



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“EVALUACIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ Y TIPOS DE AGREGADOS FINOS SOBRE LA COMPRESIÓN, SORPTIVIDAD Y DENSIDAD DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND TIPO I, TRUJILLO 2017”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Br. Agustín Junior Aliaga Angulo

Asesor:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú
2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El (La) asesor(a) y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el (la) Bachiller **Agustín Junior Aliaga Angulo**, denominada:

**“EVALUACIÓN CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ Y TIPOS DE
AGREGADOS FINOS SOBRE LA COMPRESIÓN, SORPTIVIDAD Y DENSIDAD
DE MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND TIPO I, TRUJILLO 2017”**

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro
ASESOR

Msc. Ing. Ricardo Ávalos Alayo
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Alberto Vásquez Díaz
JURADO

Ing. Roger Ramírez Mercado
JURADO

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado en primer lugar a la Inmaculada Virgen de la Puerta que siempre guía mis pasos; a mi padre, persona fuerte y serena que me enseñó a guardar compostura y ser persistente en la realización de mis objetivos tanto personales como profesionales; a mi madre, la persona más importante de mi vida, no solo por su amor incondicional, sino también por ser mi mejor amiga y gran consejera de vida. Sin ellos no habría sido posible en lo más mínimo este trabajo ni ninguno de mis logros.

AGRADECIMIENTO

A mis padres, mi madre Rosa Angulo, por sus cafés de madrugada y sus abrazos reconfortantes a todo momento; a mi padre Lorenzo Aliaga por su empuje siempre y palabras reconfortantes. A mi familia en general que son mi soporte en todo momento.
¡A Saori!

Mi agradecimiento especial a mi asesor, Iván Eugenio Vásquez Alfaro, por su apoyo incondicional, e impartir sus conocimientos a mi persona desde la etapa de pregrado, gracias por su paciencia y por la amistad que hemos entablado.

A mis amigos, parte importante de todo lo que hago, tanto amigos de la universidad como de mi promoción que se convirtieron en amigos infaltables.

*No solo no hubiera sido nada sin ustedes sino con toda la gente que estuvo alrededor desde el comienzo, algunos siguen hasta hoy
¡Gracias totales!*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido

APROBACIÓN DE LA TESIS.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT	x
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.2. Bases teóricas.....	25
2.2.1. Morteros.....	25
2.2.2. Cascarilla de arroz.....	34
2.2.3. Puzolanas	36
2.3. Hipótesis	38
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	39
3.1. Operacionalización de variables	39
3.1.1. Variable dependiente.....	39
3.1.2. Variable independiente.....	40
3.2. Diseño de investigación	40
3.3. Unidad de estudio	40
3.4. Población	41
3.5. Muestra	41
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	42
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	43
3.7.1. Caracterización de materiales.....	44
3.7.2. Elaboración de las probetas de mortero.....	53
3.7.3. Ensayos a realizar	55
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	60
4.1. Caracterización de materiales	60
4.1.1. Caracterización de la ceniza (Anexo n°6)	60

4.1.2.	<i>Caracterización de la arena</i>	61
4.2.	Ensayos a realizar.....	61
4.2.1.	<i>Resistencia a compresión – ASTM C 109 (Anexo n°9)</i>	61
4.2.2.	<i>Tasa de Absorción de Agua o Sorptividad – ASTM C 1585 (Anexo n°10)</i>	62
4.2.3.	<i>Densidad – ASTM C 642 (Anexo n°11)</i>	63
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN		64
CONCLUSIONES		76
RECOMENDACIONES		78
REFERENCIAS		79
ANEXOS		82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de morteros para fines estructurales	13
Tabla 2: Cantidad de materiales por m ³ de mortero.....	14
Tabla 3: Usos de morteros de cemento	15
Tabla 4: Resultados de Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánica en cemento	18
Tabla 5: Ceniza de cáscara de arroz bajo en el diseño de morteros para acabados.....	20
Tabla 6: Flexotracción y compresión de ceniza de cascara de arroz en morteros.....	21
Tabla 7: Clasificación de los morteros de pega para mampostería simple	26
Tabla 8: Clasificación de morteros de pega de mampostería reforzada	27
Tabla 9: Morteros de relleno - partes por volumen	27
Tabla 10: Morteros para mampostería.....	27
Tabla 11: Clasificación del agregado fino de acuerdo al módulo de finura	30
Tabla 12: Resistencia requerida para morteros de cemento y arena	33
Tabla 13: Composición de la cascarilla de arroz	34
Tabla 14: Ceniza obtenida a partir de principales cosechas	35
Tabla 15: Composición de la ceniza de cascarilla de arroz.....	35
Tabla 16: Características fisicoquímicas	38
Tabla 17: Operacionalización de variable dependiente	39
Tabla 18: Operacionalización de la variable independiente	40
Tabla 19: Matriz de muestra	41
Tabla 20: Formato de contenido de humedad	46
Tabla 21: Formato de peso específico y absorción	47
Tabla 22: Formato de peso unitario suelto seco.....	48
Tabla 23: Formato de peso unitario compactado seco	49
Tabla 24: Formato de granulometría.....	50
Tabla 25: Formato de módulo de finura	50
Tabla 26: Límites granulométricos para arena gruesa	51
Tabla 27: Formato de equivalente de arena	53
Tabla 28: Proporción en peso de mezcla para 4 probetas cúbicas	54
Tabla 29: Formato de resistencia a compresión	55
Tabla 30: Formato de sorptividad.....	57
Tabla 31: Formato de densidad, gravedad específica aparente, absorción y porosidad	59
Tabla 32: Características de la arena fina y arena gruesa	61
Tabla 33: Resistencia a compresión de los morteros con ceniza de cascarilla de arroz	62
Tabla 34: Sorptividad promedio de morteros de arena fina con ceniza de cascarilla de arroz	62
Tabla 35: Sorptividad promedio de morteros de arena gruesa con ceniza de cascarilla de arroz..	63
Tabla 36: Densidad de morteros con ceniza de cascarilla de arroz	63
Tabla 37: Composición de la muestra de arena fina y arena gruesa	66
Tabla 38: Comparación de composición química entre ceniza y cemento.....	69
Tabla 39: Variación porcentual de muestras de compresión.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Filtración expuesta en reservorio (RPP)	12
Figura 2: Compresión con ceniza de 15% a 35% de sustitución	19
Figura 5: Compresión de morteros con incorporación de ceniza de bagazo de caña.....	22
Figura 6: Absorción capilar de morteros con incorporación de ceniza de bagazo de caña	23
Figura 7: Clasificación de materiales puzolánicos (Propia)	36
Figura 8: Modelo de probeta cúbica de 5cm de lado (Propia)	41
Figura 9: Diagrama de Flujo del procedimiento experimental (Propia).....	43
Figura 10: Horno para calcinación - Universidad Nacional de Trujillo	45
Figura 11: Modelo de gráfica para curva granulométrica (Propia).....	51
Figura 12: Diseño de moldes de madera para 10 espacios	54
Figura 13: Modelo para el ensayo de tasa de absorción o sorptividad (Propia, adaptado de ASTM C1585).....	56
Figura 14: Formato de absorción inicial y secundaria (Propia, adaptado de ASTM C1585).....	58
Figura 15: Curva de pérdida de masa de la ceniza de cascarilla de arroz (Anexo n°6).....	60
Figura 16: Curva calorimétrica DSC de la ceniza de cascarilla de arroz (Anexo n°6).....	60
Figura 17: Curva granulométrica de la arena fina y arena gruesa (Propia).....	61
Figura 18: Absorción capilar de morteros de arena fina con ceniza de cascarilla de arroz (Propia)	62
Figura 19: Absorción capilar de morteros de arena gruesa con ceniza de cascarilla de arroz (Propia)	63
Figura 18: Resistencia a compresión de morteros de agregado fino (Propia)	68
Figura 22: Absorción inicial de mortero de arena fina y mortero de arena gruesa (Propia)	71
Figura 23: Absorción secundaria de morteros de arena fina y morteros de arena gruesa (Propia).....	72
Figura 24: Resistencia a compresión sobre densidad de morteros de arena gruesa (Propia)	74
Figura 25: Resistencia a compresión sobre Densidad de morteros de arena fina (Propia)	74
Figura 26: Absorción y peso específico del agregado fino - Laboratorio de concreto UPN	82
Figura 27: Preparación de solución para ensayo de equivalente de arena - Laboratorio de concreto UPN	82
Figura 28: Equivalente de arena - Laboratorio de concreto UPN	82
Figura 29: Lote de probetas secas - Laboratorio de concreto UNT	83
Figura 30: Desmoldado de probetas - Laboratorio de concreto UNT	83
Figura 31: Resistencia a la compresión - Laboratorio de concreto UNT	83
Figura 32: Peso en estado superficialmente seco - Laboratorio de concreto UNT	84
Figura 33: Probetas secando en estufa - Laboratorio de concreto UNT	84
Figura 34: Peso suspendido - Laboratorio de concreto UNT.....	84
Figura 35: Probetas capiadas con azufre – Laboratorio de Universidad Nacional de Trujillo	85
Figura 36: Sorptividad	85
Figura 37: Comportamiento granulométrico de la arena fina.....	93
Figura 38: Comportamiento granulométrico de la arena gruesa	93

RESUMEN

En la presente tesis se evaluó el reemplazo de la ceniza de cascarilla de arroz por tipos de arena fina y gruesa en la elaboración de morteros de dosificación volumétrica de cemento: arena de 1:4 sobre su resistencia a compresión, sorptividad y densidad. Se reemplazo la ceniza de cascarilla de arroz por la arena fina y arena gruesa en dosificaciones de 0%, 1%, 2%, 3% y 4% para ambos casos. Se elaboraron los morteros con cemento Portland Tipo I de la empresa Pacasmayo, arena fina y gruesa de la cantera "Calderón" ubicada en el distrito El Milagro y ceniza de cascarilla de arroz obtenida de la molinera "Molinorte" ubicada en Moche, se empleó una relación agua/cemento constante de 0.80. Se realizó un análisis termogravimétrico y una curva de pérdida de calor para determinar el comportamiento de la cascara de arroz al ser calcinada, La ceniza a emplear funciona a manera de una puzolana de artificial de tipo N de acuerdo a la ASTM C618; de la misma manera se realizó la caracterización del agregado fino bajo las Normas Técnicas Peruanas para el contenido de humedad (NTP 339.185), peso específico y absorción (NTP 400.022), peso unitario suelto seco y peso unitario compactado seco (NTP 400.017), módulo de finura y análisis granulométrico (NTP 400.012) y equivalente de arena (NTP 339.146). Se elaboraron probetas cúbicas de mortero de 5cm de lado, las cuales fueron elaboradas y ensayadas a compresión de acuerdo a la norma ASTM C109, sorptividad de acuerdo a ASTM C1585 y densidad de acuerdo a la ASTM C642. Mediante el reemplazo de la ceniza de cascarilla de arroz por la arena se buscó aumentar su resistencia a compresión y disminuir su sorptividad y densidad, y así de esta manera aprovechar un recurso que muchas veces es desechable como la cascarilla de arroz y ser empleada en un mortero ecológico. El mortero patrón para la arena fina alcanzó 71.8 kg/cm^2 , $4.6 \text{ mm/s}^{1/2}$, $1.5 \text{ mm/s}^{1/2}$ y 1.73 gr/cm^3 para resistencia a compresión, absorción inicial, absorción secundaria y densidad respectivamente; mientras que para arena gruesa 211.3 kg/cm^2 , $4.4 \text{ mm/s}^{1/2}$, $6.5 \text{ mm/s}^{1/2}$ y 2.01 gr/cm^3 para resistencia a compresión, absorción inicial, absorción secundaria y densidad respectivamente. El diseño óptimo para los morteros de arena fina fue con ceniza al 2%, donde se obtuvieron resultados de 91.8 kg/cm^2 , $3.1 \text{ mm/s}^{1/2}$, $1.7 \text{ mm/s}^{1/2}$ y 1.63 gr/cm^3 para resistencia a compresión, absorción inicial, absorción secundaria y densidad respectivamente; mientras que para los morteros elaborados con arena gruesa su diseño óptimo fue con ceniza al 1%, donde se obtuvieron 226.8 kg/cm^2 , $2.6 \text{ mm/s}^{1/2}$, $2.5 \text{ mm/s}^{1/2}$ y 1.96 gr/cm^3 para resistencia a compresión, absorción inicial, absorción secundaria y densidad respectivamente.

ABSTRACT

The present thesis evaluated the replacement of rice husk ash by coarse and fine sand types in the preparation of mortars of volumetric dosage of cement: san of 1:4 on their resistance to compression, sorptivity and density. Rice husk ash was replaced by fine sand and coarse sand in dosages of 0%, 1%, 2%, 3% and 4% for both cases. Mortars were made with Portland cement Type I of the company Pacasmayo, fine and coarse sand of the quarry "Calderón" located in the district El Milagro and ash of rice husk obtained from the Miller "Molinorte" located at Moche, a constant water / cement ratio of 0.80 was used. A thermogravimetric analysis and a heat loss curve were performed to determine the behavior of the rice husk upon calcination. The ash to be used worked as an artificial N-type pozzolan according to ASTM C618; In the same way, the fine aggregate characterization was performed under the Peruvian Technical Standards for moisture content (NTP 339.185), specific gravity and absorption (NTP 400.022), dry loose unit weight and dry compacted unit weight (NTP 400.017), Fineness module and granulometric analysis (NTP 400.012) and sand equivalent (NTP 339,146). Cubic specimens of 5cm side mortar were prepared and tested under compression according to ASTM C109, sorptivity according to ASTM C1585 and density according to ASTM C642. By replacing the rice husk ash in the sand, it was sought to increase its compressive strength and decrease its sorptivity and density, and thus to take advantage of a resource that is often disposable like rice husks and used in an Ecological mortar.

The standard mortar for fine sand reached 71.8 kg/cm², 4.6 mm/s^{1/2}, 1.5 mm/s^{1/2} and 1.73 g/cm³ for compressive strength, initial absorption, secondary absorption and density respectively; While for coarse sand 211.3 kg/cm², 4.4 mm/s^{1/2}, 6.5 mm/s^{1/2} and 2.01 g/cm³ for compressive strength, initial absorption, secondary absorption and density respectively. The optimum design for fine sand mortars was 2% ash, where results of 91.8 kg/cm², 3.1 mm/s^{1/2}, 1.7 mm/s^{1/2} and 1.63 g/cm³ were obtained for resistance to compression, absorption Initial, secondary absorption and density respectively; While for mortars made with coarse sand, its optimum design was 1% ash, where 226.8 kg/cm², 2.6 mm/s^{1/2}, 2.5 mm/s^{1/2} and 1.96 g/cm³ were obtained for compressive strength, Initial absorption, secondary absorption and density respectively.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La ingeniería civil es una de las carreras con mayor demanda en nuestro país, y en el mundo en general, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) indica que Perú tiene más de 31 millones de habitantes, y hacia el 2021, alcanzaría los 33. Al aumentar la población, se agrandan las ciudades, y por ello, surge el boom de la inmobiliario y de la construcción. Se requieren un sinnúmero de ingenieros civiles y personal de obras de construcción. Son muchos los proyectos tanto privados, como públicos, nacionales y extranjeros. Desde hace más de 10 años que, en sectores privados y públicos, se realizan grandes inversiones de dinero en obras de construcción como viviendas, centros educativos, centros comerciales, etc. Según Gestión, la inversión en nuevos proyectos aumentará un 6,30% en el 2017, respecto al año anterior (Universia Perú, 2017).

Sin embargo, el autor cree propicio señalar que, como parte del desarrollo que se viene dando en nuestro país, se vienen desarrollando nuevas y mejoradas infraestructuras, acompañadas de tecnologías que repercuten directamente al desarrollo económico de nuestro país. Al momento de construir en Perú, un país tan diverso geográficamente y climatológicamente, donde contamos con zonas en las que abastecerse del servicio de agua recién está siendo posible, se debe tener cuidado con los diferentes tipos de filtraciones y problemas que la humedad en general pueden generar.

Generalizando un poco, todas las obras que tengan contacto con humedad deben tener cuidado con las filtraciones y aparición de humedad. Las estructuras de concreto deben tener un especial cuidado con las filtraciones de agua debido a que el concreto y los morteros son los encargados de proteger a la estructura metálica que forma parte de la estructura del ataque de corrosión, sulfatos y otros problemas que genera el contacto del acero con el agua.

Teniendo en cuenta nuestro entorno inmediato, hace un par de años en Trujillo, se registraron unas quejas por parte de vecinos que aquejaban pequeñas inundaciones y olores desagradables en la urbanización primavera debido a filtraciones de agua de un reservorio (Figura 1), lo cual ocasionaba que el agua de desagüe se mezcle en pequeños charcos cercanos al reservorio y genere mal olor y un ambiente desagradable; motivo por el cual el agua ha de haber filtrado a través del mortero de recubrimiento y del concreto mismo



Figura 1: Filtración expuesta en reservorio (RPP)

El arroz es el primer producto en área sembrada y cosechada en el Perú, muy por encima del café, la papa y el maíz amarillo duro; con más de 380,000 hectáreas en promedio. La producción nacional de arroz en el Perú alcanzó en el año 2016 las 3'147,200 toneladas, lo cual representó un incremento de aproximadamente 0,6%, respecto a lo registrado el año pasado, informó el Instituto Nacional de Estadística e Informática.

El departamento de La Libertad ocupa el segundo lugar en producción de arroz cascara, después del departamento de San Martín. El año 2014, el departamento de La Libertad registró una producción de 362,858.40 toneladas de arroz cascara, representando el 12.62% de la producción nacional, en una superficie cosechada de 33,570.00 hectáreas, según la Dirección de Estadística Agraria del Ministerio de Agricultura y Riego.

A nivel departamental, la provincia de Pacasmayo lidera la producción de arroz cascara y en el 2014 reportó una producción de 175,958 toneladas, que representa el 48.49% de la producción departamental, en una superficie cosechada de 16,505 hectáreas.

El distrito de Guadalupe, de la provincia de Pacasmayo, lidera la producción de arroz, alcanzado en 2014, una producción 76,350 toneladas (43.39%), en una superficie cosechada de 6,950 hectáreas.

En la actualidad este cereal se siembra casi todo el año. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) informó que, en abril del presente año, la producción de arroz cáscara registró 357 mil 231 toneladas y significó un incremento de 31,0% en comparación a igual mes del 2015, debido a la mayor producción registrada en el departamento de La Libertad (241,9%) como resultado de las favorables condiciones climatológicas en la costa norte.

De tal forma, podemos concluir que, el arroz es un producto esencial dentro de la agricultura nacional, el cual se encuentra en frecuente ascenso respecto a su producción; y para fines de este proyecto, se podrá emplear la cascarrilla de arroz para la producción de morteros mejorados, no solo aprovecharíamos un recurso nacional, sino también contribuiríamos a la mejora del medio ambiente.

La ceniza de cascarrilla de arroz se muestra actualmente como un material muy versátil debido a sus distintas propiedades. De esta manera, se ha empleado la ceniza de cascarrilla de arroz para la fabricación de sílice pura, la sílice es una combinación de silicio y oxígeno en forma de SiO₂. La cáscara de la ceniza de arroz puede contener hasta 15% en peso de carbono. Si la calcinación de la ceniza se promueve con el fin de eliminar el carbono residual, se puede obtener aproximadamente el 95% de sílice puro, dicha sílice se distribuye principalmente en la epidermis externa de la cascarrilla de arroz (Jaubertie, 2000)

La ceniza también se emplea como material de carga en polímeros; se puede utilizar para mejorar la capacidad de carga en compuestos de caucho natural, este ayuda a la mejora de propiedades mecánicas como su resistencia, dureza, alargamiento y aumento de peso, proporcionando de este modo un compuesto de caucho con mejor rendimiento. Sin embargo, en un trabajo realizado por Ismail, Nizam y Khalil en 1999, determinó que el aumento en el contenido de ceniza de cáscara de arroz como material de relleno en una mezcla de polímeros compuesta de caucho neutral y polietileno de baja densidad dio lugar a la reducción de su resistencia a la tracción, alargamiento y densidad, pero también dio lugar al aumento de la dureza y el módulo de elasticidad.

El reglamento nacional de edificaciones, en su norma E 0.70, capítulo 3, nos hace referencia a que el mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación de agregado. También los clasifica para fines estructurales en dos tipos: tipo P y tipo NP, empleado para la construcción de muros portantes y muros no portantes respectivamente.

Los morteros tendrán las proporciones volumétricas en estado suelto, expuestas en la Tabla 1, la cual se muestra a continuación:

Tabla 1: Clasificación de morteros para fines estructurales (RNE E.070)

Tipo	Componentes			Usos
	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0 a ¼	3 a 3 ½	Muros portantes
P2	1	0 a ½	4 a 5	Muros portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no portantes

Los materiales a emplear, será el agregado fino de acuerdo a la norma ASTM C144, y el cemento de acuerdo a los requerimientos que tenga la obra, clasificándolos según la NTP

339.090 en Tipo I, II, III, IV y V; su empleo se debe a los requerimientos de la zona y de la obra (Detallado en bases teóricas).

La norma E.070 no nos especifica cantidad de agua, solo nos hace referencia a que se emplee la cantidad de agua que haga la mezcla trabajable, pero para fines prácticos CAPECO nos establece relaciones de materiales de acuerdo a las proporciones volumétricas y relaciones de agua cemento de los morteros, los cuales se encuentran detallados en la Tabla 2.

Tabla 2: Cantidad de materiales por m³ de mortero (CAPECO)

Proporción c:a	Relación a/c	Cantidad de materiales por m ³ de mortero		
		Cemento (bolsa)	Arena (m ³)	Agua (litros)
1:1	0.29	23.2	0.66	286
1:2	0.43	15.2	0.86	277
1:3	0.57	11.2	0.96	272
1:4	0.72	8.9	1.00	272
1:5	0.85	7.4	1.05	268
1:6	1.00	6.3	1.07	269
1:7	1.14	5.5	1.10	267
1:8	1.29	4.9	1.11	268

En resumen, lo que se trata de lograr en la presente investigación es lograr mejorar las propiedades de un mortero de cemento y arena, aprovechando que somos una región con abundante producción de arroz cáscara, mediante el reemplazo de la ceniza de cascarilla de arroz por la arena fina y arena gruesa; de esta manera se buscará mejorar la resistencia a compresión, y disminuir la densidad y la absorción capilar, evitando el fácil acceso del agua a través de los morteros.

1.2. Formulación del problema

¿De qué manera influirá la adición de ceniza de cascarilla de arroz en resistencia a compresión, sorptividad y densidad del mortero?

1.3. Justificación

La presente investigación referente a la aplicación de ceniza de cascarilla de arroz a morteros, trata de ayudar a la mejora de las propiedades de morteros comunes de cemento arena que son empleados para revestimiento en tanques elevados, tanques apoyados, cisternas, entre otro tipo de infraestructura que tenga contacto directo con el agua, así también con viviendas y todo tipo de construcción. Así mediante la adición y reemplazo de ceniza de cascarilla de arroz en lugar de la arena, tanto fina como gruesa, se buscará mejorar la resistencia a la

compresión para la mejora de su capacidad de soportar cargas, la densidad para de esta manera poder obtener un material más liviano y la sorptividad para evitar la ascensión del agua a través de los poros libres del material, haciendo de los nuevos morteros ecológicos, un mortero más rentable para términos de la construcción.

Generalmente en las obras de construcción se aplican distintos tipos de dosificaciones de mortero (Tabla 3), generalmente expresados en cantidades de cemento y arena, de acuerdo a como se le agregue más arena al mortero, el mortero tiende a perder propiedades mecánicas, haciéndolo más pobre en sus propiedades, tanto físicas como mecánicas. De este modo, se nos sugiere elaborar un mortero con dosificación 1:3 para pequeñas impermeabilizaciones, esto debido a que de acuerdo a la cantidad de cemento que tenga la mezcla, esta repercutirá directamente con su porosidad y con su resistencia, es decir, mientras más cemento tenga la mezcla, el mortero tiende a ser menos poroso y más resistente; pero como lo que buscamos es la mejora de un mortero, se decidió emplear la dosificación 1:4 para mejorar sus propiedades de sorptividad (la cuál será producto de la porosidad) y resistencia. A su vez, según la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) en su libro "Costos y Presupuestos en Edificaciones", nos aconseja utilizar una relación de agua/cemento de 0.73, pero en nuestro caso práctico se empleará la dosificación de 0,80.

Tabla 3: Usos de morteros de cemento (Gutierrez, 2003)

MORTERO	USOS
1:1	Mortero muy rico para impermeabilizaciones. Rellenos
1:2	Para impermeabilizaciones y pañetes de tanques subterráneos. Rellenos
1:3	Impermeabilizaciones menores. Pisos
1:4	Pega para ladrillos en muros y baldosines. Pañetes finos.
1:5	Pañetes exteriores. Pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos.
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y mampostería en general. Pañetes no muy finos
1:8 y 1:9	Pegas para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones.

Se podrá valorar el trabajo en la medida en que se podrá emplear el la cascarilla de arroz, producto en la que nuestra región es rica, siendo Guadalupe el principal productor de arroz a nivel nacional, y no solo esto, sino que es un producto que se encuentra en alza y el gobierno ha establecido que se implemente un Proyecto de Inversión Pública para que mejore aún más la producción del arroz en la Libertad, de esta manera poder aprovechar la cascarilla de arroz para su posterior calcinación, la cual se puede realizar fácilmente con la ayuda de un horno cilíndrico y un balón de gas, o realizar un quemado en un laboratorio de materiales (en nuestro

caso el quemado se realizó en el Laboratorio de la Universidad Nacional de Trujillo), así de esta forma ayudará a la producción de un mortero ecológico y mejorado.

La aplicación de ceniza de cascarilla de arroz a morteros de cemento arena, a su vez nos permitirá conocer un poco más sobre las propiedades de morteros con algunas adiciones, permitiendo de esta forma la elaboración de una nueva mezcla que podrá ser beneficioso para proyectos a futuro.

En resumen, nuestro mortero patrón será elaborado teniendo una dosificación cemento y arena (c:a) de 1:4 y una dosificación de agua sobre cemento (a/c) de 0.80, usando el tipo de cemento más básico, el tipo I, para tomar esto como punto de partida para la mejora de las propiedades; todo esto se estableció mediante un estudio previo realizado en laboratorio donde se trabajaron distintas dosificaciones de c:a y a/c para poder llegar a la mezcla óptima, tomando como patrones, la fluidez de la mezcla (generalmente es como se dosifica el agua en obra) y su fácil acomodo en los moldes cúbicos. La ceniza se añadirá al mortero en proporción de 0%, 1%, 2%, 3% y 4% como reemplazo del agregado fino (arena fina y arena gruesa), a través de este proceso se buscará mejorar las propiedades del mortero, logrando un mortero con mejores propiedades mecánicas, resistente al agua y a la vez con menor densidad. De ser el caso esto beneficiará a lograr morteros para revestimiento y para juntas que impidan el paso del agua e incluso cumplan funciones estructurales.

1.4. Limitaciones

La limitación más importante en la tesis será aplicabilidad de la mezcla en situaciones reales, ya que el investigador al desarrollar la tesis en un laboratorio, ha tenido el cuidado necesario y la consideración en la conformación de las probetas para tener una mezcla lo más homogénea posible, lo cual en construcción deberá realizarse con estricto cuidado.

Complicaciones en los tiempos de curado y planificación de avance de la tesis, debido a inconvenientes climatológicos de la región que no permitió el acceso a las instalaciones del laboratorio. Sin embargo, inmediatamente pasado estos incidentes, se ajustó el tiempo de trabajo para poder llegar a realizar los ensayos en el tiempo adecuado.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Evaluar de qué manera influye la adición de ceniza de cascarilla de arroz en la resistencia a compresión, sorptividad y densidad del mortero de cemento con proporción cemento y arena 1:4.

1.5.2. Objetivos específicos

- Realizar la caracterización de agregados de arena fina y arena gruesa y analizar cómo influye en las propiedades del mortero.
- Analizar los máximos y mínimos valores de resistencia a compresión, sorptividad y densidad en morteros de cemento con ceniza.
- Determinar la cantidad óptima de ceniza de cascarilla de arroz que se le debe agregar al mortero.
- Evaluar los costos de los morteros óptimos para el proceso constructivo.
- Informar y evaluar que distintos usos pueden tener el nuevo mortero en el sector construcción.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- En el estudio realizado por la Dra. Vásquez de “Cementos Pacasmayo S.A.A.” y la Bach. Vigil de la Universidad de Piura (2000), denominado “Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánica en cemento”, se estudia la aplicación de la ceniza de cáscara de arroz como puzolana en un 10%, 15%, 20% y 30% del peso del cemento en tiempos de 3, 7 y 28 días. Se concluyó que la puzolana artificial desarrollada cumplió con los requisitos de los índices de actividad puzolánica, a su vez la resistencia a la compresión aumentó mediante la adición de la ceniza hasta en un 30% (Tabla 4).

Tabla 4: Resultados de Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánica en cemento

Adición de Ceniza (%)	Resistencia a 3 días (kg/cm ²)	Resistencia a 7 días (kg/cm ²)	Resistencia 28 días (kg/cm ²)
0	257	297	350
10	277	364	416
15	257	362	408
20	260	363	405
30	279	347	381

La resistencia de los cementos Portland adicionados a 3 días es hasta 8,6% mayor que la del OPC (Cemento Portland ordinario), a 7 días es hasta 22,6% mayor que la del OPC y a 28 días es hasta 18,9% mayor que la del OPC. Esto demuestra que la contribución de la ceniza de cáscara de arroz a las resistencias no sólo es a los 3 y 7 días, sino también contribuye con la resistencia del cemento a los 28 días. Los resultados se relacionan con las referencias bibliográficas y se predecía la actividad puzolánica a 28 días.

De esta forma, y dada la importante producción de arroz en el Perú, en la zona de influencia de Cementos Pacasmayo S.A.A. se podría contar con 40000 t de ceniza de cáscara de arroz/año. Teniendo en cuenta este volumen, será viable producir cemento Portland con adición de ceniza de cáscara de arroz, a escala industrial, en plantas pequeñas de cemento como es la Planta de Rioja.

- En el estudio realizado por Molina, Moragues y Gálvez (2008), denominado “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”, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España; se estudió la aplicación de cenizas volantes para sustituir el cemento portland en el hormigón, así de esta manera poder variar y estudiar sus distintas propiedades, donde se concluyó como los porcentajes óptimos los de 15% y 35% de

ceniza volátil a relación de $a/c = 0.6$, a su vez los ensayos realizados muestran claramente una mejora de la resistencia a compresión de los hormigones con adición de cenizas, a los 28 y 91 días (Figura 2)

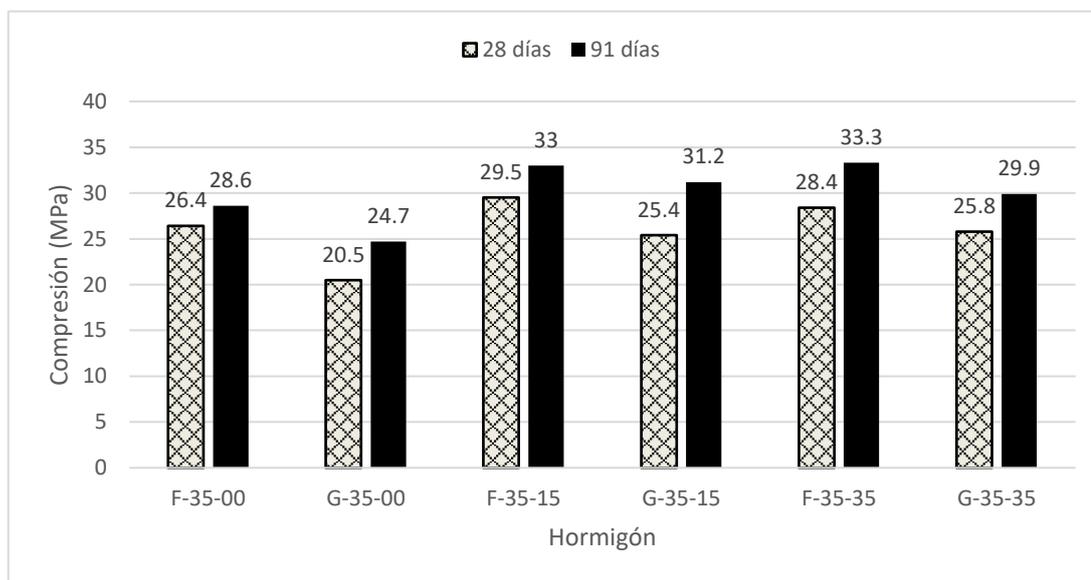


Figura 2: Compresión con ceniza de 15% a 35% de sustitución

Donde la sigla F responde al tipo de cemento Holcim, y la sigla G es el tipo de cemento Cemex; a su vez los dígitos posteriores como F-35-35 responden a la adición de ceniza, de 00%, 15%, 35%. A 91 días se obtuvieron mejores resultados de compresión para un cemento tipo Holcim (F) con una adición de 35%, obteniendo una resistencia a 91 días de 33.3 MPa. La reducción de porosidad total en el hormigón, para cada cemento estudiado, con las distintas adiciones de ceniza conlleva un aumento de resistencia. Sin embargo, tanto el valor de la porosidad total como el de la resistencia a compresión, muestran una tendencia a la estabilización a medida que se aumenta el contenido de ceniza entre 15% y 35%, debido a que se da el mayor contacto entre las cenizas y los productos de hidratación del cemento, favorece la reacción puzolánica de las cenizas. Una dosis elevada de cenizas parece obstaculizar el óptimo aprovechamiento de las mismas, porque impide el contacto entre la portlandita y las cenizas volantes, lo que disminuye su coeficiente de eficacia.

Los resultados presentados permiten mejorar la compresión del comportamiento de los hormigones con cenizas volantes, como sustituto parcial del cemento Portland. A la vez cabe señalar que las cenizas volantes pueden contribuir a mejorar la resistencia a compresión a edades tan tempranas como a 28 días.

- En la tesis para obtener el título de ingeniero civil desarrollada por Juárez (2008) denominada "La utilización de cáscara de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana

artificial en el diseño de morteros para acabados”, Universidad de San Carlos, Guatemala; se estudió la aplicación de las cenizas de cascarilla de arroz en mortero de cemento arena y de morteros de cal arena. La investigación se desarrolló con la finalidad de seguir el avance de los conocimientos científicos y técnicos, donde se evaluará la cascarilla de arroz calcinada, analizando las propiedades químicas, físicas y mecánicas de dicha puzolana, obteniendo resultados que permitan conocer si dicha puzolana modifica las propiedades del mortero y características determinadas. Proporcionando así una utilidad más a la cascarilla de arroz. Los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Ceniza de cáscara de arroz bajo en el diseño de morteros para acabados

Lote	Resistencia a 7 días (kg/cm ²)	Resistencia a 28 días (kg/cm ²)
Patrón	140.92	221.50
Cemento + puzolana	132.49	241.04
Cal + puzolana	99.58	152.65

La resistencia a compresión para los morteros de cemento con adición de puzolana no se vio incrementado al plazo de 7 días, decreció, sin embargo, para 28 días se incrementó del mortero patrón de 221.50 kg/cm² a 241.04 kg/cm² cuando se le adicionaba puzolana.

La resistencia de la mezcla con adición de cáscara de arroz es lenta respecto a la mezcla control en los primeros días, sin embargo, a los 28 días sobrepasa a la resistencia de la mezcla control.

La trabajabilidad del mortero, cemento y puzolana es menor que la del mortero de cal y puzolana; lo que hace mejor la fluidez de este mortero dándole un adecuado uso para acabados, siendo aún más baja su resistencia a compresión.

- En el trabajo realizado por Salas, Castillo, Sánchez y Veras (1986) denominado “Empleo de cenizas de cáscara de arroz como adiciones en morteros”, Instituto E. Torroja, Madrid, España; se estudiaron la factibilidad de la aplicación de la cáscara de arroz como adición en morteros, mediante la evaluación de sus propiedades mecánicas. El trabajo se desarrolló con la finalidad de mostrar la factibilidad de la aplicación de la cáscara de arroz - cuya producción mundial se estima en 500 x 10⁶ m³ por año- como adición, sin olvidar sus cualidades que posee como combustible, la cual lo hace idónea en países en vías de desarrollo, para aplicarlo en cemento y en recursos energéticos. Se concluyó que las propiedades mecánicas de los morteros a 120 días presentaron mejoras mediante la adición de la ceniza, a su vez se aconseja moler siempre la ceniza hasta lograr una finura aceptable (Tabla 6)

Tabla 6: Flexotracción y compresión de ceniza de cascara de arroz en morteros

Muestra	Resistencia a Flexotracción (MPa)				Resistencia a Compresión (MPa)			
	7 días	28 días	60 días	120 días	7 días	28 días	60 días	120 días
CLM-1	0.42	0.98	1.07	1.92	1.48	2.80	4.42	7.23
CLM-2	0.72	1.02	1.39	1.98	1.69	2.30	4.37	7.64
CLM-3	0.58	0.82	0.82	2.02	1.46	1.80	1.63	8.08
P-ARI-450	7.60	8.70	9.10	9.07	44.00	53.10	54.00	59.00
CAM-1	6.30	8.10	9.25	8.97	37.85	47.00	44.15	55.98
CAM-2	4.18	4.10	5.27	6.72	20.52	20.50	27.83	43.11
CAM-3	1.53	2.00	2.77	2.67	5.90	7.50	6.44	11.58

Donde las siglas CLM 1, 2 y 3 hace referencia a las distintas proporciones de cal con ceniza, 67% y 33%, 50% y 50%, 33% y 67% de cal y ceniza para cada caso respectivamente. P-ARI-450 hace referencia a la mezcla de cal y cemento portland. Del mismo modo las siglas CAM 1, 2 y 3 hace referencia a mezclas de 67% y 33%, 50% y 50%, 33% y 67% de P-ARI-450 y ceniza para cada caso respectivamente.

Las resistencias obtenidas para los tres "conglomerantes" a base de ceniza de cascarilla de arroz (RHA) y cemento son marcadamente superiores a las conseguidas mediante RHA y cal. A efecto de necesidades resistentes típicas en las realizaciones de viviendas de bajo coste, y a reserva de otras características que han de estudiarse en profundidad, los conglomerantes CAM 1 y CAM 2 presentan valores a compresión y flexotracción suficientes para ser utilizables en este tipo de usos.

- En el trabajo desarrollado por Camargo, Pereira, Akasaki, Fioriti, Payá y Pinhero (2014) denominado "Rendimiento de morteros producidos con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar", Universidad Estatal Paulista (UNESP), Brasil; se estudió la aplicación de puzolana en el mortero como remplazo del agregado fino, de esta manera se decidió trabajar con el bagazo de la caña de azúcar ya que Brasil es un país rico en la producción de caña de azúcar. El trabajo fue realizado con cemento sin adiciones para favorecer de manera adecuada a la reactividad mineral de la ceniza, se usó un cemento CPV-ARI de alta resistencia inicial, arena natural calificada, super plastificantes de 0.20% a 0.90% del peso del cemento, y la ceniza de bagazo de caña de azúcar debidamente granulada por proceso de molienda. De esta manera, se aumentó la resistencia a compresión de los morteros en todas las adiciones de la ceniza, atribuyéndole esto al efecto físico de llenado de vacíos por parte de granos finos; también se aumentó la resistencia a tracción por compresión diametral en las trazas que contienen 3% de ceniza de bagazo (CBC) en comparación con la muestra patrón, esta fue considerada la proporción óptima de remplazo; favoreció a la reducción de la absorción capilar gracias al llenado de vacíos por las partículas finas.

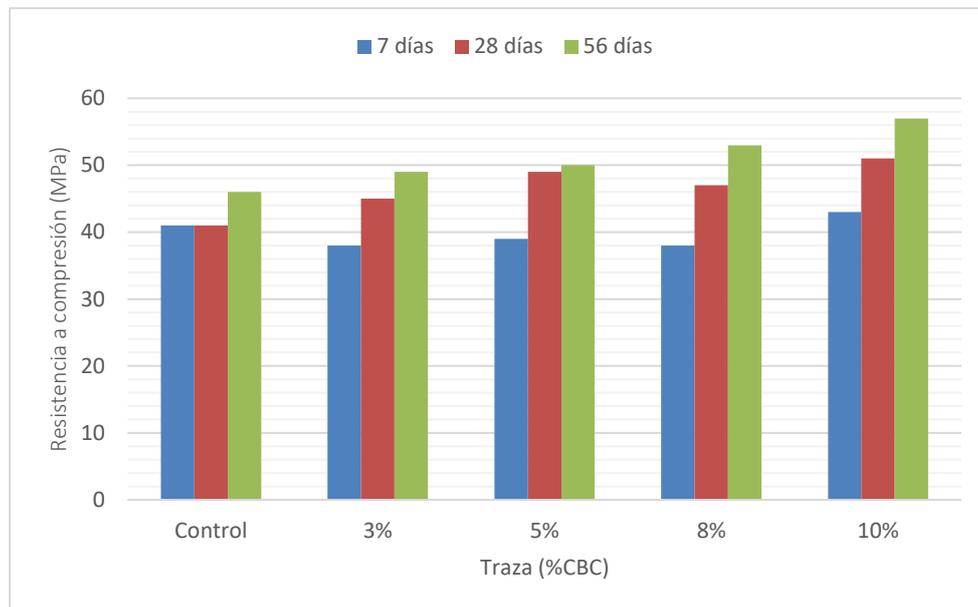


Figura 3: Compresión de morteros con incorporación de ceniza de bagazo de caña

Se dio a conocer, que luego de 7 días, la resistencia a compresión de las muestras con adición de CBC al 3%, 5% y 8% son muy similares y menores que la resistencia a compresión de la muestra patrón, pero evolucionan a las edades de 28 y 56 días, indicando que la evolución de la resistencia a compresión es menor. Sin embargo, a los 56 días, todas las muestras con CBC mostraron mayor resistencia a la compresión que la muestra patrón, lo que puede atribuirse al efecto físico del llenado de vacíos con granos finos de CBC. Hubo un aumento de 23,3% de resistencia a compresión, a los 56 días para muestra patrón con 10% de CBC (Figura 3).

Se produjo una marcada reducción, de 27% y 38%, a los 7 y 28 días, respectivamente, de la absorción capilar al final de la prueba (72 horas) para la muestra patrón, en comparación con la muestra de 3% de ceniza de bagazo de caña de azúcar (CBC). Sin embargo, con esta

proporción de reemplazo la disminución fue menor, indicando así que la muestra con 3% de CBC es la más eficiente para reducir la absorción (Figura 4).

