

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“INFLUENCIA DEL MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO  
EN LAS PROPIEDADES DEL MORTERO DE CEMENTO”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**ANIBAL MARTÍN PALOMINO RIVERA**

**ASESORA**

**MSc. ISABEL MOROMI NAKATA**

**LIMA- PERÚ**

**2019**

© 2019, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**"El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos."**

Palomino Rivera, Anibal Martín

apalominor@uni.pe

931368358

## **DEDICATORIA**

A Dios por permitirme conocer a las personas adecuadas, darme las fuerzas para seguir adelante y saber guiarme a lo largo de toda mi vida.

A mi madre Bertha Rivera Sarmiento por ser ejemplo de dedicación, creer en mí y estar presente en cada momento.

A mi padre Anibal Palomino Arteaga y mi familia por su apoyo constante durante todas las etapas de mi vida.

A mi alma máter UNI por brindarme la oportunidad de crecer y forjarme como profesional.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi asesora la MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata por su constante asesoramiento y apoyo incondicional en la elaboración de la presente tesis.

Al personal administrativo y técnico del Laboratorio de Ensayos de Materiales – UNI, quienes me brindaron las facilidades para el uso de las instalaciones y transmitirme sus conocimientos

A mis padres Bertha y Anibal por brindarme todo su cariño, apoyarme en todas las etapas de mi vida y ser ejemplo de dedicación.

A mi hermana Natali, mis sobrinos por conformar una linda familia de la cual me siento orgulloso, a mi abuelo Urbano Rivera por ser como un segundo padre para mí.

A mis amigos, compañeros y a todas las personas que contribuyeron desinteresadamente en la realización de esta tesis.

A todos ellos, mis agradecimientos.

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>ABSTRACT</b> .....	5
<b>PRÓLOGO</b> .....	6
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	7
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	9
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b> .....	10
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</b> .....	12
1.1 GENERALIDADES .....	12
1.2 PROBLEMÁTICA.....	13
1.3 OBJETIVOS .....	14
1.4 HIPOTESIS .....	14
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	15
2.1 GENERALIDADES .....	15
2.2 EL MORTERO EN LA ALBAÑILERÍA.....	15
2.3 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO .....	16
2.3.1 Mortero de yeso.....	16
2.3.2 Mortero de cal.....	16
2.3.3 Mortero de cemento.....	17
2.3.4 Mortero de cemento y cal .....	17
2.4 PROPIEDADES DEL MORTERO.....	18
2.4.1 Trabajabilidad .....	18
2.4.2 Consistencia .....	18
2.4.3 Retención de agua .....	19
2.4.4 Resistencia a la compresión .....	20
2.4.5 Resistencia a la tracción.....	21
2.4.6 Adherencia .....	21

2.4.7	Retracción .....	23
2.5	INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DEL MORTERO EN SUS PROPIEDADES .....	23
2.5.1	El cemento .....	23
2.5.2	Arena.....	24
2.5.3	Agua.....	24
<b>CAPÍTULO III: CARÁCTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES .....</b>		<b>25</b>
3.1	INTRODUCCIÓN.....	25
3.2	CEMENTO PORTLAND TIPO I .....	25
3.3	AGREGADO FINO .....	26
3.3.1	Análisis granulométrico.....	27
3.3.2	Módulo de finura.....	27
3.3.3	Superficie específica.....	28
3.3.4	Peso unitario.....	29
3.3.5	Contenido de humedad .....	30
3.3.6	Peso específico y absorción .....	31
3.3.7	Porcentaje de finos.....	32
3.3.8	Resumen de las propiedades físicas de los agregados .....	33
3.4	AGUA.....	36
<b>CAPÍTULO IV: MÓDULO DE FINURA .....</b>		<b>37</b>
4.1	INTRODUCCIÓN.....	37
4.2	DEFINICIÓN.....	37
4.3	CONSIDERACIONES DEL MÓDULO DE FINURA .....	38
4.4	MÓDULO DE FINURA OBTENIDO EN LABORATORIO .....	38
<b>CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS .....</b>		<b>39</b>
5.1	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS .....	39
5.1.1	Diseño de mezcla con mortero de cemento.....	40

<b>CAPÍTULO VI: ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DEL MORTERO</b> .....	44
6.1    ENAYOS EN MORTERO FRESCO .....	44
6.1.1    Ensayo de fluidez .....	44
6.1.2    Peso unitario.....	46
6.1.3    Tiempo de fraguado.....	47
6.1.4    Exudación.....	50
6.2    ENAYOS EN MORTERO ENDURECIDO .....	53
6.2.1    Resistencia a la compresión .....	53
6.2.2    Resistencia a la tracción .....	55
6.2.3    Retracción .....	56
6.2.4    Resistencia al corte en pilas desfasadas .....	59
<b>CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</b> .....	62
7.1    Análisis de ensayos del mortero en estado fresco .....	62
7.1.1    Fluidez.....	62
7.1.2    Peso Unitario .....	63
7.1.3    Tiempo de fraguado.....	64
7.1.4    Exudación.....	65
7.2    Análisis de ensayos del mortero en estado endurecido .....	66
7.2.1    Resistencia a la compresión axial.....	66
7.2.2    Resistencia a la tracción .....	69
7.2.3    Retracción .....	71
7.2.4    Resistencia al corte en pilas desfasadas .....	72
<b>CONCLUSIONES</b> .....	74
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	76

## RESUMEN

En el Perú existen canteras de agregados finos cuyos módulos de finura son mayores a los recomendados por la norma E.070 y que se emplean en la preparación de morteros. En tal sentido, el trabajo de investigación presenta los resultados de la influencia del módulo de finura del agregado en las propiedades del mortero de cemento, empleando arenas de una misma cantera con diferentes granulometrías.

Se trabajó con cuatro módulos de finura preparados en laboratorio, dos dentro del rango recomendado por la norma y dos fuera de este, los cuales fueron: 1.9, 2.3, 3.0 y 3.4. Se utilizó un diseño de mortero en proporción volumétrica de 1:3.

Se realizaron las comparaciones de las propiedades del mortero, en estado fresco y endurecido, en base al mortero patrón. Para cada tipo de mortero se evaluó la fluidez, peso unitario, tiempo de fraguado, exudación, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, retracción y resistencia al corte en pilas.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los morteros elaborados con agregados de menor módulo de finura presentan mejor adherencia con las unidades de albañilería, una disminución del peso y exudación. Así mismo, los agregados con mayor módulo de finura aumentan la resistencia a la compresión y tracción del mortero.

Por tanto, a fin de mejorar la calidad de las construcciones de albañilería en nuestro país, esta investigación comprueba que se debe utilizar arenas dentro de los parámetros recomendados por la norma vigente debido a que producen mayor adherencia.

## ABSTRACT

In Peru, there are fine aggregates quarries whose fineness modulus are higher than those recommended by the standard E.070 and which are used in the preparation of mortars. In this sense, the research presents the results of the influence of fineness modulus of aggregate on the properties of cement mortar, using sands from the same quarry with different granulometries.

We worked with four modules of fineness prepared in laboratory, two within the range recommended by the standard and two out of this, which were: 1.9, 2.3, 3.0 and 3.4. A mortar design was used in a volumetric proportion of 1:3.

Comparisons of mortar properties, in a fresh and hardened state, were made based on the standard mortar. For each type of mortar, fluidity, unit weight, setting time, exudation, compressive strength, tensile strength, retraction and shear strength in piles were evaluated.

According to the results obtained, mortars made with aggregates of lower fineness modulus have better adherence with the masonry units, a decrease in weight and exudation. Likewise, aggregates with a higher fineness modulus increase the compressive and tensile strength of mortar.

Therefore, in order to improve the quality of masonry constructions in our country, this research proves that sands should be used within the parameters recommended by the current standard because they produce greater adherence.

## PRÓLOGO

Según recomendaciones de la ASTM, para la elaboración del concreto, el módulo de finura de la arena deberá estar comprendido entre 2.3 y 3.1; y según la norma E.070 la arena empleada en el mortero de asentado de unidades de albañilería, deberá tener un módulo de finura entre 1.6 y 2.5.

En base a estas recomendaciones las arenas deberían, en la mayoría de los casos, ser usadas para el concreto o mortero mas no para ambos, sin embargo en las construcciones en general se suele usar de manera indistinta.

Para evaluar su influencia en el mortero, el tesista realizó una serie de pruebas de Laboratorio a fin de verificar la importancia de considerar los valores recomendados para su uso adecuado en los morteros.

La tesis comprueba que no se debe usar el mismo agregado fino para ambos casos, de ser así, se tendría que tamizar para cumplir los requisitos establecidos en las respectivas normas, lo que significaría un costo adicional.

MSc. Ing. Isabel Moromi Nakata

Asesora

**LISTA DE TABLAS**

Tabla N° 1: Usos de los morteros de cemento portland .....	17
Tabla N° 2: Compuestos principales del cemento portland .....	25
Tabla N° 3: Ficha técnica del cemento sol tipo 1.....	26
Tabla N° 4: Límites granulométricos de la arena gruesa.....	27
Tabla N° 5: Nomenclatura de los módulos de finura .....	27
Tabla N° 6: Ensayo de superficie específica .....	28
Tabla N° 7: Resultados de ensayo de superficie específica.....	28
Tabla N° 8: Ensayo de peso unitario suelto .....	29
Tabla N° 9: Resultados de ensayo de peso unitario suelto .....	29
Tabla N° 10: Ensayo de peso unitario compactado.....	30
Tabla N° 11: Resultados de ensayo de peso unitario compactado.....	30
Tabla N° 12: Ensayo de contenido de humedad .....	31
Tabla N° 13: Resultados de ensayo de contenido de humedad .....	31
Tabla N° 14: Ensayo de peso específico y absorción .....	32
Tabla N° 15: Resultados de ensayo de peso de masa y absorción.....	32
Tabla N° 16: Ensayo de material más fino que la malla N°200 .....	33
Tabla N° 17: Resultados de ensayo de material más fino que la malla N°200 ...	33
Tabla N° 18: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino A .....	34
Tabla N° 19: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino B .....	34
Tabla N° 20: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino C .....	35
Tabla N° 21: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino D .....	35
Tabla N° 22: Peso unitario suelto de los materiales .....	40
Tabla N° 23: Conversión de proporción en volumen a proporción en peso para los morteros estudiados.....	41
Tabla N° 24: Proporción en volumen y peso de las mezclas.....	41
Tabla N° 25: Diseño de mortero tipo A.....	42
Tabla N° 26: Diseño de mortero tipo B.....	42
Tabla N° 27: Diseño de mortero tipo C .....	43
Tabla N° 28: Diseño de mortero tipo D .....	43
Tabla N° 29: Resultados de ensayo de fluidez.....	45
Tabla N° 30: Resultados de ensayo de peso unitario.....	47
Tabla N° 31: Resultados de ensayo de tiempo de fraguado .....	49
Tabla N° 32: Resultados de ensayo de exudación.....	52

Tabla N° 33: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión .....	54
Tabla N° 34: Resultados de ensayo de resistencia a la tracción .....	56
Tabla N° 35: Ensayo de retracción.....	58
Tabla N° 36: Ensayo al corte en pilas .....	60
Tabla N° 37: Porcentaje de variación de la cantidad de agua requerida respecto al patrón.....	62
Tabla N° 38: Porcentaje de variación del peso unitario respecto al patrón.....	63
Tabla N° 39: Porcentaje de variación del tiempo de fraguado respecto al patrón .....	64
Tabla N° 40: Porcentaje de variación de la exudación respecto al patrón .....	66
Tabla N° 41: Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión respecto al patrón.....	67
Tabla N° 42: Requisitos para la especificación por propiedades .....	69
Tabla N° 43: Porcentaje de variación de la resistencia a la tracción respecto al patrón .....	70
Tabla N° 44: Porcentaje de variación de la retracción respecto al patrón .....	71
Tabla N° 45: Porcentaje de variación del esfuerzo de adherencia respecto al patrón .....	72

