC CUBO A

En la muestra control se obtuvo un aumento en la resistencia a compresión de los cubos de mortero del 33.59% a los 14 días y del 57.12% a los 28 días en comparación con la resistencia obtenida en el ensayo a los 7 días de edad, mostrada en la Figura 131.

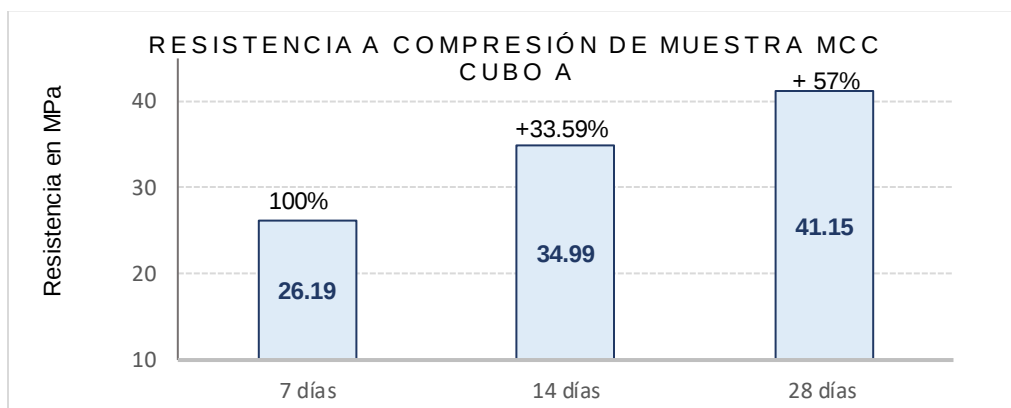


Figura.131. Resistencia a compresión de muestra MCc Cubo A. Fuente: DGAC,2022.

3.2.2. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE MUESTRA M2C CUBO B

En la muestra M2c Cubo B se obtuvo un aumento en la resistencia a compresión de los cubos de mortero del 19.39% a los 14 días edad y del 57.81% a los 28 días en comparación con la resistencia obtenida en el ensayo a los 7 días de curado, mostrada en la Figura 132, observándose que la densidad de las partículas de RPAEE influye en la resistencia a compresión de los morteros.

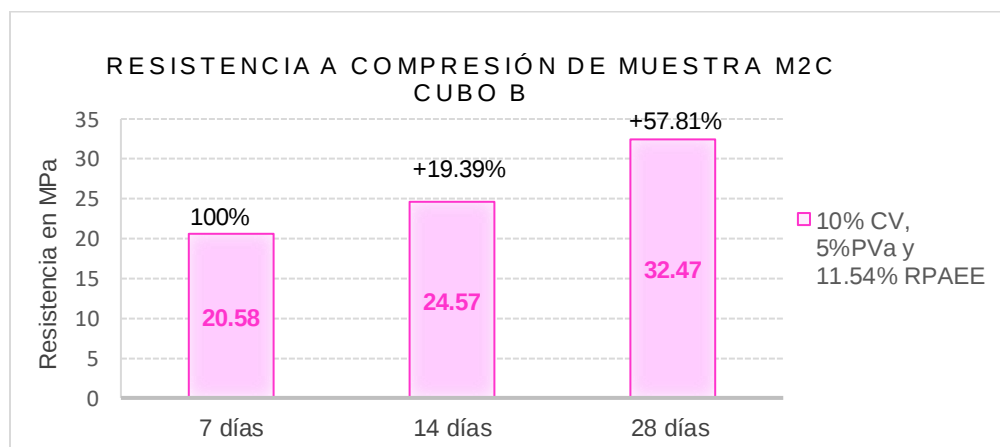


Figura.132. Resistencia a compresión de muestra M2c Cubo B. Fuente: DGAC,2022.

CONCLUSIONES

En el actual documento se analizó principalmente la resistencia a flexión de los paneles delgados de mortero ligero y complementariamente la resistencia a compresión de especímenes cúbicos, a través de pruebas de laboratorio apoyadas en la normativa ASTM International, derivándose las siguientes conclusiones.

La trabajabilidad de las mezclas se ve considerablemente afectada con el uso de RPAEE y CBC requiriendo de la adición de súper plastificante para la obtención de la fluidez estipulada por la norma ASTM 1437, siendo mayor la cantidad de súper plastificante empleada en la mezcla con CBC en comparación con el resto.

La muestra óptima para la obtención de una mayor resistencia a flexión de los paneles delgados de mortero ligero corresponde al diseño en el que se sustituyó 10% ceniza volante y 5% polvo de vidrio ámbar de la cantidad total de cemento Portland, se remplazó 11.54% de arena de río por residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos, se adicionó 15 ml de súper plastificante y se reforzó con malla de alambre galvanizado y 10 g de fibra de polipropileno.

Sin embargo, el remplazo del 10% de ceniza volante y 5% polvo de vidrio ámbar en el cemento portland, la inclusión de 11.54% de residuos plásticos de aparatos eléctricos y electrónicos en la arena de río y la adición de 4 ml de súper plastificante, indicaron una disminución máxima del 29.78% a 14 días de edad en la resistencia a compresión de los especímenes cúbicos de mortero en comparación con la mezcla control.