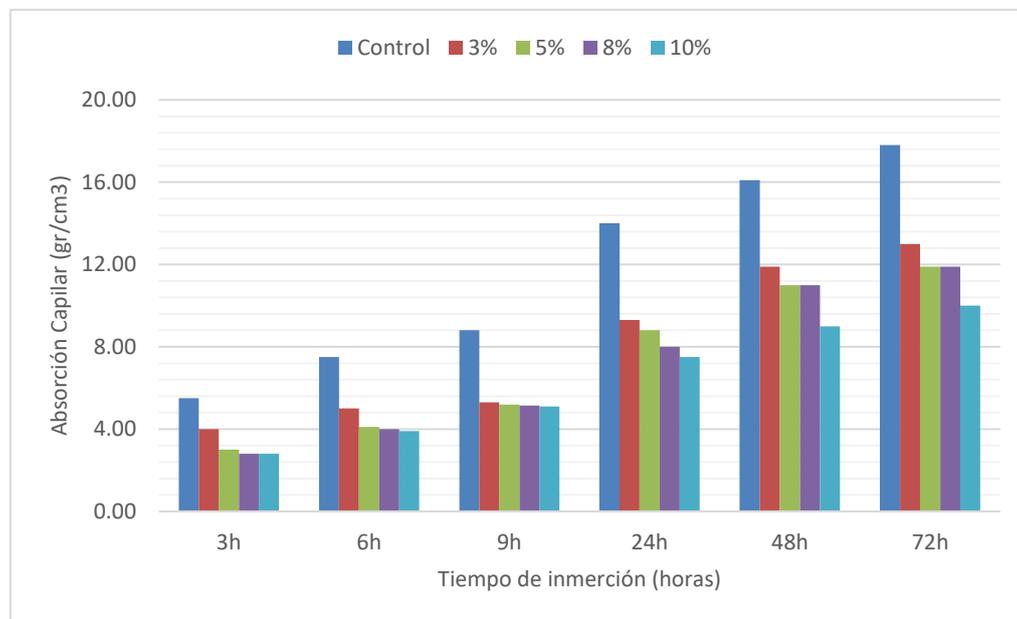


Figura 4: Absorción capilar de morteros con incorporación de ceniza de bagazo de caña

Según la caracterización de resultados de la CBC, el trabajo fue realizado con materiales de baja actividad puzolánica. Sin embargo, se confirmó que la CBC puede ser empleada como reemplazo parcial de agregados finos para la producción de morteros.

Los resultados de resistencia a compresión mostraron elevados niveles para todas las proporciones de incorporación de CBC, atribuidos al efecto físico de llenado de vacíos por parte de granos finos. La adición de finos de CBC para todas las proporciones de reemplazo, condujo a la reducción de absorción capilar, puesto que promueve el llenado de vacíos, previniendo el ingreso de agentes agresivos al mortero.

- En la tesis para optar por el título de ingeniero civil de Villarroel (2017) denominada "Evaluación del porcelanato reciclado y dosificación en mortero de asentado sobre la resistencia a compresión, absorción, densidad y flujo, Trujillo 2017", Universidad Privada del Norte, Trujillo; se desarrolló la influencia del porcentaje de porcelanato molido en morteros de asentado sobre la resistencia a compresión, absorción, densidad y flujo. Las dosificaciones que se emplearon fueron cemento:arena 1:3 y 1:4, con porcentajes de porcelanato molido como sustituto de la arena de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90% para cada dosificación y se trabajó con una relación agua/cemento constante de 0.65. La investigación se desarrolló con el fin de contribuir con la Ley General de Residuos Sólidos N° 1278 donde se empleará el uso de los residuos de porcelanato a través de la innovación de reciclaje, transformándolo

mediante un proceso de trituración y molienda en un producto útil, de fácil aplicación y disponibilidad, permitiendo minimizar las acumulaciones que se puedan presentar en los diversos sectores de la ciudad y contribuyendo a la protección de recursos naturales no renovables y permitirá un menor consumo de energía.

El diseño más óptimo para la dosificación 1:3 cemento:arena se dio entre el porcentaje de sustitución del 75% al 90%, presentándose valores de resistencia a compresión entre 341 kg/cm² a 343 kg/cm², flujo de 29% a 28%, absorción de 9.6% a 8.9% y densidad de 1876 kg/m³ a 1870 kg/m³ y para la dosificación 1:4 cemento:arena se dio entre el porcentaje de sustitución del 60% al 75% presentándose valores de resistencia a compresión de 248 kg/cm² a 287 kg/cm², flujo de 0%, absorción de 9.5% a 9.4% y densidad de 1944 kg/m³ a 1911 kg/m³. El diseño óptimo del mortero con porcelanato molido de la relación 1:3 cemento:arena en comparación a la mezcla de referencia, presentó una mejora en cuanto a la resistencia a compresión de 55.6% a 56.9% y una disminución de la absorción de 20.8% a 27.1%, densidad de 3.3% a 3.6 % y flujo de 31.8% a 35.4%. El diseño óptimo del mortero con porcelanato molido de la relación 1:4 cemento:arena en comparación a la mezcla de referencia, presentó una mejora en cuanto a la resistencia a compresión de 40.2% a 62.5% y una disminución de la absorción de 22.8% a 23.8%, densidad 3.4% a 5.0% y el flujo se mantiene con un 0%.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Morteros

2.2.1.1. Definición

Mezcla natural o artificial cuyas características constructivas esenciales son su plasticidad inicial, que permite trabajarla y moldearla según la necesidad, su posterior endurecimiento y aumento de la resistencia mecánica, que lo hace útil como material de construcción (Antonio García Casco, 2000).

Estas mezclas constan de:

- Un material aglutinante, ligante, conglomerante o aglomerante, que imparte plasticidad a la mezcla al ser aplicada.
- Un material inerte o árido, generalmente arena de distinta composición y granulometría
- Materiales añadidos eventualmente o aditivos, cuyo fin es muy variado.

2.2.1.2. Funciones estructurales de los morteros

Según Antonio García Casco (2000), se refiere básicamente al construir el material

- **De base**, para la construcción de muros, paredes, cubiertas, etc, armado en estructuras de ramas, palmas, maderas, etc.
- **De unión**, y asentamiento de bloques de piedra, de ladrillos y de las piezas labradas (sillares, tambores, capiteles, tejas, etc.) que forman los elementos constructivos (columnas, cornisas, techos, etc.).

2.2.1.3. Tipos de morteros

a. Morteros calcáreos

El Ing. Salamanca denomina así a los morteros en los que interviene la cal como aglomerante, se distinguen, según el origen de ésta en aéreos e hidráulicos.

Las cales aéreas más conocidas son la cal blanca y la cal gris (dolomítica); en los morteros aéreos la arena tiene como objetivo principal evitar el agrietamiento por las contracciones del mortero al ir perdiendo el agua de amasado. La proporción de cal-arena más usada para revoque (acabados en muros) es de 1:2 y para mampostería simple (junta para muros de ladrillos) de 1:3 o de 1:4. Si la proporción aumenta el mortero pierde ductilidad y trabajabilidad.

b. Morteros de cal y cemento

Son aconsejables cuando se busca gran trabajabilidad, buena retención de agua y alta resistencia (superior a la de los morteros de cal; en estos morteros se sustituye parte del cemento por cal, razón por la cual se les conoce también como Morteros de Cemento Rebajado.

Las relaciones de mezcla más usadas varían entre 1:2:6 y 1:2:10 de cemento, cal y arena y el agua necesaria varía de acuerdo a la composición del mortero y a la consistencia deseada. Si el contenido de cemento es alto, el mortero será de alta resistencia y de poco tiempo entre amasado y colocación, será más o menos trabajable y tiene una contracción del 3% si el mortero es seco; en cambio si el contenido de cal es alto tendrá menor resistencia, será mayor el tiempo entre amasado y colocación, será más plástico y permeable, pero tendrá mayor retracción. Si el contenido de arena es alto, la resistencia disminuirá y será poco trabajable, pero tendrá poca retracción (Salamanca, 2001)

La norma más difundida es la ASTM-270, la cual clasifica los morteros de pega por propiedades mecánicas y por dosificación. En esta norma se aceptan 5 tipos de mortero en orden decreciente de resistencia. La Tabla 7 resume esta clasificación.

Tabla 7: Clasificación de los morteros de pega para mampostería simple (ASTM 270)

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión			Cemento portland	Cemento albañilería	Cal	Agregado fino suelto
	(MPa)	(kg/cm ²)	(PSI)				
M	17.2	175	2500	1 1	1 -	0.25	Entre 2.25 y 3 veces la suma de cemento y cal utilizado
S	12.4	126	1800	0.5 1	1 -	0.25 a 0.50	
N	5.2	53	750	- 1	1 -	0.5 a 1.25	
O	2.4	25	350	- 1	1 -	1.25 a 2.5	
K	0.5	5	75	1	-	2.50 a 4.00	

El mortero para mampostería sin refuerzo debe ser del tipo M, S o N, y los morteros para mampostería reforzada están regulados por la norma ASTM C-476 en la cual se distinguen los tipos PM y PL (Tabla 8).

Tabla 8: Clasificación de morteros de pega de mampostería reforzada (ASTM C-476)

Tipo de mortero	Resistencia a la compresión			Cemento portland	Cemento mampostería	Cal	Agregado fino suelto
	(MPa)	(kg/cm ²)	(PSI)				
PM	17.2	175	2500	1	1	0.25 a	2.25 A 3.00
PL	17.2	175	2500	1	-	0.50	

Los morteros de relleno se encuentran regulados por la Norma ASTM C-476 (Tabla 9). Los morteros de relleno son aquellos que se utilizan para verter en el interior de los muros con el objeto de aumentar la sección neta resistente del muro y favorecer la unión entre la mampostería y el refuerzo.

Tabla 9: Morteros de relleno - partes por volumen (ASTM C-476)

Tipo de relleno	Cemento portland	Cal	Agregado fino suelto	Agregado grueso suelto
Relleno fino	1	0 a 0.1	2.25 a 3.0	-
Relleno grueso	1	0 a 0.01	2.25 a 3.0	1 a 2

El reglamento nacional de edificaciones, en su norma E-070 de Albañilería, clasifica los morteros para mampostería como morteros para muros portantes (P1 y P2) y muros no portantes (NP) (Tabla 10)

Tabla 10: Morteros para mampostería (RNE E.070)

Tipo	Componentes			Usos
	Cemento	Cal	Arena	
P1	1	0 a ¼	3 a 3 ½	Muros portantes
P2	1	0 a ½	4 a 5	Muros portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no portantes

c. Morteros de cemento

Son los más empleados en la construcción, se componen de arena y cemento Portland. Este mortero tiene altas resistencias y sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción de cemento y arena usados. Es hidráulico y debe prepararse teniendo en cuenta que haya el menor tiempo posible entre el amasado y la colocación; se acostumbra mezclarlo en obra, revolviendo primero el cemento y la arena y después adicionando el agua.

En el mortero de cemento al igual que en el concreto, las características de la arena, tales como la granulometría, módulo de finura, forma y textura de las partículas, así como el contenido de materia orgánica, juegan un papel decisivo en su calidad.

Si el mortero tiene muy poco cemento la mezcla se hace áspera y poco trabajable ya que las partículas de arena se rozan entre sí, pues no existe suficiente pasta de cemento que actúe como lubricante.

Por otro lado, si el mortero es muy rico, es decir, con alto contenido de cemento, es muy resistente, pero con alta retracción en el secado, o sea muy susceptible de agrietarse; estos morteros muy ricos sólo se usan en obras de ingeniería que exijan altas resistencias, tales como muros de contención o cimientos (Salamanca, 2001).

2.2.1.4. Composición de morteros de cemento arena

a. Cemento

La palabra cemento describe a un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales le permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un conglomerado con resistencia y durabilidad adecuadas. Esta definición no sólo abarca los cementos propiamente dichos, sino una gran variedad de materiales aglomerantes como las cales, los asfaltos y los alquitranes y resinas sintéticas (Arriola, 2009).

A su vez, Arriola (2009) nos indica que, el cemento hidráulico se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como caliza, y por alumina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza. Debido a la diversa gama de cementos disponibles en nuestro medio, es importante distinguir los de uso general y los de uso especial. La diferencia está en función de la resistencia mecánica desarrollada y la durabilidad que presenta cada uno con respecto al tiempo y los diferentes agentes agresivos.

La norma ASTM C150, con la finalidad de conocer el uso adecuado de cada cemento, y su funcionalidad, nos da a conocer la clasificación de los cementos:

- **Tipo I:** De uso general, donde no se requieren propiedades especiales.
- **Tipo II:** De moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. Para emplearse en estructuras con ambientes agresivos y/o en vaciados masivos.
- **Tipo III:** Desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Pasa uso en clima frío o en los casos en que se necesita adelantar la puesta en servicio de las estructuras.

- **Tipo IV:** De bajo calor de hidratación. Para concreto masivo.
- **Tipo V:** Alta resistencia a los sulfatos. Para ambientes muy agresivos

b. Agregado fino

Rivera (2013), define a los agregados finos, también llamados arenas o áridos, como todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente (resistencia de grano), no perturban ni afectan las propiedades y características del mortero y garantizan una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento.

b.1. Tipos de agregados

De acuerdo con el origen de los agregados, Rivera (2013) los clasifica de la siguiente manera:

- **Agregados naturales:** son todos aquellos que provienen de la explotación de fuentes naturales, tales como depósitos de arrastres fluviales (arenas de río) o de glaciares (canto rodado) y de canteras de diversas rocas y rocas naturales. Se pueden aprovechar en su granulación natural o triturándolos mecánicamente, según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas.
- **Agregados artificiales:** estos se obtienen a partir de productos y procesos industriales tales como: arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker, limaduras de hierro y otros. Por lo general son más ligeros o pesados que los ordinarios.

b.2. Propiedades de los agregados

La norma que especifica las propiedades de los agregados es la ASTM C144 "Especificación estándar para agregados de morteros de mampostería". Las propiedades a cumplir con dicha norma son:

- El agregado fino utilizado en morteros de albañilería, revestimientos y relleno debe de ser limpio y bien gradado. Su eventual comportamiento en el mortero en cuanto a consistencia, resistencia y tamaños existentes se representan en el módulo de finura (Sánchez, 2001).
- El Módulo de Finura, es un factor empírico que permite determinar que tan fino o grueso es un material. Se puede clasificar tal como se presenta en la Tabla 11 (Rivera, 2013).

Tabla 11: Clasificación del agregado fino de acuerdo al módulo de finura (Guía para fabricación y control de concreto de obras pequeñas)

Módulo de Finura	Agregado Fino
Menor que 2.00	Muy fino o extra fino
2.00 – 2.30	Fino
2.30 – 2.60	Ligeramente fino
2.60 – 2.90	Mediano
2.90 – 3.20	Ligeramente grueso
3.20 – 3.50	Grueso
Mayor que 3.50	Muy grueso o extra grueso

- De la gradación del agregado depende en un alto porcentaje la trabajabilidad y la penetración de humedad. Los módulos de finura bajos requieren más agua que los gruesos para una misma consistencia, por lo cual se generan morteros frágiles y porosos. Por otra parte, si se aumenta el módulo de finura, para una consistencia dada, el contenido de cemento disminuye (Sánchez, 2001).
- Densidad, las partículas del agregado están conformadas por la masa del agregado, vacíos que se comunican con la superficie llamados poros permeables o saturables, y vacíos que no se comunican con la superficie, es decir que quedan en el interior del agregado llamados poros impermeables o no saturables (Rivera, 2013).
- La absorción y la humedad, la estructura interna de las partículas de un agregado está conformada por materia sólida y por poros, los cuales pueden contener agua o no. Dependiendo de las condiciones de humedad que tenga el agregado, puede quitar o aportar agua a la mezcla (Rivera, 2013). Básicamente de la absorción y humedad de los agregados dependerá la consistencia y el requerimiento de agua de la mezcla, por lo cual es importante tomar estos valores siempre en cuenta.
- Peso unitario, es la masa del material necesaria para llenar un recipiente de volumen unitario. En el peso unitario además del volumen de partículas del agregado, se tiene en cuenta los vacíos que hay entre las partículas. De esto dependerá la compactación de la mezcla y el acomodo que pueda tener en el encofrado o molde de la probeta.
- Suelo fino, material que pasa el tamiz No 200, puede estar presente como polvo o puede estar recubriendo las partículas del agregado, aun cuando delgadas capas de limo o arcilla cubran las partículas, puede haber peligro porque debilitan la adherencia entre la pasta de cemento y las partículas de agregado. El ensayo más usado para determinar la cantidad de suelo fino presente en el agregado, es el

“equivalente de arena”. Se recomienda que el agregado fino tenga un equivalente de arena de 70% como mínimo (Rivera, 2013).

c. Características del agua

Se puede definir como aquel componente del mortero, en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados (Arriola, 2009).

El agua es el líquido que está presente de manera importante en la elaboración de concretos y/o morteros, mezclas, en el lavado de agregados, curado y riego de concreto; por consiguiente, debe ser un insumo limpio, libre de aceite, ácidos, álcalis, sales y, en general de cualquier material que pueda ser perjudicial, según el caso para el que se utilice (Arriola, 2009).

El agua puede ser clasificada en agua de mezclado y agua de curado.

- **Agua de mezclado**

Está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de mortero que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. De ahí, que deba hacerse un estricto control sobre el agua de mezclado en el momento de dosificarla (Arriola, 2009).

- **Agua de curado**

Según Arriola (2009), el curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias, para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el mortero alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones más explícitamente se refieren a que el agua debe estar libre de impurezas y contener 3 gramos de cal por 1 litro de agua, y a su vez debe estar en una temperatura de 24 °C – 26 °C.

2.2.1.5. Propiedades de los Morteros

El ingeniero Rodrigo Salamanca (2001), establece las siguientes propiedades como las más importantes, tanto en estado plástico como en estado endurecido:

a. Propiedades en estado plástico

- **Manejabilidad:** Es una medida de la facilidad de manipulación de la mezcla, es decir, de la facilidad para dejarse manejar. La manejabilidad está relacionada

con la consistencia de la mezcla en cuanto a blanda o seca, tal que como se encuentra en estado plástico; depende de la proporción de arena y cemento y de la forma, textura y módulo de finura de la arena (Gutierrez, 2003).

- **Retención de agua:** Se refiere a la capacidad del mortero de mantener su plasticidad cuando queda en contacto con la superficie sobre la que va a ser colocado, por ejemplo, un ladrillo. Para mejorar la retención de agua se puede agregar cal, o aumentar el contenido de finos en la arena, o emplear aditivos plastificantes o incorporadores de aire. La retención de agua influye en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final, pues un mortero que no retenga el agua no permite la hidratación del cemento (Gutierrez, 2003).
- **Velocidad de endurecimiento:** Los tiempos de fraguado final e inicial de un mortero están entre 2 y 24 horas; dependen de la composición de la mezcla y de las condiciones ambientales como el clima y humedad (Gutierrez, 2003).

b. Propiedades en estado endurecido

- **Resistencia:** Si el mortero es utilizado como pega, debe proporcionar una unión resistente. Si el mortero va a ser utilizado para soportar cargas altas y sucesos, tal es el caso de la mampostería estructural, debe poseer una alta resistencia a la compresión.

Para diseñar morteros de alta resistencia se debe tener en cuenta que para un mismo cemento y un mismo tipo de agregado fino, el mortero más resistente y más impermeable será aquel que contenga mayor contenido de cemento para un volumen dado de mortero; y que para un mismo contenido de cemento en un volumen determinado de mortero el más resistente y probablemente el más impermeable será aquel mortero que presente mayor densidad, o sea aquel que en la unidad de volumen contenga el mayor porcentaje de materiales sólidos.

El tamaño de los granos de la arena juega un papel importante en la resistencia del mortero; un mortero hecho con arena fina será menos denso que un mortero hecho con arena gruesa para un mismo contenido de cemento.

Por último, el contenido de agua del mortero tiene influencia sobre su resistencia; los morteros secos dan mayor resistencia que los morteros húmedos, porque pueden ser más densamente compactados (Gutiérrez, 2003).

La Tabla 12 muestra los requerimientos de resistencia para los morteros de cemento y arena, la cual se muestra a continuación:

Tabla 12: Resistencia requerida para morteros de cemento y arena (Universidad de Castilla)

Tipo de mortero	Proporción de volumen		Empleo preferente	Resistencia (kg/cm ²)
	Cemento	Arena		
Ricos	1	1	Bruñidos y revoques impermeables. Enlucidos, revoque de zócalos, corrido de cornisa. Bóvedas tabicadas, muros muy cargados, enlucidos de pavimento, enfoscados.	160
	1	2		
	1	3		
Ordinarios	1	4	Bóvedas de escalera, tabiques de rasilla. Muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados.	130
	1	5		98
Pobres	1	6	Fábricas cargadas.	75
	1	8	Muros sin carga.	50
	1	10	Rellenos para solado	30

- **Sorptividad o tasa de absorción de agua:** La absorción depende de la estructura capilar del material, por tanto, cuanto más compacto sea un mortero, menor será la red capilar y, en consecuencia, menor absorción presentará. La incorporación de aditivos hidrofugantes, plastificantes y aireantes también contribuye notablemente a disminuir la absorción capilar en los morteros que los incorporan (AFAM, 2003).
- **Densidad:** La densidad del mortero dependerá fundamentalmente de la que tengan sus componentes: arenas, adiciones, etc. También es determinante la granulometría y volumen que éstos ocupen en su dosificación. Además, incide en la densidad la relación agua/cemento del mortero. A medida que aumenta dicha relación más poroso es el mortero (AFAM, 2003).

Saba, C (2006) lo clasifica en liviano (1.4 gr/cm³ a 1.6 gr/cm³), mediano (1.6 gr/cm³ a 1.85 gr/cm³) y pesado (1.85 gr/cm³ a 2.2 gr/cm³).
- **Durabilidad:** Al igual que en el concreto, la durabilidad se define como la resistencia que presenta el mortero ante agentes externos como: Baja temperatura, penetración de agua, desgaste por abrasión y agentes corrosivos. En general, se puede decir que morteros de alta resistencia a la compresión tienen buena durabilidad (Libia, 2003).
- **Apariencia:** La apariencia del mortero después de fraguado juega un importante papel en las mamposterías de ladrillo a la vista; para lograr una buena apariencia es necesario aplicar morteros de buena plasticidad (Libia, 2003).

2.2.2. Cascarilla de arroz

2.2.2.1. Definición

El arroz, el trigo y el maíz son los cereales de mayor producción a escala mundial. Los tallos, hojas y cáscaras de estos cereales son considerados como residuos y debido a sus grandes volúmenes representan un problema para su almacenamiento y manipulación. Este hecho ha impulsado la investigación y desarrollo de métodos para producir energía y productos industriales a partir de estos residuos. La cáscara de arroz, también denominada "pajilla", se obtiene del proceso de pilado, en el cual la cáscara se separa haciendo pasar el arroz en cáscara entre rodillos de jebe, luego de una operación previa de limpieza.

La cáscara de arroz posee una superficie áspera y abrasiva, es muy resistente a la degradación natural y debido a su bajo contenido de proteínas no es apropiada para forraje de animales, hechos que dificultan su aprovechamiento económico (Vásquez, 2000).

2.2.2.2. Composición de la cascarilla de arroz

La cascarilla de arroz es el principal residuo que se obtiene de la producción de arroz. Debido a la baja degradabilidad natural que se origina por la alta presencia de sílice en su estructura (Tabla 13), este residuo puede acumularse en el ambiente dando origen a graves problemas medioambientales (Santillán, 2014).

Tabla 13: Composición de la cascarilla de arroz (Metha, 2000)

Componente	Fórmula	Composición
Celulosa: polímero de glucosa	$C_5H_{10}O_5$	50%
Lignina: polímero de fenol	$C_7H_{10}O_3$	30%
Sílice: componente primario de ceniza	SiO_2	20%

2.2.2.3. Ceniza de cascarilla de arroz

Es el residuo de la calcinación de la cáscara de arroz; para hacerla altamente puzolánica es necesario tener control en la quema de la misma. La temperatura no debe pasar de 700 grados centígrados, si no la sílice se cristaliza y pierde su grado de reactividad.

Sin embargo, sólo la sílice amorfa (no cristalino) posee estas propiedades, es por esta razón que la temperatura y duración de la combustión son importantes en la producción de la ceniza de cáscara de arroz (RHA) (Juárez, 2012).

Vásquez (2000) también nos señala que de las cosechas más comunes que encontramos en el país, la ceniza de arroz cáscara es una de las mayores cantidades de ceniza que se puede producir, tal como se observa en la Tabla 14.

Tabla 14: Ceniza obtenida a partir de principales cosechas (Metha, 2000)

Cosecha	Parte de la planta	Ceniza (% en peso)
Maíz	Hoja	12
Arroz	Cáscara	20
Arroz	Paja	14
Caña de Azúcar	Bagazo	12
Girasol	Hoja y tallo	15
Trigo	Hoja	11

2.2.2.4. Actividad puzolánica de la ceniza

La actividad puzolánica o propiedad puzolánica consiste en la capacidad de la adición para combinarse con el hidróxido de calcio producido durante la hidratación del clinker de cemento Portland, formando compuestos que son también cementantes.

Aquí radica una de sus principales características: una adición (o puzolana) necesita de la presencia del hidróxido de calcio (es decir de Clinker de cemento hidratado), para desarrollar sus propiedades cementantes; por sí sola no puede desarrollar esa actividad puzolánica o lo hará a unas velocidades irrelevantes desde el punto de vista práctico. (Juárez, 2012)

2.2.2.5. Composición de la ceniza de cascarilla de arroz

La composición de la cascarilla de arroz luego de ser calcina se muestra en la Tabla 15, la cual se muestra a continuación:

Tabla 15: Composición de la ceniza de cascarilla de arroz (Metha, 2000)

Componente	Fórmula	Composición
Sílice	SiO ₂	91.42%
Óxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	0.78%
Óxido de Titanio	TiO ₂	0.02%
Óxido Férrico	Fe ₂ O ₃	0.14%
Óxido de Calcio	CaO	3.2%
Óxido de Magnesio	MgO	<0.01%
Óxido de Sodio	Na ₂ O	0.21%
Óxido de Potasio	K ₂ O	3.71%
Óxido de Azufre	SO ₃	0.72%
Óxido de Fósforo	P ₂ O ₅	0.43%

2.2.3. Puzolanas

2.2.3.1. Definición

La norma ASTM C 618 define las puzolanas de la siguiente forma: “Las puzolanas son materiales silicios o silicios y aluminosos, los cuales por si solos tienen muy poco o ningún valor cementante, sin embargo, finamente divididas y ante la presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a la temperatura ambiente para formar compuestos que poseen propiedades cementantes”.

2.2.3.2. Clasificación

Existen distintos tipos de clasificación de las puzolanas, pero específicamente se pueden clasificar en naturales y artificiales, las cuales se describen en el siguiente diagrama expresado en la Figura 5.

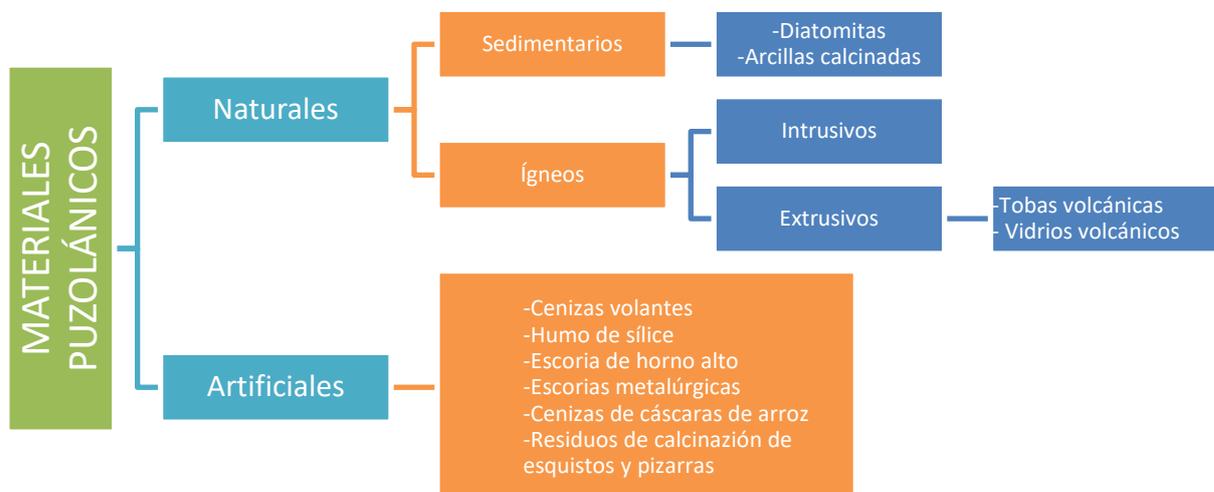


Figura 5: Clasificación de materiales puzolánicos (Propia)

a. Naturales

Las puzolanas naturales son principalmente rocas o tierras y abarcan dos grandes grupos: rocas volcánicas, donde la formación de vidrio amorfo se produce por fusión. Incluye principalmente a las cenizas volcánicas y piedra pómez, aunque también se encuentran en este grupo la obsidiana, los tufos volcánicos, las andesitas; rocas o tierras que contienen

ópalos, entre las que se encuentran la roca de sílice, las diatomitas, las pizarras y algunas arcillas. Dentro de este grupo aquellas de origen volcánico se encuentran entre las más reactivas, debido a su alto contenido en zeolitas. Su composición básica consiste en aluminio, silicio, hidrógeno y oxígeno (Antonio Gómez, 2009).

b. Artificiales

Las puzolanas artificiales se obtienen como subproducto de distintos procesos industriales y agrícolas. Existe una gran variedad dentro de este grupo, y evidentemente se encuentra en pleno proceso de expansión debido a su amplísimo campo de investigación. Como ejemplo podemos citar las cenizas de combustible pulverizado (conocidas como cenizas volantes), la escoria de alto horno, la arcilla cocida, la ceniza de cáscara de arroz, la ceniza de hoja de maíz, la ceniza de bagazo de caña de azúcar (Antonio Gómez, 2009).

c. Clasificación según la norma

La norma americana ASTM C 618 clasifica las puzolanas en tres grandes grupos, clase F, clase C y clase N. La norma peruana NTP 334.104 adopta exactamente la misma clasificación. La siguiente tabla (Tabla 16), extraída de la norma, muestra las características químicas y físicas de los tres grupos.

- ✓ Clase F, corresponde a cenizas volantes procedentes de la quema de antracita o carbón bituminoso.
- ✓ Clase C, corresponde a cenizas volantes procedentes de la quema de lignita o carbón sub-bituminoso.
- ✓ Clase N, corresponde a las puzolanas naturales, como tierras diatomeas, pizarras o cenizas volcánicas.

Tabla 16: Características fisicoquímicas (ASTM C-618)

Químicas		F	C	N
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	min %	70	50	70
SO ₂	max %	5	5	4
Contenido de humedad	max %	3	3	3
Pérdida por abrasión	max %	6	6	10
Químicas Opcionales				
Álcalis disponibles	max %	1.5	1.5	1.5
Físicas				
Finura + Malla 325	max %	34	34	34
Fuerza	min %	75	75	75
Requisitos del agua	max %	105	105	115
Expansión	max %	0.8	0.8	0.8
<i>Requisitos de uniformidad</i>				
Max. Var.Densidad	max %	5	5	5
Var. De valores de finura	max %	5	5	5
Físicas Opcionales				
Factor múltiple		225	-	-
Ing. Reducción por secado	max %	0.03	0.03	0.03
<i>Requisitos de uniformidad</i>				
A.E. Demanda de Mezcla	max %	20	20	20
<i>Control de ASR</i>				
Expansion, % bajo de cemento	max %	100	100	100
<i>Resistencia a Sulfatos</i>				
Moderada exposición, 6 meses	max %	0.10	0.10	0.10
Alta exposición, 6 meses	max %	0.05	0.05	0.05

2.3. Hipótesis

A medida que la ceniza de cascarilla de arroz reemplace la arena fina y arena gruesa del mortero de cemento, la resistencia a la compresión aumentará, y disminuirá la sorptividad y la densidad.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

3.1.1. Variable dependiente

Tabla 17: Operacionalización de variable dependiente (Propia)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Resistencia a Compresión	Capacidad de soportar una carga axial.	Mecánicas	Carga de Rotura (kN)
			Área bruta (cm ²)
Sorptividad o Absorción Capilar	Es la cantidad de migración de agua a través del espécimen cuando el agua se encuentra a presión, o a la capacidad de resistir la penetración de agua u otras sustancias.	Físicas	Tiempo (seg)
			Dosificación
			Área de contacto
			Porosidad superficial
Densidad	Es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo (m/v)	Físicas	Relación Agua/Cemento
			Finura de la arena
			Resistencia del mortero

3.1.2. Variable independiente

Tabla 18: Operacionalización de la variable independiente (Propia)

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Agregado Fino	Material de relleno, no cohesivo, de tamaño disperso.	Arena Gruesa	Módulo de Finura entre 2.3 y 3.1
			Tamaño de grano entre 4.25 mm y 1 mm
		Arena Fina	Módulo de Finura entre 1.5 y 2.3
			Tamaño de grano entre 1 mm y 0.075mm
Ceniza	Material fino puzolánico, inorgánico, obtenido a partir de un proceso de calcinación.	Físicas	Baja densidad
			Alto contenido de sílice y alúmina

3.2. Diseño de investigación

Se trata de una investigación experimental, cuasi experimental.

Esto es debido a que se desarrollan los ensayos en grupos ya establecidos de acuerdo al tipo de aplicación de la ceniza sobre mortero, dividiéndolo en grupos de acuerdo al tipo de muestra y tipo de ensayo que finalmente vamos a realizar.

3.3. Unidad de estudio

Morteros cúbicos de cemento de 5 cm de lado, tal como se muestra en la Figura 6, la cual posee las siguientes propiedades:

- Relación cemento: arena = 1:4
- Relación agua/cemento = 0.80
- Tipo de cemento: Cemento Portland Tipo I (Anexo n°2)

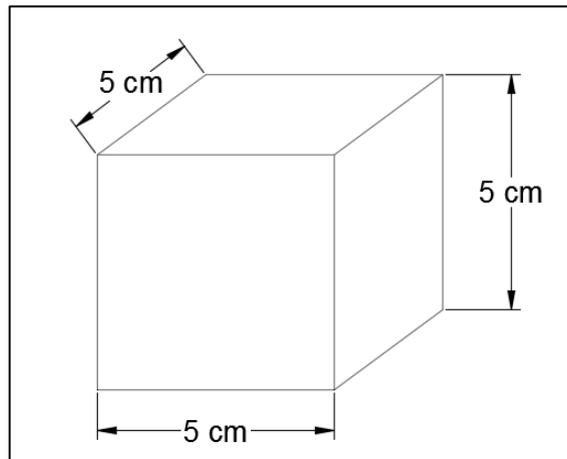


Figura 6: Modelo de probeta cúbica de 5cm de lado (Propia)

A su vez, se le adicionará ceniza de cascarilla de arroz en reemplazo tanto de arena fina como de arena gruesa.

3.4. Población

La presente tesis cuenta con una población finita y objeto, como son los morteros de cemento con adición de ceniza de cascarilla de arroz aplicado en edificaciones.

3.5. Muestra

El tipo de muestreo será no probabilístico de juicio.

Se optó por este tipo de muestreo debido a que para ensayar materiales de construcción con resultados verídicos se deben conocer las circunstancias locales desde un punto de vista técnico; a la vez se realiza este tipo de muestreo debido a que existen estudios previos donde se reemplaza la ceniza por cemento o sobre el volumen total de la mezcla, teniendo que realizar un proceso de tamizado, pero no se cuentan con registros en donde el reemplazo se realice por agregados. Sin embargo, con la finalidad de poder obtener promedios y resultados más cercanos a la realidad, se desarrollarán 03 probetas por ensayo y tipo. Se evaluará la resistencia a compresión, sorptividad y densidad de los morteros hechos a base de cemento arena (arena fina y gruesa), más la adición de ceniza de cascarilla de arroz a 0%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5%. El detalle de la muestra en la Tabla 19, la cual se muestra a continuación:

Tabla 19: Matriz de muestra (Propia)

		B	
		b ₁	b ₂
A	a ₁	3	3
	a ₂	3	3
	a ₃	3	3
	a ₄	3	3
	a ₅	3	3

Donde:

A = Porcentaje de ceniza de cascarilla de arroz a a_1 (0%), a_2 (1%), a_3 (2%), a_4 (3%), a_5 (4%) en reemplazo de la arena.

B = Mortero con b_1 (arena fina) y b_2 (arena gruesa)

Después de establecer la matriz, nos resulta un total de 30 muestras, la cual la multiplicaremos por el número de ensayos a realizar: resistencia a compresión, sorptividad y densidad (3 ensayos).

Por ende, el tamaño total de la muestra será de 90 cubos de mortero.

Cada probeta de mortero de cemento estará conformada por los siguientes materiales:

- Cemento Portland Tipo I de la empresa Pacasmayo.
- Agregado fino, arena fina y arena gruesa, procedente de la cantera “Calderón”, ubicada en El Milagro.
- Cascarilla de arroz comprada en “Molinorte”, ubicada en Moche, y su calcinación se realizó en el taller de concreto en la Universidad Nacional de Trujillo
- El agua empleada fue agua potable de la Universidad Nacional de Trujillo, esta agua se empleó tanto para la mezcla como para el curado.

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

- *Observación*, consiste en la consulta de distintas fuentes bibliográficas, tanto digitales como en físico (libros), las cuales sirven como antecedentes y bases teóricas. Se hizo uso de la normatividad peruana que establece criterios adaptados de normas extranjeras, en su mayoría americana, para el manejo de criterios y procedimientos necesarios en la elaboración de los ensayos. Sin embargo, para la obtención de antecedentes respecto al tema, se tuvieron ciertos problemas, puesto que no son extensos los estudios referentes al tema, y en caso de encontrar, se tuvieron que traducir investigaciones científicas de inglés a español.
- *Observación directa*, el comportamiento de los participantes se realiza en un laboratorio, donde la ventaja es que el fenómeno se puede medir de manera un poco más inmediata. Consiste en captar información válida y confiable de los hechos en función de los objetivos de investigación previamente establecidos. Esta técnica es de vital importancia dentro de nuestro estudio, ya que de esta manera podremos observar y analizar el comportamiento de los cubos de mortero.

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

El presente proyecto estableció un procedimiento que se detallará a continuación en la siguiente figura:

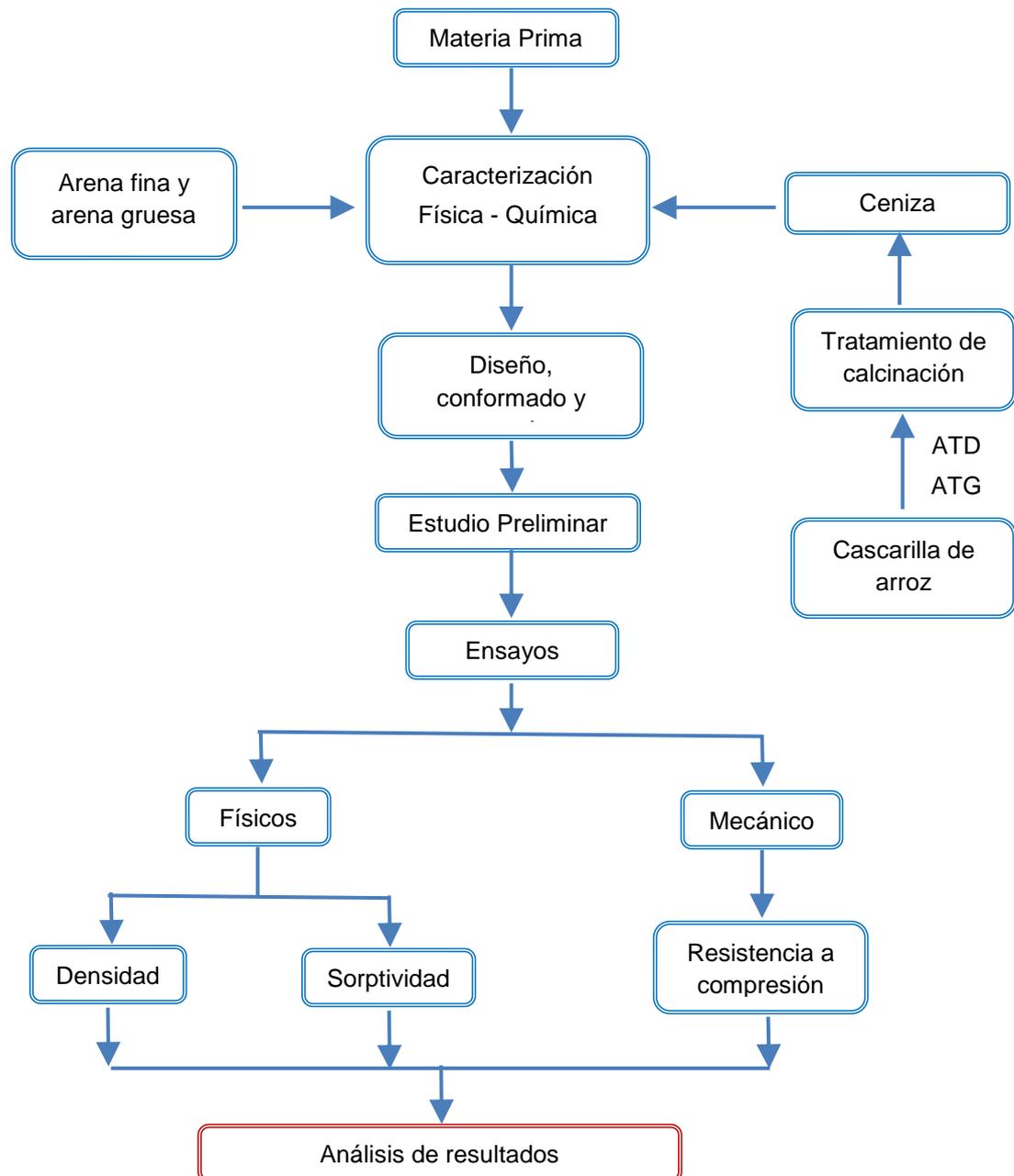


Figura 7: Diagrama de Flujo del procedimiento experimental (Propia)

3.7.1. Caracterización de materiales

3.7.1.1. Caracterización de la ceniza

La cascarilla de arroz se obtuvo del valle de Jequetepeque, el material será facilitado por el molino "Molinorte", ubicado en Moche; el material es de fácil obtención y precio accesible, en nuestro caso en particular fue obsequiado por el molino antes mencionado. La cascarilla de arroz pasará por un análisis térmico gravimétrico (ATG) y un análisis de curva calorimétrica (DSC), para poder establecer la temperatura de calcinación y aproximarnos al comportamiento que tendrá la cascarilla de arroz al ser calcinada. Ambos ensayos se desarrollaron en el Analizador Térmico simultáneo TG_DTA_DSC SetSys_Evolution, el cual sigue las normas ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.