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1: Valores de la relación agua-cemento y resistencia a la compresión para diferentes módulos de finura (Sánchez De Guzmán, 2001) .....	21
Figura N° 2: Mecánica de la adhesión (Gallegos y Casabonne, 2005).....	22
Figura N° 3: Ensayo de peso unitario.....	47
Figura N° 4: Tiempo de fraguado inicial .....	50
Figura N° 5: Tiempo de fraguado final .....	50
Figura N° 6: Ensayo de exudación.....	52
Figura N° 7: Ensayo de resistencia a la compresión .....	54
Figura N° 8: Ensayo de resistencia a la tracción .....	56
Figura N° 9: Ensayo de retracción .....	58
Figura N° 10: Esquema ensayo de corte por cizalle.....	59
Figura N° 11: Ensayo de resistencia al corte en pilas .....	61
Figura N° 12: Porcentaje de variación de la cantidad de agua requerida respecto al patrón.....	63
Figura N° 13: Porcentaje de variación del peso unitario respecto al patrón.....	64
Figura N° 14: Porcentaje de variación del tiempo de fraguado inicial respecto al patrón .....	65
Figura N° 15: Porcentaje de variación del tiempo de fraguado final respecto al patrón .....	65
Figura N° 16: Porcentaje de variación de la exudación respecto al patrón.....	66
Figura N° 17: Módulo de finura vs Resistencia a la compresión.....	67
Figura N° 18: Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión respecto al patrón.....	68
Figura N° 19: Módulo de finura vs Resistencia a la tracción.....	70
Figura N° 20: Porcentaje de variación de la resistencia a la tracción respecto al patrón .....	71
Figura N° 21: Porcentaje de variación de la retracción respecto al patrón .....	72
Figura N° 22: Porcentaje de variación del esfuerzo de adherencia respecto al patrón .....	73

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

±	: Más o menos.
%	: Porcentaje.
”	: Pulgada.
Σ	: Sumatoria.

### SIGLAS

ASTM	: American Society for Testing and Materials.
cm	: Centímetro.
cm <sup>2</sup>	: Centímetro cuadrado.
cm <sup>2</sup> /gr	: Centímetro cuadrado por gramo.
E	: Exudación.
F	: Fluidez.
F’c	: Resistencia a la compresión o tracción.
gr	: Gramo.
g/ml	: Gramo por mililitro.
Kg	: Kilogramo.
Kg/cm <sup>2</sup>	: Kilogramo por centímetro cuadrado.
Kg/m <sup>3</sup>	: Kilogramo por metro cúbico.
LEM	: Laboratorio de Ensayos de Materiales.
MF	: Módulo de finura.
MFA	: Módulo de finura de la muestra “A”.
MFB	: Módulo de finura de la muestra “B”.
MFC	: Módulo de finura de la muestra “C”.
MFD	: Módulo de finura de la muestra “D”.

min	: Minutos.
ml	: Mililitros.
mm	: Milímetro.
m <sup>2</sup> /kg	: Metro cuadrado por kilogramo.
m <sup>3</sup>	: Metro cúbico.
NTP	: Norma Técnica Peruana.
P	: Carga de rotura.
P.U	: Peso Unitario.
P.U.S	: Peso unitario suelto.
P.U.C	: Peso unitario compactado.
R	: Retracción.
S	: Sección transversal.
Sa	: Esfuerzo de adherencia por corte.
Se	: Superficie específica.
T.F.I	: Tiempo de fraguado inicial
T.F.F	: Tiempo de fraguado final.
UNACEM	: Unión Andina de Cementos.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Los agregados empleados en la preparación de las mezclas de concreto y mortero varían en muchos aspectos y tienen una influencia determinante sobre las propiedades de estos. Así, en el caso del mortero, la arena deberá tener características adecuadas para lograr un acomodamiento de partículas que permitan la mayor compacidad y el menor consumo de cemento de tal modo que ayude a formar una masa homogénea y compacta.

Las arenas naturales proveniente de las distintas canteras son obtenidas por la acción erosiva de los ríos sobre las rocas y puede encontrarse en depósitos ribereños, lacustres, marinos o eólicos. Debido a la gran variedad de partículas formadas por tamaño, forma y textura, se obtienen diferentes granulometrías en su composición, derivando de ella el parámetro de módulo de finura.

En general, todas las arenas pueden ser usadas en la elaboración de morteros para asentado de ladrillos, siempre y cuando satisfagan los requisitos físicos de granulometría estipulado en la norma E.070. Caso contrario, se podrá usar otras granulometrías si los ensayos de pilas y muretes proporcionan resistencias según lo especificado en los planos.

Por ello, es importante conocer si los morteros preparados con arena natural fuera del rango de módulo de fineza establecida por la norma son adecuados, y pueden usarse en obras de albañilería.

### 1.1 GENERALIDADES

La industria de la construcción es una actividad de vital importancia en la economía de un país, la cual busca optimizar sus procesos logrando la mayor productividad posible en el uso de sus recursos. El mortero no es excluyente a ello; normalmente usado como una mezcla de aglomerante, agregado fino y agua, cumple una función importante ya que es destinado a trabajos de albañilería, acabados y resanes.

Entre las características del mortero para trabajo de albañilería se encuentran que sea trabajable, endurezca lo suficientemente rápido, resistencia adecuada, adherencia a las unidades de albañilería y que no sufra cambios volumétricos.

Según Rivet y Ritchie (1960) algunas propiedades del mortero están muy influenciadas por el tipo de arena usada. La gradación del tamaño de partícula de

la arena o la distribución del tamaño de granos en él, tiene una importante influencia en ciertas propiedades del mortero como la resistencia, retención de agua y trabajabilidad.

La influencia de la arena en la calidad del mortero depende principalmente de su granulometría y de su contenido de material fino.

Vargas (1994) demostró que las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido se ven influenciadas por el material más fino que contiene la arena.

La granulometría consiste en la determinación de la distribución por tamaño de las partículas del agregado, mediante la cual se obtiene el módulo de finura, valor que representa al tamaño promedio ponderado del agregado.

Si bien se han realizado investigaciones de la influencia del módulo de finura en el concreto, referente al módulo de finura y sus efectos en morteros no se han encontrado investigaciones, por tanto no se tiene conocimiento de cómo influye solo este parámetro en las propiedades del mortero.

## 1.2 PROBLEMÁTICA

El mortero normalmente usado en el Perú es el compuesto por cemento, arena y agua. Aún no se acostumbra usar otros insumos como cal, aditivos o adiciones minerales que ayudan a mejorar sus propiedades, razón por lo cual, siendo el agregado fino (arena) el que mayor contribuye en volumen en la preparación de las mezclas de mortero, es de vital importancia estudiarlo y saber cómo influye este componente en las propiedades del mortero que será utilizado en obras de ingeniería, principalmente en la unión de ladrillos, acabados y resanes de elementos de concreto.

Conociendo mejor el comportamiento de la arena en la mezcla de mortero, siendo este un componente variable, se optimizarán los diseños a fin de obtener ciertas características deseadas en el mortero.

La norma E.070 indica que el módulo de fineza del agregado fino para mortero usado en albañilería debe estar comprendido entre 1.6 y 2.5. Sin embargo, en el Perú existen arenas naturales provenientes de las canteras que poseen un módulo de fineza mayor.

Hasta la fecha, no se tiene mucha información de cómo incide el módulo de finura de la arena en las propiedades del mortero usado en albañilería tanto en estado fresco como endurecido, por lo que esta investigación busca demostrar mediante ensayos de laboratorio que la granulometría representada por el módulo de finura de la arena es un factor que influye en las propiedades del mortero.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo General

Estudiar la influencia del valor del módulo de finura del agregado en las propiedades del mortero en estado fresco y endurecido.

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Obtener resultados de las propiedades del mortero en estado fresco (fluidez, peso unitario, tiempo de fraguado, exudación) y en estado endurecido (resistencia a la compresión, tracción, adherencia, retracción).
- Evaluar las propiedades del mortero de cemento preparado con arenas de módulo de fineza mayores de los recomendados por la norma E.070.

### 1.4 HIPOTESIS

Es posible obtener diferentes propiedades del mortero en estado fresco y endurecido debido a la influencia del módulo de finura.

## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 GENERALIDADES

El mortero es una mezcla homogénea que se obtiene a partir de la combinación de un aglomerante, agregado fino, agua y en algunos casos aditivos, representando la arena la mayor parte del volumen de la mezcla.

Según la norma E.070: 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.

La función del mortero es permitir la sobreposición de las unidades de albañilería, formando un conjunto que tenga una liga fuerte y duradera. El mortero tiene que ser durable y lo suficientemente resistente para el trabajo que tiene que hacer, pero no debe ser fuerte en exceso por que la excesiva resistencia puede causar problemas aparte de ser incensario. (Vargas, 1994)

Además, debido al uso de aditivos, las propiedades originales del mortero se ven modificadas con la finalidad de ser usadas para diferentes usos como: reparaciones estructurales, mortero de relleno (grout), shotcrete entre otros.

En este trabajo se estudiará el uso del mortero de cemento como adhesivo para las unidades de albañilería.

### 2.2 EL MORTERO EN LA ALBAÑILERÍA

La construcción tradicional de albañilería utiliza unidades asentadas con mortero. El mortero cumple la función de asumir las inevitables irregularidades de las unidades y, sobre todo, la de unir las y adherirlas con relativa estabilidad en el proceso constructivo, proveyendo rigidez en la hilada para permitir el asentado de la siguiente hilada, y para formar, en última instancia, un conjunto durable, impermeable y con alguna resistencia a la tracción. El mortero – como se ha dicho – es un adhesivo, y su adhesión completa, fuerte y durable con la unidad de albañilería es su objetivo más importante; todas sus otras propiedades, incluida la resistencia, son incidentales. En este contexto, la relación agua/cemento, específica e invariable, carece de importancia. Más bien, como el mortero no se forma en moldes sino que debe colocarse con el badilejo en las superficies de las unidades que son absorbentes y comienza a perder agua tan pronto se realiza el

contacto, deberá tener la cantidad de agua necesaria para alcanzar una maleabilidad adecuada a dichas condiciones. (Gallegos y Casabonne, 2005)

El mortero usado en albañilería provee a las unidades de albañilería una distancia mínima suficiente para absorber sus irregularidades además de que gracias a la propiedad de adhesividad del mortero forma un todo monolítico.

Además, la propiedad de adhesión del mortero debe ser durable y depende, independientemente de las propiedades intrínsecas propias del mortero, de la superficie sobre la cual se va a colocar el mortero (rugosidad y absorción).

### 2.3 CLASIFICACIÓN DEL MORTERO

Los morteros están agrupados generalmente en función al aglomerante empleado en la fabricación de la mezcla, estos pueden ser: yeso, cal, cemento y cemento con cal. También existen los morteros con aditivos, morteros preparados y últimamente los morteros no convencionales (poliméricos). Debido a que la presente investigación se centra en el mortero de cemento con los componentes tradicionalmente usado en la mezcla (cemento, arena y agua) mencionaremos la clasificación de los morteros tradicionales con algunas características importantes.