Finalmente, se puede concluir que las partículas de RPAEE reducen la resistencia a compresión de morteros simples, pero en paneles delgados reforzados con malla y fibras estructurales de polipropileno, se logra disminuir la densidad de los morteros y mejorar la resistencia a flexión de los paneles, obteniendo un material sostenible con una aplicación útil en la ingeniería civil, que al mismo tiempo provee una alternativa factible para combatir el problema ambiental que genera la disposición actual de este residuo.

BIBLIOGRAFÍA

Sánchez, 2001. Tecnología Del Concreto Y Del Mortero. Quinta edición. Colombia. Bhandar Editoriales LTDA.

HEMEROGRAFÍA

A.Al-Mansour et al, 2021. Mortero de cemento sostenible con plásticos reciclados habilitado para la mejora de la compatibilidad matriz-árido. Construcción y materiales de construcción, facultad de ingeniería civil y arquitectura, universidad de Zhejiang, China.

ASTM, 2001. 1437 Determinación de fluidez en morteros de cemento hidráulico. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2002. C305 Practica estándar para mezcla mecánica de pastas de cemento hidráulico y morteros de consistencia plástica. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2006. C1602 Especificación estándar para agua de mezcla utilizada en la producción de hormigón de cemento hidráulico. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2007a. C150 Especificación normalizada para cemento Portland. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2007b. C270. Especificación estándar para mortero usado en mampostería. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2015. C618 Especificación estándar para ceniza volante de carbón y puzolana natural cruda o calcinado para su uso en hormigón. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2016a. C33 Requisitos para graduación y calidad del agregado fino y grueso. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2016b. C1116 Especificación estándar para concreto reforzado con fibra. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2017. C1506 Método de prueba estándar para la retención de agua de morteros y yesos a base de cemento hidráulico. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2020. C230/C230 M Especificación estándar de mesa de flujo para uso en pruebas de cemento hidráulico. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2021a. C348 Método de prueba estándar para resistencia a la flexión de morteros de cemento hidráulico. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

ASTM, 2021b. C109 Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU. ASTM International, West Conshohocken, EE.UU.

Acosta Chavarría, Enrique, 1991. "Concreto reforzado con fibras de polipropileno". (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/3522263>

CEPIS, 2003. Guía de construcción para estructuras de ferrocemento. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú.

EUCLID CHEMICAL, 2020. Guía para el uso de fibras sintéticas de TOXEMENT en el concreto. EUCO TOXEMENT. Medellín, Colombia.

Frigione M. (2010). Recycling of PET bottles as fine aggregate in concrete.

GM Sadiqul Islam et al, 2016. Residuos de polvo de vidrio como sustitución parcial del cemento para concreto sostenible. Revista internacional de entorno construido sostenible.

Guzmán, Salcedo. S.f. Diseño Y Estudio De Elementos Tipo "C" Sometidos A Flexión, Tracción Y Compresión Fabricados En Ferrocemento. Recuperado de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/722/1/ti851.pdf>

Huasquito & Belizario, 2018. Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. Universidad Nacional del Altiplano Puno Perú.

Islam et al, 2011. Materiales de construcción-perspectiva de Bangladesh. Acta de la Conferencia Internacional sobre Ingeniería Mecánica y Energía Renovable.

Mejías, Águila, 2013. "Utilización de mallas de polipropileno como refuerzo de morteros en la elaboración de paneles de cerramiento". Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción. Universidad Central de Venezuela. Recuperado de http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_tc/issue/view/723

Molina, Moragues & Gálvez, 2008. La influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Portland en la durabilidad del hormigón: Propiedades físicas, difusión del ion cloruro y del dióxido de carbono. Anales de la Mecánica de fracturas.

Navas & Arias, 2015. Propiedades del mortero empacado en seco para pega de bloques de mampostería. Costa Rica.

N. CMT. Características De Los Materiales, Parte 2. Materiales Para Estructuras, Título: 01. Materiales Para Mamposterías, Capítulo: 001. Calidad Del Cemento Portland. Recuperado de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-001-02.pdf>

N. CMT. 2.01.004, 2002. Características De Los Materiales, Parte 2. Materiales Para Estructuras, Título: 01. Materiales Para Mamposterías, Capítulo: 004. Morteros. Recuperado de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-01-004-02.pdf>

NTG, 2012. 41050 Mortero de pega para unidades de mampostería. Norma Técnica Guatemalteca. COGUANOR.

Ojeda, et al, 2019. Ensayos mecánicos sobre morteros con agregados de plástico reciclado dosificados según el modelo de conductividad térmica. Universidad Nacional de Cuyo, Argentina. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v36n2/0188-4999-rica-36-02-465.pdf>

Rivera, 2017. Tecnología del Concreto y Mortero.

Salamanca, 2001. La tecnología de los morteros. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, pág. 41-48. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91101107>

Soria,1963. Puzolanas y cementos puzolánicos. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. España.

Yerramala et al, 2013. Resistencia a la flexión del ferrocemento metacaolín. Elsevier Ltd.