- La termogravimetría es una técnica en la que la masa de la muestra es controlada (balance) contra el tiempo o la temperatura (térmica) mientras que la temperatura de la muestra, en una atmósfera especificada, es programada. Esta técnica ofrece la determinación de composiciones de material. El análisis termogravimétrico (ATG) se realiza en polímeros, alimentos, productos farmacéuticos, así como muchos otros materiales. El análisis termogravimétrico (ATG) de la cascarilla de arroz, se realizó con una muestra significativa de 10 mg, siendo sometida a un cambio de temperatura entre 25 – 800°C, a una tasa de temperatura de 20°C/min. De acuerdo a los resultados obtenidos se realizará una tabla de temperatura sobre pérdida de masa, la misma que será desarrollada por la máquina.
- Calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica mediante la cual se analiza el comportamiento de un material al ser calentado, de una manera más puntual se analizan las transiciones térmicas y los cambios de fase, la cual puede evidenciar un cambio de comportamiento. Al igual que en el ensayo de ATG la máquina se encargará de realizar la gráfica de temperatura sobre flujo de calor, y se podrá interpretar la gráfica de acuerdo a la tendencia de la misma.

Cómo resultado de ambos ensayos, obtendremos dos gráficas, las cuales nos ayudaran a comprender el comportamiento de la cascarilla de arroz al ser calcinada a diferentes temperaturas.

La calcinación se realizará en un horno cilíndrico ubicado en el taller de concreto (Ver Figura 8), la cascarilla de arroz se calcinará a una temperatura controlada, evitando exceder los 600°C. Se realizará la calcinación a gas debido a que es más factible su obtención y se puede realizar la calcinación más directa. Al momento de calcinar se tratará de homogenizar el quemado, por lo que se tendrá que remover para quemar todo por igual.

El tiempo es variable, de acuerdo a la cantidad de material que se desea quemar y la obtención de la ceniza en todo el material.

Cabe recalcar que no es necesario pasar la ceniza por un proceso de moliendo, sin embargo, se comprobó que las partículas pasen por la malla No 200, puesto que será utilizado como un porcentaje de la cantidad de arena, mas no del cemento; de esta manera la ceniza será empleada a manera de agregado fino en el mortero.

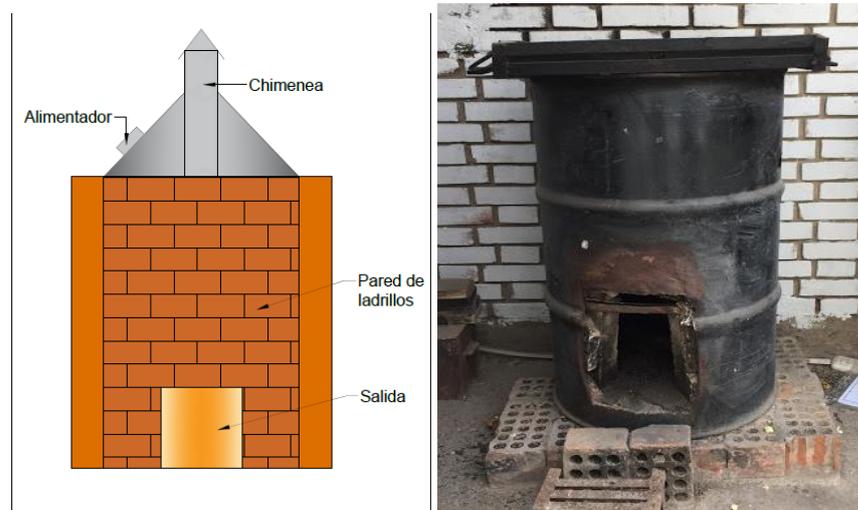


Figura 8: Horno para calcinación - Universidad Nacional de Trujillo (Propia)

3.7.1.2. Caracterización de la Arena Fina y Arena Gruesa

A) Determinación del contenido de humedad (NTP 339.185)

Con la ayuda de una balanza con precisión al 0.1%, se pesará una muestra de arena en estado natural (P_h). Posteriormente, la misma muestra se colocará en la estufa a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas, hasta peso constante y determinar el peso seco de la muestra (P_s).

Determinar el contenido de humedad (w%) usando la siguiente expresión:

$$w\% = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100$$

Los resultados se desarrollarán en la siguiente tabla:

Tabla 20: Formato de contenido de humedad (Propia)

Arena	Muestra	Ph (gr)	Ps (gr)	W (%)	Promedio (%)
Arena Fina	Muestra 1				
	Muestra 2				
	Muestra 3				
Arena Gruesa	Muestra 1				
	Muestra 2				
	Muestra 3				

Nota: Ph = peso húmedo, Ps = peso seco, W = contenido de humedad

B) Determinación del Peso Específico y Absorción (NTP 400.022)

Inicialmente hay que realizar la preparación de la muestra de ensayo por cuarteo, el cuarteo consiste en tomar una muestra representativa alterna del material. Se lavará aproximadamente 1000 gr del material seleccionado por cuarteo, para posteriormente sumergirlo en agua y dejarlo saturando por un mínimo de 24 horas.

La balanza que usaremos para este ensayo deberá tener una capacidad mínima de 1000 gr o más y una sensibilidad de 0.1 gr.

Previo al ensayo se debe pesar la fiola totalmente vacía, y a su vez la fiola llena con agua hasta la marca de calibración (B).

Decantar con mucho cuidado sobre una bandeja, e iniciar un proceso de secado con una suave corriente de aire caliente, hasta que las partículas puedan fluir libremente, también se puede secar haciendo uso de una pequeña cocina.

En el cono, rellenar con tres capas compactando con 25 golpes por capa con el pisón. Si existe humedad libre, el cono del agregado fino mantendrá su forma, entonces siga secando con bastante cuidado revolviendo constantemente la muestra e intente nuevamente hasta que el cono de arena se derrumbe al quitar el cono. Si se derrumba al primer intento hay que volver a repetir el proceso con una nueva arena y tener mayor cuidado al secado hasta que se derrumbe una cantidad considerable para tomarlo como aceptable. Esto demostrará que el agregado habrá alcanzado su condición Saturada.

Posteriormente colocamos esta muestra de 500 gr aproximadamente (haciendo uso del embudo) en la fiola antes pesada, a la muestra en estado saturado la pesamos (S); y colocamos agua hasta la marca de calibración, después de colocar el agregado hacer rodar la fiola sobre una superficie plana, tratando de eliminar todas

las burbujas de aire, aproximadamente de 15 a 20 minutos. Pesar la fiola con el agua y la muestra mezclada (C).

Con cuidado sacar el agregado fino del frasco y seguido secar en la estufa a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta peso constante y obtenga su peso seco (A).

El peso específico (Pe) y la absorción (%Abs) se determinarán con las siguientes fórmulas:

$$Pe = \frac{S - A}{A} \times 100$$

$$\%Abs = \frac{A}{B + S - C}$$

Los resultados se desarrollarán en la siguiente tabla:

Tabla 21: Formato de peso específico y absorción (Propia)

Arena	Muestra	A (gr)	B (gr)	C (gr)	S (gr)	Pe	% Abs
Arena Fina	Muestra 1						
	Muestra 2						
	Muestra 3						
	Promedio						
Arena Gruesa	Muestra 1						
	Muestra 2						
	Muestra 3						
	Promedio						

Nota: A = peso seco, B = fiola más agua, C = fiola más muestra más agua, S = fiola más muestra saturada, Pe = peso específico, Abs = Absorción

C) Determinación del Peso Unitario Suelto y Compactado (NTP 400.017)

C.1. Peso Unitario Suelto

Se utilizará una balanza con una exactitud de 0.1% respecto al peso del material usado. De acuerdo a la norma, se deberá contar con un molde o recipiente de medida, que esté normado, de preferencia cilíndrico y con agarraderas para facilitar su manipulación. En la investigación se usará un molde Proctor cilíndrico, se pesará el molde vacío (T) y se calculará su volumen ($V = 2\pi r^2$). La muestra de agregado fino se verterá a una altura aproximada de

15 centímetros sobre el borde superior del recipiente, para luego enrazar el recipiente. Se pesará la muestra más el recipiente (G).

El procedimiento se debe repetir mínimo 3 veces, verificando una variación menor de 1%. Finalmente, el peso unitario suelto seco (PUSS) se calculará usando la siguiente fórmula:

$$PUSS = \frac{G - T}{V}$$

Los resultados se desarrollarán en la Tabla 22:

Tabla 22: Formato de peso unitario suelto seco (Propia)

Arena	Muestra	T (kg)	G (kg)	V (m ³)	PUSS (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)
Arena Fina	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					
Arena Gruesa	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					

Nota: T = peso del recipiente vacío, G = peso de la muestra más recipiente, V = volumen del recipiente de medida

C.2. Peso Unitario Compactado

Se utilizará una balanza con una exactitud de 0.1% respecto al peso del material usado.

De acuerdo a lo estipulado por la norma, se deberá contar con un molde o recipiente de medida, que esté normado, de preferencia cilíndrico y con agarraderas para facilitar su manipulación. Se pesará el molde vacío (T) y se calculará su volumen (V).

Llenar en 3 capas iguales el recipiente y con la ayuda de una varilla de acero de punta cilíndrica de 5/8" de diámetro, apisonar 25 veces distribuyendo la penetración en toda el área. No golpear fuerte el fondo. Enrazar la superficie con la varilla, y posteriormente pesar la muestra dentro del molde (G).

El procedimiento de compactar y pesar el agregado, se debe repetir mínimo 3 veces, verificando una variación menor de 1%.

Determinar el peso unitario compactado seco (PUCS) con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$PUCS = \frac{G - T}{V}$$

Los resultados se desarrollarán en la Tabla 23:

Tabla 23: Formato de peso unitario compactado seco (Propia)

Arena	Muestra	T (kg)	G (kg)	V (m ³)	PUCS (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)
Arena Fina	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					
Arena Gruesa	Muestra 1					
	Muestra 2					
	Muestra 3					

Nota: T = peso del recipiente vacío, G = peso de la muestra más recipiente, V = volumen del recipiente de medida

D) Determinación del Módulo de Finura – Ensayo Granulométrico (NTP 400.012)

Obtener una muestra representativa de agregado fino, la cual deberá estar secada al aire y pesarla. Colocar las mallas estándar de diámetro mayor a menor (desde la N°4 hasta la N°200 y bandeja ciega). Colocar el material por partes y tamizar (esto para evitar que el exceso de peso rompa a la malla). Realizar el proceso de vibración de las mallas por medio de una vibradora mecánica, o realizar el tamizado manualmente.

Con la ayuda de una balanza con aproximación de 0.1 gr y sensibilidad de 0.1%, pesar el contenido de cada malla (previa o posteriormente se debe pesar las mallas sin material, para facilitar el peso de la muestra). Determinar Módulo de finura mediante la siguiente fórmula:

$$MF = (\sum \% \text{ retenido acumulados en las mallas } N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)/100$$

Los resultados se desarrollarán en la Tabla 24 y Tabla 25:

Tabla 24: Formato de granulometría (Propia)

Abertura de malla		Muestra			
Malla	mm	Peso retenido	% retenido	% Ret acumulado	% Que pasa
No 4	4.75				
No 8	2.36				
No 16	1.18				
No 30	0.60				
No 50	0.300				
No 100	0.15				
No 200	0.08				
bc					

Los datos a completar en la Tabla 24, responden al cálculo del % retenido (B), el cual se halla dividiendo el peso retenido en la malla entre el peso total de la muestra y multiplicarlo por 100; el %retenido acumulado es la suma consecutiva del %retenido de cada malla más el %retenido acumulado de la malla anterior; y finalmente el % que pasa es el cálculo de 100 menos el %retenido acumulado.

Tabla 25: Formato de módulo de finura (Propia)

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Módulo de finura				

A su vez, se graficará la curva granulométrica, la cual consiste en una gráfica donde, el eje horizontal será el diámetro de la abertura en escala logarítmica, mientras que el eje vertical será el % que pasa en escala decimal, el cual se graficará de acuerdo a la Figura 9.

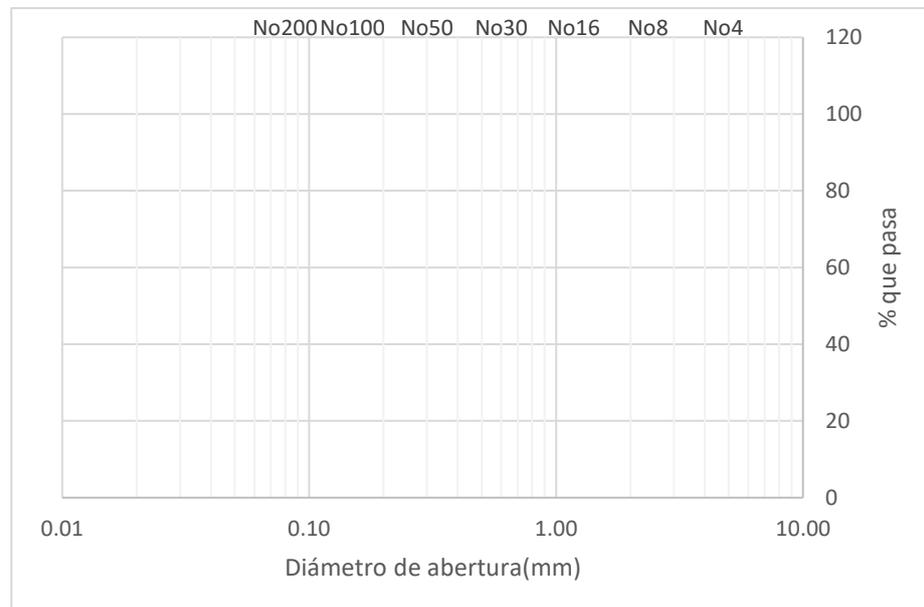


Figura 9: Modelo de gráfica para curva granulométrica (Propia)

Se debe tener en cuenta que la norma ASTM C144 nos establece límites máximos y mínimos para la granulometría del agregado fino para morteros de mampostería (no nos ofrece rangos de aceptación para los demás ensayos), los cuales se detallan en la Tabla 26, sin embargo, esta norma estipula solo la granulometría para la arena gruesa, y se tomará como referencia para las probetas elaboradas en la presente investigación.

Tabla 26: Límites granulométricos para arena gruesa (ASTM C 144)

Malla	Abertura	% que pasa	
		Min	Máx
No 4	4.750	100	100
No 8	2.360	95	100
No 16	1.180	70	100
No 30	0.600	40	75
No 50	0.300	10	35
No 100	0.150	2	15
No 200	0.075	0	5

E) Equivalente de Arena NTP 339.146

Secar el material a una temperatura aproximada de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, posteriormente dejar enfriar a temperatura ambiente. Colocar un recipiente de un galón aproximadamente con la solución de ensayo a una temperatura aproximadamente de 1m sobre la superficie de trabajo. La solución estará preparada de la siguiente manera:

La solución de trabajo de cloruro cálcico consiste en diluir 250 gr de cloruro de calcio en 1 litro de agua destilada. Se dejará enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se filtrará con la ayuda de papel filtro para la homogenización de la mezcla. Posterior al filtrado, añadir 500 gr de glicerina y 25 gramos de formol, mezclar con 2 litros de agua destilada hasta lograr una solución homogénea.

Verter la solución de ensayo a una probeta graduada de 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400mm de alto, graduado en milímetro a una altura de 380 mm, y provisto de un tapón hermético de caucho. Llenar una medida, asentar el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrasar y verter en la probeta. Golpear firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire y luego dejar la probeta en reposo por un periodo de 10 minutos, colocar el tapón y soltar la arena del fondo inclinando sacudiendo el tubo. Sujetar la probeta en dirección horizontal y agitar vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agitar 90 ciclos en aproximadamente 30 segundos.

Colocar la probeta sobre la mesa de trabajo, destaparla y limpiar las paredes interiores con ayuda del irrigador. A la vez, introducir el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material. Retirar el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm. Dejar sedimentar por un periodo de 20 min ± 15 seg.

Al final del periodo de sedimentación, leer y registrar el nivel superior de la arcilla (Nt). Introducir un pisón graduado en la probeta y hacerlo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registrar el nivel superior de la arena (Na).

Calcular el equivalente de arena (SE) de acuerdo a la siguiente fórmula, aproximándolo al 1%:

$$SE = \frac{Na}{Nt} \times 100$$

Calcular el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayos paralelos, con aproximación al 1% superior.

Los resultados se desarrollarán de acuerdo al a Tabla 27

Tabla 27: Formato de equivalente de arena (Propia)

Arena	Muestra	Peso muestra (kg)	Tiempo inicial	Nt (cm)	Na (cm)	SE (%)	Promedio (%)
Arena Fina	Muestra 1						
	Muestra 2						
Arena Gruesa	Muestra 1						
	Muestra 2						

Nota: Nt = lectura de arcillas, Na = lectura de arenas, SE = equivalente de arena

3.7.2. Elaboración de las probetas de mortero

La elaboración de probetas de morteros se realizará teniendo en cuenta la norma ASTM C 109, para la cual se usará moldes cúbicos de madera de 5cm x 5cm x 5cm, tal como se detalla en la Figura 10.

Antes de empezar la conformación de los morteros, se limpiarán los moldes, quitando cualquier tipo de restos o suciedad que se pueda encontrar en las caras de contacto, y se procedió a engrasar las caras de contacto para facilitar el posterior desmolde de las mismas.

Se realizará la mezcla de mortero cemento: arena en proporción 1:4 y una relación de agua/cemento de 0.80, la cual será amasada en una bandeja con la ayuda de una espátula, hasta lograr una masa uniforme. La mezcla se realizó de manera volumétrica, es decir, por una unidad de cemento, se usará cuatro unidades de arena, y al momento de ir sumándole ceniza a la mezcla, se le restará la misma cantidad a la arena; y para la determinación de la relación agua/cemento –se obtiene el factor de la división entre la cantidad de agua y la cantidad de cemento- se realizaron ensayos previos con mezclas de agua de 0.50 a 1.00 hasta encontrar la cantidad óptima que nos permita tener una mezcla fluida, por motivos de manejabilidad de los pesos, se escogió una masa inicial de 1000 gr de arena tal como se detalla en la Tabla 28. En cada compartimiento cúbico del molde se procederá a colocar una capa de mortero de 2.5 cm de altura aproximadamente (la mitad) y se compactará con un apisonador de madera 16 veces. Esta compactación se efectúa en 2 ciclos, 8 golpes adyacentes repartidos en la superficie de mortero, y 8 golpes posteriores en dirección perpendicular al primer ciclo. El mismo proceso se realiza para la segunda capa. Una vez completados los 32 golpes en un compartimiento, se continúa con el siguiente compartimiento. Ya completado los golpes en los morteros, se procederá a colocar un excedente de mortero en la superficie de los morteros, para que con la ayuda de un badilejo procedamos a enrazar los cubos de mortero.

Para evitar la evaporación de agua, y facilitar la hidratación del mortero, se cubrirán los morteros con bolsas de polietileno. Se curarán las probetas dejándolas dos días en el molde, monitoreando que tenga agua excedente, y posteriormente se completarán los 28 días de curado sumergiéndolos en agua con contenido de cal de 3g/L y a una temperatura de 24 – 26 °C, evitando golpear los cubos de mortero.

Cabe mencionar que este proceso se realizará para el mortero patrón y para los morteros con adición de ceniza de acuerdo a lo señalado en la Tabla 28, a su vez se deberá tener identificados los morteros en todo momento. La ceniza de cascarilla de arroz será una ceniza que pase por la malla 0.075mm y se homogenizará en la mezcla.

Tabla 28: Proporción en peso de mezcla para 4 probetas cúbicas (Propia)

Lote	Cemento Tipo I (gr)	Arena (gr)	Agua (gr)	Ceniza (gr)
0% de ceniza	250	1000	200	0
1% de ceniza	250	990	200	10
2% de ceniza	250	980	200	20
3% de ceniza	250	970	200	30
4% de ceniza	250	960	200	40

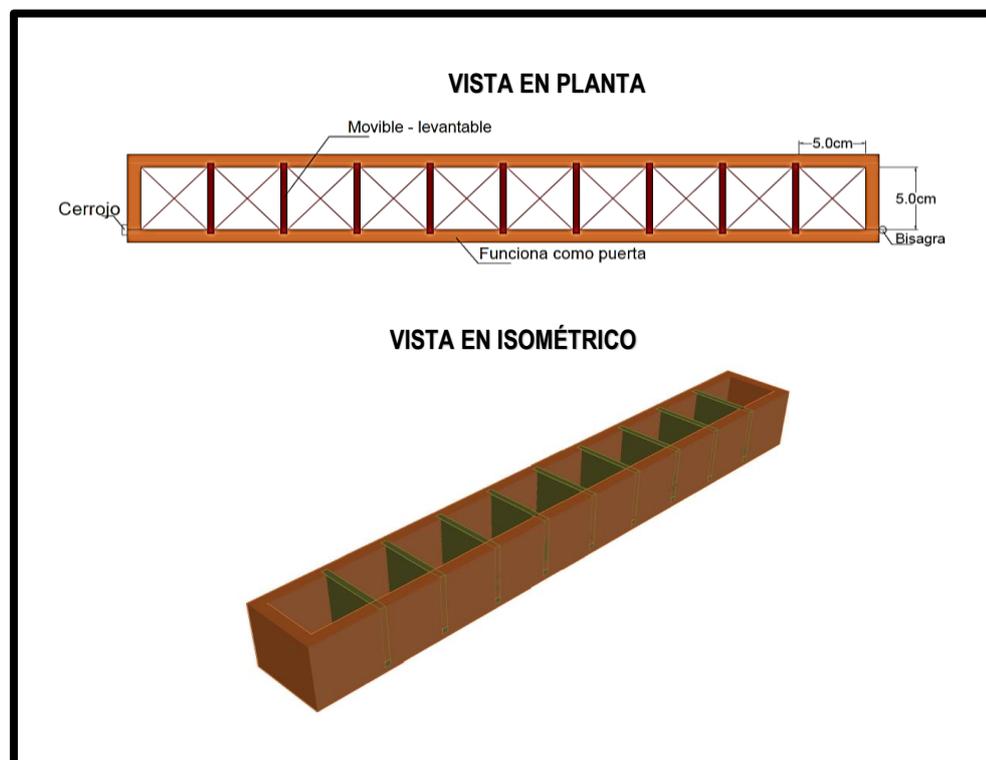


Figura 10: Diseño de moldes de madera para 10 espacios (Propia)

3.7.3. Ensayos a realizar

a. Resistencia a compresión – ASTM C109

Previo al ensayo, se aplicará el refrentado con azufre a las probetas de mortero, el azufre se calentará en una olla de fundición a una temperatura aproximada de 130 °C, la cual permitirá pasar el azufre a un estado líquido, el cual lo verteremos en un molde metálico (las superficies de contacto con la probeta deberán ser aceitadas) y ubicaremos rápidamente la probeta sobre el azufre líquido ubicado en el molde, esto debido a que el azufre tiende a cambiar a estado sólido muy rápidamente. Este proceso se realiza con la finalidad de uniformizar las caras de la probeta que estará en contacto con la prensa mecánica (el área de contacto con la prensa tiene un área ($A = 5^2\text{cm}^2$) de 25 cm², esta medida es constante para todas las probetas y puede ser ingresada directamente en el sistema de la prensa mecánica), para de esta forma uniformizar la distribución de cargas a lo largo de toda la probeta y evitar que la carga que genera la prensa se genere como cargas puntuales a puntos específicos.

Una vez realizado el capping, se procederá a su ensayo en la prensa mecánica ELE International, modelo 2000 con una capacidad de 2000 KN, donde previamente se digitalizará la dimensión de la probeta y la velocidad de 0.90 kN/seg, luego se procederá a rotar la válvula y jalar la palanca para que la prensa empiece a trabajar, la máquina empezará a contabilizar la carga aplicada una vez que la prensa entre en contacto con la probeta, finalmente se cerrará la válvula una vez que la probeta haya llegado a la falla (la máquina ya no procesará más cargas). Se tomará la carga aplicada (P) y a resistencia a compresión (Rc) que nos proporciona la máquina, cabe recalcar que la máquina nos proporciona la resistencia en N/mm², y para convertirlo al sistema internacional Kg/cm² se deberá multiplicar por 10.19.

La fórmula a utilizar para hallar la resistencia a compresión (Rc) será:

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

La norma nos señala que para ensayos de tres probetas de morteros cúbicos de 5cm x 5cm x 5cm, deberá existir un máximo de 8.7% de variación de las resistencias alcanzadas de un mismo lote con relación al promedio de las tres probetas. Los resultados se desarrollarán de acuerdo a la Tabla 29, la cual sigue el siguiente formato:

Tabla 29: Formato de resistencia a compresión (Propia)

Código	Arena	Ceniza (%)	Muestra	P (kN)	Rc (N/mm ²)	Rc (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)

Nota: P = carga aplicada, Rc = resistencia a la compresión

b. Tasa de Absorción de Agua o Sorptividad – ASTM C1585

El procedimiento para determinar la tasa de absorción del agua o sorptividad en el mortero se realizará con el fin de determinar la cantidad de agua penetrante en nuestro mortero, a su vez se terminará teniendo en cuenta el modelo de Hall, y de acuerdo a la norma *ASTM C1585* (Anexo n°4), la cual nos detalla lo siguiente:

Antes de empezar el ensayo debemos tener nuestras probetas de mortero secadas en estufa durante 24 horas a una temperatura de 100 °C. Una vez teniendo las probetas secas de cualquier contenido de humedad, deberemos tomar el área de la cara de la probeta que estará en contacto con el agua (a). Se procederá a cubrir cinco caras de la probeta con un material sellante, en nuestro caso usaremos parafina, descartando la cara que estará directamente en contacto con el agua. Posteriormente tomaremos el peso inicial de las probetas en una balanza de precisión de 0.1 gr.

Con la ayuda de una bandeja plana y de unos soportes pequeños de 1 cm aproximadamente, procederemos a colocar las probetas sobre la bandeja. Al verter agua sobre la bandeja, se deberá cubrir completamente la altura de los soportes, y controlar que el agua esté de 2 a 3 mm de altura durante todo el ensayo desde la base inferior (la base no sellada) de la probeta. Tomar de modelo la Figura 11, donde se especifican las dimensiones y la forma.

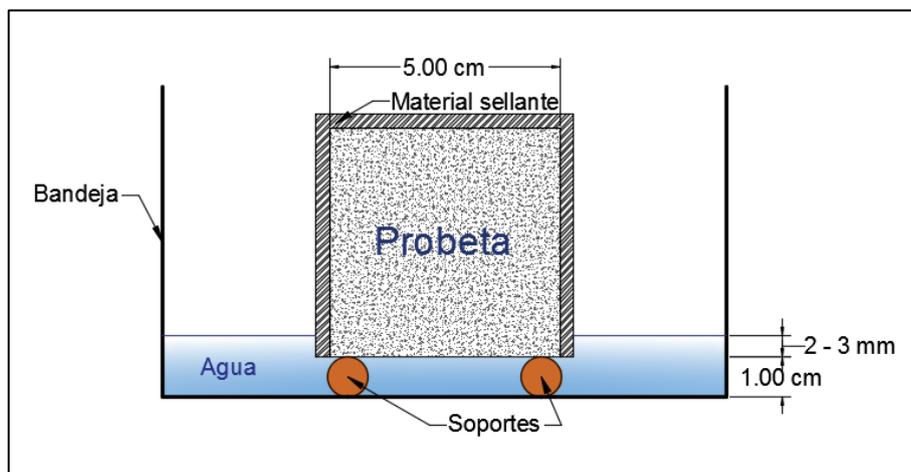


Figura 11: Modelo para el ensayo de tasa de absorción o sorptividad (Propia, adaptado de ASTM C1585)

Se usará la siguiente fórmula para determinar la absorción (I), el cual es el cambio en masa dividido por el producto de la sección transversal de la probeta y la densidad del agua:

$$I = \frac{m_t}{a/d} [mm]$$

Donde:

- l : Absorción
 m_t : Cambio de masa de la probeta (gr) en el tiempo (t)
a : Área expuesta de la probeta (mm²)
d : Densidad del agua = 0.001 (g/mm³)

Los resultados se desarrollarán en tablas de control (Tabla 30), las cuales seguirán el siguiente formato:

Tabla 30: Formato de sorptividad (ASTM C1585)

Tiempo de ensayo		$\sqrt{\text{Tiempo}}$ (s ^{1/2})	Masa (g)	Δ Masa (g)	Δ Masa/área/densidad del agua =l (mm)
Día	s				
0	0				
0	60				
0	300				
0	600				
0	1200				
0	1800				
0	3600				
0	7200				
0	10800				
0	14400				
0	18000				
0	21600				
1	92220				
2	193200				
3	268500				
5	432000				
6	527580				

Cabe recalcar que los tiempos serán tomados de acuerdo a lo señalado en la norma, la cual es 0, 60, 300, 600, 1200, 1800, 3600, 7200, 10800, 14400, 18000, 21600, 92220, 193200, 268500, 432000, 527580, 622200 segundos. La absorción inicial es medida hasta aproximadamente las primeras 6 horas, y la secundaria medida después del primer día del ensayo.

La forma de la figura en que se mostrarán los datos será el siguiente:

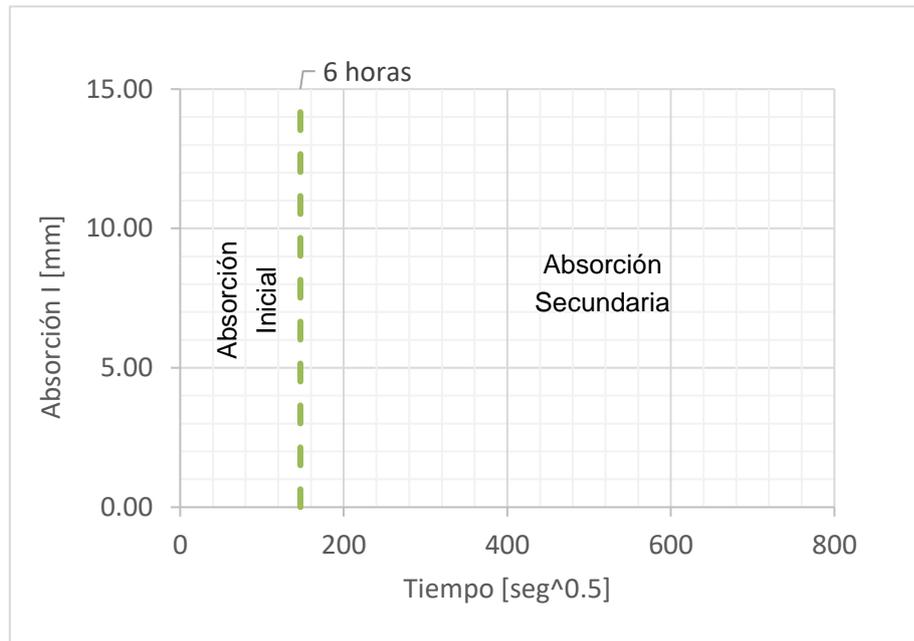


Figura 12: Formato de absorción inicial y secundaria (Propia, adaptado de ASTM C1585)

Los cálculos de absorción inicial (S_i) y de absorción secundaria (S_s) se hallarán mediante las ecuaciones, las cuales se detallan a continuación:

$$I = S_i\sqrt{t} + b$$

$$I = S_s\sqrt{t} + b$$

Donde, los datos para la absorción inicial serán los datos de absorción (I) tomados entre 1 min y 6 horas, y para la absorción secundaria mayor a 6 horas, en la cual, para ambos casos deberá seguir una relación lineal, es decir debe tener un coeficiente de correlación (r) de 0.98 como mínimo para que su sorptividad puede ser hallada por este método. Vale recalcar que el valor de b se hallará mediante la ecuación de la recta que forman los valores de la gráfica de Tiempo ($\text{seg}^{0.5}$) sobre absorción (I), según el modelo de la Figura 15, siguiendo la ecuación de la recta.

$$f(x) = ax + b$$

c. Densidad – ASTM C642

Para hallar la densidad de las probetas de mortero, usaremos el *Principio de Arquímedes* de acuerdo a la *ASTM C 642* (Anexo n°5), el cual su procedimiento es el siguiente:

Para este ensayo se utilizará una balanza con una capacidad mínima de 1000 gr o más y una sensibilidad de 1 gr. Sumergir las probetas en agua potable durante 45 minutos, luego del tiempo estipulado secamos las muestras con la ayuda de una franela para remover el agua en exceso en la superficie de la muestra, y determinar la masa de muestra saturada en agua (M), inmediatamente de haberlas pesado, debemos regresarlas a un recipiente lleno de agua para evitar las pérdidas internas de agua. Posteriormente, pesamos las mismas probetas suspendidas en agua (S).

Finalmente, llevamos a secar la muestra a la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 horas, luego dejamos enfriar a temperatura ambiente para pesar y poder determinar la masa seca (D).

La densidad la hallaremos teniendo en cuenta las siguientes fórmulas:

$$V = \frac{(M - S)}{\rho_{H2O}}$$

$$B = \frac{D}{V}$$

Donde:

B: Densidad Global o Bulk (gr/cm³)

V: Volumen Global (cm³)

- Los resultados se desarrollarán en el formato correspondiente a la Tabla 31, la cual se muestra a continuación:

Tabla 31: Formato de densidad, gravedad específica aparente, absorción y porosidad (Propia)

Arena	Ceniza (%)	Muestra	Masa Saturada M (gr)	Masa Sumergida S (gr)	Masa Seca D (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Gravedad específica aparente	Absorción de agua (%)	Porosidad aparente (%)
Promedio										

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de materiales

4.1.1. Caracterización de la ceniza (Anexo n°6)

a) Curva de pérdida de masa – Análisis Termo gravimétrico

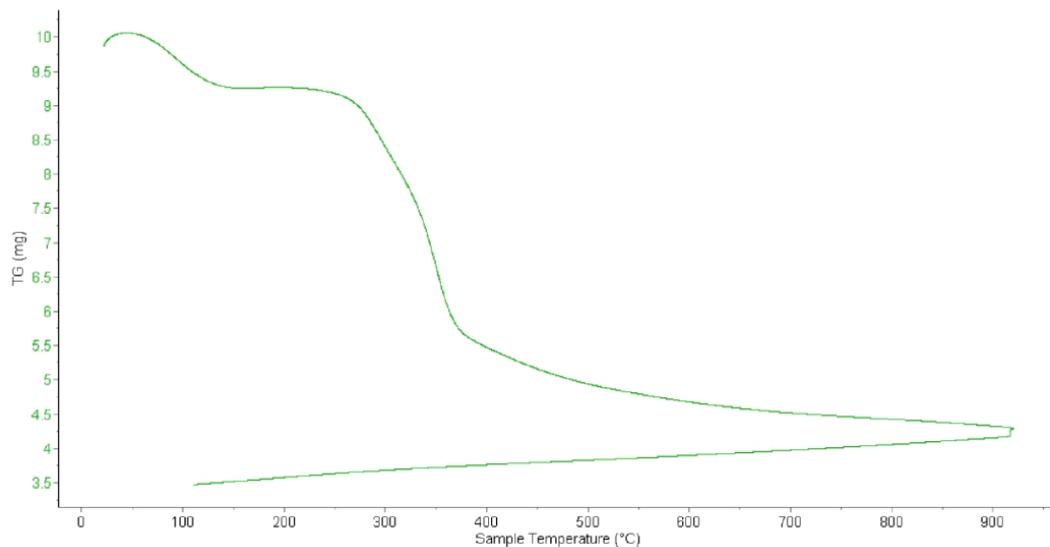


Figura 13: Curva de pérdida de masa de la ceniza de cascarilla de arroz (Anexo n°6)

b) Curva calorimétrica DSC

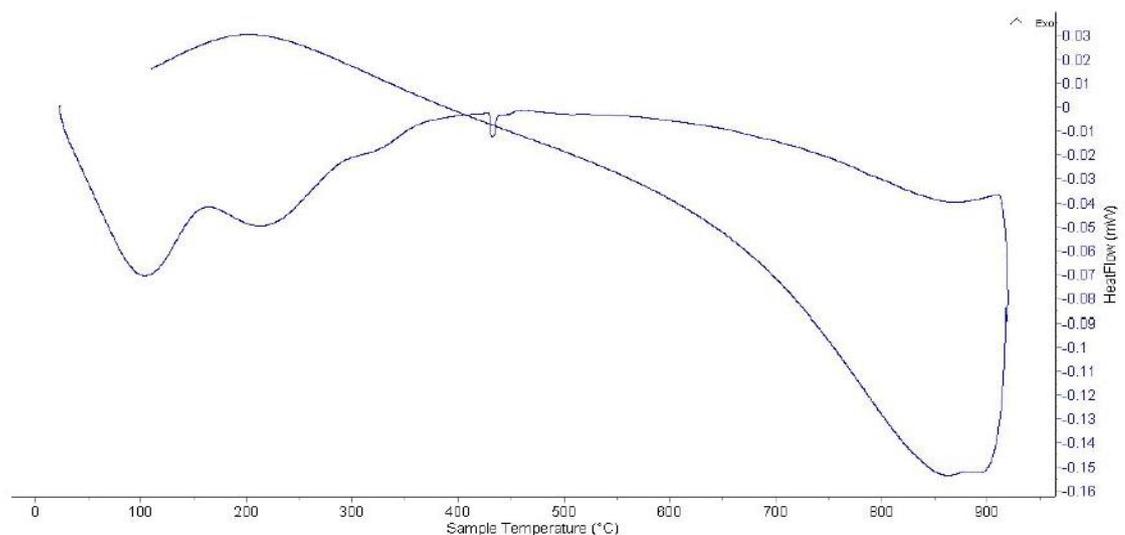


Figura 14: Curva calorimétrica DSC de la ceniza de cascarilla de arroz (Anexo n°6)

4.1.2. Caracterización de la arena

Se determinaron las características físicas, tanto de la arena fina como de la arena gruesa

Tabla 32: Características de la arena fina y arena gruesa (Propia)

Características	Arena fina	Arena gruesa	Norma
Contenido de humedad (%)	1.0	0.6	NTP 339.185
Peso específico (gr/cm ³)	2.55	2.57	NTP 400.022
Absorción (%)	2.4	1.0	NTP 400.022
PUSS (kg/m ³)	1470	1710	NTP 400.017
PUCS (kg/m ³)	1640	1880	NTP 400.017
Módulo de finura (Mf)	0.97	2.43	NTP 400.012
Equivalente de arena (%)	97	77	NTP 339.146

A la vez, la curva granulométrica de la arena fina y gruesa está expresada en la Figura N°, donde se muestran también los límites mínimos y máximos que establece la *ASTM C-33*

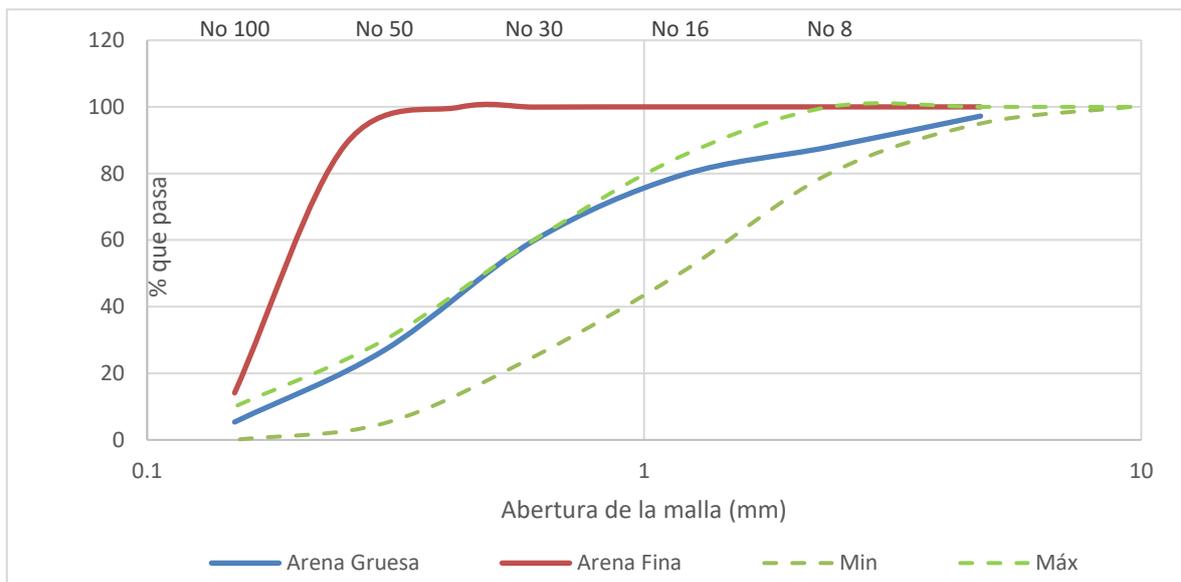


Figura 15: Curva granulométrica de la arena fina y arena gruesa (Propia)

4.2. Ensayos a realizar

4.2.1. Resistencia a compresión – ASTM C 109 (Anexo n°9)

Los resultados de resistencia a compresión tanto de arena fina como arena gruesa fueron los siguientes:

Tabla 33: Resistencia a compresión de los morteros con ceniza de cascarilla de arroz (Propia)

Adición de ceniza (%)	Resistencia a compresión (kg/cm ²)	
	Arena Fina	Arena Gruesa
0	71.8	211.3
1	83.0	226.8
2	91.8	196.9
3	89.3	175.5
4	63.9	142.7

4.2.2. Tasa de Absorción de Agua o Sorptividad – ASTM C 1585 (Anexo n°10)

A) Arena Fina

Los resultados obtenidos del ensayo de sorptividad de la arena fina fueron:

Tabla 34: Sorptividad promedio de morteros de arena fina con ceniza de cascarilla de arroz (Propia)

Adición de ceniza (%)	Absorción inicial (mm/s ^{1/2})	Absorción secundaria (mm/s ^{1/2})
0	4.6	1.5
1	4.7	2.4
2	3.1	1.7
3	5.6	2.2
4	7.6	1.9

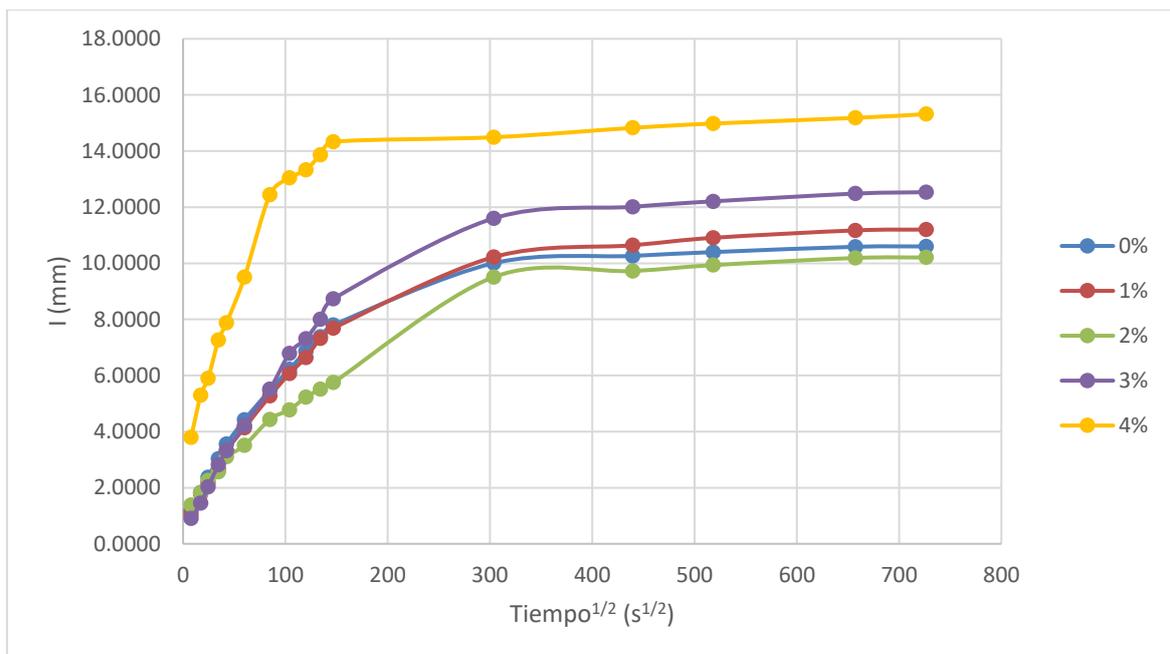


Figura 16: Absorción capilar de morteros de arena fina con ceniza de cascarilla de arroz (Propia)

B) Arena Gruesa

Los resultados obtenidos del ensayo de sorptividad de la arena gruesa fueron:

Tabla 35: Sorptividad promedio de morteros de arena gruesa con ceniza de cascarilla de arroz (Propia)

Adición de ceniza (%)	Absorción inicial (mm/s ^{1/2})	Absorción secundaria (mm/s ^{1/2})
0	4.4	6.5
1	2.6	2.5
2	3.3	1.6
3	3.4	3.8
4	2.8	4.6

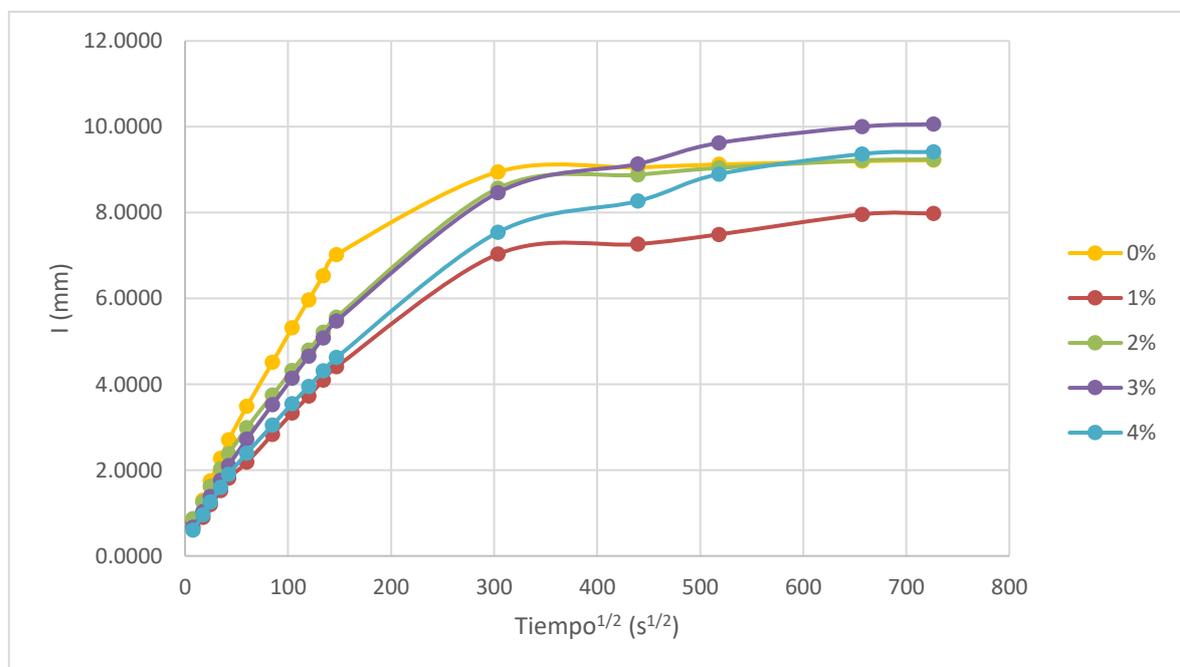


Figura 17: Absorción capilar de morteros de arena gruesa con ceniza de cascarilla de arroz (Propia)

4.2.3. Densidad – ASTM C 642 (Anexo n°11)

Los resultados de densidad para arena fina y para arena gruesa fueron los siguientes:

Tabla 36: Densidad de morteros con ceniza de cascarilla de arroz (Propia)

Adición de ceniza (%)	Densidad (gr/cm ³)	
	Arena fina	Arena gruesa
0	1.73	2.01
1	1.67	1.96
2	1.63	1.90
3	1.62	1.83
4	1.48	1.80

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

De acuerdo a las especificaciones físicas y químicas dadas por la ASTM C 618, la cual se detalla en la Tabla 16, nos muestra una semejanza de las propiedades de la ceniza de cáscara de arroz (Tabla 15) con una puzolana tipo F, la cual responde a cenizas volantes. Se analizó el porcentaje de sílice que en la cáscara de arroz es aproximadamente un 91.42%, la cual supera al mínimo de 70% que exige la norma, por ser una puzolana calcinada (artificial), que al ser quemada a una temperatura de entre 400 y 600 °C activó sus componentes inorgánicos, aportando de esta manera mejoras a la mezcla de mortero.