#### 2.3.1 Mortero de yeso

No es muy usado porque la pasta de yeso admite poca arena como consecuencia de la debilidad de aquel material en su fragua, además como el fraguado del yeso es rápido no da tiempo a amasarlo y colocarlo. (Vargas, 1994)

#### 2.3.2 Mortero de cal

Fabricado con cal hidratada o pasta de cal, arena y agua. La cal hidratada es un polvo blanco que puede ser añadido a la mezcla juntamente con la arena y agua. La pasta de cal debe ser preparada en obra con agua y cal rápida; a este proceso se le llama apagado. (Meza, 2004)

Conocido desde la antigüedad, la cal es un plastificante y ligador, estas características hacen que sea el más trabajable pero a su vez, debido a su baja velocidad de endurecimiento, posee bajas resistencias mecánicas lo cual genera un inconveniente en el asentamiento de unidades.

### 2.3.3 Mortero de cemento

Estos morteros constituidos por cemento portland, arena y agua se usan cuando se requieren altas resistencias. Sus condiciones de trabajabilidad son variables de acuerdo a la proporción cemento: agregado usada, pero en general, la mezcla es menos plástica y trabajable que en los morteros con adición de cal, lo cual indica cuando en si son fuertes a veces no ligan bien las unidades.

Este mortero fragua rápidamente por lo que su fabricación en obra debe hacerse en forma continua, organizando un abastecimiento de acuerdo al consumo de cada momento, de tal forma que entre el mezclado y la colocación no transcurra mucho tiempo. (Vargas, 1994)

Este tipo de mortero será estudiado en la presente investigación en proporción volumétrica cemento: arena de 1:3, por recomendación de la norma E.070 para asentado de unidades de albañilería.

Según las recomendaciones del Dr. Sánchez de Guzmán, en la Tabla N° 1 se muestra algunos usos de los morteros de cemento de acuerdo a su dosificación.

Tabla N° 1: Usos de los morteros de cemento portland

<b>MORTERO</b>	<b>USOS</b>
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 albañilería en general. Pañetes no muy finos
1:6 y 1:7	Pañetes interiores: pega para ladrillos y baldosines, pañetes y albañilería en general. Pañetes no muy finos
1:8 y 1:9	Pega para construcciones que se van a demoler pronto. Estabilización de taludes en cimentaciones

Fuente: (Sánchez De Guzmán, 2001)

### 2.3.4 Mortero de cemento y cal

Es fabricado con cemento portland, cal hidratada o pasta de cal, agregado y agua. En nuestro medio se le conoce como mortero bastardo, el de uso más frecuente es cemento portland, cal hidratada, arena y agua. Este tipo de mortero se usa cuando se busca trabajabilidad, buena retención de agua y altas resistencias

iniciales. La cal adicionada lo hace más denso, trabajable e impermeable que el mortero de cemento. (Meza, 2004)

## 2.4 PROPIEDADES DEL MORTERO

### 2.4.1 Trabajabilidad

En el estado plástico, la propiedad más importante del mortero es su trabajabilidad debido a que influye en otras propiedades del mortero tanto en estado plástico como endurecido.

La trabajabilidad es una propiedad mediante la cual el mortero adquiere cierto grado de plasticidad, entendiéndose como una medida de la facilidad de colocación de la mezcla y está relacionada con la consistencia o fluidez de la mezcla.

La trabajabilidad influye en forma importante tanto en la resistencia a la compresión de los muros como principalmente en la adherencia entre unidades y mortero. Un albañil experimentado juzga la trabajabilidad del mortero por la forma en que se adhiere a su badilejo. La portland cement association define un mortero trabajable como aquel que puede deslizarse fácilmente sobre la unidad de albañilería adhiriéndose a la superficies verticales y que permite el fácil acomodo de las unidades sobre él sin cambio en su espesor o en el espesor de las juntas anteriormente formadas. (Vargas, 1994)

Los factores que influyen en la trabajabilidad de los morteros son: el grado de fineza del aglomerante, proporción cemento: agregado, granulometría, contenido de finos y forma y textura del agregado.

No existe un método para cuantificar la trabajabilidad, por lo cual, lo que se hace en laboratorio es medir la fluidez y la retentividad del mortero que se relacionan con esta propiedad.

### 2.4.2 Consistencia

Se llama así a la habilidad del mortero de fluir. Esta propiedad tiene que ver directamente con la cantidad de agua que contiene el mortero. Generalmente, diferentes morteros requieren diferentes contenidos de agua para lograr el mismo grado de humedad. La consistencia ideal depende de la forma en que el mortero

será usado; en la práctica, es el albañil quien determina la mejor consistencia que se ajuste a sus necesidades adicionado agua a la mezcla. (Meza, 2004)

La fluidez de un mortero varía por efecto del tiempo transcurrido desde su preparación, y también en mayor medida por el tiempo que está colocado sobre los elementos a causa de la succión a que está sometida. (Vargas, 1994)

Para medir la consistencia de la mezcla se usa el ensayo de fluidez, la cual da el porcentaje de flujo de acuerdo a la norma ASTM C270. Así mismo, para obtener mezclas plásticas trabajables y de buena consistencia la fluidez debe estar en entre 105% y 115%.

#### 2.4.3 Retención de agua

La retención de agua o retentividad es una medida de la capacidad de retener el agua, manteniéndolo y evitando pérdidas por factores de evaporación o succión. En albañilería, es la habilidad del mortero para mantener su trabajabilidad cuando este en contacto con una superficie absorbente como la unidad de albañilería. La retentividad incide en la velocidad de endurecimiento y en la resistencia final a la compresión.

Si el mortero no es retentivo (es decir pierde su agua fácilmente) no fraguará todo el cemento, la hidratación será parcial, se endurecerá y se deformará la superficie plana del mortero, impidiendo el correcto asentado de la hilada siguiente. En la construcción la retentividad se evidencia por la capacidad del mortero de permanecer trabajable después del contacto con la primera unidad de albañilería, permitiendo el asentado cómodo de la unidad superior. Los morteros con reducida retentividad, en contraposición, ceden agua con facilidad y, consecuentemente, pierden trabajabilidad rápidamente dificultando el asentado, ya que al colocar la segunda unidad esa podrá ser acomodada apropiadamente sobre el mortero endurecido, resultando algunas fisuras que perjudican la permeabilidad de la junta. (Vargas, 1994)

Para medir la retención de agua se mide primero la consistencia. Se cuantifica la fluidez de la mezcla antes y después de su exposición a un aparato de vacío. La relación entre el flujo final y el inicial, expresada en porcentaje es la medida de la retentividad. Este ensayo está descrito en la norma ASTM C91.

#### 2.4.4 Resistencia a la compresión

Es la resistencia del mortero a esfuerzos de compresión. Si el mortero es usado como adhesivo en albañilería, debe proporcionar una unión resistente, además que la resistencia a la compresión del mortero es uno de los factores que afectan la resistencia final del muro de albañilería.

La resistencia a la compresión del muro aumenta cuando se usa un mortero más resistente; sin embargo, este aumento no es proporcional al incremento de la resistencia de la compresión del mortero.

El tamaño de los granos de la arena está subordinado en su influencia sobre la resistencia y otras cualidades del mortero a la densidad del mortero producido. Se puede suponer que una arena densa, o sea aquella que contenga seca el menor volumen de poros, al ser mezclada con una proporción dada de cemento, producirá el mortero más denso y en consecuencia resistente. Pero esto no ocurre necesariamente porque la adición de cemento y agua cambia la composición física. Una mezcla de arena fina y cemento requiere más agua que una arena gruesa y el mismo cemento. El volumen de mortero de consistencia plástica será afectado por la cantidad de agua usada y por los volúmenes de los materiales secos. Por ello un mortero hecho de arena fina y cemento será menos denso que uno hecho con arena gruesa y el mismo cemento, aunque ambas arenas al ser pesadas secas contengan la misma proporción de sólidos y poros. La arena fina tiene más granos en su unidad de volumen, por consiguiente un mayor número de puntos de contacto entre sus granos. Al agregar agua, ésta produce una película y separa los granos por tensión superficial. (Sánchez De Guzmán, 2001)

En general, resistencia a la compresión del mortero depende principalmente del tipo de aglomerante, de la relación agua/cemento, de la relación agregado/aglomerante; sin embargo, también pueden influir las características de la arena a usar.

En la figura N° 1, se muestra la correspondencia entre los valores de relación agua-cemento y resistencia a la compresión para morteros con cemento portland tipo 1 y arena de forma redondeada y textura lisa.

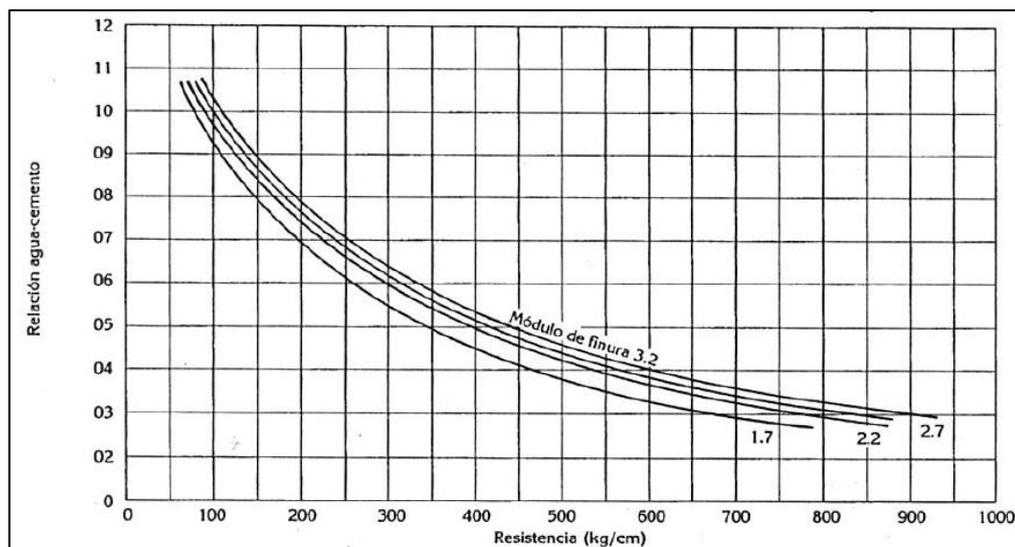


Figura N° 1: Valores de la relación agua-cemento y resistencia a la compresión para diferentes módulos de finura (Sánchez De Guzmán, 2001)

#### 2.4.5 Resistencia a la tracción

La resistencia a la tracción es la capacidad del mortero de resistir esfuerzos de tracción. En el caso que el muro de albañilería deba soportar cargas laterales como viento o sismo, en el extremo superior del mismo se producirán esfuerzos de tracción por flexión, siendo estos esfuerzos absorbidos principalmente por las fuerzas de adherencia entre mortero y unidad. Por esta razón la resistencia a la tracción no es importante en los morteros de asentar, ya que si el muro falla debido a esfuerzos de tracción, lo hará por fallas en la adherencia. (Meza, 2004)

#### 2.4.6 Adherencia

Es la propiedad más importante del mortero en su estado endurecido. La adherencia es la capacidad que posee el mortero de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie que une el mortero con la estructura. Esta propiedad es de suma importancia, pues gracias a ella se le da capacidad al mortero de responder monóticamente con las piezas que une ante solicitudes de cargas, dándole resistencia a la estructura.

Al hacer el mortero éste contacto con la unidad de albañilería debe producir una liga firme con estas ya que de esta capacidad de liga depende la durabilidad, impermeabilidad, resistencia del mortero y en gran parte también la resistencia del muro. El mortero debe desarrollar suficiente adhesión para resistir los esfuerzos causados por vientos severos, terremotos, cambios volumétricos en las unidades

o en el mismo mortero, cambio de temperatura y otras fuerzas. Entre las variables que afectan la adhesión figuran la cantidad de material cementante, la retentividad y las características de la unidad empleada. (Vargas, 1994)

Los morteros de baja capacidad de retención de agua y morteros de alta resistencia se adhieren sólo en partes por lo que su adherencia es pobre. En el caso de la albañilería, para obtener una buena adherencia es necesario que la superficie del bloque sea rugosa como sea posible para permitir la unión mecánica del mortero y además debe tener un nivel de absorción adecuado y compatible con la mezcla del mortero. (Sánchez De Guzmán, 2001)

En la figura 2, se muestra el proceso de adhesión de dos unidades de albañilería.