De acuerdo a la composición expuesta en la Tabla 15, podemos definir lo siguiente:

- La ceniza de cascarilla de arroz cuenta con un gran porcentaje de sílice (SiO_2) de 91%, nos asegura la trabajabilidad que puede tener con la mezcla del mortero, debido a que se encuentra en abundancia en la arena y en el cemento, lo cual permite que estos materiales trabajen en conjunto a la hora de elaborar la mezcla.
- Después del proceso de fragua de la mezcla, la sílice SiO_2 pasa a tener una forma cristalina en estado sólido, proporcionando el aumento de resistencia en los morteros.
- El óxido de aluminio (Al_2O_3) de 0.78% trabajará en forma conjunta con la sílice, para que de esta forma puedan evitar su oxidación de la sílice.
- El óxido de calcio (CaO) de 3.2% funciona como conglomerante dentro de la mezcla, facilitando la trabajabilidad de la misma mezcla.
- El óxido de potasio (K_2O) de 3.71%, funciona como reactivo, que al entrar en contacto con el agua reacciona violentamente, absorbiendo agua y permitiendo que la mezcla endurezca.
- El óxido de sodio (Na_2O) de 0.72% reaccionará de forma violenta al entrar en contacto con el agua, permitiendo la creación de enlaces entre las partículas de la mezcla.

Según el análisis Termo gravimétrico que se muestra en la Figura 16 se muestra un importante descenso como consecuencia de su pérdida de masa frente a la temperatura, en el rango entre 80 y 120°C, luego se muestra otra pérdida de masa a partir de 260 hasta 350°C aún más intensa. Posteriormente el descenso es gradual hasta llegar a perder un total de 55% de su masa inicial en el rango de temperatura de 25 – 800°C. Es decir, se obtiene una cantidad de ceniza de aproximadamente 45% de la cantidad total de la cascarilla de arroz para temperaturas moderadas de 400°C – 600°C, lo cual nos muestra mayor cantidad respecto a la cantidad que nos relaciona Metha, P. en la Tabla, donde establece que se obtiene solamente el 20%. De esta manera el proceso de calcinación de nuestra ceniza nos permite obtener mayor cantidad (45% a 600°C) y aprovecharlo de mejor manera para la elaboración de nuestro mortero.

En la Figura 17 se puede observar el flujo de calor absorbido en función a la temperatura. Se aprecia un pico de absorción en torno a 100°C y 200°C, y otra en torno a 430°C lo que podría indicar un cambio de fase. Sin embargo, a 600°C se mostró una absorción moderada de calor, la cual sigue una tendencia en la figura.

Para fines de la investigación se necesitó quemar aproximadamente el doble de cascarilla de arroz respecto a la ceniza que se empleó en la presente investigación, la cual corresponde a 1 kg de cascarilla de arroz, para poder obtener 450 gr de ceniza, con la cual podremos cubrir la demanda de ceniza para la elaboración de nuestros morteros.

En la Tabla 32, podemos apreciar la caracterización de la arena fina y arena gruesa, de la cual se puede deducir lo siguiente:

- La arena fina muestra contenido de humedad de 1.0% y absorción de 2.4%, siendo superior al de la arena gruesa, la cual muestra un contenido de humedad de 0.6% y 1.0%. Estos resultados eran de esperarse, debido a que la arena gruesa presentó partículas retenidas desde la malla No 4, mientras que la arena fina a partir de la malla No 60 (Anexo n°7), de esta forma presentó partículas sólidas de mayor tamaño, las cuales no retendrían ni absorberían tanta agua como si lo hacen las partículas más finas. Por ende, los morteros de arena fina mostrarán una consistencia más seca a la de los morteros de arena gruesa, esto debido a que el requerimiento de agua de la arena fina es mayor al de la arena gruesa.
- La arena gruesa mostró un mayor peso unitario suelto seco (PUSS) y peso unitario suelto compactado (PUCS), respecto a la arena fina. Esto debido al tamaño de partículas en ambos tipos de arena como lo señalado en el párrafo anterior, de esta manera las partículas se confinarán de manera similar tanto para arena fina como arena gruesa, dejando poco margen de vacíos.
- Al momento de la conformación de las probetas cúbicas de mortero, tendrá una mayor incidencia el peso unitario compactado seco (PUCS), debido a que mientras mejor se acomodan las partículas en el molde, podremos tener morteros mejor elaborados, a la vez debemos tener en cuenta que las probetas en los moldes cúbicos deberán ser compactados tal y como lo estipula la norma ASTM C 109, para de esta forma evitar los vacíos que comúnmente lo llamamos cangrejas, ya que estos vacíos interferirán inversamente proporcional a la resistencia a la compresión y densidad, es decir, a más vacíos, menor resistencia a compresión y densidad; y directamente proporcional a la sorptividad, es decir, a más vacíos, mayor sorptividad.
- De acuerdo al ensayo granulométrico realizado para la arena fina, se determinó su módulo de finura igual a 0.98, el cual de acuerdo a la Tabla 11, lo clasifica como una arena muy fina. De igual forma, el módulo de finura de la arena gruesa es igual a 2.43, el cuál de acuerdo a la Tabla 11, lo clasifica como una arena ligeramente fina. Por ende, el mortero al tener mayor módulo de finura presentará mejores resistencias, debido al mayor tamaño de sus partículas, es por esto que los morteros con arena gruesa presentarán mejores resultados en resistencia.
- La arena gruesa se encuentra dentro de los límites granulométricos que nos establece la norma ASTM C 144 para agregados usados en morteros de mampostería, sin embargo, no existen límites granulométricos para la arena fina.

- Según Sánchez (2001), los morteros de arena gruesa al tener mayor módulo de finura que los morteros de arena fina, mostrarán mejor trabajabilidad, ya que estos requerirán menos agua para la misma consistencia.
- De acuerdo a la clasificación derivada de los ensayos granulométricos (Anexo n°7: Caracterización de la arena fina y arena gruesa), obtenemos la siguiente clasificación para nuestra arena:

Tabla 37: Composición de la muestra de arena fina y arena gruesa (Propia)

Composición		Arena Fina	Arena Gruesa
% Grava		0.0 %	0.0 %
% Arena	% grano grueso	0.0 %	22.7 %
	% grano medio	0.1 %	23.4 %
	% grano fino	99.3 %	52.0 %
% Limo - arcilloso		0.7 %	1.9 %

De acuerdo a la Tabla 37, nuestra arena fina, valga la redundancia, muestra un porcentaje considerable en partículas de grano fino, la cual podrá tener incidencia en la resistencia a la compresión del mortero, ocasionando que nuestros morteros de arena fina presenten una resistencia a compresión baja.

- El ensayo de arena equivalente nos dio un valor de 97% para la arena fina, y 77% para arena gruesa. Se define al equivalente de arena como el porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales, por este motivo el ingeniero Rivera, nos recomienda que el equivalente de arena sea como mínimo 70%, el cuál para fines de la presente investigación se superó en ambos casos, teniendo un mayor porcentaje para la arena fina, debido a la fineza de sus partículas, y en la arena gruesa fue menor debido a que contaba con mayor diversidad de tamaño de partículas.

La dosificación de las probetas se hizo teniendo en cuenta el contenido volumétrico de los materiales y siguiendo lo que nos indica CAPECO en la Tabla 2, sin embargo, se usó a manera de una prueba piloto para determinar el contenido óptimo de agua, la cual nos resultó menos que el 1.00 que nos indica CAPECO (0.80 relación agua cemento). Al momento de realizar la elaboración de las probetas se realizó siguiendo las indicaciones de la norma ASTM C 109, la cual nos aconseja apisonar en dos capas el mortero, sin embargo, en algunos casos debido a la adición de ceniza la muestra resultó muy seca, y generó juntas frías entre las dos capas, por lo cual se decidió apisonar en una sola capa, pero ir apisonando levemente conforme adicionábamos la mezcla para evitar la generación de vacíos. La norma establece la conformación en dos capas solo para morteros de cemento y arena con una mezcla consistente (establece que la adición de agua será la necesaria para que la mezcla sea fluida), mas no para una mezcla con adición de ceniza que tiende a absorber rápidamente el agua de la mezcla. También debemos considerar la absorción de los insumos a usar durante la elaboración de la mezcla (bandeja de mezcla, espátula, moldes, apisonador, etc.), para

evitar que estos absorban agua, los humedeceremos antes de realizar la mezcla. A mayor porcentaje de ceniza en la mezcla, la mezcla tiende a ser más seca, esto debido a la superficie rugosa de la ceniza, la cual al ser más rugosa tiende a atraer más agua adherida a su superficie.

De acuerdo al reglamento nacional de edificaciones E070, en el capítulo 6, el mortero de cemento: arena 1:4 corresponde a un mortero P2, de uso para muros portantes, teniendo en cuenta una mezcla con arena gruesa, sin embargo, el reglamento no especifica ningún tipo de clasificación para mezclas con arena fina, por lo que se evaluará de acuerdo a criterios de resistencia si el mortero con arena fina califica o no para ser usado en muros portantes o no portantes. Se debe tener en cuenta que las probetas se curaron por 28 días en una solución de cal, para de esta manera evitar el agrietamiento que se podría generar por la consistencia seca de la mezcla. En obra no se suele curar morteros, pero estos absorben el agua de los otros materiales adyacentes, como la humedad de los ladrillos (se mojan los ladrillos antes de alinearlos), y también se recomendaría que para caso de morteros con adiciones de ceniza curarlos superficialmente.

La resistencia a compresión de los morteros de cemento (Tabla 33) se realizó teniendo en cuenta la norma ASTM C 109, de arena fina, las probetas de arena fina muestran una mejora con ceniza al 1%, 2% y 3%, obteniendo 83.0 kg/cm², 91.8 kg/cm², 89.34 kg/cm² respectivamente por remplazo de la arena fina, respecto al mortero patrón que fue 71.8 kg/cm². Se muestra una creciente resistencia a compresión hasta 2%. Sin embargo, se puede apreciar que en 4% (63.9 kg/cm²) la resistencia a compresión es menor a la del mortero patrón, tal y como se espera cuando se trata de la arena fina, puesto a que esta debido al tamaño de sus partículas, ofrecerá menor resistencia mecánica, pero podrá ser empleada como morteros que tengan que soportar cargas insignificantes, incluso que no reciban cargas, como revestimientos exteriores.

La Tabla 33 también nos muestra la resistencia a compresión de los morteros de arena gruesa, en la cual se muestra una mejora en la adición al 1% obteniendo 226.8 kg/cm² de ceniza por remplazo de la arena gruesa. Sin embargo, se puede apreciar que hasta el 3% (al 2% es 196.9 kg/cm² y al 3% 175.5 kg/cm²) muestra una resistencia aceptable dentro de un rango para morteros ricos (Tabla 12), teniendo un declive notorio cuando la adición de ceniza es del 4% (142.7 kg/cm²), tal como se indica en la Figura 18.

El mortero elaborado con relación 1:4 respecto a cemento Portland Tipo I y arena fina, con 2% de ceniza, calcinada a 600 °C, alcanzó una resistencia a compresión de 91.8 kg/cm². Este, se relaciona al planteado por la norma ASTM C 270 (Tabla 7), que lo clasifica como un mortero tipo N, superando los 53 kg/cm² que plantea la misma norma para un mortero tipo N, pero sin llegar a ser un tipo S, porque no alcanza los 126 kg/cm².

El mortero de arena fina no califica para ser usado como un mortero de pega en mampostería reforzada de acuerdo a la ASTM C 476 (Tabla 8), debido a que no cumple las exigencias de resistencia, no llega a 175 kg/cm².

De acuerdo a la clasificación de la Tabla 12, nos encontramos con un mortero con una resistencia pobre, esto debido al tamaño de las partículas de la arena fina, para el cuál el mortero de arena fina podría ser considerado para morteros donde no requiera un esfuerzo mayor.

El mortero elaborado con relación 1:4 respecto a cemento Portland Tipo I y arena gruesa, con 1% de ceniza, calcinada a 600 °C, alcanzó una resistencia a compresión de 226.8 kg/cm². Este, se relaciona al planteado por la norma ASTM C 270 (Tabla 7), que lo clasifica como un mortero tipo M, que es el mortero más rico, superando la resistencia de 175 kg/cm² que establece la norma.

El mortero de arena califica para ser usado como un mortero de pega en mampostería reforzada de acuerdo a la ASTM C 476 (Tabla 8), aun cuando supere la proporción volumétrica establecida por la norma (relación cemento: arena 1:3 como máximo).

En la Tabla 12, la cual hace referencia a la resistencia requerida para morteros de cemento y arena, nos indica que el mortero de cemento y arena, con dosificación volumétrica 1:4 corresponde a un mortero ordinario, con una resistencia requerida de 130 kg/cm². Sin embargo, de acuerdo a los datos obtenidos, podemos constatar que nuestro mortero a pesar de tener una dosificación de 1:4 en volumen, con un contenido moderado de cemento, ha logrado obtener propiedades de morteros ricos, en los que según indica la Tabla 12 debe tener una resistencia requerida de 160 kg/cm². En la presente investigación, se superó la resistencia hasta una adición de 3%, pero teniendo un aumento significativo en la adición de 1%, tal como nos muestra la Figura 18.

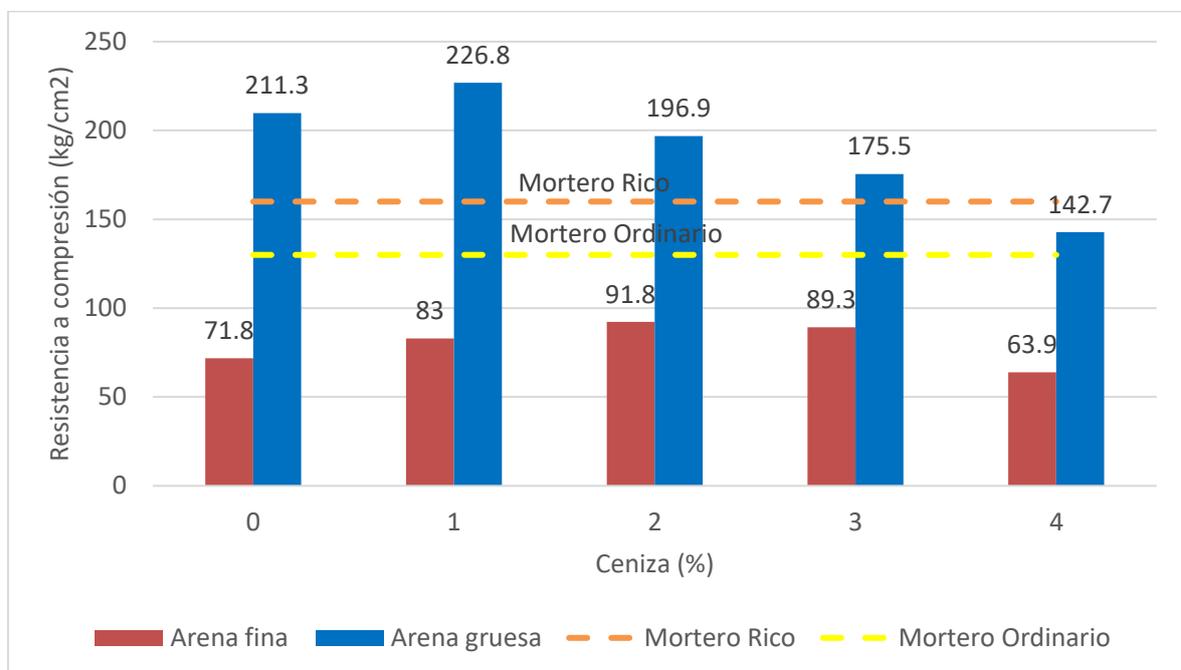


Figura 18: Resistencia a compresión de morteros de agregado fino (Propia)

Cómo se sabe con anticipación, sabemos que cuando el cemento se mezcla con el agua, ocurre un proceso de hidratación, el Silicato cálcico hidratado (gel C-S-H: $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) es un silicato

cálcico que ha sufrido una reacción de hidratación (monohidratada) para convertirse en un gel cementoso, el cuál a la vez es el responsable de las propiedades resistentes del cemento. Al fraguar el silicato cálcico hidratado se adhiere al agregado fino, logrando hacer una mezcla más consistente. Al formarse el gel cementante en la mezcla, se producirán también poros gel, los cuales están en función de la relación agua-cemento. De esta forma, con la adición de ceniza de cascarilla de arroz a la mezcla, se busca lograr una reacción con el cemento, tanto física como química, y a la vez ver el comportamiento que tiene tanto con la arena fina como gruesa. Debido al pequeño tamaño de partículas de la ceniza, estas reaccionarán con el cemento logrando un efecto puzolánico con el cemento, el cual quiere decir que esta ceniza ha logrado combinarse con el hidróxido de calcio (CaO) producido durante la hidratación del clinker de cemento Portland, formando compuestos que son también cementantes como los silicatos de calcio.

Cómo se puede apreciar en la composición química del cemento Tipo I (Anexo n°2) y la composición química de la ceniza de cascarilla de arroz (Tabla 15), se observa que tienen componentes similares, en especial la sílice (Tabla 38), los cuales harán que al mezclarse estos dos componentes al momento de fraguar se combinen y logren reacciones entre sí, a su vez logrará mezclarse con el agregado fino para delimitar sus propiedades.

Tabla 38: Comparación de composición química entre ceniza y cemento (El constructor civil – NTP 334.090)

Componente	Fórmula	Ceniza	Cemento
Sílice	SiO ₂	91.42%	17 – 25%
Óxido Férrico	Fe ₂ O ₃	0.14%	0.5 – 6 %
Óxido de Calcio	CaO	3.2%	60 – 67%
Óxido de Magnesio	MgO	<0.01%	0.1 – 6%
Óxido de Azufre	SO ₃	0.72%	1 – 4%

Es por esto que se ve una mejora en la resistencia a compresión para morteros con arena fina hasta un reemplazo de 3% respecto al mortero patrón, y en los morteros con arena gruesa solo una mejora hasta el 1% (Figura 18). De esta forma, en los reemplazos, de 4% para morteros de arena fina, y 2%, 3% y 4% para morteros de arena gruesa donde disminuyen las resistencias, es debido a que los vacíos que existían en la mezcla de mortero lograron saturarse por completo con la ceniza, por lo cual ya no genera una reacción química en la mezcla, siendo perjudicial para las resistencias.

De acuerdo a la norma, para un grupo de 03 probetas de mortero de 5cm x 5cm x 5cm de una misma mezcla, no debe existir una variación porcentual mayor a 8.7% respecto al promedio de las 03 probetas, lo cual se cumple a cabalidad en nuestra investigación y se puede apreciar en la Tabla 39 y a mayor detalle en el Anexo n°8.

Tabla 39: Variación porcentual de muestras de compresión (Propia)

Lote de probetas	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Fina 0%	-2.2%	2.2%	0.0%
Fina 1%	0.3%	-0.2%	-0.1%
Fina 2%	-1.2%	-2.9%	4.1%
Fina 3%	-3.0%	1.1%	2.0%
Fina 4%	-1.3%	0.6%	1.9%
Gruesa 0%	-7.0%	1.0%	6.1%
Gruesa 1%	-0.3%	-2.1%	2.4%
Gruesa 2%	-2.5%	-1.8%	4.3%
Gruesa 3%	0.0%	0.6%	-0.6%
Gruesa 4%	-3.5%	1.2%	2.3%

El ensayo de sorptividad a tasa de absorción capilar se realizó teniendo en cuenta la norma ASTM C 1585, sin embargo, esta norma solo se adecua para muestras cilíndricas de concreto, pero en nuestro caso la hemos adaptado a probetas de mortero gracias a que los cálculos se desarrollan teniendo en cuenta el área. A la vez, se pudo usar parafina como un sellador bastante común de encontrar y factible, ya que la razón de su empleo es proteger las demás capas del contacto con el agua. Si bien el ensayo se realiza en una misma fuente, debemos controlar que la probeta siempre esté en contacto con el agua, de lo contrario no podrá absorber agua como se espera en el ensayo. En la Tabla 34 nos muestra los resultados de la sorptividad en la arena fina, tanto la absorción inicial como la absorción secundaria muestran un aumento de acuerdo a como se le va adicionando la ceniza excepto en adición de ceniza de 2%, no siendo esto lo adecuado para temas de investigación. Sin embargo, la absorción inicial disminuye en el mortero con 2% de ceniza, y la absorción secundaria aumenta por poco.

Se puede apreciar en la Tabla 35 que los resultados de sorptividad para la arena gruesa disminuyen notablemente conforme se le adiciona ceniza, siendo todos los datos menores al mortero patrón de arena gruesa.

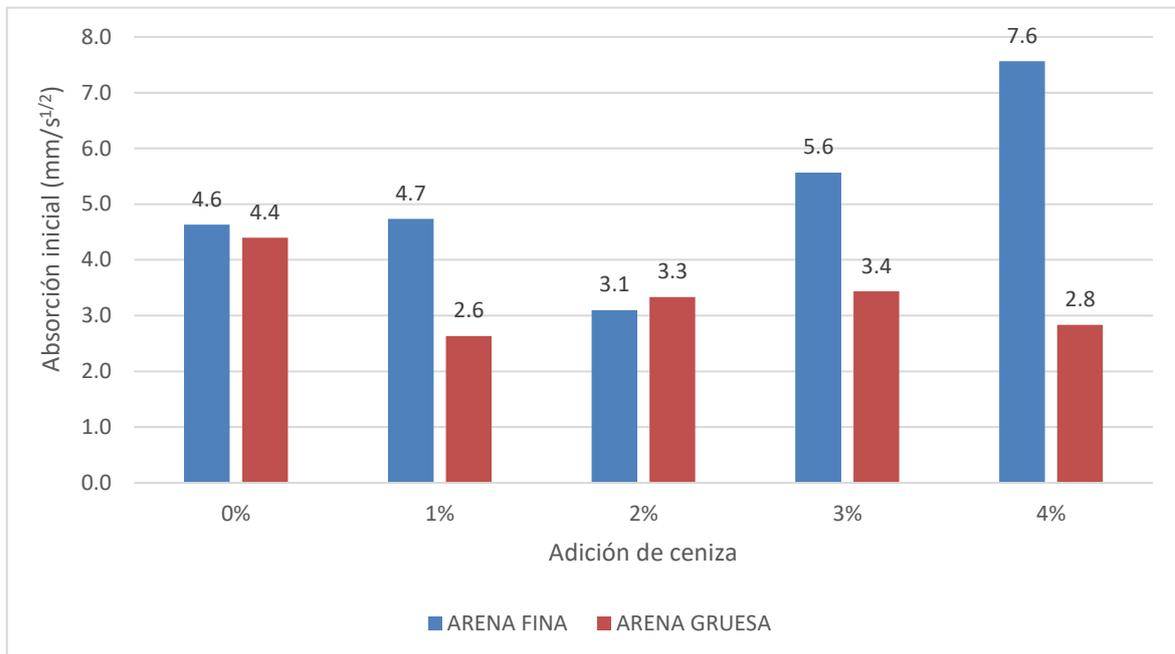


Figura 19: Absorción inicial de mortero de arena fina y mortero de arena gruesa (Propia)

Como se puede apreciar claramente en la Figura 19, la absorción inicial (de 1 min a 6 horas) es mayor para los morteros de arena fina que los de mortero de arena gruesa, esto es lo que resulta lógicamente de la mezcla con la ceniza como va aumentando la absorción, ya que la arena fina según Sánchez (2001) absorbe mayor cantidad de agua, aún más cuando esta combinada con la ceniza de cascarilla de arroz. A la vez, se puede deducir que la ceniza al ser mezclada con las partículas de arena gruesa, al ser partículas de tamaño mayor que la arena fina, solo logran ocupar los poros dejados en la mezcla, sin embargo, con la arena fina logran cumplir casi la misma función dentro de la mezcla, por lo cual aumenta su absorción de agua es mayor.

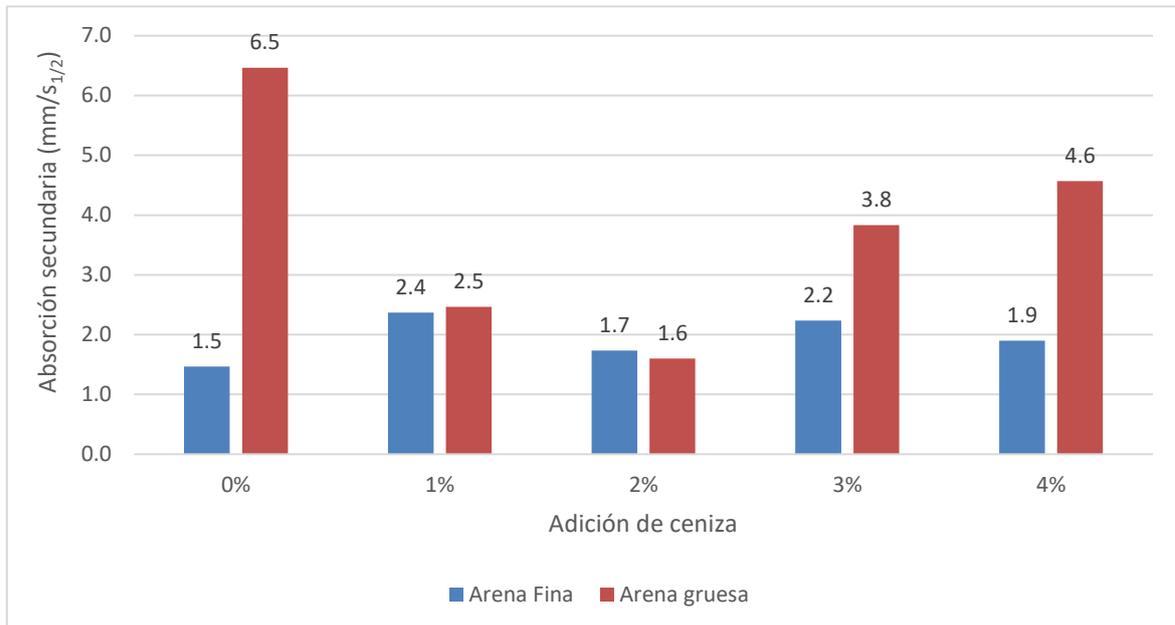


Figura 20: Absorción secundaria de morteros de arena fina y morteros de arena gruesa (Propia)

Sin embargo, los resultados para la absorción secundaria (superior a 6 horas), tal como se muestran en la Figura 20, fueron todo lo contrario a los resultados de la absorción inicial. Esto se debe a que las probetas alcanzan un nivel de casi saturados transcurridos el primer día, siendo los morteros de arena gruesa los que absorben mayor cantidad de agua a partir del primer día de ensayo para las adiciones de 0%, 3% y 4%; pero para las adiciones de 1% y 2% actúan de manera muy beneficiosa, tan similar a la arena fina, mostrando una conducta adecuada para temas de la presente investigación, ya que nos ayuda a evitar el paso del agua, y en el caso de la sorptividad la velocidad de penetración del agua disminuye.

En la Figura 19 se puede apreciar claramente como todos los valores de absorción capilar (I) con adición de ceniza, superan a la probeta patrón para morteros de arena fina; sin embargo, la Figura 20 referente a los morteros con arena gruesa, nos demuestra lo contrario en cuanto a resultados, ya que se puede notar como los resultados de sorptividad con adición de ceniza son menores a la probeta patrón, siendo esto beneficioso para nuestro estudio, debido a que lo que se busca es evitar la penetración de agua por nuestro mortero. Junto con la sorptividad y la reducción de velocidad de absorción capilar de agua para morteros, tanto de arena fina como de arena gruesa, pero teniendo especial consideración en la velocidad de la absorción secundaria de la arena gruesa para adiciones de ceniza de cascarilla de arroz en todas sus adiciones, nos demuestran que conforme va avanzando el tiempo, los morteros terminan de saturarse completamente, impidiendo el paso del agua al cabo de 6 días aproximadamente (como se puede observar en los detalles del Anexo N°9 los valores de I ya no sufren variaciones en ganancias de peso de agua considerable en los últimos dos días.

Se debe tomar en cuenta que para el ensayo de sorptividad se realizó la corroboración de que los valores de I sigan una tendencia lineal por medio de su coeficiente de correlación sea mayor que 0.98, esto con la finalidad de asegurar que los morteros guarden semejanza en sus propiedades y sigan un mismo patrón; en donde todos cumplió, tal y como detalla el Anexo n°9.

El ensayo de densidad se realizó teniendo en cuenta la norma ASTM C 642, donde se realizan ensayos para toda materia teniendo en cuenta los pesos sumergidos, suspendidos y saturados, pero se debe tener especial consideración en evitar las pérdidas de agua al pesar el ensayo en estado saturado y posterior en suspendido, teniendo en cuenta que, al dejarlos expuestos a temperatura ambiente, la humedad existente en los poros internos podría variar.

Los resultados de densidad que se muestran en la Tabla 36 para la arena fina, nos muestra un descenso en su densidad de acuerdo a como se le adicione la ceniza en remplazo de la arena, haciendo de los nuevos morteros ecológicos más livianos. Lo mismo ocurre en la arena gruesa, su densidad también va en descenso conforme se le agregue más ceniza en remplazo de la arena gruesa. Esto es debido a que el peso específico de la ceniza es menor que el peso específico de la arena, por lo cual se reduce el peso total del mortero.

En el caso de los morteros con arena gruesa, nos muestra una baja de densidad más considerable, debido a que la arena gruesa al reaccionar con el cemento, y el agua – no olvidemos que un mortero de arena gruesa requiere una menor cantidad de agua que un mortero de arena fina para obtener la misma consistencia- generará un mayor porcentaje de vacíos al momento de evaporarse dicha agua, por lo cual la ceniza podrá llenarlos con mayor facilidad, a diferencia de la arena fina que su porcentaje de vacíos que generará será menor, por lo cual la ceniza tendrá menor incidencia en cuanto a su densidad.

La adición de ceniza en la mezcla ocupa espacios del conglomerante (cemento) y la arena, por lo cual, al reemplazar la ceniza por materiales de mayor peso, esto reducirá la masa de la probeta y por ende su densidad. El peso específico del cemento Tipo I 3.11 g/cm^3 , la arena 2.6 g/cm^3 y la ceniza 1.1 g/cm^3 aproximadamente, reducen el peso del mortero y su densidad como consecuencia. Los morteros de arena fina alcanzaron su densidad óptima en 2% con 1.63 gr/cm^3 y arena gruesa en 1% con 1.96 gr/cm^3 . De acuerdo a Saba, C. (2006), el mortero de arena fina califica como un mortero mediano (entre 1.6 y 1.9 gr/cm^3) y para el mortero de arena gruesa como un mortero pesado (entre 1.9 y 2.2 gr/cm^3), pero aun así siendo más liviano que el mortero patrón. De la misma forma al disminuir las densidades de los morteros, estamos disminuyendo su peso, aligerando las cargas muertas de los muros de mampostería.

Teóricamente se establece que mientras un mortero sea más denso, su resistencia a la compresión será mayor, sin embargo, mediante la adición de ceniza de cascarilla de arroz podemos diferir esos valores, tal como se muestran los datos comparativos para ambos tipos de arena en las siguientes tablas:

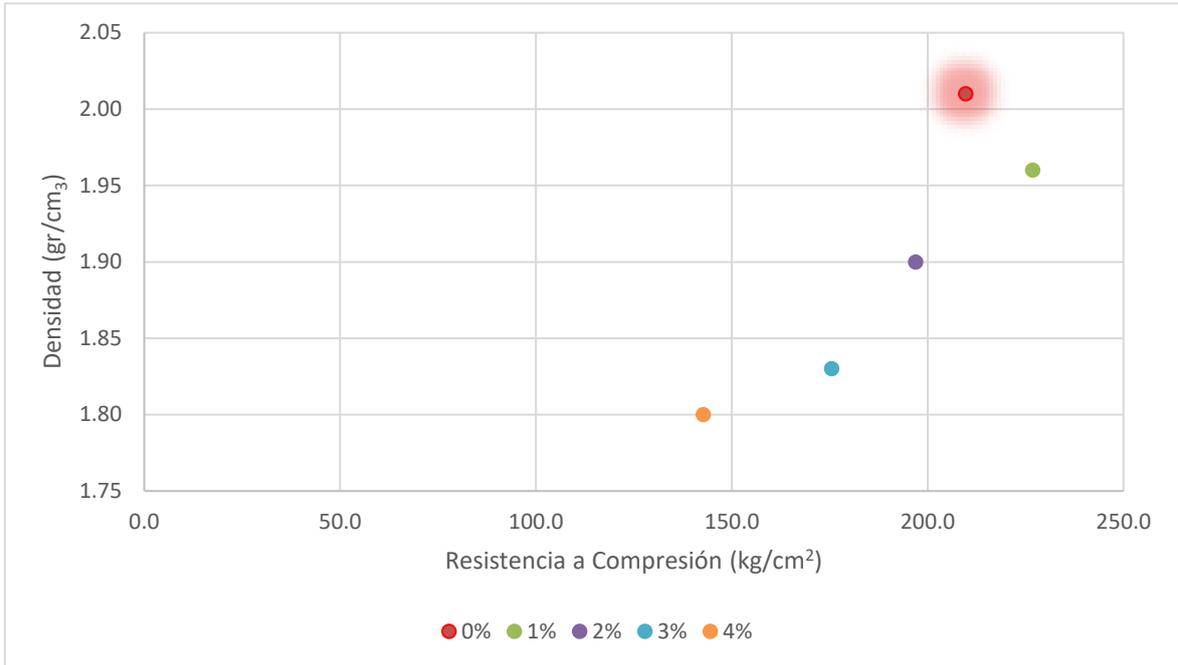


Figura 21: Resistencia a compresión sobre densidad de morteros de arena gruesa (Propia)

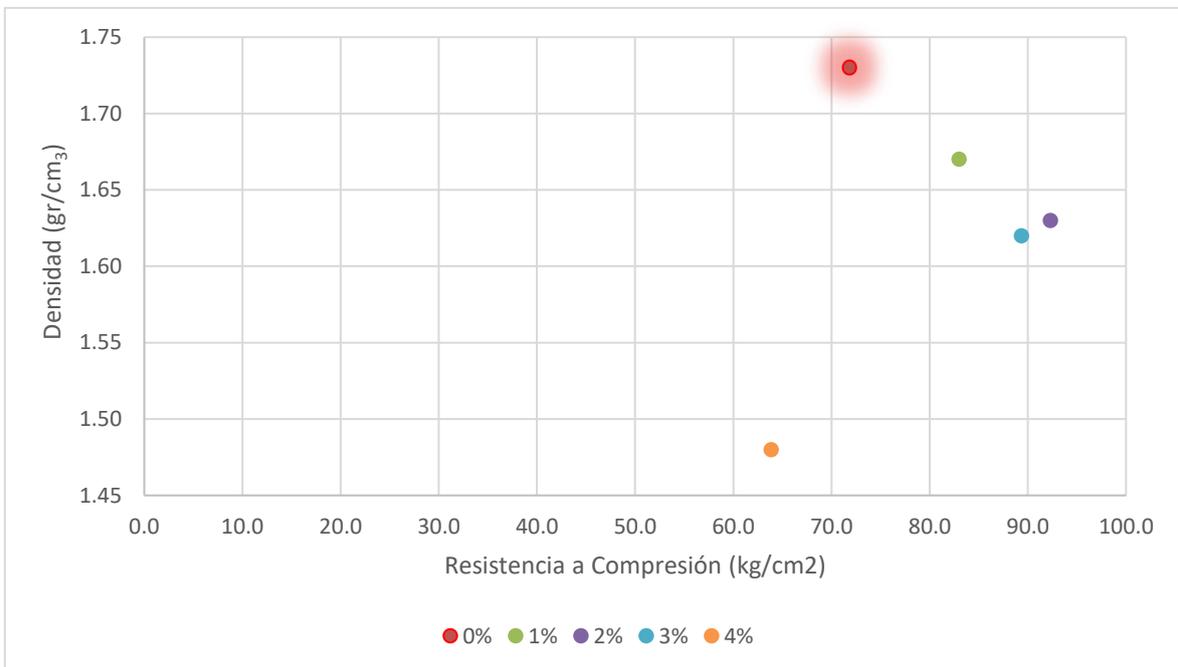


Figura 22: Resistencia a compresión sobre Densidad de morteros de arena fina (Propia)

Al hacer un análisis de la Figura 21 podemos darnos cuenta que teniendo en cuenta la resistencia a la compresión y la densidad, nos beneficiaría usar el mortero de arena gruesa con adición de

ceniza a 1%, debido a que se nos muestra un material menos denso y a su vez con mejores propiedades mecánicas que el mortero patrón (punto rojo).

En la Figura 22 para morteros para arena fina, claramente se puede apreciar que todos los demás lotes de mortero, con excepción del mortero de 4%, fueron beneficiosos tanto para obtener un material más denso, como más resistente que el mortero patrón (punto rojo), sin embargo, debido a su baja resistencia a la compresión y al ser categorizado como un mortero pobre, deberá ser usado solo para morteros que no soporten cargas y/o sean muy leves.

De acuerdo a la Tabla 12, nuestro mortero podrá ser empleado para bruñidos y revoques impermeables, enlucidos, revoque de zócalos, corrido de cornisa, bóvedas tabicadas, muros cargados, enlucidos de pavimento, enfoscados; todo esto por ser considerado un mortero rico para los morteros realizados con arena gruesa.

Los morteros con arena fina, podrán ser empleados para muros sin carga, rellenos para solado, en general no cumplirán una función estructural.

Al utilizar la cascarilla de arroz en la producción de nuestro nuevo mortero, contribuiremos a la elaboración de un mortero ecológico, evitando desperdiciar la cascarilla que muchas veces las empresas molineras solo las desechan, o las queman sin ningún tipo de control, solo para eliminarlo. Se podrá aprovechar este recurso que encontramos de manera muy común en nuestra región y a su vez aligeraremos el precio de nuestro mortero al ahorrar arena, debido a que la ceniza reemplazará a la arena.

Se realizó el análisis de costos para los morteros con el porcentaje ideal de ceniza en comparación con un mortero patrón con impermeabilizante:

- Los morteros de arena gruesa con 1.5cm de junta y ladrillos King Kong 18 huecos, con ceniza al 1% fueron aplicados para muros de mampostería, donde se tuvo en cuenta un rendimiento de 7.5 m²/día. El costo de la partida sin ceniza fue de 63.12 nuevos soles, mientras que para el mortero con ceniza al 1% fue de 60.04 nuevos soles; obteniendo de esta forma un ahorro de 4.88% de su precio.
- Los morteros de arena fina se realizaron con ceniza al 2%, los mismos que fueron aplicados como revestimiento de 2 cm para fines de la presente investigación. El costo de la partida sin ceniza fue de 38.49 nuevos soles, y la partida con 2% de ceniza fue de 36.08 nuevos soles; obteniendo un ahorro de 6.26% respecto a su precio inicial.
- Al realizar el análisis de costos, se obtuvo un ahorro mínimo, pero se despreció el costo de la ceniza debido a que hay formas de conseguirla como residuos de grandes industrias, así se evitaría el costo de laboratorio.

CONCLUSIONES

- Se evaluó la influencia de la ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo del agregado fino, tanto arena fina como arena gruesa; no podrá ser catalogado como un mortero rico aquellos con arena fina y ceniza; sin embargo, para los morteros de arena gruesa se logró un aumento de su resistencia a compresión cuando se le adicionó un 1% de ceniza, hasta 3% considerado como un mortero rico, con excepción de la adición a 4%. En lo que respecta a sorptividad, sus propiedades mejoraron notoriamente a corto plazo, llamado absorción inicial y a largo plazo denominado absorción secundaria para la arena gruesa, evitando la penetración de agua medida a través del tiempo, todo lo contrario para la arena fina, que si bien aumentó la absorción capilar, para una adición de ceniza de 2% el aumento es mínimo; pero cabe recalcar que en lo que consta a la sorptividad, ambos casos de morteros mostraron una saturación casi total al estar en contacto con el agua al cabo de 6 días, es decir que no permitió más ascenso de agua. Y finalmente, para densidad, ambos morteros, de arena fina y arena gruesa mostraron mejoras, así de esta manera redujeron sus densidades respecto a sus morteros patrón.
- Se realizó la caracterización de agregados, donde como era de esperarse, la arena fina mostró un mayor requerimiento de agua, tanto para contenido de humedad como absorción, que la arena gruesa, por lo cual las muestra con arena fina resultaron un poco más secas. De la misma forma, debido a que en ambos tipos de arena se tuvo poco porcentaje de vacíos, de acuerdo al peso unitario suelto compactado, trabajó beneficiosamente con las partículas de la ceniza, obteniendo una mejora en sus propiedades de resistencia a compresión, sorptividad y densidad. La granulometría de la arena fina nos mostró un módulo de finura bajo, por lo cual fue proporcional a la resistencia a compresión de las probetas de arena fina.
- Las probetas de arena fina con ceniza alcanzaron su pico más alto en resistencia a compresión al 2% de ceniza, obteniendo 91.8 kg/cm², y no mostró un valor menor al de la muestra patrón, referente a sorptividad, se obtuvo su mejor condición (valor más bajo) en 2%, y su mayor absorción en 4%, y para densidad solo se obtuvieron valores menores que a la muestra patrón. Las probetas de arena gruesa por otro lado alcanzaron su mejor resistencia a compresión al 1% de ceniza, obteniendo 226.8 kg/cm², y su resistencia más baja al 4% de ceniza 142.7 kg/cm², la menor sorptividad al 1% y la mayor al mortero patrón 0%, y finalmente al igual que los morteros de arena fina, las densidades bajaron de acuerdo se le adicionaba ceniza. Por ende, la ceniza fue beneficiosa para resistencia a compresión en cantidades moderadas, pero siempre ayuda a aligerar las densidades de los morteros.
- A criterio del autor, el porcentaje óptimo de ceniza para un mortero de arena fina es 2%, debido a que su resistencia a compresión sube de un 71.8 kg/cm² en la probeta patrón a 91.8 kg/cm², mostrando un incremento de 28%, sus resultados de sorptividad descienden en absorción inicial y se mantienen en absorción secundaria, y a la vez la densidad baja de 1.73 gr/cm³ a 1.62 gr/cm³. Por otro lado, para morteros de arena gruesa, se podrá emplear el mortero con adición

de 1% de ceniza, teniendo en cuenta que la resistencia a compresión sube, y la sorptividad y densidad bajan, haciendo de este un mortero ideal. La ceniza es beneficiosa para mejorar las propiedades mecánicas sustituyendo a la arena, pero se debe tener cuidado con la arena fina, puesto a que, al mezclarse, generaran mayor absorción de agua; sin embargo, aligeran los pesos de los morteros gracias al poco peso de la ceniza de cascarilla de arroz. No se recomienda usar morteros con adición al 4% debido que muestra leve desprendimiento de partículas en estado endurecido, y sus propiedades tienden a decaer en esa dosificación.

- Los morteros de arena fina podrán ser empleados para revestimientos que no resistan cargas, en el caso de revestimientos de muros en lugares donde exista humedad ambiental, a su vez en revestimientos de paredes, para poder evitar las filtraciones de agua menores, como en casas. Y los morteros de arena gruesa con adición de ceniza (hasta 1%) podrán emplearse en enlucidos de pavimentos, muros cargados, enlucidos, revoques de zócalos, bruñidos y revoques impermeables, esto debido a su resistencia a compresión y su capacidad para evitar la filtración de agua. A su vez se debe tener en cuenta que, al disminuir la densidad, se disminuirá la carga muerta en el diseño.
- Se realizaron los análisis de costos de los morteros con ceniza en relación a morteros con impermeabilizante, obteniendo un ahorro de 5% aproximadamente en cada caso, pero teniendo en cuenta que la ceniza nos será brindada por medio de alianzas con ladrilleras o empresas industriales para aprovechar sus residuos de ceniza de cascarilla de arroz que ellos usan como combustible, y de esta forma usarla en la elaboración de morteros, contribuyendo de esta manera a la conservación del medio ambiente, fomentando la buena práctica del Decreto Legislativo N°1278 referente a la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda emplear el nuevo mortero para muros portantes (arena gruesa) y no portantes (arena fina) en ambientes con un clima húmedo, dígase ambientes rivereños, lugares cercanos al mar. A su vez su empleo se realizará para morteros de mampostería en caso de los morteros de arena gruesa y para revestimientos e impermeabilizaciones para morteros de arena fina.
- Se recomienda monitorear adiciones de agua, en la presente tesis no se variaron los contenidos de agua para poder mantener una cantidad constante. Sin embargo, al llegar a una mezcla con adición de 4% en arena fina, se genera una pasta poco trabajable. De ser el caso, se podrá utilizar un aditivo plastificante Tipo A.
- Se deberá tener cuidado al momento de apisonar los morteros, esto debido a que se pueden generar juntas frías entre las capas y no lograr obtener un mortero cúbico.
- A la vez se deberá tener cuidado al momento de cubrir los morteros posteriores a su conformado, debido a que los morteros que muestren exceso de agua sobre su superficie al entrar en contacto con el plástico que cubrirá, generará que la superficie expuesta cambie su textura y permanezca rugosa. De ser el caso, se podrá dejar la superficie sin cubrir, pero controlando que exista humedad en dicha superficie.
- Se recomienda investigar con cenizas de otra procedencia de materiales orgánicos, como madera, bagazo, maíz, etc.
- Evaluar otros ensayos como la resistencia a la adherencia de un ladrillo con mortero, fluidez, desgaste, entre otros.
- Se recomienda evaluar la ceniza de cascarilla de arroz a otras temperaturas, a una temperatura más alta que la del presente proyecto, utilizar ceniza de residuo de algunas empresas industriales para aprovechar los deshechos, haciendo un análisis de la ceniza previamente.

REFERENCIAS

- Ajiwe, V., Okeke, C. & Akigwe, F. (2000). *Bioresour. Technology*. Países Bajos: Elsevier.
- Arriola, D. (2009). *Diseño de Morteros con Cementos Hidráulicos para la Construcción de Muros con Elementos de Mampostería*. (Tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- Cámara Peruana de la Construcción CAPECO (2003). *Costos y Presupuestos en Edificaciones*. Lima: COLECCIÓN DEL CONSTRUCTOR
- Camargo, P., Pereira, A., Akasaki, J., Fioriti, C., Payá, J., & Pinhero, J. (2014). *Rendimiento de morteros producidos con la incorporación de ceniza de bagazo de caña de azúcar*. (Trabajo de Investigación). Universidad Estatal Paulista (UNESP), Sao Paulo, Brasil.
- Corona, M. (1996). *Concretos dosificados con cemento portland y ceniza volante*. (Tesis). Universidad de Sonora, Sonora, México.
- García, A. (2000). *Morteros de Restauración y Ornamentación*. Universidad de Granada, Granada, España
- Gómez, A. (2009). *Caracterización y utilización de puzolanas como aditivos minerales activos en cementos. Aplicación en viviendas de bajo coste* (Proyecto de Fin de Carrera). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Gutierrez, L. (2003). *El Concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia, Colombia.
- Ismail, H., Nizam, J. & Khalil, H. (1999). *European Polymer Journal*. Países Bajos: Elsevier.
- Jauberthie, R., Rendell, F., Tamba, S. & Cisse, I. (2000); *Construction and Building Materials*. Países Bajos: Elsevier.
- Juárez, Q. (2008). *La utilización de cáscara de arroz bajo el proceso de calcinación controlada como puzolana artificial en el diseño de morteros para acabados*. (Tesis). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- Mena, V. (1972). *Guía para fabricación y control de obras pequeñas*. Instituto de Ingeniería México, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- Molina, O., Moraguez, A. & Gálvez, J. (2008). *La Influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ión cloruro y del dióxido de carbono*. (Tesis). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España.

Neville, A. (1980). *Tecnología del Concreto Tomo I y II*. Instituto mexicano del cemento y del concreto. Ciudad de México, México.

Pasquel, E. (1999) *Tópicos de Tecnología del Concreto*. Lima, Perú.

Rivera, G. (2013). *Concreto Simple*. Universidad del Cauca, Cauca, Colombia.

Salas, J., Castillo, P., Sánchez, M. & Veras, J. (1986). *Empleo de cenizas de cáscara de arroz como adiciones en morteros*. (Trabajo de Investigación). Instituto E. Torroja, Madrid, España.

Salamanca, R (2001). *La tecnología de los morteros*. En Revista Ciencia e Ingeniería Neogranadina, pp. 41 – 48. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/911/91101107.pdf>

Sánchez, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

Vasquez, R & Vigil, P. (2000) *Las cenizas de cáscara de arroz, adición puzolánica en cemento y concreto*. (Investigación Científica). Universidad de Piura, Piura, Perú.

ASTM International (2007). *Designation C109. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*. Estados Unidos.

ASTM International (2004). *Designation C1585. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*. Estados Unidos.

ASTM International (2006). *Designation C642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*. Estados Unidos.

ASTM International (2002). *Designation C144. Standard Specification for Aggregate for Masonry Mortar*. Estados Unidos.

ASTM International (2015). *Designation C 618. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete*. Estados Unidos.

ASTM International (2007). *Designation: C270. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry*. Estados Unidos.

INDECOPI (2014). *Norma Técnica Peruana 334.090. CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos*. Perú, Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales.

¿Por qué estudiar Ingeniería Civil en Perú? (2017). Noticias Universia Perú.

Recuperado el 26 de junio de 2017, de

<http://noticias.universia.edu.pe/educacion/noticia/2017/03/06/1150147/estudiar-ingenieria-civil-peru.html>

INEI: Producción de arroz cáscara creció 59.6% en noviembre 2016 (2017). Andina

Recuperado el 26 de junio de 2017, de

<http://www.andina.com.pe/agencia/noticia-inei-produccion-arroz-cascara-crecio-596-noviembre-2016-650629.aspx>

ANEXOS

Anexo n°1: Procedimiento experimental – panel fotográfico



Figura 23: Absorción y peso específico del agregado fino - Laboratorio de concreto UPN



Figura 24: Preparación de solución para ensayo de equivalente de arena - Laboratorio de concreto UPN



Figura 25: Equivalente de arena - Laboratorio de concreto UPN



Figura 27: Desmoldado de probetas - Laboratorio de concreto UNT



Figura 26: Lote de probetas secas - Laboratorio de concreto UNT



Figura 28: Resistencia a la compresión - Laboratorio de concreto UNT



Figura 29: Peso en estado superficialmente seco -
Laboratorio de concreto UNT
Fuente propia

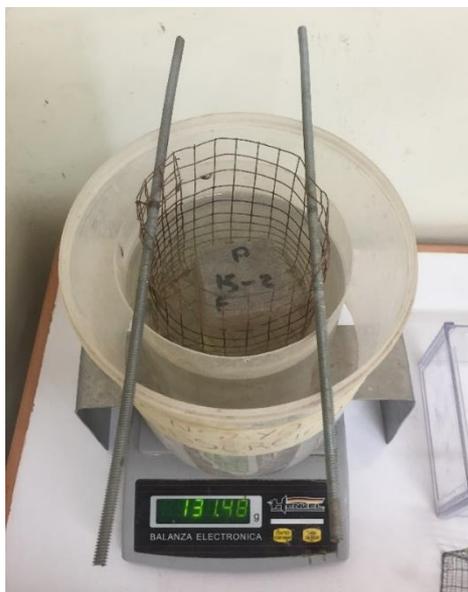


Figura 31: Peso suspendido - Laboratorio
de concreto UNT
Fuente propia



Figura 30: Probetas secando en estufa
- Laboratorio de concreto UNT
Fuente propia



Figura 32: Probetas capiadas con azufre – Laboratorio de Universidad Nacional de Trujillo
Fuente propia



Figura 33: Sorptividad
Fuente propia

Anexo n°2: Ficha técnica del Cemento Portland Tipo I



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Telefono 317 - 6000



SGC-REG-06-G0002
Versión 01

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 20 de Julio del 2016

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.2	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.73	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.10	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3770	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.12	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	31.7 (323)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	38.5 (392)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	46.5 (474)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	132	Mínimo 45
Fraguado Final	min	289	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2016 al 30-06-2016
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Mayo 2016
(*) Requisito opcional.



Ing. Ivanoff V. Rojas Tello
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.

Anexo n°3: ASTM C 109 - Método de Ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulg) de lado.



Designation: C 109/C 109M – 07^{ε1}

Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)¹

This standard is issued under the fixed designation C 109/C 109M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

^{ε1} NOTE—A typo in 5.9.2 was corrected editorially August 2008.

1. Scope*

1.1 This test method covers determination of the compressive strength of hydraulic cement mortars, using 2-in. or [50-mm] cube specimens.

NOTE 1—Test Method C 349 provides an alternative procedure for this determination (not to be used for acceptance tests).

1.2 This test method covers the application of the test using either inch-pound or SI units. The values stated in either system shall be regarded separately as standard. Within the text, the SI units are shown in brackets. The values stated in each system are not exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in nonconformance with the specification.

1.3 Values in SI units shall be obtained by measurement in SI units or by appropriate conversion, using the Rules for Conversion and Rounding given in Standard **IEEE/ASTM SI 10**, of measurements made in other units.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Fresh hydraulic cementitious mixtures are caustic and may cause chemical burns to skin and tissue upon prolonged exposure.²)

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:³

C 91 Specification for Masonry Cement

C 114 Test Methods for Chemical Analysis of Hydraulic Cement

C 150 Specification for Portland Cement

C 230/C 230M Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement

C 305 Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency

C 349 Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure)

C 511 Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes

C 595 Specification for Blended Hydraulic Cements

C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

C 778 Specification for Standard Sand

C 989 Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars

C 1005 Specification for Reference Masses and Devices for Determining Mass and Volume for Use in the Physical Testing of Hydraulic Cements

C 1157 Performance Specification for Hydraulic Cement

C 1328 Specification for Plastic (Stucco) Cement

C 1329 Specification for Mortar Cement

C 1437 Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar

IEEE/ASTM SI 10 Standard for Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System

3. Summary of Test Method

3.1 The mortar used consists of 1 part cement and 2.75 parts of sand proportioned by mass. Portland or air-entraining portland cements are mixed at specified water/cement ratios. Water content for other cements is that sufficient to obtain a flow of 110 ± 5 in 25 drops of the flow table. Two-inch or [50-mm] test cubes are compacted by tamping in two layers.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Copyright ASTM International
Provided by IHS under license with ASTM
No reproduction or networking permitted without license from IHS

1
Licensee—Purdue University/5923082001
Not for Resale; 12/17/2008 14:58:35 MST

Anexo n°4: ASTM C 1585 - Método de ensayo normalizado para medir el ritmo de absorción de agua de los hormigones de cemento hidráulico



Designation: C 1585 – 04^{ε1}

Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic- Cement Concretes¹

This standard is issued under the fixed designation C 1585; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{ε1} NOTE—A typo in Eq 1 was corrected editorially in December 2007.

1. Scope

1.1 This test method is used to determine the rate of absorption (sorptivity) of water by hydraulic cement concrete by measuring the increase in the mass of a specimen resulting from absorption of water as a function of time when only one surface of the specimen is exposed to water. The exposed surface of the specimen is immersed in water and water ingress of unsaturated concrete dominated by capillary suction during initial contact with water.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

C 31/C 31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

C 42/C 42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates

C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

C 642 Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete

C 1005 Specification for Reference Masses and Devices for Determining Mass and Volume for Use in the Physical Testing of Hydraulic Cements

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.66 on Concrete's Resistance to Fluid Penetration.

Current edition approved Feb. 1, 2004. Published March 2004.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this standard, refer to Terminology C 125.

4. Significance and Use

4.1 The performance of concrete subjected to many aggressive environments is a function, to a large extent, of the penetrability of the pore system. In unsaturated concrete, the rate of ingress of water or other liquids is largely controlled by absorption due to capillary rise. This test method is based on that developed by Hall³ who called the phenomenon "water sorptivity."

4.2 The water absorption of a concrete surface depends on many factors including: (a) concrete mixture proportions; (b) the presence of chemical admixtures and supplementary cementitious materials; (c) the composition and physical characteristics of the cementitious component and of the aggregates; (d) the entrained air content; (e) the type and duration of curing; (f) the degree of hydration or age; (g) the presence of microcracks; (h) the presence of surface treatments such as sealers or form oil; and (i) placement method including consolidation and finishing. Water absorption is also strongly affected by the moisture condition of the concrete at the time of testing.

4.3 This method is intended to determine the susceptibility of an unsaturated concrete to the penetration of water. In general, the rate of absorption of concrete at the surface differs from the rate of absorption of a sample taken from the interior. The exterior surface is often subjected to less than intended curing and is exposed to the most potentially adverse conditions. This test method is used to measure the water absorption rate of both the concrete surface and interior concrete. By drilling a core and cutting it transversely at selected depths, the absorption can be evaluated at different distances from the exposed surface. The core is drilled vertically or horizontally.

4.4 This test method differs from Test Method C 642 in which the specimens are oven dried, immersed completely in

³ Hall, C., "Water Sorptivity of Mortars and Concretes: A Review," *Magazine of Concrete Research*, Vol. 41, No. 147, June 1989, pp. 51-61.

Anexo n°5: ASTM C 642 - Método de ensayo. Determinación de la densidad, la absorción de agua y los vacíos en el concreto endurecido.



Designation: C 642 – 06

Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 642; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope*

1.1 This test method covers the determinations of density, percent absorption, and percent voids in hardened concrete.

1.2 The text of this test method references notes and footnotes which provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this standard.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

2. Significance and Use

2.1 This test method is useful in developing the data required for conversions between mass and volume for concrete. It can be used to determine conformance with specifications for concrete and to show differences from place to place within a mass of concrete.

3. Apparatus

3.1 *Balance*, sensitive to 0.025 % of the mass of the specimen.

3.2 *Container*, suitable for immersing the specimen and suitable wire for suspending the specimen in water.

4. Test Specimen

4.1 Whenever possible, the sample shall consist of several individual portions of concrete, each to be tested separately. The individual portions may be pieces of cylinders, cores, or beams of any desired shape or size, except that the volume of each portion shall be not less than 350 cm³ (or for normal weight concrete, approximately 800 g); and each portion shall be free from observable cracks, fissures, or shattered edges.

5. Procedure

5.1 *Oven-Dry Mass*—Determine the mass of the portions, and dry in an oven at a temperature of 100 to 110 °C for not less than 24 h. After removing each specimen from the oven, allow it to cool in dry air (preferably in a desiccator) to a

temperature of 20 to 25 °C and determine the mass. If the specimen was comparatively dry when its mass was first determined, and the second mass closely agrees with the first, consider it dry. If the specimen was wet when its mass was first determined, place it in the oven for a second drying treatment of 24 h and again determine the mass. If the third value checks the second, consider the specimen dry. In case of any doubt, redry the specimen for 24-h periods until check values of mass are obtained. If the difference between values obtained from two successive values of mass exceeds 0.5 % of the lesser value, return the specimens to the oven for an additional 24-h drying period, and repeat the procedure until the difference between any two successive values is less than 0.5 % of the lowest value obtained. Designate this last value *A*.

5.2 *Saturated Mass After Immersion*—Immerse the specimen, after final drying, cooling, and determination of mass, in water at approximately 21 °C for not less than 48 h and until two successive values of mass of the surface-dried sample at intervals of 24 h show an increase in mass of less than 0.5 % of the larger value. Surface-dry the specimen by removing surface moisture with a towel, and determine the mass. Designate the final surface-dry mass after immersion *B*.

5.3 *Saturated Mass After Boiling*—Place the specimen, processed as described in 5.2, in a suitable receptacle, covered with tap water, and boil for 5 h. Allow it to cool by natural loss of heat for not less than 14 h to a final temperature of 20 to 25 °C. Remove the surface moisture with a towel and determine the mass of the specimen. Designate the soaked, boiled, surface-dried mass *C*.

5.4 *Immersed Apparent Mass*—Suspend the specimen, after immersion and boiling, by a wire and determine the apparent mass in water. Designate this apparent mass *D*.

6. Calculation

6.1 By using the values for mass determined in accordance with the procedures described in Section 5, make the following calculations:

$$\text{Absorption after immersion, \%} = [(B - A)/A] \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Absorption after immersion and boiling, \%} = [(C - A)/A] \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Bulk density, dry} = [A/(C - D)] \cdot \rho = g_1 \quad (3)$$

$$\text{Bulk density after immersion} = [B/(C - D)] \cdot \rho \quad (4)$$

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.69 on Miscellaneous Tests.

Current edition approved July 1, 2006. Published August 2006. Originally approved in 1969. Last previous edition approved in 1997 as C 642 – 97.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Anexo n°6: Informe de ceniza de cascarilla de arroz



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Polímeros

INFORME N° 05- EN 17

Solicitante: Aliaga Angulo, Agustín Junior DNI: –Universidad Privada del Norte

Tesis: EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ Y TIPOS DE AGREGADO FINO SOBRE LA COMPRESIÓN, SORPTIVIDAD Y DENSIDAD DE MORTEROS DE CEMENTO

RUC/DNI: DNI 72103416

1. MUESTRA: Cascarilla de arroz (1 gr)

N° de Muestras	Código de Muestra	Cantidad de muestra ensayada	Procedencia
1	CA-20E	10 mg	...

2. ENSAYOS A APLICAR

- Análisis térmico por calorimetría diferencial de barrido DSC/ Análisis térmico Diferencial DTA.
- Análisis Termogravimétrico TGA.

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- Analizador Térmico simultáneo TG_DTA_DSC Cap. Máx.: 1600°C SetSys_Evolution, cumple con normas ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
- Tasa de calentamiento: 20 °C/min
- Gas de Trabajo - Flujo: Nitrógeno, 10 ml/min
- Rango de Trabajo: 25 – 800 °C.
- Masa de muestra analizada: 10 mg.

Jefe de Laboratorio: Ing. Danny Chávez Novoa

Analista responsable: Ing. Danny Chávez Novoa

Trujillo, 21 de Enero del 2017

Anexo n°7: Caracterización de la arena fina y arena gruesa

Determinación del módulo de finura – NTP 400.012

Arena Fina

Abert. Malla		Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa	Peso Retenido (gr)	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
Pulg/malla	mm												
No 4	4.750	0.00	0	0	100	0.00	0	0	100	0.000	0	0	100
No 8	2.360	0.00	0	0	100	0.00	0	0	100	0.000	0	0	100
No 16	1.180	0.00	0	0	100	0.00	0	0	100	0.000	0	0	100
No 20	0.850	0.00	0	0	100	0.00	0	0	100	0.000	0	0	100
No 30	0.600	0.18	0	0	100	0.19	0	0	100	0.110	0	0	100
No 40	0.425	0.16	0	0	100	0.10	0	0	100	0.090	0	0	100
No 60	0.250	41.12	12	12	88	36.33	12	12	88	34.430	11	11	89
No 100	0.150	261.38	74	86	14	234.67	75	86	14	232.700	74	85	15
bc		48.35	14	100	1	43.61	14	100	1	46.110	15	100	1
		351.19	100.00			314.90	100.00			313.440	100.00		

Muestra	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Módulo de Finura	0.98	0.98	0.96

Arena Gruesa

Abert. Malla		Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
Pulg/malla	mm	Peso Retenido (kg)	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa	Peso Retenido (kg)	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa	Peso Retenido (kg)	% Retenido	% Ret Acumulado	% Pasa
No 4	4.75	0.02	3	3	97	0.02	3	3	97	0.01	2	2	98
No 8	2.36	0.06	9	12	88	0.06	9	12	88	0.05	9	11	88
No 16	1.18	0.06	9	22	78	0.05	9	21	79	0.05	8	19	81
No 30	0.60	0.12	18	40	60	0.12	20	40	60	0.12	21	40	60
No 50	0.300	0.21	32	72	28	0.20	33	73	27	0.20	34	74	26
No 100	0.15	0.15	22	95	5	0.13	21	95	5	0.12	21	95	5
bc		0.03	5	100	0	0.03	5	100	0	0.03	5	100	0
		0.65	100.00			0.61	100.00			0.58	100.00		

Muestra	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Módulo de Finura	2.44	2.44	2.41

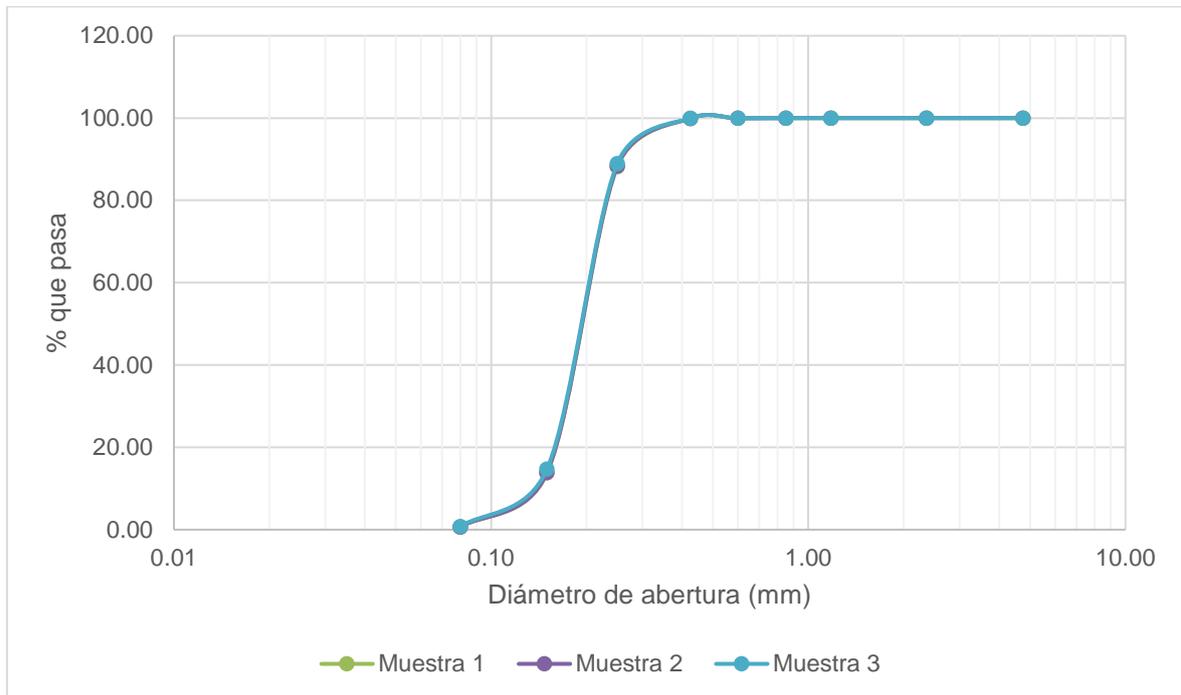


Figura 34: Comportamiento granulométrico de la arena fina
 Elaboración propia

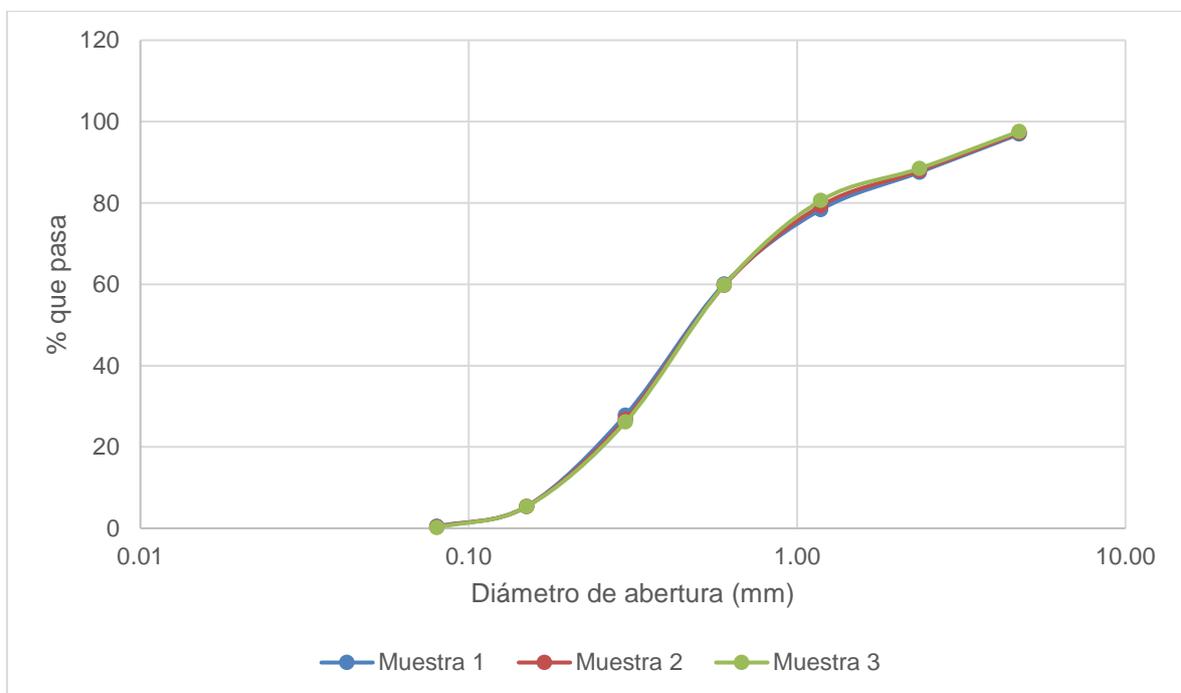


Figura 35: Comportamiento granulométrico de la arena gruesa
 Elaboración propia

Determinación del Contenido de Humedad – NTP 339.185

Arena	Muestra	Peso molde (gr)	Peso molde + material húmedo (gr)	Peso Húmedo (gr)	Peso molde + Material seco (gr)	Peso Seco (gr)	Contenido Humedad (%)	Promedio (%)
Arena Fina	Muestra 1	24.9	83.3	58.4	82.7	57.8	1.0	1.0
	Muestra 2	23.0	99.7	76.7	99.0	76.0	1.0	
	Muestra 3	28.5	128.9	100.4	128.0	99.5	1.0	
Arena Gruesa	Muestra 1	67.2	182.4	115.2	181.7	114.5	0.6	0.6
	Muestra 2	72.6	180.0	107.4	179.4	106.8	0.6	
	Muestra 3	71.8	175.6	103.8	175.0	103.2	0.6	

Determinación del Peso Específico y Absorción – NTP 400.022

Arena	Muestra	A (gr)	B (gr)	C (gr)	S (gr)
Arena Fina	Muestra 1	409.7	673.5	931.8	419.5
	Muestra 2	413.1	669.1	931.3	422.9
	Muestra 3	412.9	674.6	934.8	422.6
Arena Gruesa	Muestra 1	428.8	673.8	939.9	433.2
	Muestra 2	445.4	663.2	940.9	449.9
	Muestra 3	432.6	657.4	925.8	437.1

Donde:

A: Masa de la muestra seca en la estufa (gr)

B: Masa de la fiola más agua hasta la marca de calibración (gr)

C: Masa de la fiola más muestra, más agua hasta la marca de calibración (gr)

S: Masa de la muestra en estado saturado superficialmente seco (gr)

Arena	Muestra	Absorción (%)	Peso específico (gr/cm ³)	Promedio Absorción (%)	Promedio Pe (gr/cm ³)
Arena Fina	Muestra 1	2.4	2.54	2.4	2.55
	Muestra 2	2.4	2.57		
	Muestra 3	2.4	2.54		
Arena Gruesa	Muestra 1	1.0	2.57	1.0	2.57
	Muestra 2	1.0	2.59		
	Muestra 3	1.0	2.56		

Determinación del Peso Unitario Suelto y Compactado (PUSS y PUCS) – NTP 400.017

Peso Unitario Suelto Seco – PUSS

Arena	Muestra	Peso Recipiente (Kg)	Peso agregado + recipiente (kg)	Volumen recipiente (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)
Arena Fina	Muestra 1	6.635	9.640	0.0020499	1470	1470
	Muestra 2	6.635	9.635	0.0020499	1460	
	Muestra 3	6.635	9.670	0.0020499	1480	
Arena Gruesa	Muestra 1	5.974	9.463	0.0020499	1700	1710
	Muestra 2	5.974	9.473	0.0020499	1710	
	Muestra 3	5.974	9.48	0.0020499	1710	

Peso Unitario Compactado Seco – PUCS

Arena	Muestra	Peso Recipiente (Kg)	Peso agregado + recipiente (kg)	Volumen recipiente (m ³)	Peso Unitario (kg/m ³)	Promedio (kg/m ³)
Arena Fina	Muestra 1	6.635	10.000	0.0020499	1640	1640
	Muestra 2	6.635	10.005	0.0020499	1640	
	Muestra 3	6.635	10.010	0.0020499	1650	
Arena Gruesa	Muestra 1	5.974	9.814	0.0020499	1870	1880
	Muestra 2	5.974	9.818	0.0020499	1880	
	Muestra 3	5.974	9.831	0.0020499	1880	

Determinación del Valor Equivalente de Arena del agregado fino – NTP 339.146

Arena	Parámetros	Muestra 1	Muestra 2	Promedio
Arena Fina	Peso tara (kg)	0.016	0.016	97
	Peso tara + muestra (kg)	0.124	0.130	
	Peso muestra (kg)	0.108	0.114	
	Tiempo inicial	15:41	15:41	
	Lectura arcillas (cm)	3.8	4.0	
	Lectura arenas (cm)	3.6	3.9	
	Equivalente de Arena (%)	95	98	
Arena Gruesa	Peso tara (g)	14.5	14.5	77
	Peso tara + muestra (g)	131.0	130.0	
	Peso muestra (g)	116.5	115.5	
	Tiempo inicial	12:44	12:44	
	Lectura arcillas (cm)	4.7	4.7	
	Lectura arenas (cm)	3.5	3.7	
	Equivalente de Arena (%)	75	79	

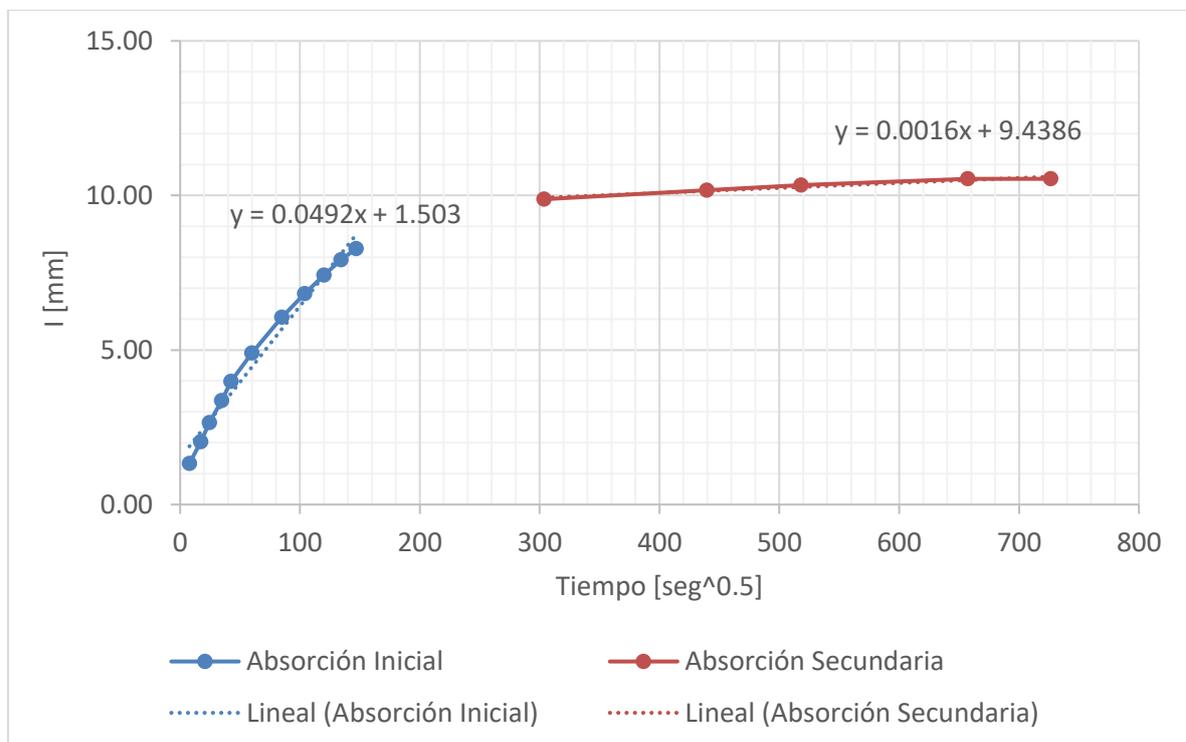
**Anexo n°8: Resistencia a la compresión de cubos de morteros de acuerdo al ASTM
C109**

Arena	Ceniza (%)	Muestra	Carga Aplicada (KN)	Resistencia Compresión (N/mm ²)	Resistencia Compresión (Kg/cm ²)	Promedio (Kg/cm ²)	Variación respecto al promedio (%)
Fina	0	1	17.20	6.87	69.7	71.8	-2.2
Fina	0	2	18.20	7.30	74.0		2.2
Fina	0	3	17.72	7.09	71.9		0.0
Fina	1	1	20.53	8.21	83.3	83.0	0.3
Fina	1	2	20.40	8.17	82.8		-0.2
Fina	1	3	20.40	8.18	82.9		-0.1
Fina	2	1	22.32	8.93	90.5	91.8	-1.2
Fina	2	2	21.90	8.77	88.9		-2.9
Fina	2	3	23.60	9.46	95.9		4.1
Fina	3	1	21.30	8.51	86.3	89.3	-3.0
Fina	3	2	22.30	8.92	90.4		1.1
Fina	3	3	22.50	9.01	91.3		2.0
Fina	4	1	15.40	6.17	62.5	63.9	-1.3
Fina	4	2	15.60	6.24	63.3		-0.6
Fina	4	3	16.20	6.48	65.8		1.9
Gruesa	0	1	49.20	19.70	204.2	211.3	-7.0
Gruesa	0	2	52.30	20.93	212.2		1.0
Gruesa	0	3	53.60	21.43	217.3		6.1
Gruesa	1	1	56.01	22.40	227.2	226.8	-0.3
Gruesa	1	2	52.80	21.11	214.1		-2.1
Gruesa	1	3	59.00	23.59	239.2		2.4
Gruesa	2	1	47.90	19.17	194.4	196.9	-2.5
Gruesa	2	2	48.10	19.24	195.1		-1.8
Gruesa	2	3	49.60	19.84	201.2		4.3
Gruesa	3	1	43.27	17.31	175.5	175.5	0.0
Gruesa	3	2	43.41	17.36	176.1		0.6
Gruesa	3	3	43.10	17.24	174.8		-0.6
Gruesa	4	1	34.30	13.73	139.2	142.7	-3.5
Gruesa	4	2	35.50	14.19	143.9		1.2
Gruesa	4	3	35.70	14.30	145.0		2.3