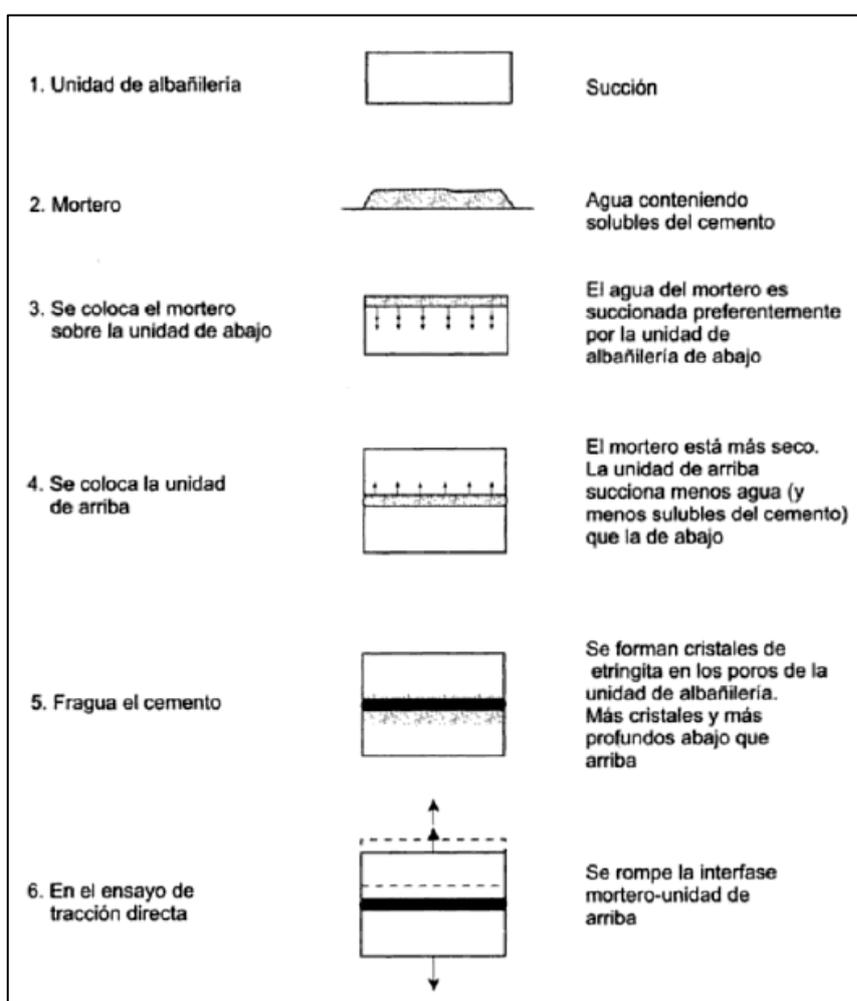


Figura N° 2: Mecánica de la adhesión (Gallegos y Casabonne, 2005)

### 2.4.7 Retracción

La retracción es la reducción en el volumen (deformación volumétrica) que experimenta el mortero durante su proceso de fraguado y endurecimiento, en la práctica la retracción se mide simplemente como una deformación lineal. Así pues sus unidades son mm por mm usualmente expresadas en  $10^{-6}$ .

La retracción se debe principalmente a las reacciones químicas de hidratación de la pasta de cemento, sobre todo en pastas puras con una alta relación agua-cemento. La arena soluciona el problema en parte, especialmente si es de textura rugosa, ya que forma un esqueleto que evita los cambios de volumen y el peligro de agrietamiento. En zonas calurosas y de muchos vientos el agua, el agua de mezclado tiende a evaporarse produciendo tensiones internas en el mortero, que se expresan en la formación de visibles grietas. Lo mismo ocurre si la base es muy absorbente. Aparentemente la retracción es proporcional a la capa de mortero y a la riqueza de cemento. Para evitar la retracción es conveniente usar cementos de baja retracción al secado (puzolánicos o con adición inerte) y arenas de buena granulometría con pocos finos. (Sánchez De Guzmán, 2001)

## 2.5 INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DEL MORTERO EN SUS PROPIEDADES

Los principales componentes del mortero como el cemento, arena, y agua cumplen una función en la obtención del mismo, por ello todos son imprescindibles con la finalidad de obtener propiedades adecuadas a su función.

### 2.5.1 El cemento

El cemento portland es el responsable del valor de la adhesión y de la resistencia a la compresión, tanto temprano como final, de los morteros. Sin embargo, los morteros de cemento puro, sin la presencia de cal, tienden a ser ásperos y poco retentivos, en consecuencia, difíciles de trabajar; además ellos producen áreas de contacto de extensión reducida en una forma localizada, puntual y tentacular. De otro lado, el cemento Portland se caracteriza por producir contracciones de fragua que tienden a retraer al mortero y destruir la adhesión lograda con las unidades de albañilería. (Vargas, 1994)

### 2.5.2 Arena

Al proveer una estructura indeformable y reducir el contenido de cemento por unidad de volumen de mezcla, la arena controla, aminora a niveles manejables y distribuye las deformaciones causadas por la contracción de fragua del cemento y contribuye, por ello, a la durabilidad de la adhesión.

Dado que los límites granulométricos de los materiales naturales son bastante amplios, existe considerable variación en las propiedades de los morteros con arenas que, aun siendo normativamente satisfactorias, tienen la granulometría cargada hacia el extremo grueso o fino del espectro granulométrico normalizado. Hay evidencia de que las arenas gruesas producen morteros ásperos con mayor resistencia a la compresión, mientras las arenas finas optimizan la adherencia. Igualmente influyente en las propiedades del mortero es la forma – redondeada o angulosa- de los granos de la arena. (Gallegos y Casabonne, 2005)

Así mismo, una arena mal graduada que contiene exceso o defecto de partículas en uno de los tamaños dados, puede presentar una considerable cantidad de vacíos que deben ser llenados que deben ser llenados por la pasta de cemento y agua para que la mezcla resultante sea trabajable y no presente grados de porosidad.

### 2.5.3 Agua

El agua es el componente principal para que el mortero posea su cualidad fundamental en el estado plástico, es decir la trabajabilidad. La cantidad de agua debe ser la máxima posible sin llegar a causar segregación de los componentes del mortero. (Vargas, 1994)

Está probado que para lograr la máxima adhesión debe buscarse la máxima consistencia compatible con el manipuleo del mortero con el badilejo; y que debe añadirse agua para recuperar la consistencia perdida por secado del mortero, siempre y cuando esto se haga antes del inicio de fragua inicial del mortero. (Gallegos y Casabonne, 2005)

## CAPÍTULO III: CARÁCTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Entre los principales materiales usados en la preparación de las mezclas de morteros dependiendo del tipo de mortero y/o uso que se le quiere dar, se tienen los siguientes:

- Aglomerante
- Agregado
- Cales
- Agua
- Aditivos

A continuación, se detalla las características de los materiales empleados en la preparación del mortero de cemento.

### 3.2 CEMENTO PORTLAND TIPO I

Es un aglomerante hidrófilo, obtenido de la pulverización del Clinker con la adición de una o más formas de sulfatos cálcicos. El cemento portland posee propiedades de adherencia y cohesión, las cuales permiten unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuadas.

Se considera cuatro compuestos como los componentes principales del cemento portland, las cuales se detallan en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Compuestos principales del cemento portland

NOMBRE DEL COMPUESTO	FÓRMULA QUÍMICA	ABREVIATURA
Silicato dicálcico	$2\text{CaOSiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Silicato tricálcico	$3\text{CaOSiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Aluminato tricálcico	$3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato tetracálcico	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$

Fuente: (Sánchez De Guzmán, 2001)

También existen los cementos portland adicionados que son obtenidos por la mezcla de Clinker, yeso y adiciones minerales en distintas proporciones. Las principales adiciones son las puzolanas, escorias de alto horno y fillers que contribuyen a mejorar las propiedades del cemento.

Para el estudio, se utilizó Cemento Portland Tipo I Sol, en presentación de bolsas de 42.5 kg equivalente a 1pie<sup>3</sup>, producto de UNACEM. Cumple con los requisitos de la norma NTP 334.009 y ASTM C150.

Este tipo de cemento es fabricado para uso general en las construcciones, es decir donde no se requiera que el cemento tenga cualidades especiales. En la Tabla N° 3 se detalla la ficha técnica del producto brindada por el fabricante.

Tabla N° 3: Ficha técnica del cemento sol tipo 1

Parámetro	Unidad	Valor	Requisitos NTP-334.009 / ASTM C-150
Contenido de aire	%	6.62	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie específica	m <sup>2</sup> /kg	336	Mínimo 260
Densidad	g/ml	3.12	No especifica
<b>Resistencia a la compresión</b>			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	296	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	357	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	427	Mínimo 285
<b>Tiempo de Fraguado</b>			
Fraguado Vicat inicial	min	127	Mínimo 45
Fraguado Vicat final	min	305	Máximo 375
<b>Composición Química</b>			
MgO	%	2.93	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	3.00	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.7	Máximo 1.5
<b>Fases Mineralógicas</b>			
C2S	%	11.9	No especifica
C3S	%	54.2	No especifica
C3A	%	10.1	No especifica
C4AF	%	9.7	No especifica

Fuente: Página web de UNACEM

### 3.3 AGREGADO FINO

El agregado fino (arena) empleado en la presente tesis para la preparación de las muestras de mortero fue procedente de la cantera “Musa” (La Molina); a continuación detallaremos las principales propiedades del agregado utilizado.

### 3.3.1 Análisis granulométrico

Es la determinación de la distribución por tamaño de las partículas de arena, la cual consiste en tamizar una muestra de agregado por una serie de mallas de aberturas estandarizadas.

Mediante el análisis granulométrico se puede determinar si el agregado cumple con las normas establecidas, además se obtiene el módulo de finura y la superficie específica del agregado.

La norma E.070 da los husos granulométricos para arenas gruesas naturales, la cual se muestra en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4: Límites granulométricos de la arena gruesa

<b>MALLA ASTM</b>	<b>% QUE PASA</b>
N° 4 (4,75mm)	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

Fuente: (Norma Técnica E.070, 2006)

Se realizó el ensayo en tres tandas de 600 gr. cada una, las cuales se muestra en el anexo A.

### 3.3.2 Módulo de finura

Se detallará en el capítulo IV; sin embargo, para un mejor entendimiento, se ha denominado las muestras obtenidas en laboratorio con una nomenclatura de A, B, C y D como se muestra en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5: Nomenclatura de los módulos de finura

<b>AGREGADO FINO</b>	<b>MÓDULO DE FINURA (M.F)</b>
A	1.90
B	2.30
C	3.00
D	3.40

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.3 Superficie específica

Es la suma de las áreas superficiales de las partículas del agregado por unidad de peso. Si el agregado grueso presenta granos pequeños entonces se incrementará la superficie específica.

A mayor superficie específica, mayor es el área superficial a ser cubierta por la pasta de cemento. En la Tabla N° 6 se detalla el cálculo y el resultado obtenido para la muestra A.