Anexo n°9: Sorptividad bajo la norma ASTM C1585

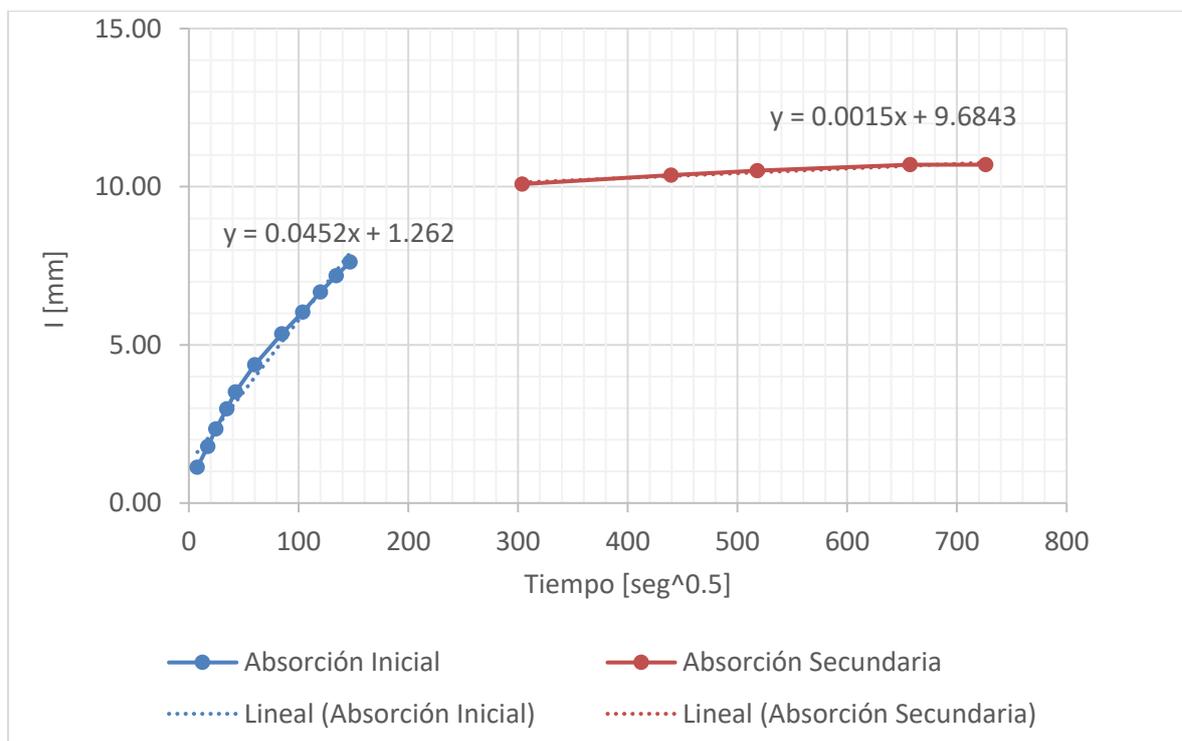
Mortero de Arena Fina: Adición 0%-Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	ΔMasa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	238.63	0.00	0.0000
	60	8	242.01	3.38	1.3255
	300	17	243.81	5.18	2.0314
	600	24	245.38	6.75	2.6471
	1200	35	247.21	8.58	3.3647
	1800	42	248.79	10.16	3.9843
	3600	60	251.12	12.49	4.8980
	7200	85	254.07	15.44	6.0549
	10800	104	256.03	17.40	6.8235
	14400	120	257.57	18.94	7.4275
	18000	134	258.81	20.18	7.9137
	21600	147	259.75	21.12	8.2824
1	92220	304	263.82	25.19	9.8784
2	193200	440	264.55	25.92	10.1647
3	268500	518	264.98	26.35	10.3333
5	432000	657	265.50	26.87	10.5373
6	527580	726	265.50	26.87	10.5373



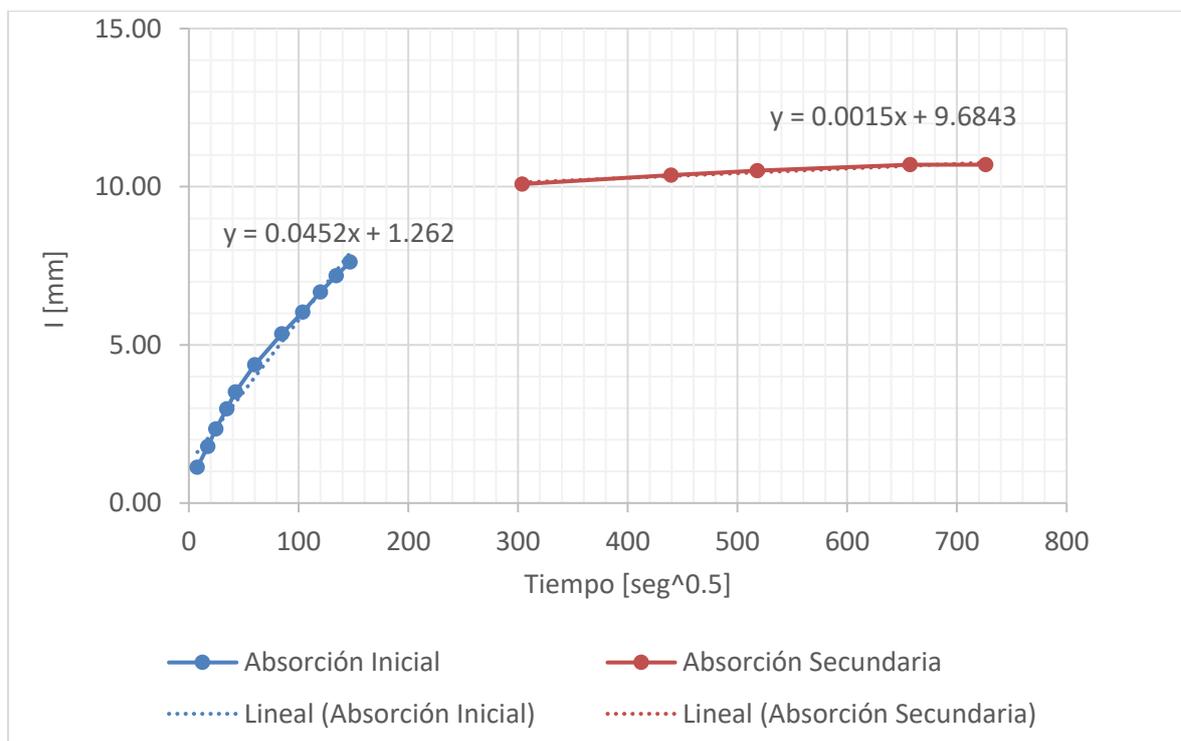
Mortero de Arena Fina: Adición 0%-Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	242.43	0.00	0.0000
	60	8	245.27	2.84	1.1365
	300	17	246.89	4.46	1.7847
	600	24	248.29	5.86	2.3449
	1200	35	249.87	7.44	2.9772
	1800	42	251.22	8.79	3.5174
	3600	60	253.37	10.94	4.3778
	7200	85	255.80	13.37	5.3501
	10800	104	257.53	15.10	6.0424
	14400	120	259.11	16.68	6.6747
	18000	134	260.40	17.97	7.1909
	21600	147	261.47	19.04	7.6190
1	92220	304	267.63	25.20	10.0840
2	193200	440	268.33	25.90	10.3641
3	268500	518	268.69	26.26	10.5082
5	432000	657	269.16	26.73	10.6963
6	527580	726	269.16	26.73	10.6963



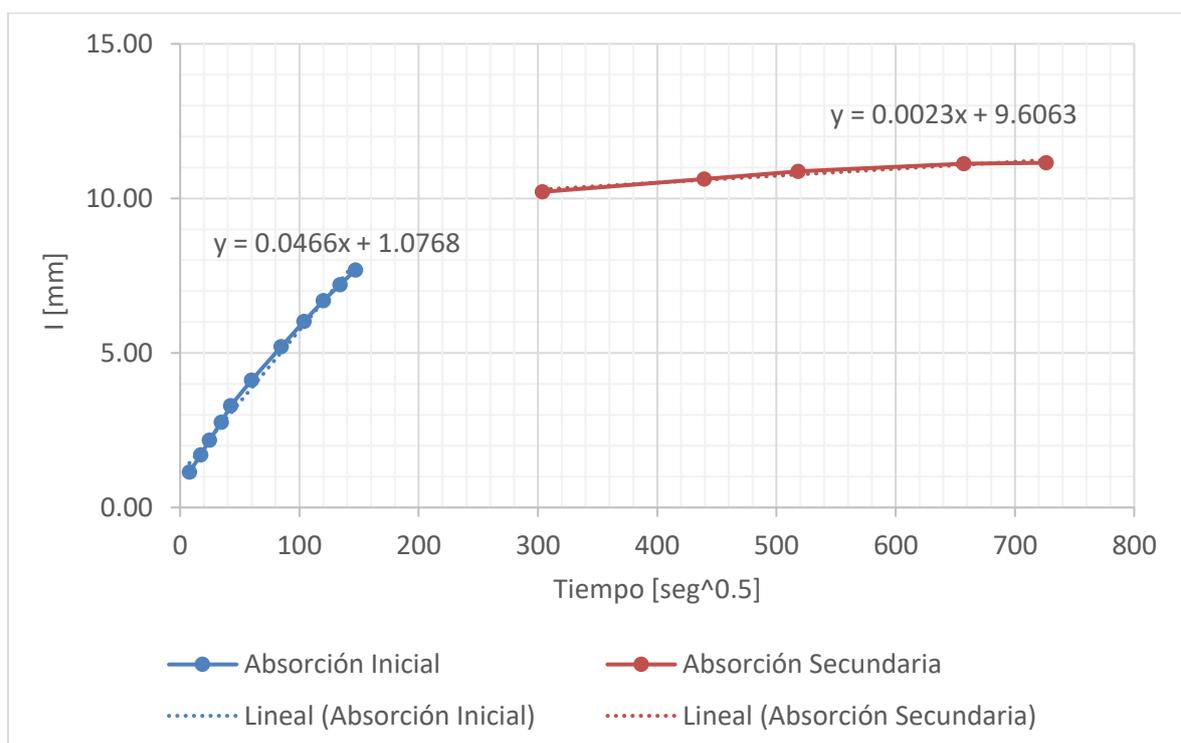
Mortero de Arena Fina: Adición 0%-Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	242.43	0.00	0.0000
	60	8	245.27	2.84	1.1365
	300	17	246.89	4.46	1.7847
	600	24	248.29	5.86	2.3449
	1200	35	249.87	7.44	2.9772
	1800	42	251.22	8.79	3.5174
	3600	60	253.37	10.94	4.3778
	7200	85	255.80	13.37	5.3501
	10800	104	257.53	15.10	6.0424
	14400	120	259.11	16.68	6.6747
	18000	134	260.40	17.97	7.1909
	21600	147	261.47	19.04	7.6190
1	92220	304	267.63	25.20	10.0840
2	193200	440	268.33	25.90	10.3641
3	268500	518	268.69	26.26	10.5082
5	432000	657	269.16	26.73	10.6963
6	527580	726	269.16	26.73	10.6963



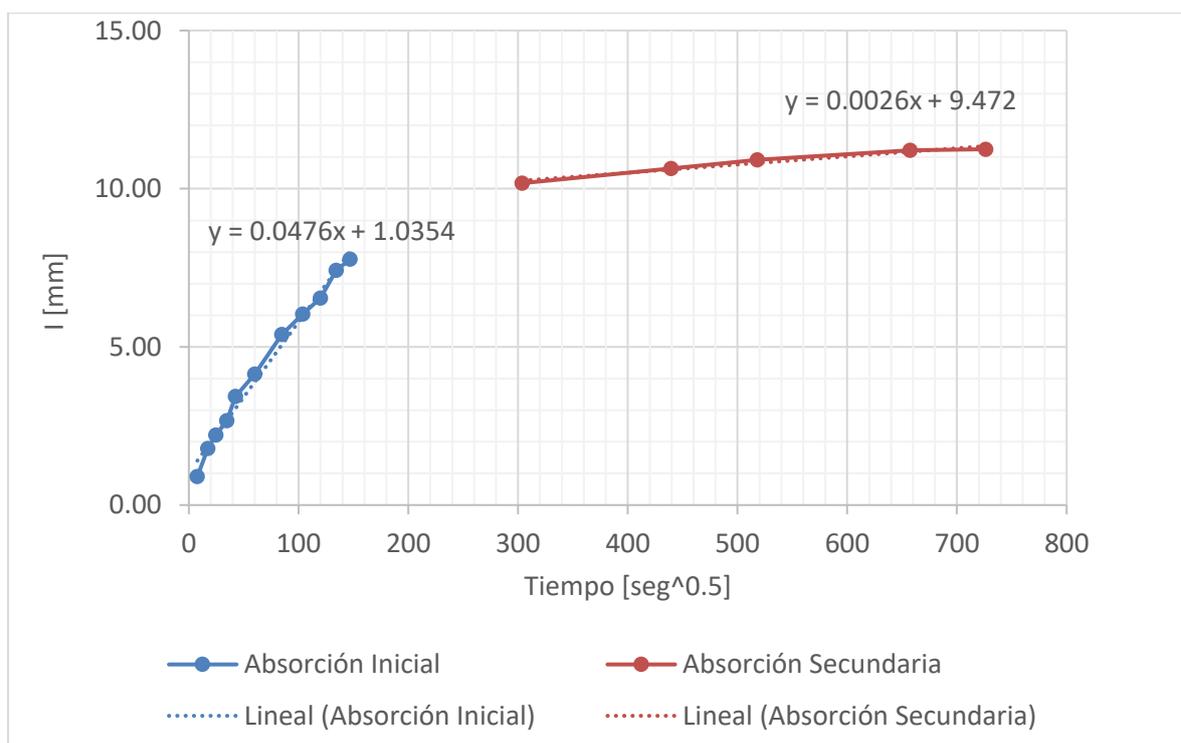
Mortero de Arena Fina: Adición 1%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	238.32	0.00	0.0000
	60	8	241.18	2.86	1.1440
	300	17	242.57	4.25	1.7000
	600	24	243.77	5.45	2.1800
	1200	35	245.22	6.90	2.7600
	1800	42	246.55	8.23	3.2920
	3600	60	248.63	10.31	4.1240
	7200	85	251.33	13.01	5.2040
	10800	104	253.37	15.05	6.0200
	14400	120	255.04	16.72	6.6880
	18000	134	256.35	18.03	7.2120
	21600	147	257.54	19.22	7.6880
1	92220	304	263.85	25.53	10.2120
2	193200	440	264.90	26.58	10.6320
3	268500	518	265.51	27.19	10.8760
5	432000	657	266.13	27.81	11.1240
6	527580	726	266.20	27.88	11.1520



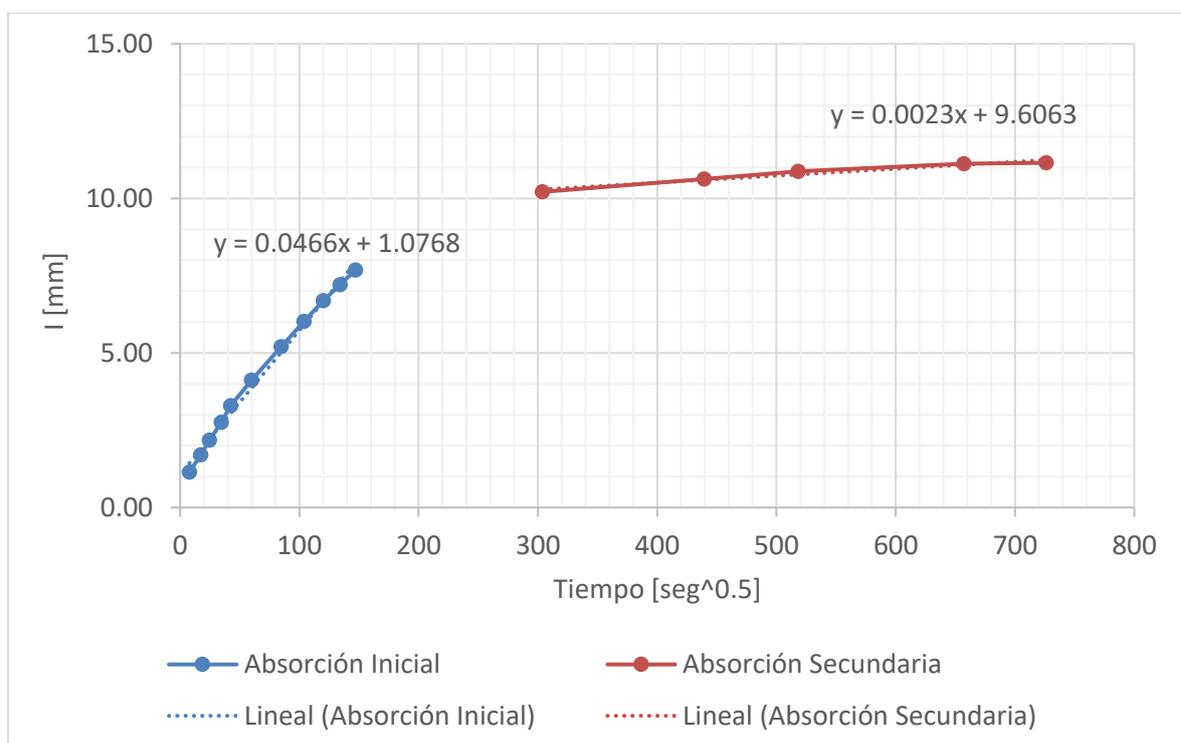
Mortero de Arena Fina: Adición 1%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	242.79	0.00	0.0000
	60	8	245.05	2.26	0.9044
	300	17	247.25	4.46	1.7847
	600	24	248.31	5.52	2.2089
	1200	35	249.46	6.67	2.6691
	1800	42	251.38	8.59	3.4374
	3600	60	253.14	10.35	4.1417
	7200	85	256.27	13.48	5.3942
	10800	104	257.87	15.08	6.0344
	14400	120	259.15	16.36	6.5466
	18000	134	261.34	18.55	7.4230
	21600	147	262.21	19.42	7.7711
1	92220	304	268.22	25.43	10.1761
2	193200	440	269.39	26.60	10.6443
3	268500	518	270.05	27.26	10.9084
5	432000	657	270.82	28.03	11.2165
6	527580	726	270.90	28.11	11.2485



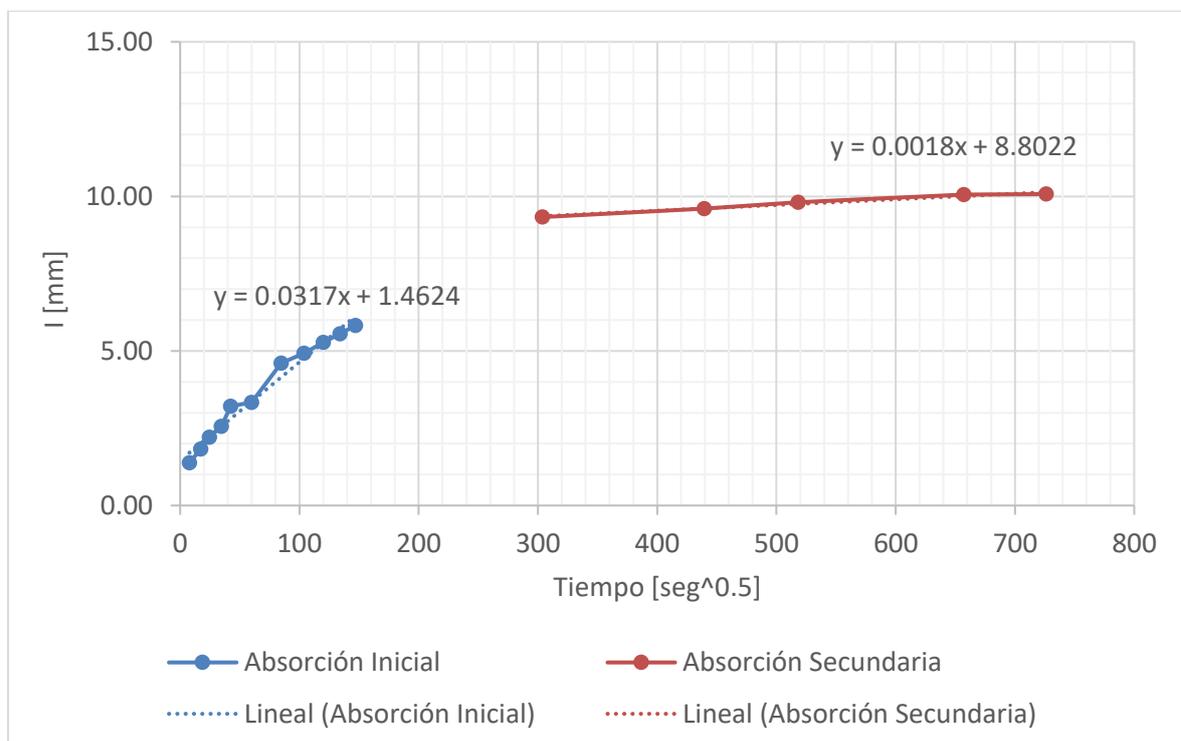
Mortero de Arena Fina: Adición 1%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	238.32	0.00	0.0000
	60	8	241.18	2.86	1.1440
	300	17	242.57	4.25	1.7000
	600	24	243.77	5.45	2.1800
	1200	35	245.22	6.90	2.7600
	1800	42	246.55	8.23	3.2920
	3600	60	248.63	10.31	4.1240
	7200	85	251.33	13.01	5.2040
	10800	104	253.37	15.05	6.0200
	14400	120	255.04	16.72	6.6880
	18000	134	256.35	18.03	7.2120
	21600	147	257.54	19.22	7.6880
1	92220	304	263.85	25.53	10.2120
2	193200	440	264.90	26.58	10.6320
3	268500	518	265.51	27.19	10.8760
5	432000	657	266.13	27.81	11.1240
6	527580	726	266.20	27.88	11.1520



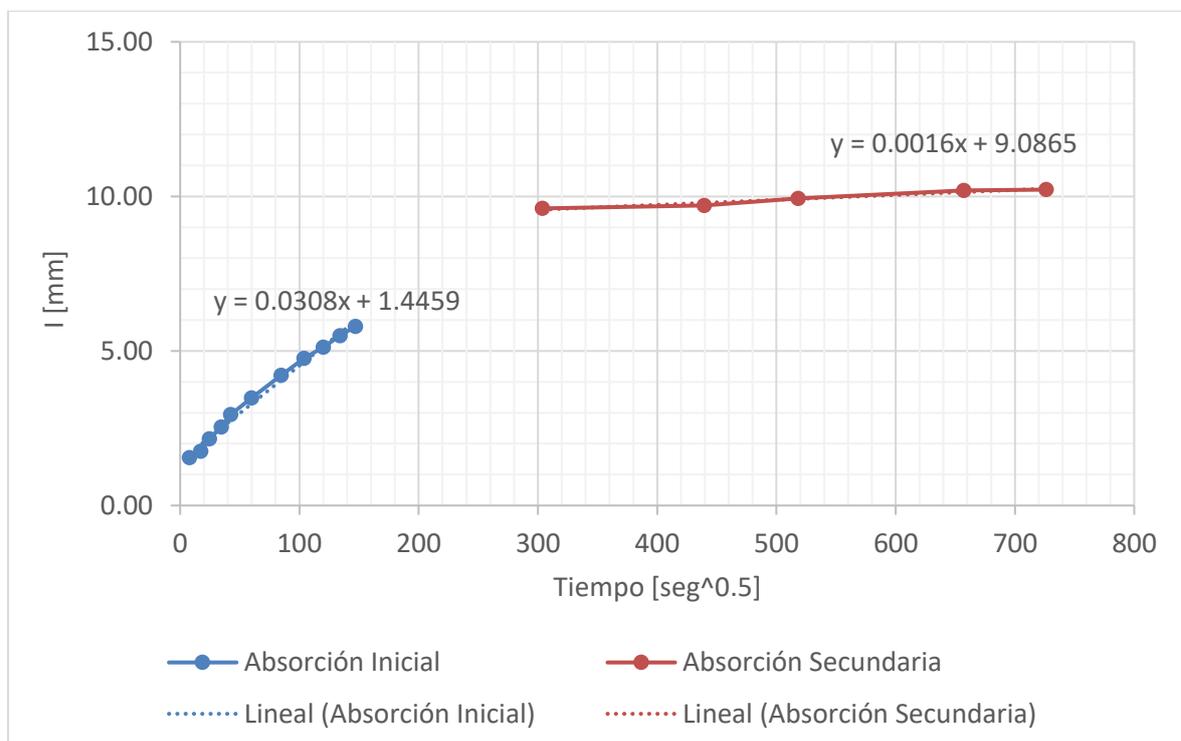
Mortero de Arena Fina: Adición 2%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	229.41	0.00	0.0000
	60	8	232.87	3.46	1.3840
	300	17	233.97	4.56	1.8240
	600	24	234.93	5.52	2.2080
	1200	35	235.81	6.40	2.5600
	1800	42	237.45	8.04	3.2160
	3600	60	237.75	8.34	3.3360
	7200	85	240.94	11.53	4.6120
	10800	104	241.74	12.33	4.9320
	14400	120	242.61	13.20	5.2800
	18000	134	243.31	13.90	5.5600
	21600	147	243.97	14.56	5.8240
1	92220	304	252.74	23.33	9.3320
2	193200	440	253.42	24.01	9.6040
3	268500	518	253.93	24.52	9.8080
5	432000	657	254.55	25.14	10.0560
6	527580	726	254.60	25.19	10.0760



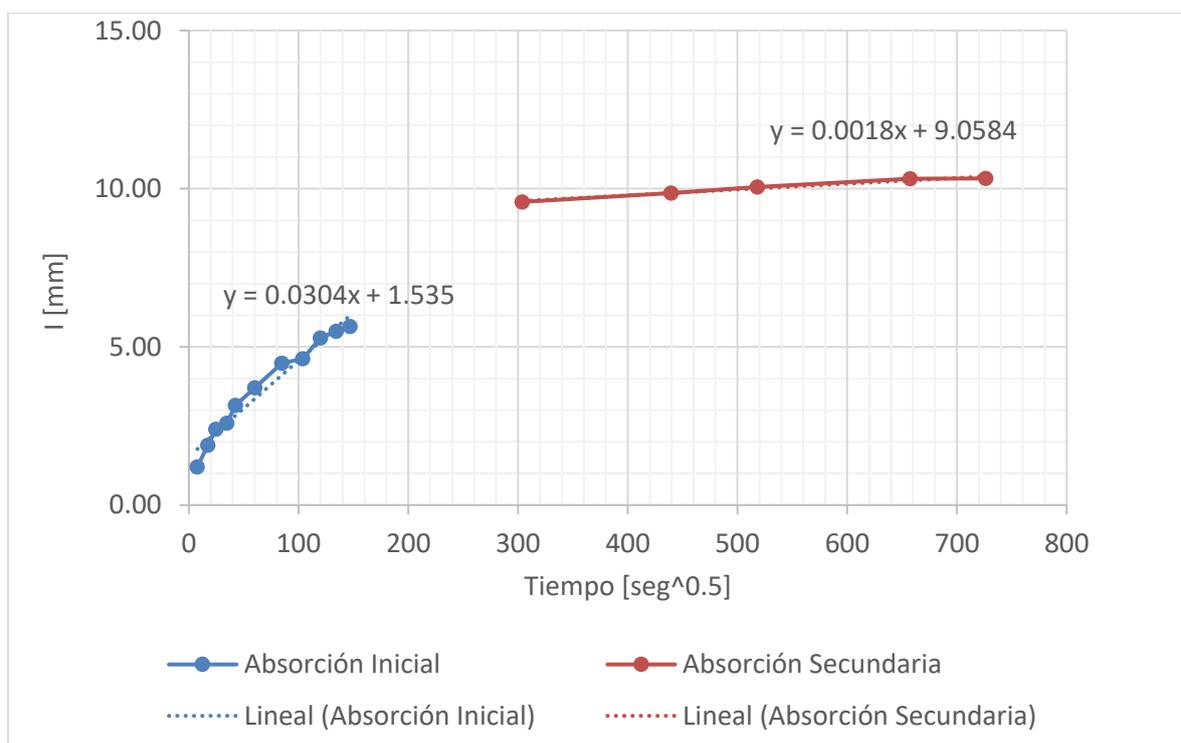
Mortero de Arena Fina: Adición 2%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	226.23	0.00	0.0000
	60	8	230.11	3.88	1.5526
	300	17	230.62	4.39	1.7567
	600	24	231.63	5.40	2.1609
	1200	35	232.59	6.36	2.5450
	1800	42	233.58	7.35	2.9412
	3600	60	234.92	8.69	3.4774
	7200	85	236.75	10.52	4.2097
	10800	104	238.13	11.90	4.7619
	14400	120	239.04	12.81	5.1261
	18000	134	239.97	13.74	5.4982
	21600	147	240.71	14.48	5.7943
1	92220	304	250.25	24.02	9.6118
2	193200	440	250.48	24.25	9.7039
3	268500	518	251.07	24.84	9.9400
5	432000	657	251.71	25.48	10.1961
6	527580	726	251.77	25.54	10.2201



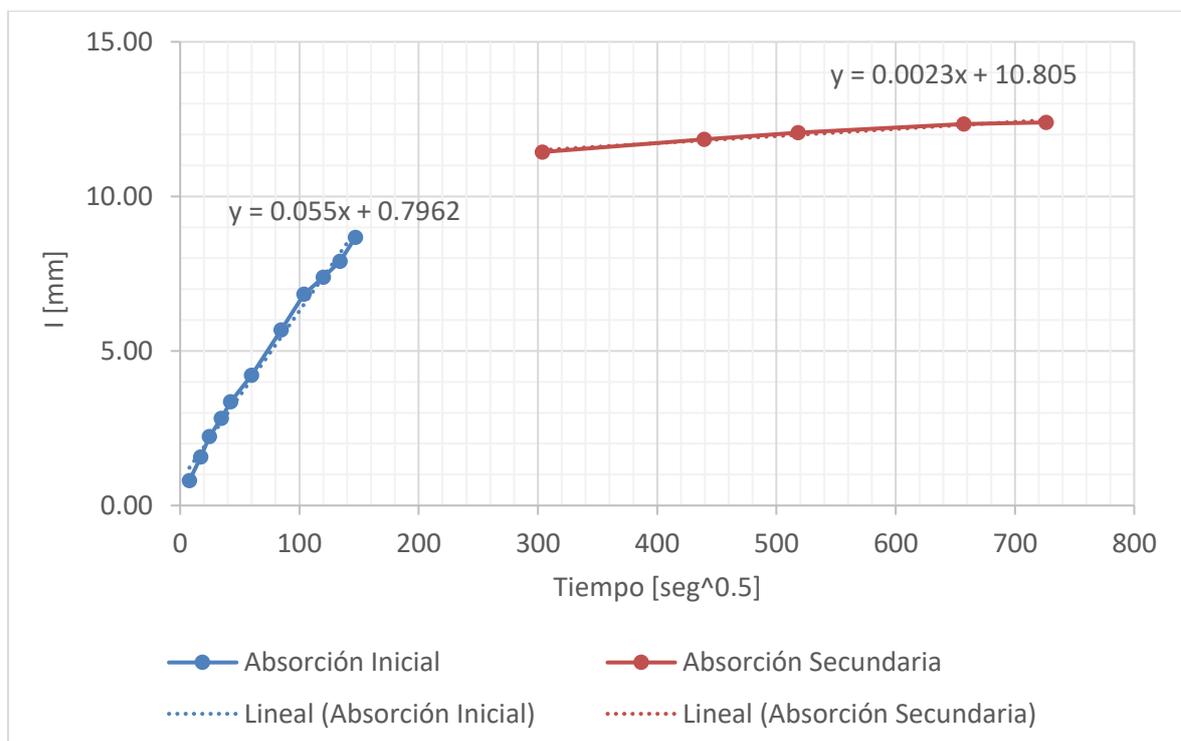
Mortero de Arena Fina: Adición 2%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	227.61	0.00	0.0000
	60	8	230.63	3.02	1.2080
	300	17	232.33	4.72	1.8880
	600	24	233.60	5.99	2.3960
	1200	35	234.07	6.46	2.5840
	1800	42	235.49	7.88	3.1520
	3600	60	236.87	9.26	3.7040
	7200	85	238.83	11.22	4.4880
	10800	104	239.18	11.57	4.6280
	14400	120	240.81	13.20	5.2800
	18000	134	241.34	13.73	5.4920
	21600	147	241.71	14.10	5.6400
1	92220	304	251.57	23.96	9.5840
2	193200	440	252.27	24.66	9.8640
3	268500	518	252.74	25.13	10.0520
5	432000	657	253.39	25.78	10.3120
6	527580	726	253.42	25.81	10.3240



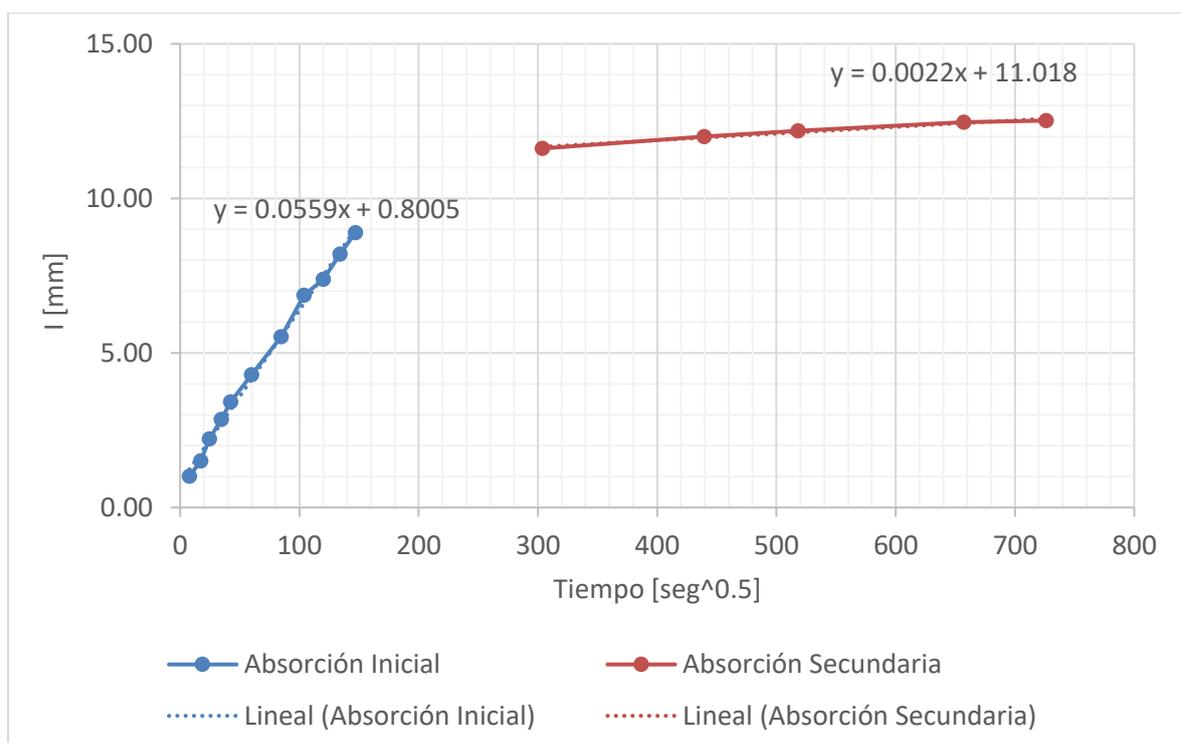
Mortero de Arena Fina: Adición 3%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	227.68	0.00	0.0000
	60	8	229.73	2.05	0.8046
	300	17	231.67	3.99	1.5659
	600	24	233.37	5.69	2.2331
	1200	35	234.86	7.18	2.8179
	1800	42	236.24	8.56	3.3595
	3600	60	238.42	10.74	4.2151
	7200	85	242.15	14.47	5.6790
	10800	104	245.09	17.41	6.8328
	14400	120	246.49	18.81	7.3823
	18000	134	247.80	20.12	7.8964
	21600	147	249.79	22.11	8.6774
1	92220	304	256.82	29.14	11.4364
2	193200	440	257.87	30.19	11.8485
3	268500	518	258.42	30.74	12.0644
5	432000	657	259.14	31.46	12.3469
6	527580	726	259.26	31.58	12.3940



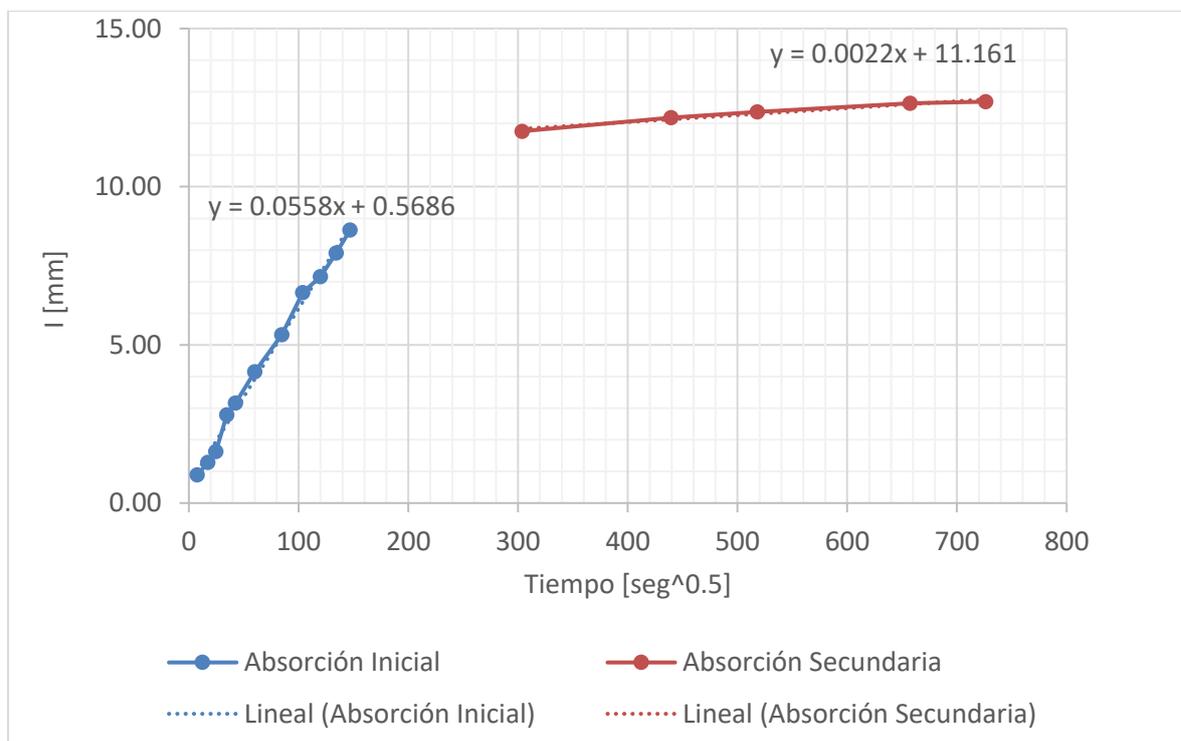
Mortero de Arena Fina: Adición 3%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	226.39	0.00	0.0000
	60	8	228.97	2.58	1.0118
	300	17	230.24	3.85	1.5098
	600	24	232.06	5.67	2.2235
	1200	35	233.67	7.28	2.8549
	1800	42	235.11	8.72	3.4196
	3600	60	237.35	10.96	4.2980
	7200	85	240.48	14.09	5.5255
	10800	104	243.90	17.51	6.8667
	14400	120	245.23	18.84	7.3882
	18000	134	247.31	20.92	8.2039
	21600	147	249.07	22.68	8.8941
1	92220	304	256.01	29.62	11.6157
2	193200	440	257.00	30.61	12.0039
3	268500	518	257.46	31.07	12.1843
5	432000	657	258.18	31.79	12.4667
6	527580	726	258.31	31.92	12.5176



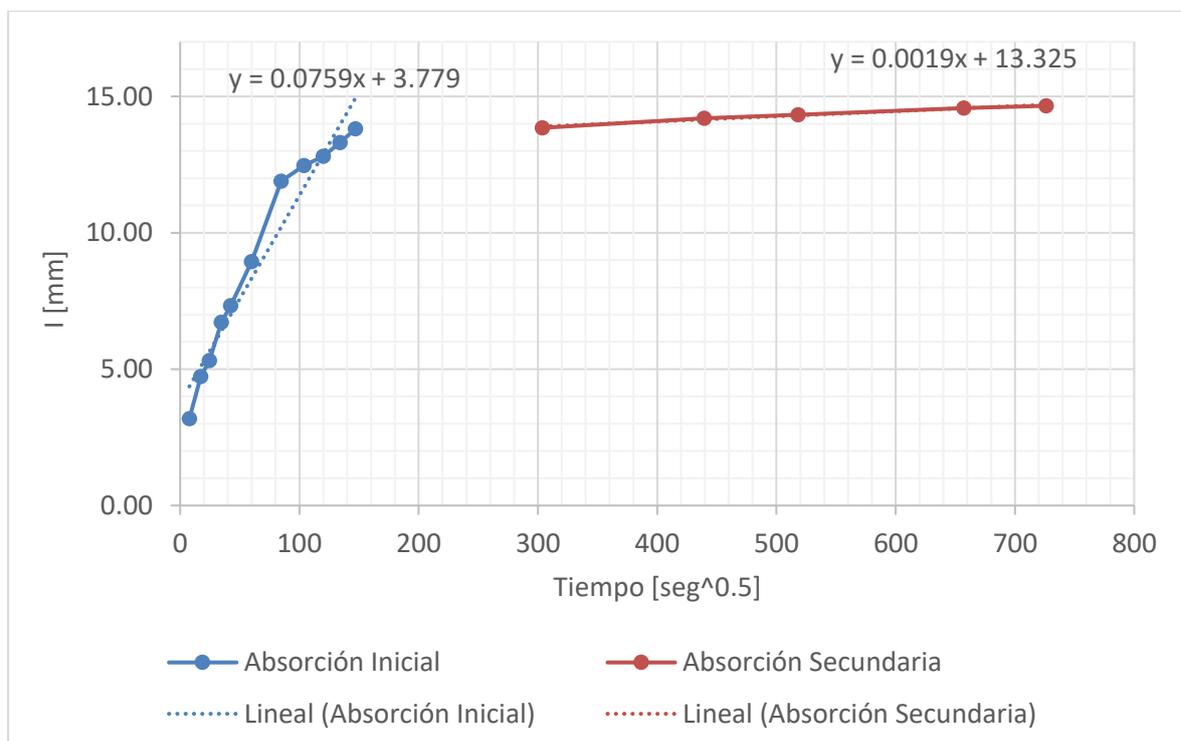
Mortero de Arena Fina: Adición 3%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	224.17	0.00	0.0000
	60	8	226.43	2.26	0.8870
	300	17	227.45	3.28	1.2873
	600	24	228.33	4.16	1.6327
	1200	35	231.28	7.11	2.7904
	1800	42	232.23	8.06	3.1633
	3600	60	234.74	10.57	4.1484
	7200	85	237.72	13.55	5.3179
	10800	104	241.13	16.96	6.6562
	14400	120	242.42	18.25	7.1625
	18000	134	244.31	20.14	7.9042
	21600	147	246.17	22.00	8.6342
1	92220	304	254.12	29.95	11.7543
2	193200	440	255.22	31.05	12.1860
3	268500	518	255.69	31.52	12.3705
5	432000	657	256.36	32.19	12.6334
6	527580	726	256.50	32.33	12.6884



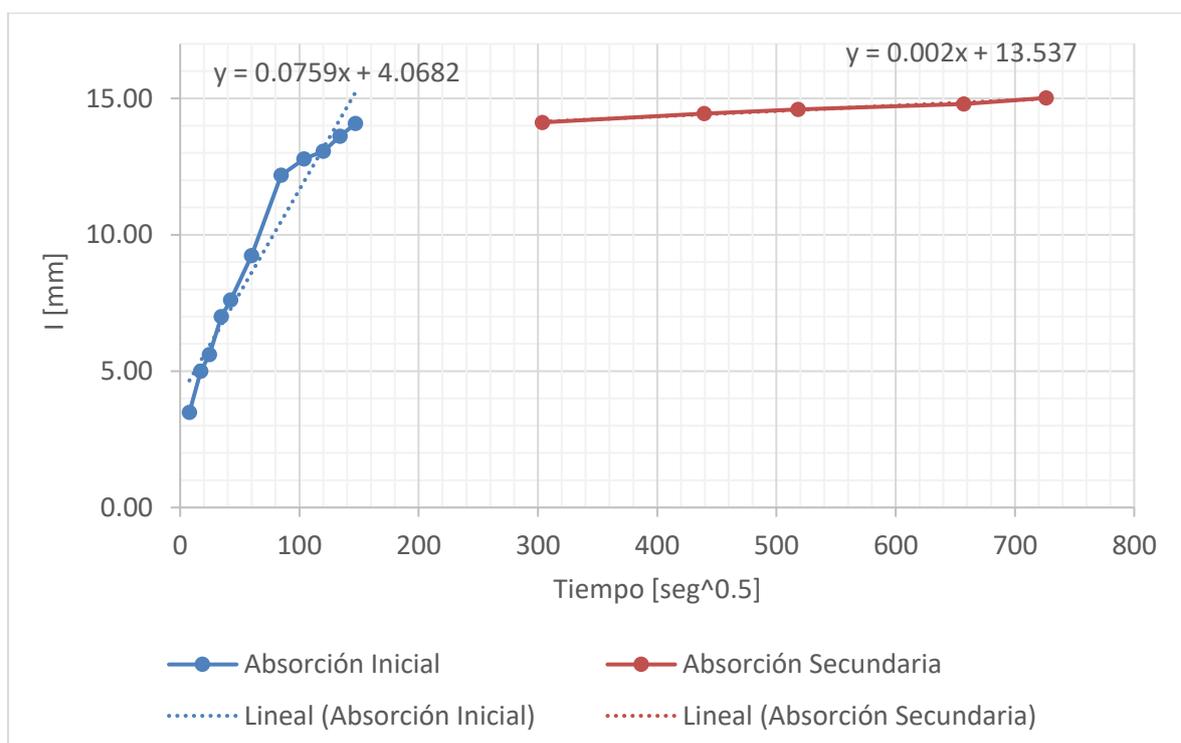
Mortero de Arena Fina: Adición 4%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	198.30	0.00	0.0000
	60	8	206.27	7.97	3.1880
	300	17	210.12	11.82	4.7280
	600	24	211.59	13.29	5.3160
	1200	35	215.11	16.81	6.7240
	1800	42	216.63	18.33	7.3320
	3600	60	220.67	22.37	8.9480
	7200	85	228.03	29.73	11.8920
	10800	104	229.46	31.16	12.4640
	14400	120	230.32	32.02	12.8080
	18000	134	231.58	33.28	13.3120
	21600	147	232.82	34.52	13.8080
1	92220	304	232.92	34.62	13.8480
2	193200	440	233.81	35.51	14.2040
3	268500	518	234.13	35.83	14.3320
5	432000	657	234.74	36.44	14.5760
6	527580	726	234.94	36.64	14.6560



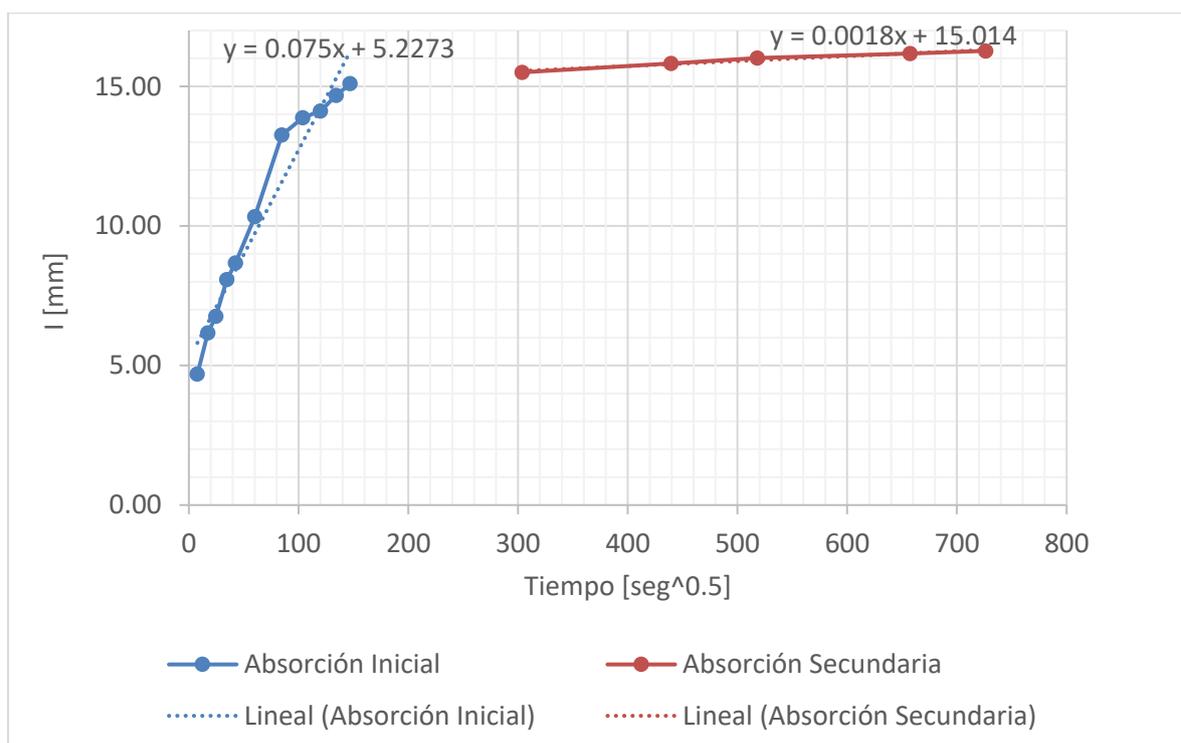
Mortero de Arena Fina: Adición 4%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	201.11	0.00	0.0000
	60	8	209.83	8.72	3.4894
	300	17	213.61	12.50	5.0020
	600	24	215.13	14.02	5.6102
	1200	35	218.61	17.50	7.0028
	1800	42	220.13	19.02	7.6110
	3600	60	224.20	23.09	9.2397
	7200	85	231.55	30.44	12.1809
	10800	104	233.05	31.94	12.7811
	14400	120	233.76	32.65	13.0652
	18000	134	235.12	34.01	13.6094
	21600	147	236.30	35.19	14.0816
1	92220	304	236.40	35.29	14.1216
2	193200	440	237.22	36.11	14.4498
3	268500	518	237.58	36.47	14.5938
5	432000	657	238.08	36.97	14.7939
6	527580	726	238.64	37.53	15.0180



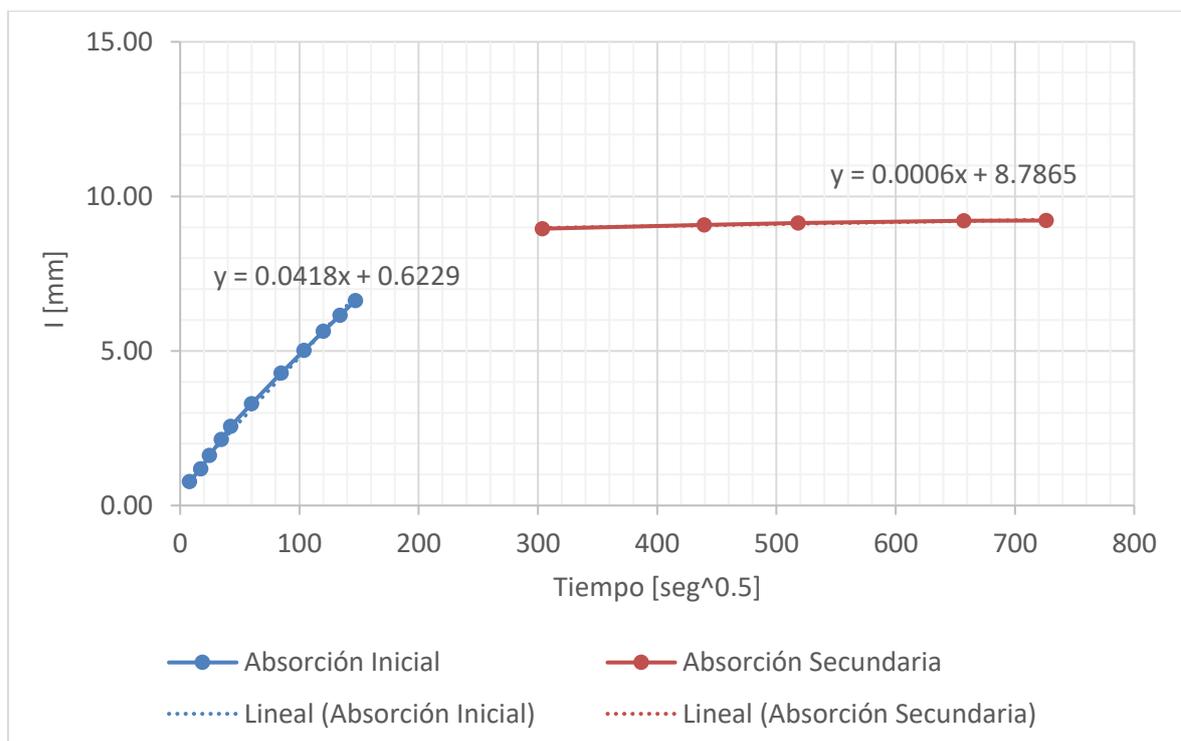
Mortero de Arena Fina: Adición 4%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	195.61	0.00	0.0000
	60	8	207.33	11.72	4.6880
	300	17	211.03	15.42	6.1680
	600	24	212.53	16.92	6.7680
	1200	35	215.81	20.20	8.0800
	1800	42	217.30	21.69	8.6760
	3600	60	221.43	25.82	10.3280
	7200	85	228.75	33.14	13.2560
	10800	104	230.31	34.70	13.8800
	14400	120	230.90	35.29	14.1160
	18000	134	232.29	36.68	14.6720
	21600	147	233.35	37.74	15.0960
1	92220	304	234.37	38.76	15.5040
2	193200	440	235.16	39.55	15.8200
3	268500	518	235.64	40.03	16.0120
5	432000	657	236.04	40.43	16.1720
6	527580	726	236.29	40.68	16.2720



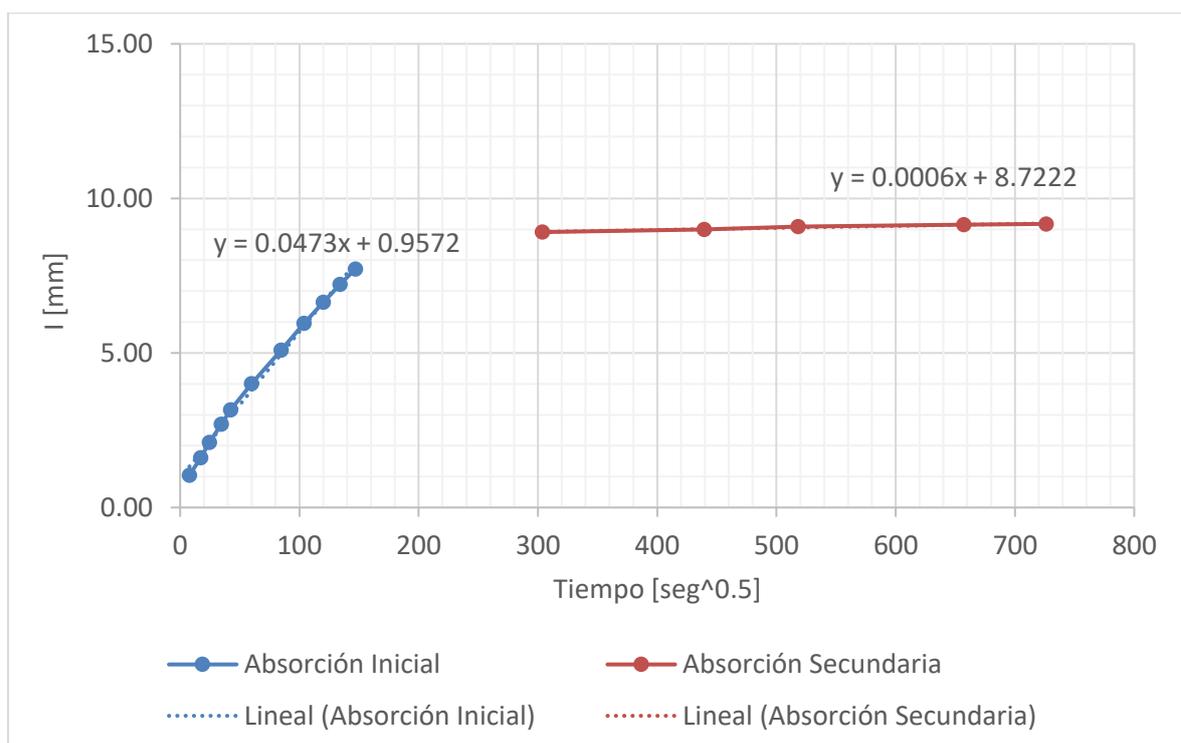
Mortero de Arena Gruesa: Adición 0%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	285.87	0.00	0.0000
	60	8	287.81	1.94	0.7760
	300	17	288.84	2.97	1.1880
	600	24	289.92	4.05	1.6200
	1200	35	291.22	5.35	2.1400
	1800	42	292.28	6.41	2.5640
	3600	60	294.10	8.23	3.2920
	7200	85	296.58	10.71	4.2840
	10800	104	298.43	12.56	5.0240
	14400	120	299.96	14.09	5.6360
	18000	134	301.27	15.40	6.1600
	21600	147	302.45	16.58	6.6320
1	92220	304	308.26	22.39	8.9560
2	193200	440	308.57	22.70	9.0800
3	268500	518	308.71	22.84	9.1360
5	432000	657	308.91	23.04	9.2160
6	527580	726	308.92	23.05	9.2200



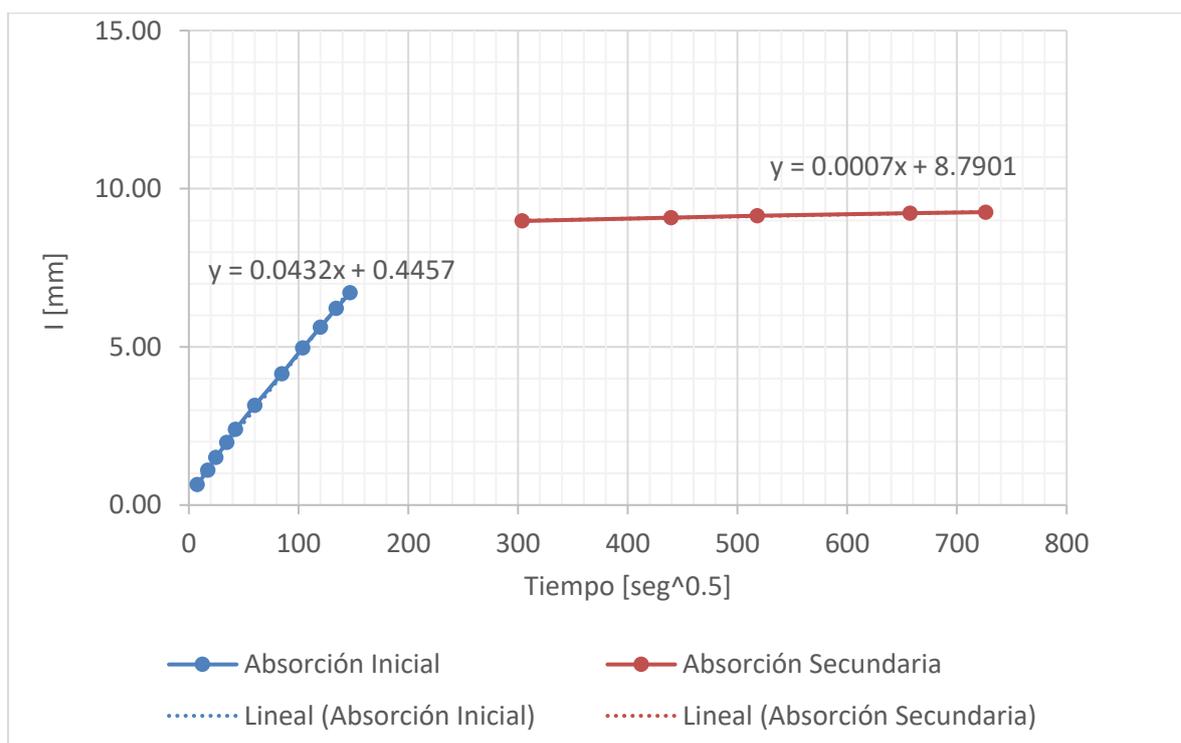
Mortero de Arena Gruesa: Adición 0%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	278.42	0.00	0.0000
	60	8	281.03	2.61	1.0440
	300	17	282.45	4.03	1.6120
	600	24	283.69	5.27	2.1080
	1200	35	285.16	6.74	2.6960
	1800	42	286.33	7.91	3.1640
	3600	60	288.45	10.03	4.0120
	7200	85	291.15	12.73	5.0920
	10800	104	293.31	14.89	5.9560
	14400	120	295.02	16.60	6.6400
	18000	134	296.46	18.04	7.2160
	21600	147	297.72	19.30	7.7200
1	92220	304	300.70	22.28	8.9120
2	193200	440	300.91	22.49	8.9960
3	268500	518	301.13	22.71	9.0840
5	432000	657	301.31	22.89	9.1560
6	527580	726	301.36	22.94	9.1760



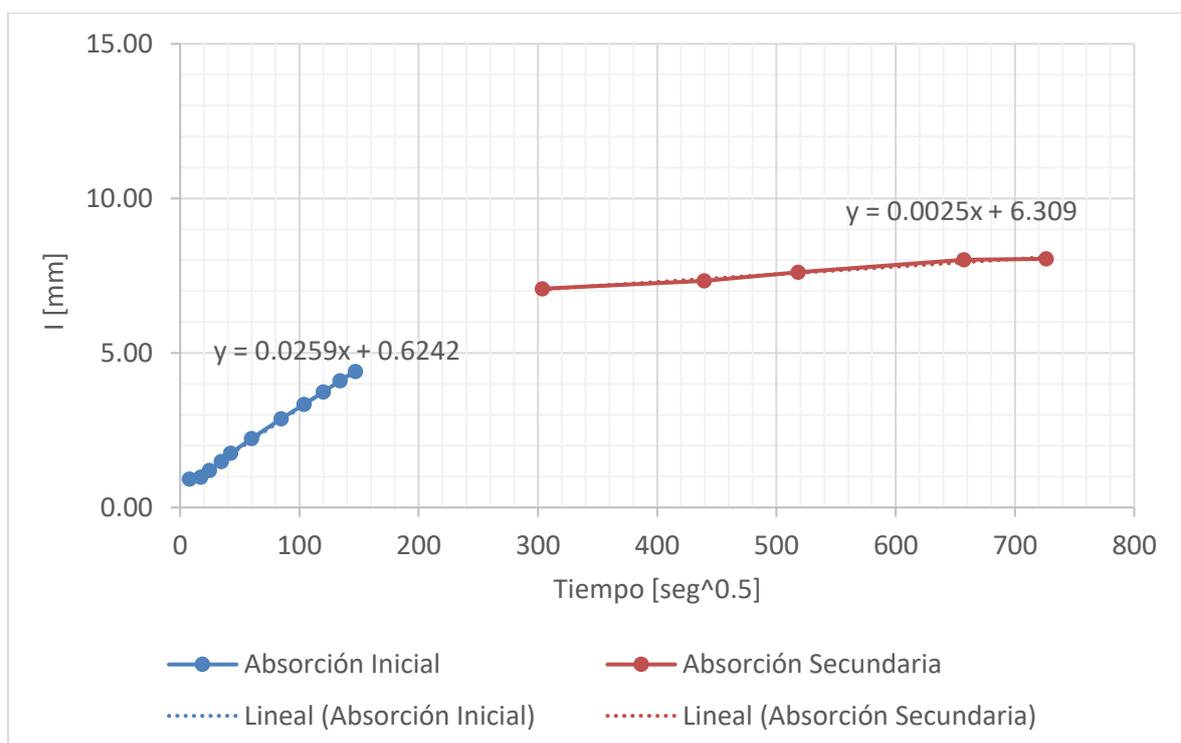
Mortero de Arena Gruesa: Adición 0%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	278.00	0.00	0.0000
	60	8	279.63	1.63	0.6520
	300	17	280.77	2.77	1.1080
	600	24	281.76	3.76	1.5040
	1200	35	282.95	4.95	1.9800
	1800	42	283.98	5.98	2.3920
	3600	60	285.87	7.87	3.1480
	7200	85	288.39	10.39	4.1560
	10800	104	290.41	12.41	4.9640
	14400	120	292.05	14.05	5.6200
	18000	134	293.54	15.54	6.2160
	21600	147	294.78	16.78	6.7120
1	92220	304	300.45	22.45	8.9800
2	193200	440	300.71	22.71	9.0840
3	268500	518	300.87	22.87	9.1480
5	432000	657	301.06	23.06	9.2240
6	527580	726	301.15	23.15	9.2600



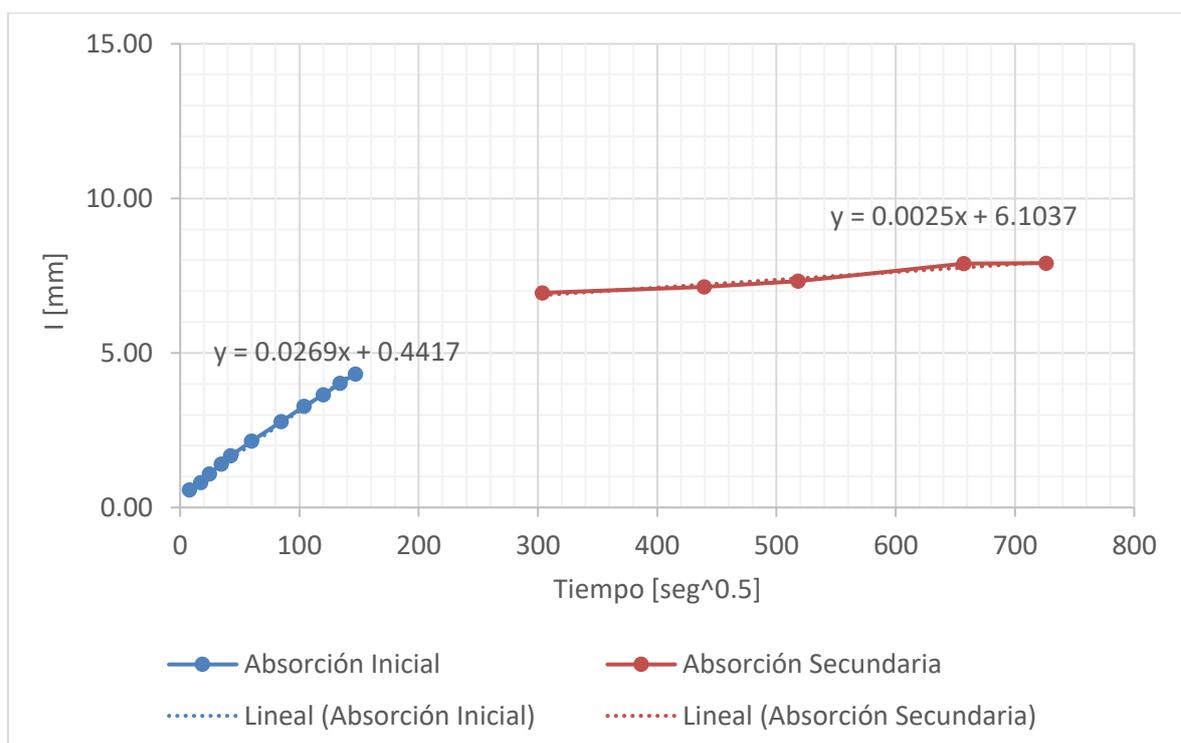
Mortero de Arena Gruesa: Adición 1%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	267.62	0.00	0.0000
	60	8	269.91	2.29	0.9160
	300	17	270.07	2.45	0.9800
	600	24	270.62	3.00	1.2000
	1200	35	271.34	3.72	1.4880
	1800	42	272.00	4.38	1.7520
	3600	60	273.20	5.58	2.2320
	7200	85	274.80	7.18	2.8720
	10800	104	275.96	8.34	3.3360
	14400	120	276.96	9.34	3.7360
	18000	134	277.86	10.24	4.0960
	21600	147	278.63	11.01	4.4040
1	92220	304	285.32	17.70	7.0800
2	193200	440	285.95	18.33	7.3320
3	268500	518	286.64	19.02	7.6080
5	432000	657	287.67	20.05	8.0200
6	527580	726	287.73	20.11	8.0440



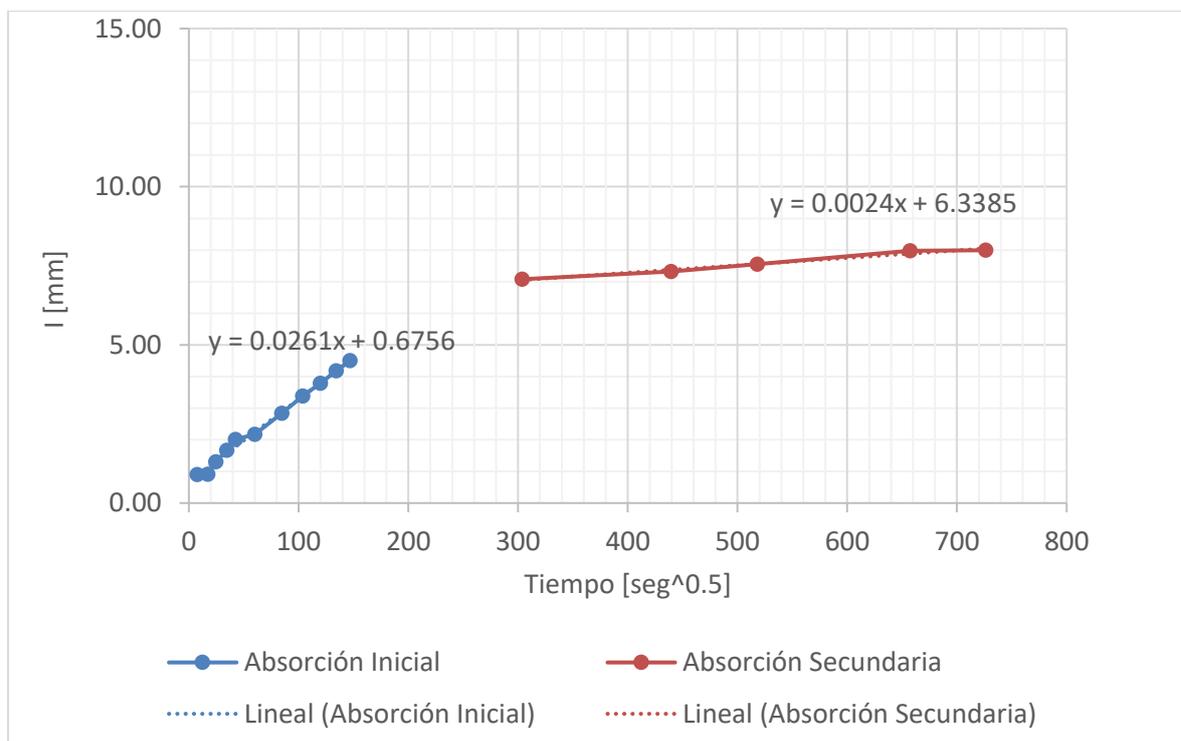
Mortero de Arena Gruesa: Adición 1%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	262.36	0.00	0.0000
	60	8	263.81	1.45	0.5686
	300	17	264.42	2.06	0.8078
	600	24	265.14	2.78	1.0902
	1200	35	265.94	3.58	1.4039
	1800	42	266.63	4.27	1.6745
	3600	60	267.83	5.47	2.1451
	7200	85	269.45	7.09	2.7804
	10800	104	270.70	8.34	3.2706
	14400	120	271.67	9.31	3.6510
	18000	134	272.60	10.24	4.0157
	21600	147	273.38	11.02	4.3216
1	92220	304	280.07	17.71	6.9451
2	193200	440	280.57	18.21	7.1412
3	268500	518	281.03	18.67	7.3216
5	432000	657	282.47	20.11	7.8863
6	527580	726	282.52	20.16	7.9059



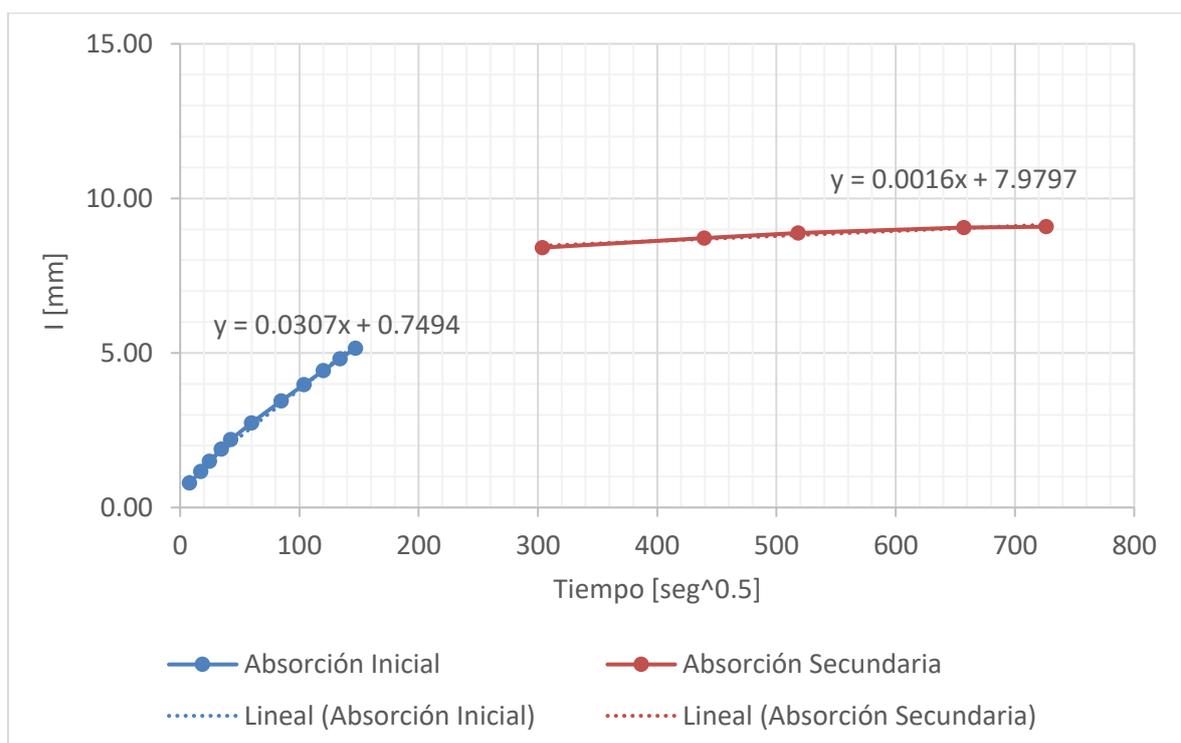
Mortero de Arena Gruesa: Adición 1%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	260.67	0.00	0.0000
	60	8	262.93	2.26	0.9040
	300	17	262.96	2.29	0.9160
	600	24	263.93	3.26	1.3040
	1200	35	264.84	4.17	1.6680
	1800	42	265.69	5.02	2.0080
	3600	60	266.10	5.43	2.1720
	7200	85	267.78	7.11	2.8440
	10800	104	269.12	8.45	3.3800
	14400	120	270.13	9.46	3.7840
	18000	134	271.12	10.45	4.1800
	21600	147	271.93	11.26	4.5040
1	92220	304	278.36	17.69	7.0760
2	193200	440	278.98	18.31	7.3240
3	268500	518	279.54	18.87	7.5480
5	432000	657	280.61	19.94	7.9760
6	527580	726	280.65	19.98	7.9920



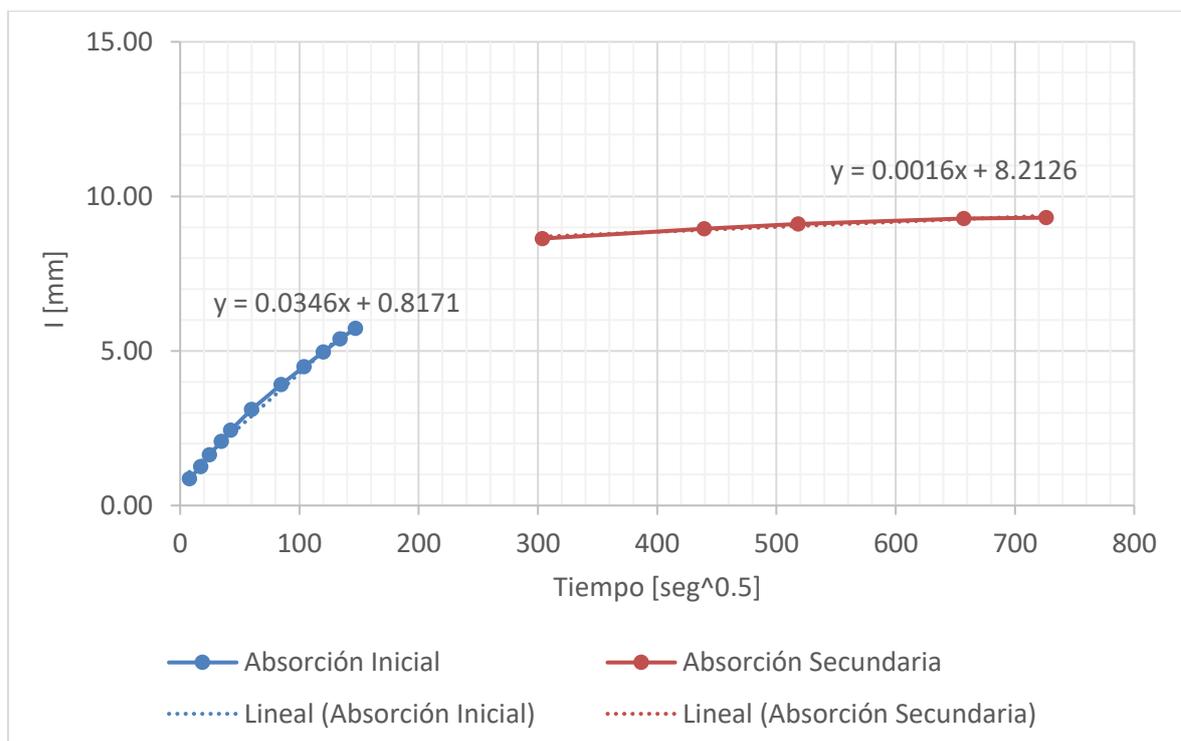
Mortero de Arena Gruesa: Adición 2%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	263.38	0.00	0.0000
	60	8	265.37	1.99	0.7960
	300	17	266.29	2.91	1.1640
	600	24	267.12	3.74	1.4960
	1200	35	268.10	4.72	1.8880
	1800	42	268.89	5.51	2.2040
	3600	60	270.23	6.85	2.7400
	7200	85	272.00	8.62	3.4480
	10800	104	273.32	9.94	3.9760
	14400	120	274.46	11.08	4.4320
	18000	134	275.42	12.04	4.8160
	21600	147	276.27	12.89	5.1560
1	92220	304	284.40	21.02	8.4080
2	193200	440	285.18	21.80	8.7200
3	268500	518	285.59	22.21	8.8840
5	432000	657	286.03	22.65	9.0600
6	527580	726	286.09	22.71	9.0840



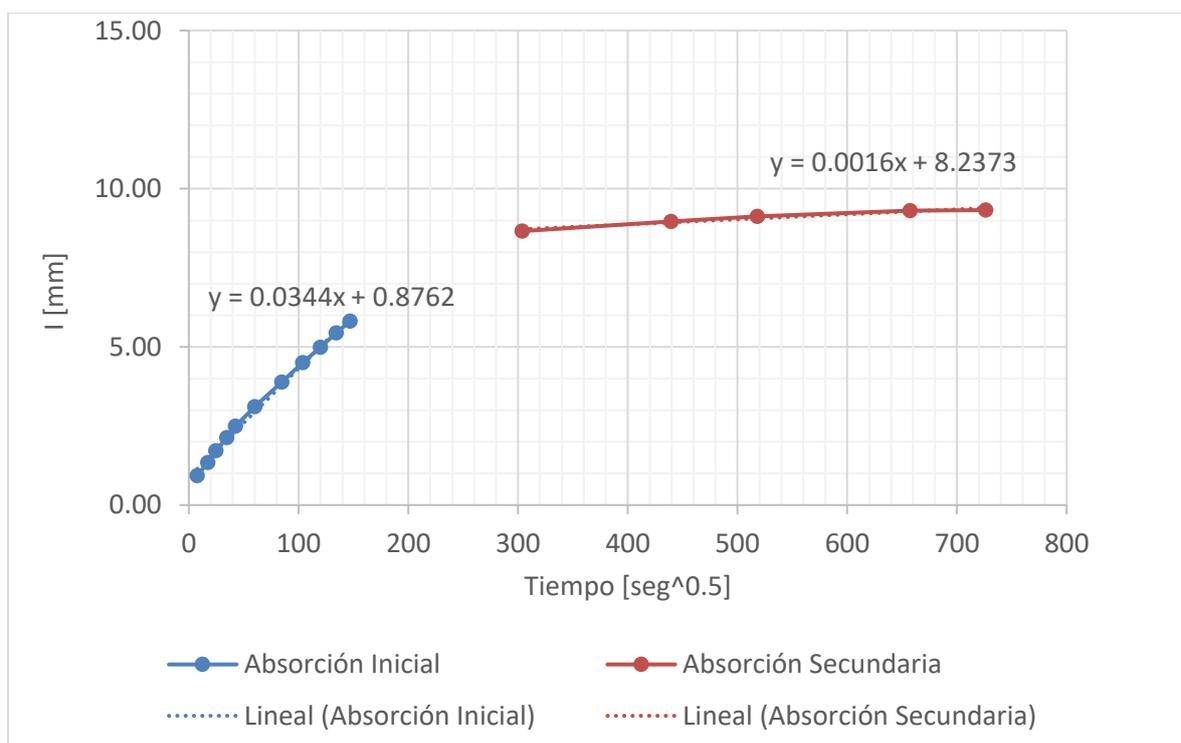
Mortero de Arena Gruesa: Adición 2%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	264.16	0.00	0.0000
	60	8	266.34	2.18	0.8720
	300	17	267.31	3.15	1.2600
	600	24	268.27	4.11	1.6440
	1200	35	269.34	5.18	2.0720
	1800	42	270.26	6.10	2.4400
	3600	60	271.93	7.77	3.1080
	7200	85	273.95	9.79	3.9160
	10800	104	275.40	11.24	4.4960
	14400	120	276.57	12.41	4.9640
	18000	134	277.63	13.47	5.3880
	21600	147	278.48	14.32	5.7280
1	92220	304	285.75	21.59	8.6360
2	193200	440	286.55	22.39	8.9560
3	268500	518	286.94	22.78	9.1120
5	432000	657	287.38	23.22	9.2880
6	527580	726	287.44	23.28	9.3120



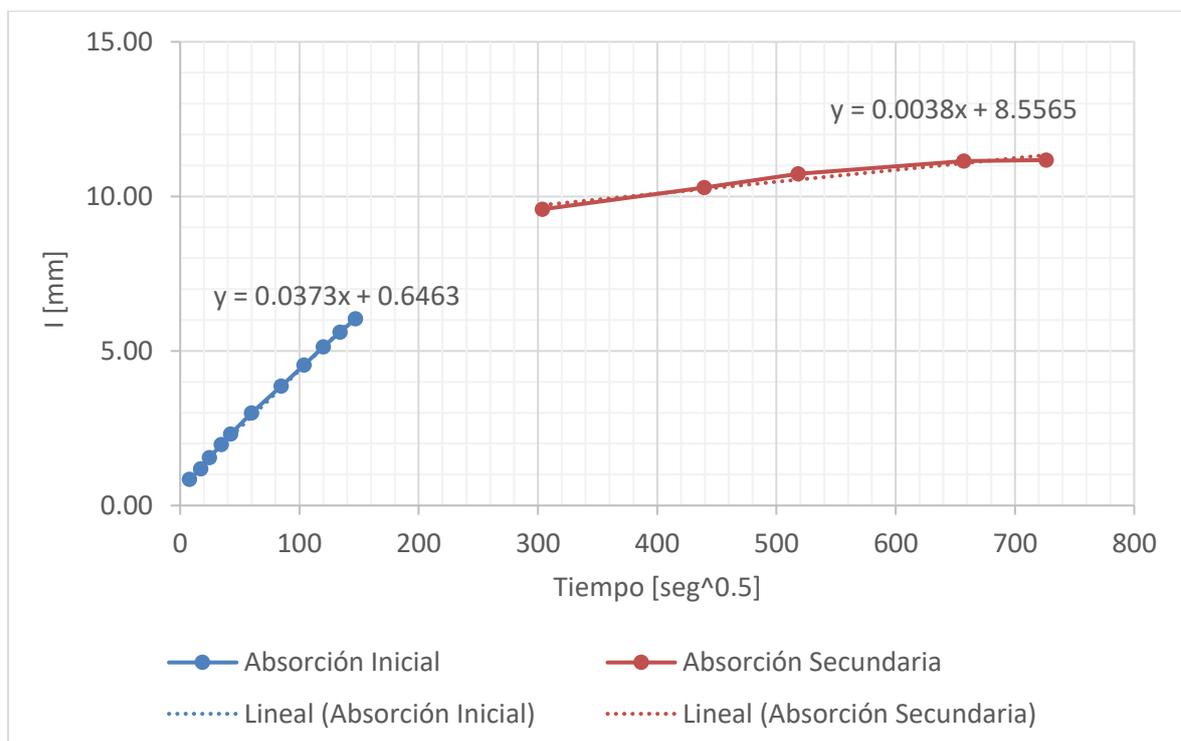
Mortero de Arena Gruesa: Adición 2%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	264.54	0.00	0.0000
	60	8	266.88	2.34	0.9360
	300	17	267.90	3.36	1.3440
	600	24	268.85	4.31	1.7240
	1200	35	269.87	5.33	2.1320
	1800	42	270.78	6.24	2.4960
	3600	60	272.32	7.78	3.1120
	7200	85	274.25	9.71	3.8840
	10800	104	275.79	11.25	4.5000
	14400	120	277.00	12.46	4.9840
	18000	134	278.14	13.60	5.4400
	21600	147	279.07	14.53	5.8120
1	92220	304	286.19	21.65	8.6600
2	193200	440	286.96	22.42	8.9680
3	268500	518	287.36	22.82	9.1280
5	432000	657	287.81	23.27	9.3080
6	527580	726	287.85	23.31	9.3240