Tabla N° 6: Ensayo de superficie específica

<b>SUPERFICIE ESPECIFICA (MUESTRA A)</b>				
Malla	Peso ret. promedio	%Retenido promedio (1)	Diámetro promedio (2)	Cociente (1)/(2)
N° 4	0	0.00%	0.714	0
N° 8	0	0.00%	0.356	0
N° 16	2.9	0.48%	0.1785	2.7077498
N° 30	168.1	28.02%	0.0893	313.73647
N° 50	241.5	40.25%	0.0446	902.46637
N° 100	151.1	25.18%	0.0223	1129.2975
			Σ	2348.208

Fuente: Elaboración propia

$$Se = 0.06 \times \frac{St}{Pe} = 52.77 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

De la misma forma se realizó el cálculo para las muestras B, C y D. Los resultados se muestran en la Tabla N° 7.

Tabla N° 7: Resultados de ensayo de superficie específica

Muestra	Superficie específica (cm <sup>2</sup> /gr)
A	52.77
B	43.09
C	29.15
D	21.24

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.4 Peso unitario

Es el peso que ocupa un determinado volumen unitario. El peso unitario puede expresarse como peso unitario suelto o peso unitario compactado, de acuerdo a las condiciones que se ha realizado el ensayo.

#### 3.3.4.1 Peso unitario suelto (PUS)

El peso unitario suelto se utiliza para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen o viceversa. En la Tabla N° 8 se detalla el cálculo y el resultado obtenido para la muestra A.

Tabla N° 8: Ensayo de peso unitario suelto

<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>				
Peso recipiente (Kg) = 1.5765				
Volumen recipiente (m <sup>3</sup> ) = 0.00283				
Tipo de arena	Peso muestra suelta + recipiente (Kg)	Peso muestra suelta (Kg)	Peso unitario suelto (Kg)	Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
A	5.9855	4.409	1557.95	1548.41
	5.9395	4.363	1541.70	
	5.9505	4.374	1545.58	

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma se realizó el cálculo para las muestras B, C y D. Los resultados se muestran en la Tabla N° 9.

Tabla N° 9: Resultados de ensayo de peso unitario suelto

Muestra	P.U Suelto (Kg/m <sup>3</sup> )
A	1548.41
B	1542.46
C	1639.69
D	1668.32

Fuente: Elaboración propia

#### 3.3.4.2 Peso unitario compactado (PUC)

El ensayo consiste en llenar el recipiente en tres capas, cada una apisonada con 25 golpes de una varilla lisa de 2 pies de longitud y  $\varnothing 5/8$ " con punta roma. En la Tabla N° 10 se detalla el cálculo y el resultado obtenido para la muestra A.

Tabla N° 10: Ensayo de peso unitario compactado

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>				
Peso recipiente (Kg) = 1.5765				
Volumen recipiente (m <sup>3</sup> ) = 0.00283				
Tipo de arena	Peso muestra compactada + recipiente (Kg)	Peso muestra compactada (Kg)	Peso unitario compactado (Kg)	Promedio (Kg/m <sup>3</sup> )
A	6.2775	4.701	1661.13	1655.65
	6.2445	4.668	1649.47	
	6.264	4.6875	1656.36	

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma se realizó el cálculo para las muestras B, C y D. Los resultados se muestran en la Tabla N° 11.

Tabla N° 11: Resultados de ensayo de peso unitario compactado

Muestra	P.U Compactado (Kg/m <sup>3</sup> )
A	1655.65
B	1694.52
C	1771.32
D	1778.62

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.5 Contenido de humedad

Es el contenido de agua que posee el agregado. Se expresa en porcentaje respecto al peso del agregado.

Es importante tanto para el concreto como para el mortero porque influye en varias de sus propiedades como fluidez, resistencia, exudación, retracción, etc. Así mismo, es un valor variable que dependerá del estado en que se encuentra el agregado y de las condiciones ambientales. En la Tabla N° 12 se detalla el cálculo y el resultado obtenido para la muestra A.

Tabla N° 12: Ensayo de contenido de humedad

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD</b>				
Peso muestra húmeda (gr) = 500				
Tipo de arena	Peso muestra seca al horno (gr)	Peso del agua perdida (gr)	Contenido de humedad (%)	Promedio (%)
A	496.7	3.30	0.66%	0.70%
	496.6	3.40	0.68%	
	496.3	3.70	0.75%	

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma se realizó el cálculo para las muestras B, C y D. Los resultados se muestran en la Tabla N° 13.

Tabla N° 13: Resultados de ensayo de contenido de humedad

Muestra	Contenido de Humedad (%)
A	0.70
B	0.66
C	0.68
D	0.53

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.6 Peso específico y absorción

El peso específico indica la relación que existe entre la masa de un volumen unitario del material y la masa del mismo volumen del agua. Además, es un indicador rápidamente usado para saber la calidad del agregado, así valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que valores bajos corresponden a agregados porosos y débiles; sin embargo, tales indicaciones deben confirmarse por otras pruebas.

Por otro lado, la absorción de un agregado es la capacidad para admitir y sostener agua en los espacios internos constituidos por sus poros, por ende depende de la porosidad del agregado. La absorción influye en la trabajabilidad, en la resistencia y en la densidad del mortero o concreto. En la Tabla N° 14 se detalla el cálculo y el resultado obtenido para la muestra A.

Tabla N° 14: Ensayo de peso específico y absorción

<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (MUESTRA A)</b>					
<b>Datos</b>	<b>Unid</b>	<b>M 1</b>	<b>M 2</b>	<b>M 3</b>	<b>Promedio</b>
Peso de la muestra superficialmente seca	gr	500	500	500	
Peso del recipiente (gr)	gr	142	142	142	
Peso de la muestra superficialmente seca + peso del recipiente + peso del agua	gr	955.9	955.6	955.1	
Peso del agua	gr	313.9	313.6	313.1	
Volumen del recipiente	cm <sup>3</sup>	500	500	500	
Peso de la muestra seca al horno	gr	497.3	497.2	496.8	
<b>Peso específico de masa</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.67	2.67	2.66	2.67
<b>Peso específico de masa saturado con superficie seca</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.69	2.68	2.68	2.68
<b>Peso específico aparente</b>	gr/cm <sup>3</sup>	2.71	2.71	2.70	2.71
<b>Absorción</b>	%	0.54%	0.56%	0.64%	0.58%

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma se realizó el cálculo para las muestras B, C y D. Los resultados se muestran en la Tabla N° 15.

Tabla N° 15: Resultados de ensayo de peso de masa y absorción

Muestra	Peso específico de masa (%)	Porcentaje de Absorción (%)
A	2.67	0.58
B	2.64	0.42
C	2.62	0.62
D	2.59	0.48

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.7 Porcentaje de finos

Representa las materias con aspecto de polvo fino, cuyo diámetro es menor a 0.075mm. Estas pueden ser perjudiciales para los concretos y morteros si existen en cantidades excesivas pues debilitan la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado como también la durabilidad y resistencia al desgaste del mortero. En la Tabla N° 16 se detalla el cálculo y el resultado obtenido para la muestra A.

Tabla N° 16: Ensayo de material más fino que la malla N°200

<b>MATERIAL MÁS FINO QUE LA MALLA N°200</b>				
Peso seco de la muestra (gr) = 500				
Tipo de arena	Peso seco después del lavado (gr)	Pérdida de peso (gr)	Material que pasa la malla N°200 (%)	Promedio (%)
A	476.4	23.6	4.72%	4.68%
	479.0	21.0	4.20%	
	474.4	25.6	5.12%	

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma se realizó el cálculo para las muestras B, C y D. Los resultados se muestran en la Tabla N° 17.

Tabla N° 17: Resultados de ensayo de material más fino que la malla N°200

Muestra	Material más fino que la malla 200 (%)
A	4.68
B	4.39
C	4.89
D	4.11

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.8 Resumen de las propiedades físicas de los agregados

A continuación, en la Tabla N° 18 al N° 21 se presenta el resumen de las propiedades físicas de los agregados A, B, C y D empleados en la preparación de las mezclas de mortero a estudiar.

**Muestra “A”**

Tabla N° 18: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino A

ITEM	PROPIEDADES FISICAS	VALOR
1	Peso unitario suelto (P.U.S)	1548.41 kg/m <sup>3</sup>
2	Peso unitario compactado (P.U.C)	1655.65 kg/m <sup>3</sup>
3	Peso específico de masa	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
4	Peso específico de masa con superficie seca	2.68 gr/cm <sup>3</sup>
5	Peso específico aparente	2.71 gr/cm <sup>3</sup>
6	Contenido de humedad	0.70%
7	Porcentaje de absorción	0.58%
8	Superficie específica	52.77 cm <sup>2</sup> /gr
9	Módulo de finura	1.90
10	Material que pasa la malla N°200	4.68%

Fuente: Elaboración propia

**Muestra “B”**

Tabla N° 19: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino B

ITEM	PROPIEDADES FISICAS	VALOR
1	Peso unitario suelto (P.U.S)	1542.46 kg/m <sup>3</sup>
2	Peso unitario compactado (P.U.C)	1694.52 kg/m <sup>3</sup>
3	Peso específico de masa	2.64 gr/cm <sup>3</sup>
4	Peso específico de masa con superficie seca	2.65 gr/cm <sup>3</sup>
5	Peso específico aparente	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
6	Contenido de humedad	0.66%
7	Porcentaje de absorción	0.42%
8	Superficie específica	43.09 cm <sup>2</sup> /gr
9	Módulo de finura	2.30
10	Material que pasa la malla N°200	4.39%

Fuente: Elaboración propia

**Muestra “C”**

Tabla N° 20: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino C

ITEM	PROPIEDADES FISICAS	VALOR
1	Peso unitario suelto (P.U.S)	1639.69 kg/m <sup>3</sup>
2	Peso unitario compactado (P.U.C)	1771.32 kg/m <sup>3</sup>
3	Peso específico de masa	2.62 gr/cm <sup>3</sup>
4	Peso específico de masa con superficie seca	2.63 gr/cm <sup>3</sup>
5	Peso específico aparente	2.66 gr/cm <sup>3</sup>
6	Contenido de humedad	0.68%
7	Porcentaje de absorción	0.62%
8	Superficie especifica	29.15 cm <sup>2</sup> /gr
9	Módulo de finura	3.00
10	Material que pasa la malla N°200	4.89%

Fuente: Elaboración propia

**Muestra “D”**

Tabla N° 21: Resumen de las propiedades físicas del agregado fino D

ITEM	PROPIEDADES FISICAS	VALOR
1	Peso unitario suelto (P.U.S)	1668.32 kg/m <sup>3</sup>
2	Peso unitario compactado (P.U.C)	1778.62 kg/m <sup>3</sup>
3	Peso específico de masa	2.59 gr/cm <sup>3</sup>
4	Peso específico de masa con superficie seca	2.60 gr/cm <sup>3</sup>
5	Peso específico aparente	2.62 gr/cm <sup>3</sup>
6	Contenido de humedad	0.53%
7	Porcentaje de absorción	0.48%
8	Superficie especifica	21.24 cm <sup>2</sup> /gr
9	Módulo de finura	3.40
10	Material que pasa la malla N°200	4.11

Fuente: Elaboración propia

### 3.4 AGUA

El agua es un componente indispensable del mortero, la cual cumple dos funciones esenciales, permitir la hidratación del cemento y hacer la mezcla trabajable. El agua debe ser limpia, es decir estar libre de materia orgánica y otras impurezas. Además, deberá cumplir los requisitos establecidos en la Norma NTP 339.088 y de preferencia ser potable.

La cantidad de agua que se usa en la preparación de la mezcla de mortero depende de la trabajabilidad que se requiera, pero mayor de lo necesario para la hidratación del cemento, pues del total de agua que se emplea, parte se hidrata y el resto es agua evaporable.

Para el presente estudio se utilizó el agua que brinda el servicio de agua potable que abastece al Laboratorio de Ensayos de Materiales (LEM), la cual cumple con la norma establecida.