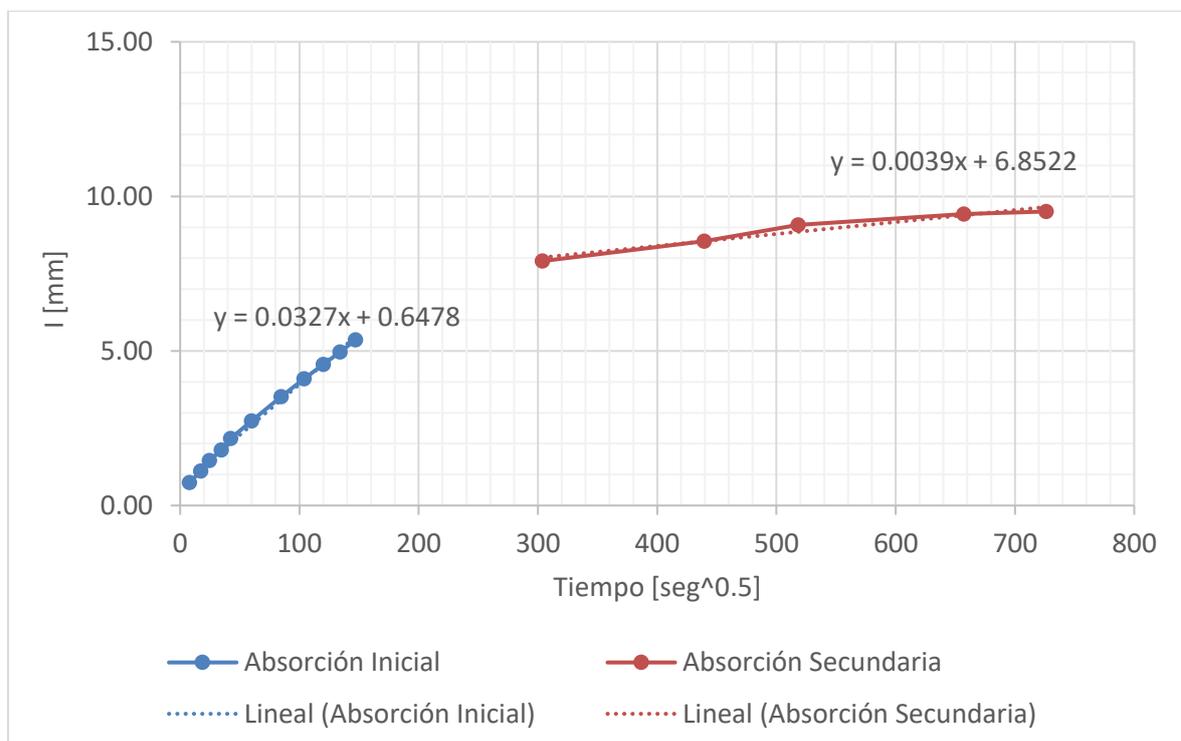
Mortero de Arena Gruesa: Adición 3%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	250.33	0.00	0.0000
	60	8	252.44	2.11	0.8440
	300	17	253.30	2.97	1.1880
	600	24	254.21	3.88	1.5520
	1200	35	255.27	4.94	1.9760
	1800	42	256.12	5.79	2.3160
	3600	60	257.81	7.48	2.9920
	7200	85	259.98	9.65	3.8600
	10800	104	261.70	11.37	4.5480
	14400	120	263.16	12.83	5.1320
	18000	134	264.36	14.03	5.6120
	21600	147	265.43	15.10	6.0400
1	92220	304	274.29	23.96	9.5840
2	193200	440	276.06	25.73	10.2920
3	268500	518	277.15	26.82	10.7280
5	432000	657	278.18	27.85	11.1400
6	527580	726	278.27	27.94	11.1760



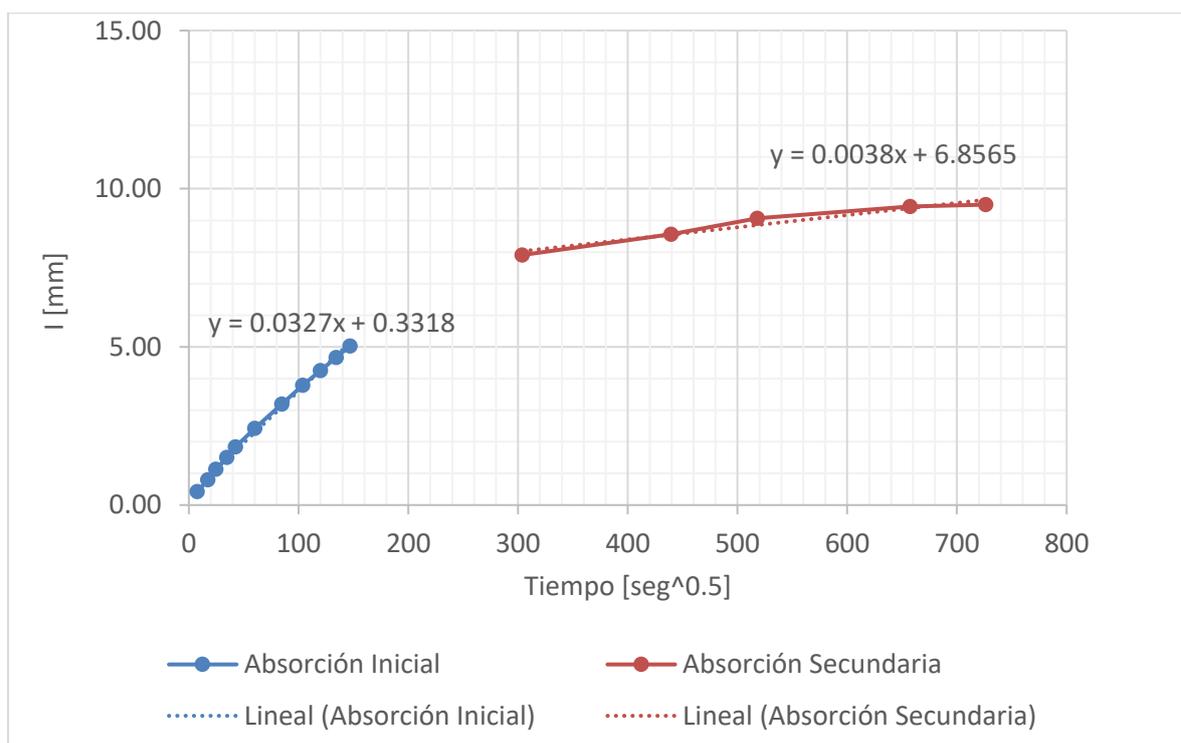
Mortero de Arena Gruesa: Adición 3%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	251.72	0.00	0.0000
	60	8	253.58	1.86	0.7440
	300	17	254.50	2.78	1.1120
	600	24	255.36	3.64	1.4560
	1200	35	256.22	4.50	1.8000
	1800	42	257.14	5.42	2.1680
	3600	60	258.57	6.85	2.7400
	7200	85	260.52	8.80	3.5200
	10800	104	261.97	10.25	4.1000
	14400	120	263.14	11.42	4.5680
	18000	134	264.14	12.42	4.9680
	21600	147	265.11	13.39	5.3560
1	92220	304	271.49	19.77	7.9080
2	193200	440	273.10	21.38	8.5520
3	268500	518	274.42	22.70	9.0800
5	432000	657	275.30	23.58	9.4320
6	527580	726	275.50	23.78	9.5120



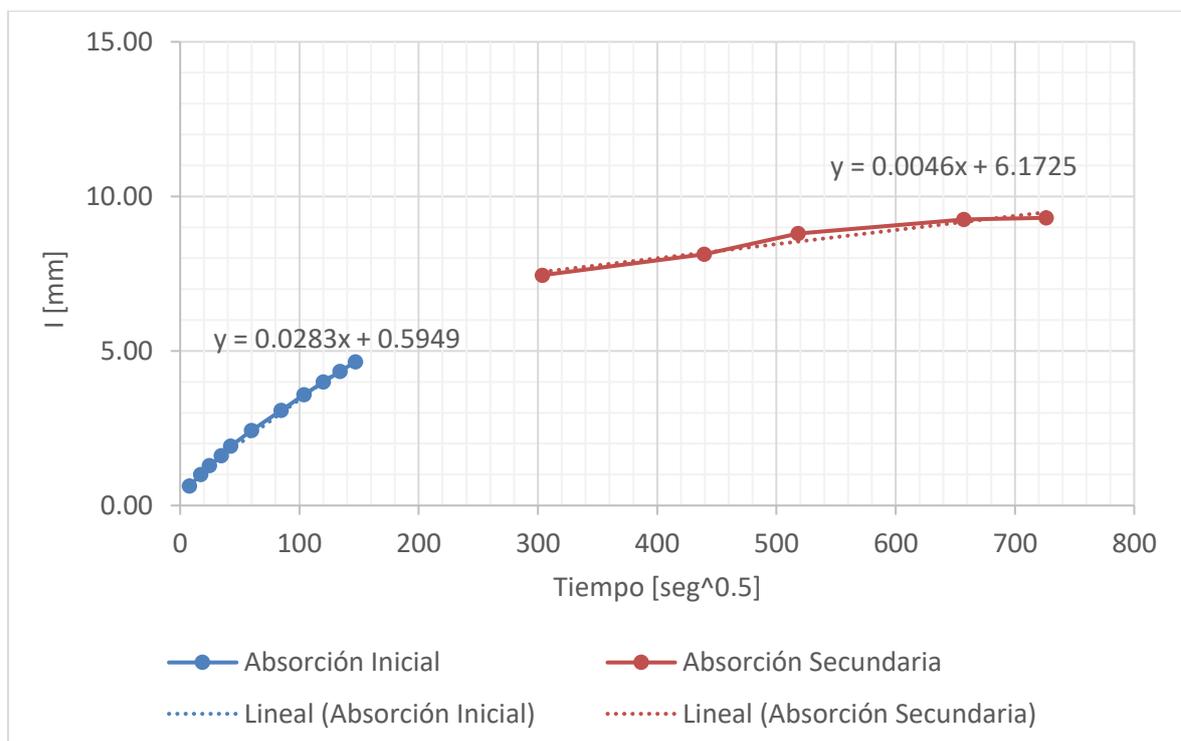
Mortero de Arena Gruesa: Adición 3%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	250.81	0.00	0.0000
	60	8	251.87	1.06	0.4240
	300	17	252.82	2.01	0.8040
	600	24	253.64	2.83	1.1320
	1200	35	254.57	3.76	1.5040
	1800	42	255.40	4.59	1.8360
	3600	60	256.88	6.07	2.4280
	7200	85	258.80	7.99	3.1960
	10800	104	260.27	9.46	3.7840
	14400	120	261.45	10.64	4.2560
	18000	134	262.47	11.66	4.6640
	21600	147	263.39	12.58	5.0320
1	92220	304	270.57	19.76	7.9040
2	193200	440	272.21	21.40	8.5600
3	268500	518	273.47	22.66	9.0640
5	432000	657	274.41	23.60	9.4400
6	527580	726	274.55	23.74	9.4960



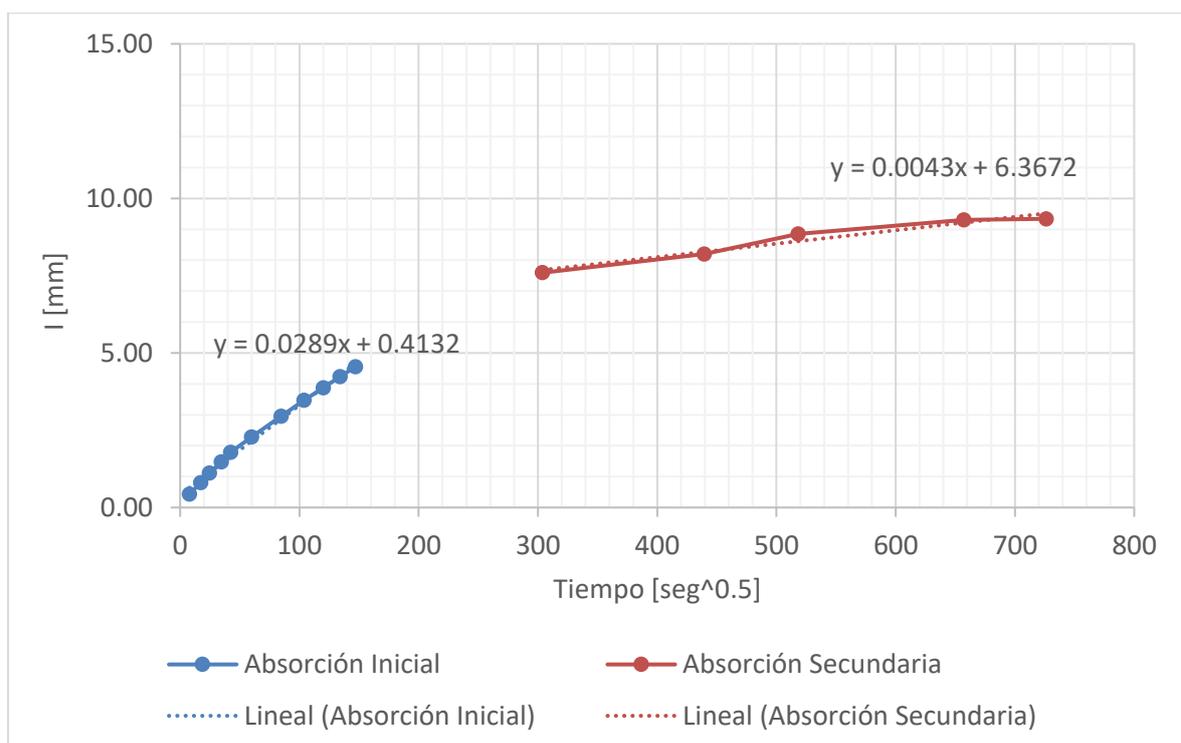
Mortero de Arena Gruesa: Adición 4%- Muestra 1

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	241.22	0.00	0.0000
	60	8	242.81	1.59	0.6360
	300	17	243.73	2.51	1.0040
	600	24	244.45	3.23	1.2920
	1200	35	245.26	4.04	1.6160
	1800	42	246.02	4.80	1.9200
	3600	60	247.29	6.07	2.4280
	7200	85	248.92	7.70	3.0800
	10800	104	250.18	8.96	3.5840
	14400	120	251.21	9.99	3.9960
	18000	134	252.07	10.85	4.3400
	21600	147	252.85	11.63	4.6520
1	92220	304	259.85	18.63	7.4520
2	193200	440	261.54	20.32	8.1280
3	268500	518	263.23	22.01	8.8040
5	432000	657	264.35	23.13	9.2520
6	527580	726	264.49	23.27	9.3080



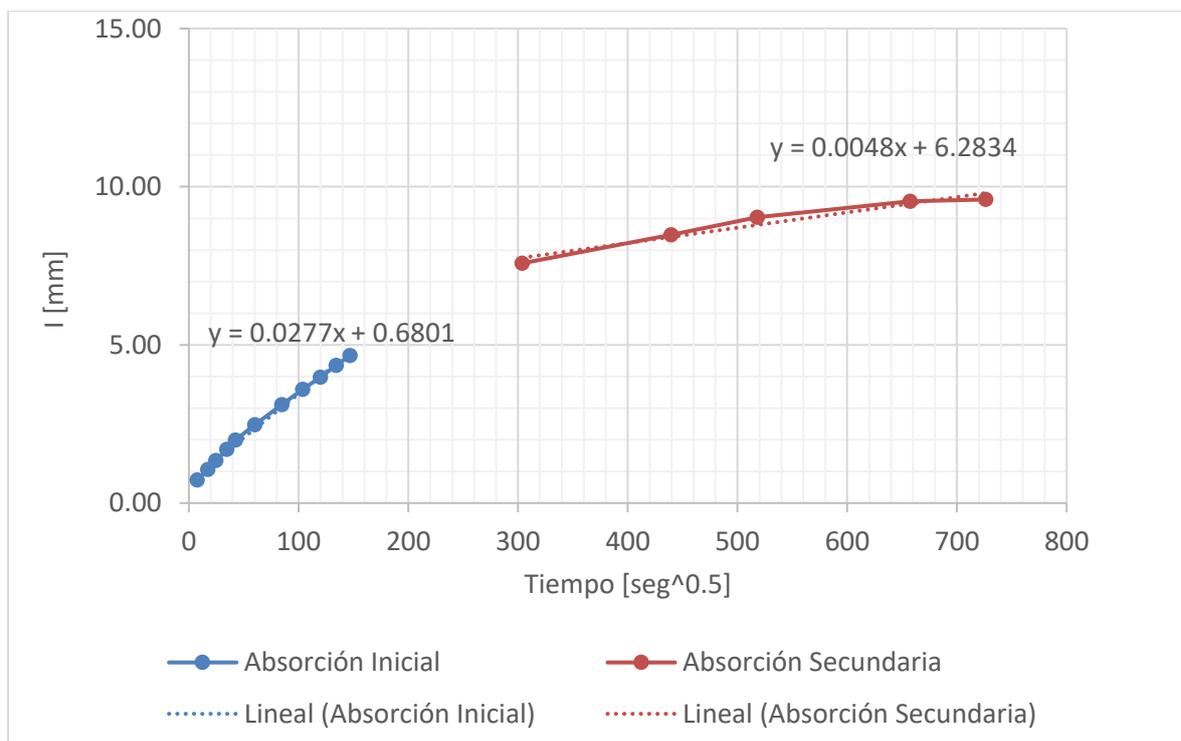
Mortero de Arena Gruesa: Adición 4%- Muestra 2

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = I (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	251.57	0.00	0.0000
	60	8	252.67	1.10	0.4400
	300	17	253.59	2.02	0.8080
	600	24	254.37	2.80	1.1200
	1200	35	255.27	3.70	1.4800
	1800	42	256.05	4.48	1.7920
	3600	60	257.29	5.72	2.2880
	7200	85	258.96	7.39	2.9560
	10800	104	260.24	8.67	3.4680
	14400	120	261.26	9.69	3.8760
	18000	134	262.16	10.59	4.2360
	21600	147	262.95	11.38	4.5520
1	92220	304	270.56	18.99	7.5968
2	193200	440	272.08	20.51	8.2040
3	268500	518	273.71	22.14	8.8560
5	432000	657	274.84	23.27	9.3080
6	527580	726	274.92	23.35	9.3400



Mortero de Arena Gruesa: Adición 4%- Muestra 3

Tiempo de ensayo		√ Tiempo	Masa	□ Masa	□ Masa/área/ densidad del agua = l (mm)
Día	s	(s ^{1/2})	(g)	(g)	
	0	0	253.39	0.00	0.0000
	60	8	255.22	1.83	0.7320
	300	17	256.04	2.65	1.0600
	600	24	256.76	3.37	1.3480
	1200	35	257.63	4.24	1.6960
	1800	42	258.37	4.98	1.9920
	3600	60	259.58	6.19	2.4760
	7200	85	261.17	7.78	3.1120
	10800	104	262.37	8.98	3.5920
	14400	120	263.35	9.96	3.9840
	18000	134	264.27	10.88	4.3520
	21600	147	265.05	11.66	4.6640
1	92220	304	272.34	18.95	7.5800
2	193200	440	274.58	21.19	8.4760
3	268500	518	275.97	22.58	9.0320
5	432000	657	277.24	23.85	9.5400
6	527580	726	277.38	23.99	9.5960



Tipo de Arena	Adición de Ceniza	Muestra	Absorción Inicial (mm/√s)	r	Absorción Secundaria (mm/√s)	r
Arena Fina	0%	Muestra 1	4.5	1.00	1.3	0.99
		Muestra 2	4.9	0.99	1.6	0.98
		Muestra 3	4.5	0.99	1.5	0.98
		Promedio	4.6		1.5	
	1%	Muestra 1	4.7	1.00	2.2	0.98
		Muestra 2	4.7	1.00	2.3	0.98
		Muestra 3	4.8	0.99	2.6	0.98
		Promedio	4.7		2.4	
	2%	Muestra 1	3.2	0.99	1.8	0.99
		Muestra 2	3.1	1.00	1.6	0.98
		Muestra 3	3.0	0.98	1.8	0.99
		Promedio	3.1		1.7	
	3%	Muestra 1	5.5	1.00	2.3	0.99
		Muestra 2	5.6	1.00	2.2	0.99
		Muestra 3	5.6	1.00	2.2	0.99
		Promedio	5.6		2.2	
	4%	Muestra 1	7.6	0.98	1.9	0.99
		Muestra 2	7.6	0.99	2.0	0.99
		Muestra 3	7.5	0.99	1.8	0.99
		Promedio	7.6		1.9	
Arena Gruesa	0%	Muestra 1	4.2	1.00	6.3	0.98
		Muestra 2	4.7	1.00	6.5	0.99
		Muestra 3	4.3	1.00	6.6	1.00
		Promedio	4.4		6.5	
	1%	Muestra 1	2.6	1.00	2.5	0.99
		Muestra 2	2.7	1.00	2.5	0.98
		Muestra 3	2.6	1.00	2.4	0.99
		Promedio	2.6		2.5	
	2%	Muestra 1	3.1	1.00	1.6	0.98
		Muestra 2	3.5	1.00	1.6	0.98
		Muestra 3	3.4	1.00	1.6	0.98
		Promedio	3.3		1.6	
	3%	Muestra 1	3.7	1.00	3.8	0.98
		Muestra 2	3.3	1.00	3.9	0.98
		Muestra 3	3.3	1.00	3.8	0.98
		Promedio	3.4		3.8	
	4%	Muestra 1	2.8	1.00	4.6	0.98
		Muestra 2	2.9	1.00	4.3	0.98
		Muestra 3	2.8	1.00	4.8	0.98
		Promedio	2.8		4.6	

Anexo n°10: Resultados de densidad de morteros de arena fina y arena gruesa

Tipo de Arena	Ceniza (%)	N° Probeta	Masa Saturada M (gr)	Masa Sumergida S (gr)	Masa Seca D (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Gravedad Específica Aparente	Porosidad Aparente (%)	Absorción de Agua (%)
Gruesa	0	1	274.54	152.22	247.98	122.32	2.03	2.59	10.71	21.71
Gruesa	0	2	296.46	163.08	267.38	133.38	2.00	2.56	10.88	21.80
Gruesa	0	3	292.48	160.71	263.12	131.77	2.00	2.57	11.16	22.28
Gruesa	0	4	294.39	161.75	265.15	132.64	2.00	2.56	11.03	22.04
						130.03	2.01	2.57	10.94	21.96
Gruesa	1	1	280.53	152.39	252.77	128.14	1.97	2.52	10.98	21.66
Gruesa	1	2	274.86	147.79	246.72	127.07	1.94	2.49	11.41	22.15
Gruesa	1	3	275.72	150.01	248.74	125.71	1.98	2.52	10.85	21.46
Gruesa	1	4	273.71	147.29	245.99	126.42	1.95	2.49	11.27	21.93
						126.84	1.96	2.51	11.13	21.80
Gruesa	2	1	282.55	151.10	250.32	131.45	1.90	2.52	12.88	24.52
Gruesa	2	2	278.36	148.77	247.33	129.59	1.91	2.51	12.55	23.94
Gruesa	2	3	280.18	148.69	249.19	131.49	1.90	2.48	12.44	23.57
Gruesa	2	4	275.78	147.79	243.98	127.99	1.91	2.54	13.03	24.85
						130.13	1.90	2.51	12.72	24.22

Tipo de Arena	Ceniza (%)	N° Probeta	Masa Saturada M (gr)	Masa Sumergida S (gr)	Masa Seca D (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Gravedad Específica Aparente	Porosidad Aparente	Absorción de Agua
Gruesa	3	1	269.11	142.12	235.61	126.99	1.86	2.52	14.22	26.38
Gruesa	3	2	270.38	139.40	235.11	130.98	1.80	2.46	15.00	26.93
Gruesa	3	3	269.90	139.82	237.74	130.08	1.83	2.43	13.53	24.72
Gruesa	3	4	272.77	142.54	238.17	130.23	1.83	2.49	14.53	26.57
						129.57	1.83	2.47	14.32	26.15
Gruesa	4	1	262.46	135.26	227.78	127.20	1.79	2.46	15.23	27.26
Gruesa	4	2	270.53	140.89	234.70	129.64	1.81	2.50	15.27	27.64
Gruesa	4	3	264.44	136.42	229.22	128.02	1.79	2.47	15.37	27.51
Gruesa	4	4	274.02	142.04	239.52	131.98	1.81	2.46	14.40	26.14
						129.21	1.80	2.47	15.07	27.14
Fina	0	1	255.21	126.87	220.79	128.34	1.72	2.35	15.59	26.82
Fina	0	2	258.70	129.30	225.61	129.40	1.74	2.34	14.67	25.57
Fina	0	3	261.03	129.30	229.56	131.73	1.74	2.29	13.71	23.89
Fina	0	4	251.71	122.91	219.97	128.80	1.71	2.27	14.43	24.64
						129.57	1.73	2.31	14.60	25.23
Fina	1	1	247.79	124.35	208.72	123.44	1.69	2.47	18.72	31.65
Fina	1	2	258.13	126.32	218.44	131.81	1.66	2.37	18.17	30.11
Fina	1	3	266.09	130.66	225.99	135.43	1.67	2.37	17.74	29.61
Fina	1	4	265.73	129.25	226.80	136.48	1.66	2.32	17.16	28.52
						131.79	1.67	2.39	17.95	29.97

Tipo de Arena	Ceniza (%)	N° Probeta	Masa Saturada M (gr)	Masa Sumergida S (gr)	Masa Seca D (gr)	Volumen (cm ³)	Densidad (gr/cm ³)	Gravedad Específica Aparente	Porosidad Aparente	Absorción de Agua
Fina	2	1	257.59	126.69	215.18	130.90	1.64	2.43	19.71	32.40
Fina	2	2	254.98	125.71	214.49	129.27	1.66	2.42	18.88	31.32
Fina	2	2	255.71	123.31	211.80	132.40	1.60	2.39	20.73	33.16
Fina	2	4	259.84	124.81	215.70	135.03	1.60	2.37	20.46	32.69
						131.90	1.63	2.40	19.95	32.39
Fina	3	1	256.41	124.17	213.87	132.24	1.62	2.38	19.89	32.17
Fina	3	2	257.63	126.03	216.36	131.60	1.64	2.40	19.07	31.36
Fina	3	3	257.96	125.44	211.58	132.52	1.60	2.46	21.92	35.00
Fina	3	4	254.48	122.00	212.61	132.48	1.60	2.35	19.69	31.60
						132.21	1.62	2.40	20.14	32.53
Fina	4	1	236.48	110.70	185.59	125.78	1.48	2.48	27.42	40.46
Fina	4	2	235.69	108.86	188.02	126.83	1.48	2.38	25.35	37.59
Fina	4	3	235.29	107.16	187.77	128.13	1.47	2.33	25.31	37.09
Fina	4	4	247.75	116.28	197.84	131.47	1.50	2.43	25.23	37.96
						128.05	1.48	2.40	25.83	38.27

Anexo n°11: Análisis de costos de un mortero con ceniza aplicado en partidas

Los rendimientos se tomaron de acuerdo a proyectos que se realizaron en la ciudad de Trujillo, la mano de obra, equipos y materiales de acuerdo a la necesidad del trabajo que se realizaba y los precios de la revista Costos, como también de cotizaciones. Se tomó referencias del libro Costos y Presupuestos en Edificaciones de CAPECO, de donde también se tomó las dosificaciones en obra para la elaboración del mortero, donde para una dosificación cemento:arena 1:4, establece la siguiente dosificación: 8.9 bolsas de cemento, 1 m³ de arena, y para la relación agua/cemento de 0.80 se usará 0.303 m³ de agua.

Cabe señalar que la ceniza de cascarilla de arroz se basará en un costo despreciable de la cascarilla de arroz (normalmente la regalan), pero si tendrá un costo de quemado en laboratorio.

Morteros con arena gruesa

Aporte unitario de materiales para un m² de muro de albañilería de soga con junta de 1.5 cm de mortero

Dimensiones del ladrillo king kong 18 huecos: 9 cm x 12.5 cm x 23 cm

Cálculo de la cantidad de ladrillos para un m² de muro de soga con junta de 1.5 cm de mortero:

$$CL = \frac{1}{(L+J) \times (H+J)}$$

CL = Cantidad de ladrillos por m².

L = Longitud del ladrillo (m).

H = Altura del ladrillo (m).

J = Espesor de junta (m).

$$CL = \frac{1}{(0.23+0.015) \times (0.09+0.015)} = 39 \text{ und.} + 5\% \text{ de desperdicios} = 41 \text{ und.}$$

Cálculo de la cantidad de mortero de asentado (m³) para un m² de muro de soga con junta de 1.5 cm de mortero:

$$V_{mo} = V_{mu} - V_{la}$$

$$V_{mo} = 1 \times 1 \times 0.125 - 39 \times 0.09 \times 0.125 \times 0.23 = 0.0244 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

V_{mo} = Cantidad de mortero. (m³/m²)

$$V_{mo} + 5\% \text{ de desperdicios} = 0.0256 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

V_{mu} = Volumen de muro. (m³/m²)

V_{la} = Volumen del ladrillo. (m³/m²)

MURO DE LADRILLO KING KONG 18 HUECOS DE SOGA MEZCLA C:A 1:4 CON IMPERMEABILIZANTE

Rendimiento = 7.5 m²/DÍA

TOTAL 63.12

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.1067	24.08	2.57
OPERARIO	hh	1.0000	1.0667	20.07	21.41
PEON	hh	0.5000	0.5333	14.81	7.90
					31.88
Materiales					
ARENA GRUESA	m3		0.0256	25.34	0.65
CEMENTO PORTLAND TIPO I (BLS 42.5 KG)	bls		0.2278	18.22	4.15
LADRILLO KING KONG 18 HUECOS	mll		0.0410	526.21	21.57
AGUA	m3		0.0078	5.68	0.04
IMPERMEABILIZANTE	lts		0.7800	4.5	3.51
					29.92
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000		1.32

MURO DE LADRILLO KING KONG 18 HUECOS DE SOGA MEZCLA C:A 1:4 CON 1% DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

Rendimiento = 7.5 m²/DÍA

TOTAL 60.04

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.1067	24.08	2.57
OPERARIO	hh	1.0000	1.0667	20.07	21.41
PEON	hh	0.5000	0.5333	14.81	7.90
					31.88
Materiales					
ARENA GRUESA	m3		0.0253	25.34	0.64
CEMENTO PORTLAND TIPO I (BLS 42.5 KG)	bls		0.2278	18.22	4.15
CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	kg		0.4367	0.00	0.00
LADRILLO KING KONG 18 HUECOS	mll		0.0410	526.21	21.57
AGUA	m3		0.0078	5.68	0.04
					26.40
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000		1.76

Morteros con arena fina

TARRAJEO EN COLUMNAS CON MORTERO CEMENTO:ARENA 1:4 CON IMPERMEABILIZANTE

Rendimiento = 8 m2/DÍA

TOTAL 38.49

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.1000	24.08	2.41
OPERARIO	hh	1.0000	1.0000	20.07	20.07
PEON	hh	0.3300	0.3300	14.81	4.89
					27.37
Materiales					
CLAVOS C/CABEZA P/CONSTRUCCIÓN D/ PROMEDIO	kg		0.0220	3.40	0.07
ARENA FINA	m3		0.0200	42.29	0.85
CEMENTO PORTLAND TIPO I (BLS 42.5 KG)	bls		0.1780	18.22	3.24
AGUA	m3		0.0061	5.68	0.03
IMPERMEABILIZANTE	lts		0.6100	4.50	2.75
REGLA DE MADERA	p2		0.3860	4.20	1.62
MADERA ANDAMIAJE	p2		0.5800	4.00	2.32
					10.88
Equipos					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3.0000		0.24

TARRAJEO EN COLUMNAS CON MORTERO CEMENTO:ARENA 1:4 CON 2% DE CENIZA

Rendimiento = 8 m2/DÍA

TOTAL 36.08

Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.1000	24.08	2.41
OPERARIO	hh	1.0000	1.0000	20.07	20.07
PEON	hh	0.3300	0.3300	14.81	4.89
					27.37
Materiales					
CLAVOS C/CABEZA P/CONSTRUCCIÓN D/ PROMEDIO	kg		0.0220	3.40	0.07
ARENA FINA	m3		0.0196	42.29	0.83
CEMENTO PORTLAND TIPO I (BLS 42.5 KG)	bls		0.1780	18.22	3.24

CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ	kg	0.5880	0.00	0.00
AGUA	m3	0.0061	5.68	0.03
REGLA DE MADERA	p2	0.3860	4.20	1.62
MADERA ANDAMIAJE	p2	0.5800	4.00	2.32
				8.11
Equipos				
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO	3.0000		0.60

Anexo n°12: Reglamento Nacional de Edificaciones E.070: Albañilería

298

 NORMAS LEGALES

El Peruano
Martes 23 de mayo de 2006

5.3. LIMITACIONES EN SU APLICACIÓN

El uso o aplicación de las unidades de albañilería estará condicionado a lo indicado en la Tabla 2. Las zonas sísmicas son las indicadas en la NTE E.030 Diseño Sísmorresistente.

TIPO	ZONA SISMICA 2 Y 3		ZONA SISMICA 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal *	No	Si, hasta dos pisos	Si
Sólido Industrial	Si	Si	Si
Alveolar	Si	Si	Si
	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta 2 pisos

*Las limitaciones indicadas establecen condiciones mínimas que pueden ser exceptuadas con el respaldo de un informe y memoria de cálculo sustentada por un ingeniero civil.

5.4. PRUEBAS

a) **Muestreo.** - El muestreo será efectuado a pie de obra. Por cada lote compuesto por hasta 50 millares de unidades se seleccionará al azar una muestra de 10 unidades, sobre las que se efectuarán las pruebas de variación de dimensiones y de alabeo. Cinco de estas unidades se ensayarán a compresión y las otras cinco a absorción.

b) **Resistencia a la Compresión.** - Para la determinación de la resistencia a la compresión de las unidades de albañilería, se efectuará los ensayos de laboratorio correspondientes, de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

La resistencia característica a compresión axial de la unidad de albañilería (f_c) se obtendrá restando una desviación estándar al valor promedio de la muestra.

c) **Variación Dimensional.** - Para la determinación de la variación dimensional de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicado en las Normas NTP 399.613 y 399.604.

d) **Alabeo.** - Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se seguirá el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.613.

e) **Absorción.** - Los ensayos de absorción se harán de acuerdo a lo indicado en las Normas NTP 399.604 y 399.613.

5.5. ACEPTACIÓN DE LA UNIDAD

a) Si la muestra presentase más de 20% de dispersión en los resultados (coeficiente de variación), para unidades producidas industrialmente, o 40 % para unidades producidas artesanalmente, se ensayará otra muestra y de persistir esa dispersión de resultados, se rechazará el lote.

b) La absorción de las unidades de arcilla y sílico calcáreas no será mayor que 22%. El bloque de concreto clase, tendrá una absorción no mayor que 12% de absorción. La absorción del bloque de concreto NP, no será mayor que 15%.

c) El espesor mínimo de las caras laterales correspondientes a la superficie de asentado será 25 mm para el Bloque clase P y 12 mm para el Bloque clase NP.

d) La unidad de albañilería no tendrá materias extrañas en sus superficies o en su interior, tales como guijeros, conchuelas o nódulos de naturaleza calcárea.

e) La unidad de albañilería de arcilla estará bien cocida, tendrá un color uniforme y no presentará vitrificaciones. Al ser golpeada con un martillo, u objeto similar, producirá un sonido metálico.

f) La unidad de albañilería no tendrá resquebrajaduras, fracturas, hendiduras grietas u otros defectos similares que degraden su durabilidad o resistencia.

g) La unidad de albañilería no tendrá manchas o vetas blanquecinas de origen salitroso o de otro tipo.

Artículo 6.- MORTERO

6.1. **DEFINICIÓN.** El mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se

añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. Para la elaboración del mortero destinado a obras de albañilería, se tendrá en cuenta lo indicado en las Normas NTP 399.607 y 399.610.

6.2. COMPONENTES

a) Los materiales aglomerantes del mortero pueden ser:

- Cemento Portland tipo I y II, NTP 334.009
- Cemento Adicionado IP, NTP 334.830
- Una mezcla de cemento Portland o cemento adicionado y cal hidratada normalizada de acuerdo a la NTP 339.002.

b) El agregado fino será arena gruesa natural, libre de materia orgánica y sales, con las características indicadas en la Tabla 3. Se aceptarán otras granulometrías siempre que los ensayos de pilas y muretes (Capítulo 5) proporcionen resistencias según lo especificado en los planos.

MALLA ASTM	% QUE PASA
N° 4 (4,75 mm)	100
N° 8 (2,36 mm)	95 a 100
N° 16 (1,18 mm)	70 a 100
N° 30 (0,60 mm)	40 a 75
N° 50 (0,30 mm)	10 a 35
N° 100 (0,15 mm)	2 a 15
N° 200 (0,075 mm)	Menos de 2

•No deberá quedar retenido más del 50% de arena entre dos mallas consecutivas.

•El módulo de fineza estará comprendido entre 1,6 y 2,5.

•El porcentaje máximo de partículas quebradizas será: 1% en peso.

•No deberá emplearse arena de mar.

c) El agua será potable y libre de sustancias deletereas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

6.3. **CLASIFICACIÓN PARA FINES ESTRUCTURALES.** Los morteros se clasifican en: tipo P, empleado en la construcción de los muros portantes; y NP, utilizado en los muros no portantes (ver la Tabla 4).

6.4. **PROPORCIONES.** Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas (en estado suelto) indicadas en la Tabla 4

TIPO	COMPONENTES			USOS
	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 1/4	3 a 3 1/2	Muros Portantes
P2	1	0 a 1/2	4 a 5	Muros Portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros No Portantes

a) Se podrán emplear otras composiciones de morteros, morteros con cementos de albañilería, o morteros industriales (embolsado o pre-mezclado), siempre y cuando los ensayos de pilas y muretes (Capítulo 5) proporcionen resistencias iguales o mayores a las especificadas en los planos y se asegure la durabilidad de la albañilería.

b) De no contar con cal hidratada normalizada, especificada en el Artículo 6 (6.2), se podrá utilizar mortero sin cal respetando las proporciones cemento-arena indicadas en la Tabla 4.

Artículo 7.- CONCRETO LÍQUIDO O GROUT

7.1. **DEFINICIÓN.** El concreto líquido o Grout es un material de consistencia fluida que resulta de mezclar cemento, agregados y agua, pudiéndose adicionar cal hidratada normalizada en una proporción que no exceda de 1/10 del volumen de cemento u otros aditivos que no disminuyan la resistencia o que originen corrosión del acero de refuerzo. El concreto líquido o grout se emplea para

Anexo n°13: ASTM C 618: Especificaciones estándar para puzolanas en concreto



Designation: C 618 – 05

Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 618; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope*

1.1 This specification covers coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete where cementitious or pozzolanic action, or both, is desired, or where other properties normally attributed to fly ash or pozzolans may be desired, or where both objectives are to be achieved.

NOTE 1—Finely divided materials may tend to reduce the entrained air content of concrete. Hence, if a fly ash or natural pozzolan is added to any concrete for which entrainment of air is specified, provision should be made to ensure that the specified air content is maintained by air content tests and by use of additional air-entraining admixture or use of an air-entraining admixture in combination with air-entraining hydraulic cement.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.3 The text of this standard references notes and footnotes, which provide explanatory information. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates

C 311 Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

3.1.1 The terms used in this specification are defined in Terminology C 125.

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.24 on Supplementary Cementitious Materials.

Current edition approved July 1, 2005. Published July 2005. Originally approved in 1968. Last previous edition approved in 2003 as C 618–03.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

3.1.2 *fly ash*—the finely divided residue that results from the combustion of ground or powdered coal and that is transported by flue gasses.

NOTE 2—This definition of fly ash does not include, among other things, the residue resulting from: (1) the burning of municipal garbage or any other refuse with coal; (2) the injection of lime directly into the boiler for sulfur removal; or (3) the burning of industrial or municipal garbage in incinerators commonly known as “incinerator ash.”

4. Classification

4.1 *Class N*—Raw or calcined natural pozzolans that comply with the applicable requirements for the class as given herein, such as some diatomaceous earths; opaline cherts and shales; tuffs and volcanic ashes or pumicites, calcined or uncalcined; and various materials requiring calcination to induce satisfactory properties, such as some clays and shales.

4.2 *Class F*—Fly ash normally produced from burning anthracite or bituminous coal that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash has pozzolanic properties.

4.3 *Class C*—Fly ash normally produced from lignite or subbituminous coal that meets the applicable requirements for this class as given herein. This class of fly ash, in addition to having pozzolanic properties, also has some cementitious properties.

NOTE 3—Some Class C fly ashes may contain lime contents higher than 10 %.

5. Ordering Information

5.1 The purchaser shall specify any supplementary optional physical requirements.

5.2 The purchaser shall indicate which procedure, A or B, shall be used when specifying requirements for effectiveness in contribution to sulfate resistance under Table 3.

6. Chemical Composition

6.1 Fly ash and natural pozzolans shall conform to the requirements as to chemical composition prescribed in Table 1.

NOTE 4—The chemical component determinations and the limits placed on each do not predict the performance of the fly ash or natural pozzolan

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Copyright ASTM International

Provided by IHS under license with ASTM by ASTM Int'l (all rights reserved);

No reproduction or networking permitted without license from IHS

Licensee: Purdue University/5923082001

Not for Resale, 09/24/2007 13:27:41 MDJ

Produced under license per License Agreement with Katho Hoopman (20070924) Mon Jul 25 12:29:21 EDT 2005