## CAPÍTULO IV: MÓDULO DE FINURA

### 4.1 INTRODUCCIÓN

El módulo de finura o fineza como se le conoce en muchos casos, es la traducción al español de la palabra en inglés *Finesses modulus* (FM). Algunos autores también lo denominan módulo granulométrico debido a que éste se obtiene de la curva granulométrica del agregado. Este parámetro fue introducido por primera vez por Adams Duff en 1925 bajo la premisa: Granulometrías con el mismo módulo de finura, requerirá la misma cantidad de agua para producir mezclas con la misma trabajabilidad y dar un concreto de la misma resistencia.

La consideración más importante para el estudio del agregado es que ésta es la que mayor volumen aporta a la mezcla del mortero, es por ello que se debe estudiar al agregado que se emplea en la preparación, así un análisis que normalmente se hace a la muestra de agregado es determinar la distribución de partículas en toda su masa, mediante la cual se puede sacar constantes siendo una de ellas el módulo de finura.

El módulo de finura da una idea del tamaño medio de las partículas; sin embargo, no es un índice de la granulometría pues pueden existir arenas que teniendo el mismo módulo de finura, tengan en su granulometría distribución de sus partículas totalmente diferentes.

### 4.2 DEFINICIÓN

Es una constante adimensional y representa el tamaño promedio ponderado de las partículas de la muestra de arena. Mientras más pequeño sea el valor del módulo de finura, más fina será la arena.

Según la NTP 400.012 es el factor que se obtiene por la suma de los porcentajes acumulados de material de una muestra de agregado en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividido por 100.

Así en general, se tiene la siguiente expresión para el cálculo del módulo de finura del agregado en base al análisis granulométrico.

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulado } (3", 3/2", 3/4", 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

### 4.3 CONSIDERACIONES DEL MÓDULO DE FINURA

Existen algunas consideraciones que dan las normativas nacionales e internacionales referentes al módulo de finura del agregado entre las principales están la norma E.070 y la norma ASTM.

La norma E.070 Albañilería recomienda usar arenas gruesas con módulos de finura comprendidos entre 1.6 y 2.5; sin embargo, muchas de las arenas gruesas provenientes de distintas canteras del Perú poseen un módulo de finura mayor.

Además, según la norma ASTM C-144 si el módulo de finura varía en más de 0.20 del valor considerado en el proporcionamiento de las mezclas de mortero, el agregado deberá ser rechazado a menos que se realicen ajustes adecuados en las proporciones para compensar el cambio en la gradación.

Por otro lado, en Colombia por ejemplo, se ha realizado investigaciones sobre el diseño de mezcla en base a su resistencia a la compresión del mortero, teniendo como punto de partida la resistencia a la cual se quiere alcanzar y el módulo de finura del agregado.

### 4.4 MÓDULO DE FINURA OBTENIDO EN LABORATORIO

Para la presente tesis, como el objetivo es analizar el comportamiento del mortero preparado con arenas de diferentes módulos de finura, se procedió a obtener las arenas de diferentes granulometrías y el cálculo del módulo de finura se obtuvo de la siguiente expresión.

$$M.F = \frac{\sum \% \text{ ret. acumulado } (N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$

Como se detalló anteriormente, se tuvieron los siguientes módulos de finura para la preparación de los diferentes tipos de mortero.

Muestra A: Agregado fino con módulo de finura 1.90

Muestra B: Agregado fino con módulo de finura 2.30

Muestra C: Agregado fino con módulo de finura 3.00

Muestra D: Agregado fino con módulo de finura 3.40

## CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de mezcla es el proceso de selección más adecuado y conveniente de los componentes que actúan en la mezcla como son: el cemento, agregado, agua y aditivo si es necesario, con el fin de obtener adecuada trabajabilidad y fluidez en su estado fresco, además que proporcionen las propiedades de acuerdo a su función, especificaciones técnicas requeridas en su estado endurecido.

Con el objetivo de estudiar la influencia de módulo de finura del agregado (arena) en las propiedades del mortero, se realizó un proporcionamiento en volumen cemento: agregado de 1:3 constante, ya que se busca estudiar el comportamiento de las propiedades del mortero cuando se tiene diferentes módulos de finura de la arena (1.9, 2.3, 3.0 y 3.4).

Se debe tener en consideración que la cantidad de finos (componentes de la arena que pasan la malla N°100), se mantuvo en un rango de valores casi constante, desde 6.07% a 6.30% finos, para poder examinar sólo la influencia de la granulometría de la arena representada por su módulo de finura, ya que como se ha mencionado en capítulos anteriores la granulometría y la cantidad de finos son las características de la arena que influyen en las propiedades del mortero.

### 5.1 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS

Conociendo que los morteros usados en albañilería se proporcionan en volumen, en la presente investigación, como se indicó anteriormente, se escogió la dosificación de cemento: arena en proporción volumétrica de 1:3 por recomendación de la norma E.070 para asentado de unidades de albañilería. Se obtuvieron morteros preparados con arenas de diferentes módulos de finura con una fluidez constante en el rango de  $110 \pm 5\%$ , de tal manera que se pueda realizar una comparación en las propiedades de los morteros entre sí.

El procedimiento seguido para el diseño de las mezclas fue el especificado en la norma ASTM C270-89. Para obtener una aproximación más exacta y no trabajar midiendo volúmenes, se calcularon los pesos de cada componente que participan en las mezclas; para esto se usaron los pesos unitarios sueltos de los materiales.

Los pesos unitarios sueltos de los materiales se muestran en la Tabla N° 22.

Tabla N° 22: Peso unitario suelto de los materiales

COMPONENTE	P.U (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento Portland Tipo I	1230
Arena gruesa MFA= 1.90	1548.41
Arena gruesa MFB= 2.30	1542.46
Arena gruesa MFC= 3.00	1639.69
Arena gruesa MFD= 3.40	1668.32

Fuente: Elaboración propia

Para poder convertir las proporciones de volumen a peso, se usarán las siguientes expresiones:

$$P.U = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}}, \text{ entonces:}$$

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso}}{P.U} \dots\dots\dots (1)$$

### 5.1.1 Diseño de mezcla con mortero de cemento

Para:

Cemento: Agregado

1:  $\alpha$

Para un volumen de cemento  $V_c$ ., el volumen de agregado  $V_{agr}$ . será:

$$V_{agr} = \alpha \times V_c$$

Luego de (1)

$$\frac{P_{agr.}}{P.U_{agr.}} = \alpha \frac{P_c}{P.U_c}$$

$$P_{agr.} = \alpha \frac{P.U_{agr.}}{P.U_c} P_c$$

Luego, de la tabla N° 22

$$P_{agr.} = \alpha \frac{P.U_{agr.}}{1230} P_c$$

Donde:

$\alpha$  = Proporción de volumen del agregado, para un volumen de cemento

Pagr. = Peso del agregado (Kg)

Pc = Peso del cemento (Kg)

P.Uagr. = Peso unitario del agregado (Kg/m<sup>3</sup>)

En la Tabla N° 23 se presenta los valores obtenidos para el proporcionamiento en peso para cada mortero estudiado.

Tabla N° 23: Conversión de proporción en volumen a proporción en peso para los morteros estudiados

M.F	PROPORCIÓN EN VOLUMEN Cemento : Agregado 1 : $\alpha$	PROPORCIÓN EN PESO
		Cemento : Arena Gruesa
A	1:3	1.00 : 3.777
B		1.00 : 3.762
C		1.00 : 3.999
D		1.00 : 4.069

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que las proporciones en peso para todos los tipos de mezcla son diferentes, por lo cual se ingresaría mayor cantidad de arena en un tipo de mezcla en comparación con las otras y que podría influir en las variaciones de las propiedades. Por esta razón, para tener un control más exacto de los diseños y ver sólo la influencia del parámetro de módulo de finura se ha propuesto trabajar con un solo proporcionamiento en peso. La cual se detalla en la Tabla N° 24.

Tabla N° 24: Proporción en volumen y peso de las mezclas

	CEMENTO	ARENA
PROPORCIÓN EN VOLUMEN	1	3
PROPORCIÓN EN PESO	1	3.90

Fuente: Elaboración propia

Para la obtención del mortero, los materiales empleados en la fabricación del mismo se mezclaron en forma mecánica, ya que hacerlo a mano conlleva heterogeneidad y por tanto variabilidad importante en todas sus proporciones. Para ello, se usó una mezcladora de 140 W de potencia, de 2 velocidades y 5 lts. de capacidad y se procedió de acuerdo a lo establecido en la NTP 334.003. La

cantidad de agua se obtuvo en función a la trabajabilidad, de acuerdo a la norma, se buscó alcanzar una misma fluidez en el rango de  $110 \pm 5\%$ .

Luego, haciendo uso de los valores de proporcionamiento en peso de la tabla N° 24, se calcula los pesos húmedos para todos los morteros estudiados, por ejemplo, para un peso de cemento de 500 gr., el peso de la arena será:

$$\text{Peso de la arena} = 500 \times 3.90 = 1950 \text{ gr}$$

A continuación, en la Tabla N° 25 al N° 28 se muestran los diseños de mezcla realizados con las arenas gruesas de módulo de finura A, B, C y D para la proporción volumétrica 1:3. También se indican los pesos unitarios y la fluidez alcanzados por cada uno de ellos.

Tabla N° 25: Diseño de mortero tipo A

<b>DISEÑO DE MORTERO</b>				
Tipo mortero		: A (MF=1.90)		
Fluidez		: 112.27%		
Material	Proporción en peso	Dosificación para 500 gr de cemento	Peso unit. mortero	Dosificación por m3 de mortero (Kg)
Cemento	1	500	2080.75	239.81
Arena	3.90	1950		935.24
Agua	-	459		220.14

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 26: Diseño de mortero tipo B

<b>DISEÑO DE MORTERO</b>				
Tipo mortero		: B (MF=2.30)		
Fluidez		: 112.35%		
Material	Proporción en peso	Dosificación para 500 gr de cemento	Peso unit. mortero	Dosificación por m3 de mortero (Kg)
Cemento	1	500	2036.83	244.26
Arena	3.90	1950		952.61
Agua	-	421		205.67

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 27: Diseño de mortero tipo C

<b>DISEÑO DE MORTERO</b>				
Tipo mortero		: C (MF=3.00)		
Fluidez		: 111.84%		
Material	Proporción en peso	Dosificación para 500 gr de cemento	Peso unit. mortero	Dosificación por m3 de mortero (Kg)
Cemento	1	500	2176.17	249.37
Arena	3.90	1950		972.56
Agua	-	379		189.03

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 28: Diseño de mortero tipo D

<b>DISEÑO DE MORTERO</b>				
Tipo mortero		: D (MF=3.40)		
Fluidez		: 110.14%		
Material	Proporción en peso	Dosificación para 500 gr de cemento	Peso unit. mortero	Dosificación por m3 de mortero (Kg)
Cemento	1	500	2140.75	251.25
Arena	3.90	1950		979.89
Agua	-	364		182.91

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO VI: ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES DEL MORTERO**

En el presente capítulo se describen los procedimientos de los ensayos a realizarse al mortero en el estado fresco y endurecido, así como también la recolección de los datos de laboratorio para posteriormente en el capítulo VII realizar los análisis de los resultados.

### **6.1 ENSAYOS EN MORTERO FRESCO**

#### **6.1.1 Ensayo de fluidez**

El ensayo de consistencia o fluidez se realiza con el aparato de flujo, la cual consiste en una mesa plana construida de tal manera que puede dejarse caer una altura de 12mm por medio de una leva rotatoria.

La fluidez se determina como el incremento en el diámetro promedio de la base de la muestra, expresado como porcentaje del diámetro original. Principalmente se toma como una medida indirecta de la trabajabilidad del mortero.

Para obtener morteros con una fluidez determinada, es suficiente modificar la cantidad de agua; para la presente investigación se adoptó una fluidez en el rango de  $110 \pm 5\%$  para todos los morteros en estudio, debido a que en este rango se obtienen morteros trabajables y de buena consistencia. El ensayo se efectuó en base a la norma NTP 334.057 (Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento portland).

#### **Equipo utilizado**

- Mezcladora para mortero
- Mesa de flujo
- Molde de tronco de cono
- Compactador
- Vernier
- Espátula
- Balanza al décimo de gramo

#### **Procedimiento**

- Ubicar el molde en forma de tronco centrado sobre la mesa de flujo.

- Colocar en el molde una capa de mortero de unos 25mm, con una compactación de 20 golpes uniformemente distribuidos. Con una segunda capa de mortero se llena totalmente el molde y se compacta como la primera.
- Retirar el exceso y enrasar la superficie con ayuda de la espátula, para luego retirar el molde en forma vertical.
- Dejar caer la plataforma desde una altura de 12mm a razón de 25 golpes durante 15 segundos por medio de una leva rotatoria incorporada en la mesa de flujo.
- Determinar el diámetro promedio del mortero extendido con el vernier.

### **Expresión de los resultados**

Una vez que se obtiene el diámetro promedio (de la toma de 4 medidas), la fluidez en porcentaje se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F = \left( \frac{D_p - 101.6}{101.6} \right) \times 100\%$$

Donde:

F = Fluidez del mortero (%)

Dp = Diámetro promedio del mortero (mm)

### **Resultados de laboratorio**

En la Tabla N° 29 se presentan los resultados del ensayo de fluidez para cada tipo de mortero estudiado.

Tabla N° 29: Resultados de ensayo de fluidez

<b>TIPO DE MORTERO</b>	<b>ÍNDICE DE FLUIDEZ (%)</b>
Mortero A MF = 1.90	112.27%
Mortero B MF = 2.30	112.35%
Mortero C MF = 3.00	111.84%
Mortero D MF = 3.40	110.14%

Fuente: Elaboración propia

### 6.1.2 Peso unitario

Es el peso del mortero en estado fresco que ocupa un volumen unitario en un recipiente normalizado expresado en kg/m<sup>3</sup>. Se siguió el procedimiento descrito en la norma NTP 334.005 (Determinación de la densidad del cemento hidráulico).

#### **Equipo utilizado**

- Mezcladora para mortero
- Recipiente metálico de 400 ml
- Pisón o compactador
- Espátula
- Balanza con aproximación a 0.5 gr

#### **Procedimiento**

- Colocar el mortero recién preparado en el recipiente normalizado en 3 capas, con una compactación de 25 golpes cada una uniformemente distribuido con ayuda de un pisón o compactador.
- Proceder a enrasar con la espátula, teniendo cuidado de dejar el recipiente lleno hasta su nivel superior.
- Pesar el recipiente con la mezcla.

#### **Expresión de los resultados**

$$P.U = \left( \frac{P1 - P2}{4 \times 10^{-4}} \right)$$

Donde:

P.U = Peso unitario (Kg/cm<sup>3</sup>)

P1 = Recipiente + mezcla mortero (Kg)

P2 = Recipiente (Kg)

#### **Resultados de laboratorio**

En la Tabla N° 30 y Figura N° 3 se presentan los resultados del ensayo de peso unitario para cada tipo de mortero estudiado.

Tabla N° 30: Resultados de ensayo de peso unitario

TIPO DE MORTERO	PESO UNITARIO (Kg/m <sup>3</sup> )
Mortero A MF = 1.90	2080.75
Mortero B MF = 2.30	2036.83
Mortero C MF = 3.00	2176.17
Mortero D MF = 3.40	2140.25

Fuente: Elaboración propia

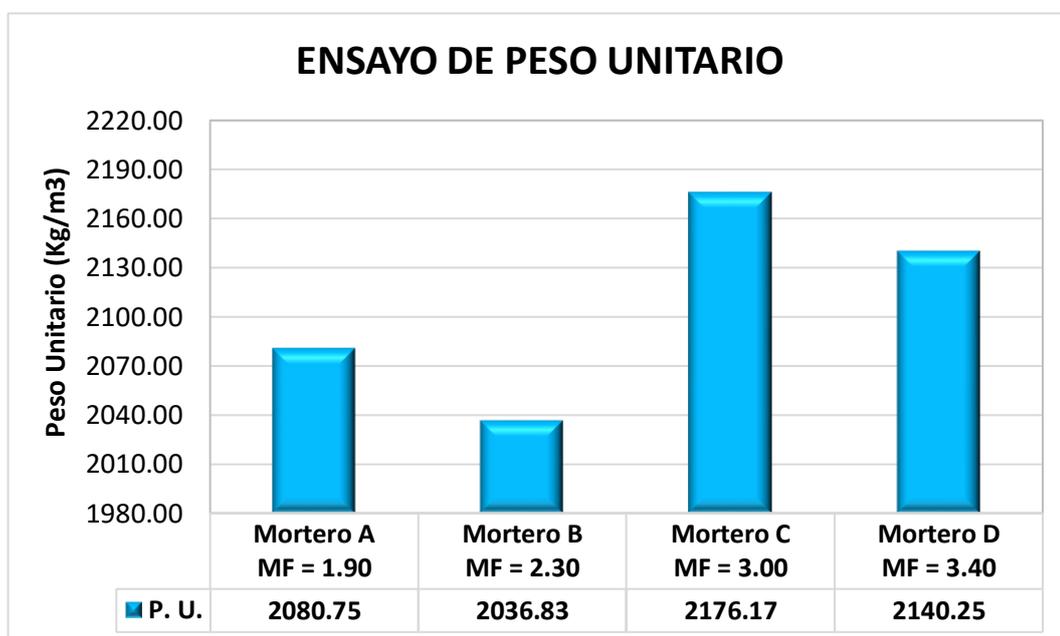


Figura N° 3: Ensayo de peso unitario

### 6.1.3 Tiempo de fraguado

El fraguado se define como el proceso de endurecimiento de la mezcla de mortero, por tanto este ensayo mide el tiempo necesario para que el mortero endurezca y gane resistencia. El fraguado consta de 2 periodos:

- Fraguado inicial
- Fraguado final

El fraguado inicial se caracteriza por un aumento en la viscosidad y en la temperatura de la mezcla.

El fraguado final se caracteriza por un endurecimiento de la mezcla haciéndose indeformable.

Entre los factores que influyen en el tiempo de fraguado están el contenido de aluminato tricalcico (C3A) del cemento, finura del cemento, relación agua/cemento, temperatura, humedad del ensayo y uso de aditivos.

### **Equipo utilizado**

- Mezcladora para mortero
- Aparato de Vicat
- Cámara húmeda
- Cronómetro intermitente
- Espátula
- Balanza al décimo de gramo.

### **Procedimiento**

- La pasta proporcionada y mezclada a una consistencia normal se llena con ayuda de la espátula en un molde de material especial y forma tronco cónico, apoyado su base mayor sobre una placa de vidrio.
- Enrasar el exceso del extremo superior con una sola pasada de la espátula. Alisar la superficie si fuera necesario con 1 o 2 toques ligeros de la espátula.
- Colocar el espécimen en la cámara húmeda y dejarlo reposar allí durante 30 minutos; pasando ese periodo se empieza el ensayo.
- Para determinar el principio de fraguado se baja la aguja hasta que descansa sobre la superficie del mortero y se fija en esa posición por medio del tornillo.
- Se lee la posición del indicador o colocarlo en el extremo superior de la escala.
- Soltar el vástago aflojando el tornillo y dejar que la aguja se siente durante 30 segundos, luego tomar la lectura para determinar la penetración.
- Si el mortero es muy suave en la primera lectura, el descenso de la aguja podrá hacerse lentamente para evitar que se doble, pero para mediciones de penetración para el periodo de fraguado, se harán aflojando el tornillo.
- Se continúa la determinación de la penetración a intervalos de 15 minutos.

- Anotar los resultados de todos los ensayos. Entre cada determinación de penetración, el espécimen de ensayo se conserva en la cámara húmeda. Las penetraciones deben estar separadas 6mm o más del borde del molde.
- Al alcanzar una penetración de 4mm, se retira el espécimen del aparato para invertirlo y apoyarlo sobre el vidrio por su base menor.
- Se continúa las mediciones sobre la base mayor hasta que no deje marca visible en la superficie del mortero con una impresión circular completa.

### **Expresión de los resultados**

Principio de fraguado: Tiempo que transcurre entre el momento en que se agrega el cemento al agua y el que marca una penetración de 25mm. Esta penetración se determina mediante interpolación de las penetraciones registradas.

Fin de fraguado: Tiempo que transcurre entre el momento en que se agrega el cemento al agua y el momento en que la aguja de Vicat no deja una impresión circular completa en la superficie de la pasta.

### **Resultados de laboratorio**

En la Tabla N° 31 y Figura N°4 y N°5 se presentan los resultados del ensayo de tiempo de fraguado para cada tipo de mortero estudiado.

Tabla N° 31: Resultados de ensayo de tiempo de fraguado

TIPO DE MORTERO	TIEMPO DE FRAGUADO (h:m)	
	INICIAL	FINAL
Mortero A MF = 1.90	5 :10	6 :55
Muestra B MF = 2.30	5 :17	7 :10
Muestra C MF = 3.00	4 :40	7 :20
Muestra D MF = 3.40	4 :50	7 :45

Fuente: Elaboración propia

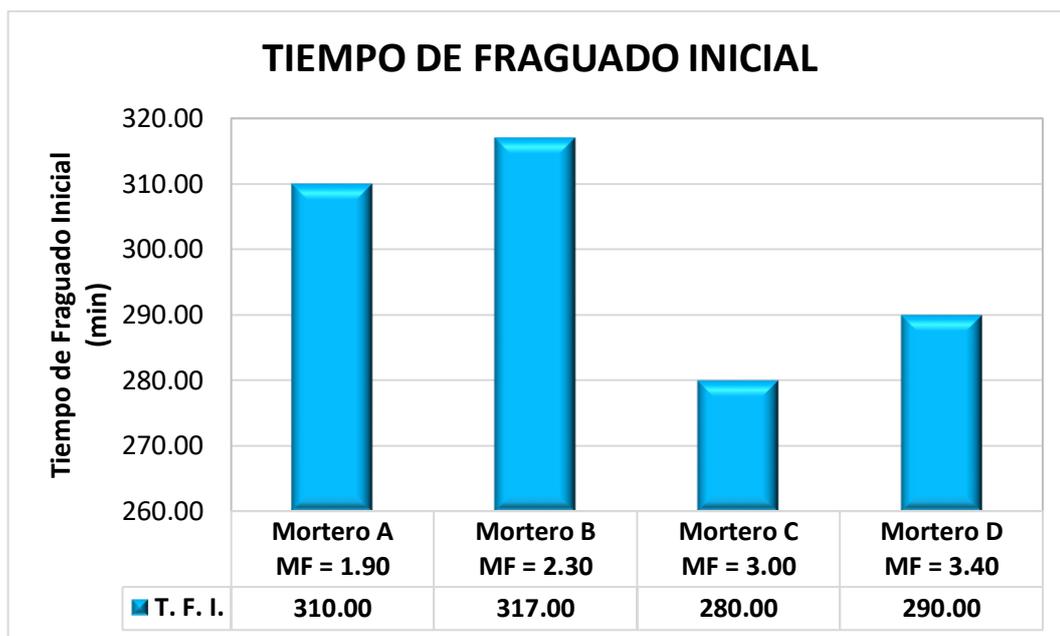


Figura N° 4: Tiempo de fraguado inicial

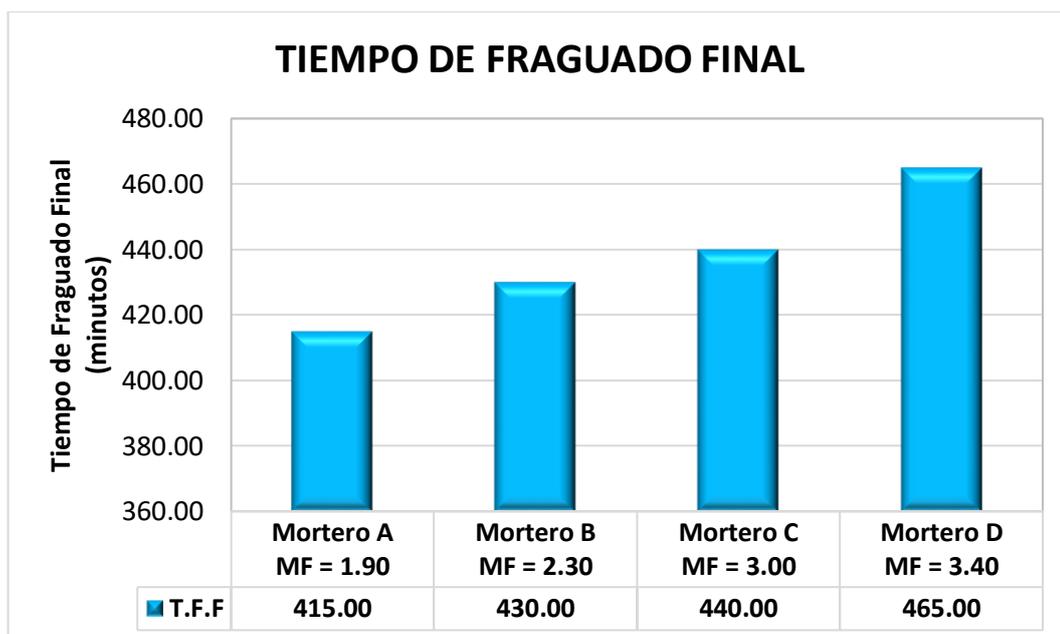


Figura N° 5: Tiempo de fraguado final

#### 6.1.4 Exudación

Es el proceso que experimenta el mortero en su estado fresco, debido al ascenso del agua de amasado formando una fina capa líquida en su superficie. La exudación se produce por los diferentes pesos específicos de los componentes del mortero.

La exudación del mortero fresco se determina como la cantidad relativa de agua de mezclado que se haya acumulado en la superficie de un recipiente que contiene el mortero fresco, expresado en %.

La capacidad de retención permite controlar la exudación, así morteros con baja retención de agua producen mayor exudación. El procedimiento está basado en el método descrito por la NTP 339.077 (Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto).

### **Equipo utilizado**

- Mezcladora para mortero
- Recipiente cilíndrico no absorbente
- Jeringa graduada
- Varilla compactadora de acero
- Cronómetro

### **Procedimiento**

- Colocar el mortero recién preparado en el recipiente no absorbente en 3 capas, compactándola 25 golpes cada una con la varilla de acero.
- Una vez llenado el recipiente se coloca en una superficie nivelada y libre de vibraciones y se tapa.
- Extraer el agua que se haya acumulado en la superficie con la jeringa a intervalos de 10 minutos durante los primeros 40 minutos, y luego a intervalos de 30 minutos hasta que cese la exudación.
- Para facilitar la extracción del agua de exudación, se inclina el recipiente cuidadosamente colocando un taco de aprox. 5cm debajo de uno de los lados del recipiente 2 minutos antes de extraer el agua, después se devuelve el recipiente a su posición original sin golpearlo.

### **Expresión de los resultados**

$$C' = \left(\frac{W}{W}\right) \times S'$$

$$E = \left(\frac{D'}{C'}\right) \times 100\%$$

Donde:

E = Exudación (%)

- C' = Volumen de agua en el molde (ml)  
 w = Volumen de agua en la tanda (ml)  
 W = Peso total de la tanda (gr)  
 S' = Peso del mortero en el molde (gr)  
 D' = Volumen total de exudación (ml)

**Resultados de laboratorio**

En la Tabla N° 32 y Figura N° 6 se presentan los resultados del ensayo de exudación para cada tipo de mortero estudiado.

Tabla N° 32: Resultados de ensayo de exudación

TIPO DE MORTERO	EXUDACIÓN (%)
Mortero A MF = 1.90	7.72
Mortero B MF = 2.30	8.30
Mortero C MF = 3.00	11.33
Mortero D MF = 3.40	13.72

Fuente: Elaboración propia

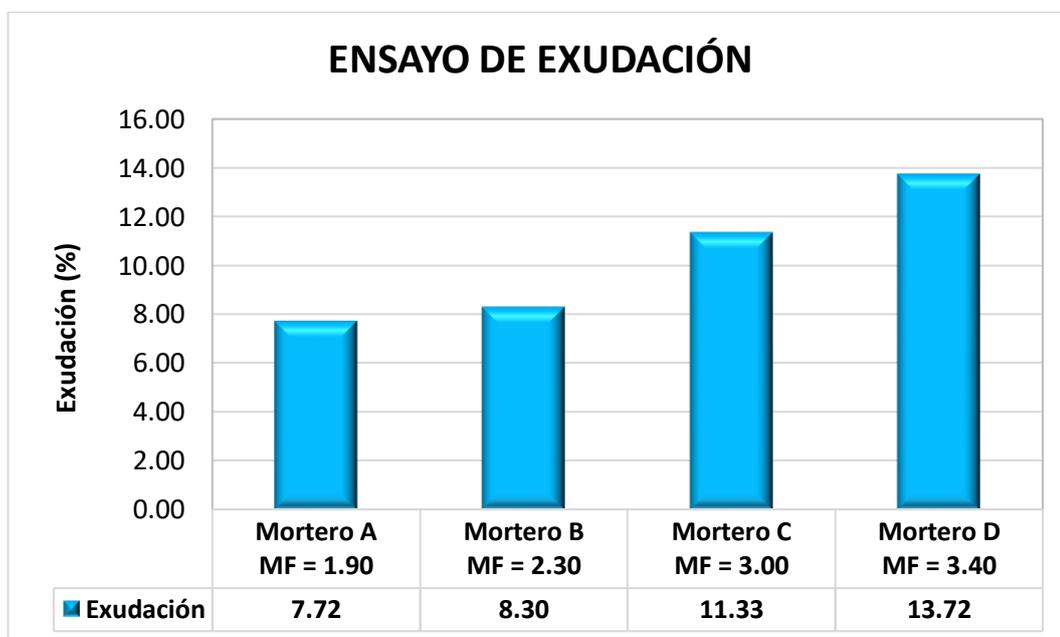


Figura N° 6: Ensayo de exudación

## 6.2 ENAYOS EN MORTERO ENDURECIDO

### 6.2.1 Resistencia a la compresión

El índice de calidad generalmente aceptado para un mortero es la resistencia a la compresión medida en el ensayo de un cubo de 5cm. de lado. Este parámetro es el más estudiado y con él se ha relacionado otras características de los morteros.

El objetivo de este ensayo es determinar la carga máxima que puede soportar el mortero a diferentes edades. Los morteros muy resistentes no son deseables porque hacen fallar durante un sismo por corte al muro de albañilería, debido a su diferente resistencia y diferencia de trabajos. Este ensayo se efectuó en base a la norma NTP 334.051 (Determinación de la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico).

#### **Equipo utilizado**

- Mezcladora para mortero
- Máquina de compresión
- Molde para cubos de mortero
- Compactador
- Espátula
- Recipiente para curado de muestras

#### **Procedimiento**

- Colocar el mortero recién preparado en los moldes metálicos previamente engrasados, en dos capas, apisonando cada una con 32 golpes del compactador en unos 10 segundos.
- Luego de la compactación de la muestra, esta se enrasa con la espátula tratando de no generar compactaciones adicionales accidentales.
- Los especímenes o cubos se cubren con trapo húmedo por 24 horas, para luego desmoldar y llevarlos a una cámara o poza de agua.
- El curado se realizó en un recipiente plástico lleno de agua y con un porcentaje de cal (3 gramos de cal por litro de agua).
- Transcurridos los 7,14 y 28 días de edad de curado, se extraen los especímenes con 3 horas de tolerancia antes del ensayo.
- Transcurridos este tiempo, realizar el ensayo de compresión en la maquina compresora y para luego anotar la carga máxima a la cual ocurre la falla.

## Expresión de los resultados

$$F'c = \frac{P}{S}$$

Donde:

F'c = Resistencia a la compresión (Kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga de rotura (Kg)

S = Área de la cara del cubo en contacto (cm<sup>2</sup>)

## Resultados de laboratorio

Para cada tipo de mortero, se ensayó 4 cubos a los 7,14 y 28 días de curado, donde, el promedio de todas estas se presenta en la Tabla N° 33 y Figura N° 7.

Tabla N° 33: Resultados de ensayo de resistencia a la compresión

TIPO DE MORTERO	COMPRESIÓN PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 Días	14 Días	28 Días
Mortero A MF = 1.90	128.53	134.54	145.44
Mortero B MF = 2.30	137.22	152.58	159.15
Mortero C MF = 3.00	195.24	233.05	252.74
Mortero D MF = 3.40	179.22	214.45	238.27

Fuente: Elaboración propia

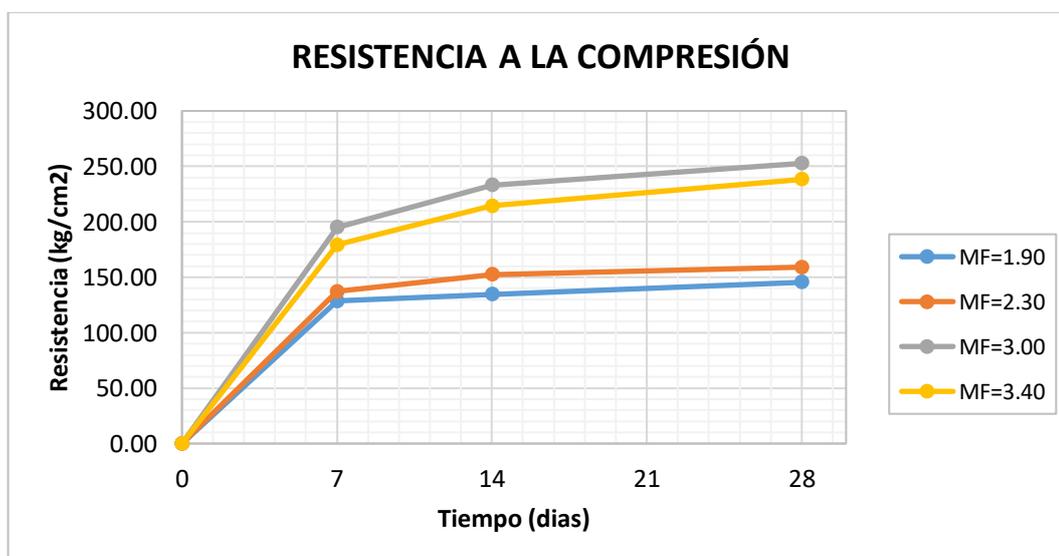


Figura N° 7: Ensayo de resistencia a la compresión

### 6.2.2 Resistencia a la tracción

Es la propiedad del mortero para resistir esfuerzos de tracción. La norma ASTM C 190 (Método de prueba para la resistencia a la tracción de morteros de cemento hidráulico), establece el procedimiento para determinar la resistencia a la tracción en morteros de cemento portland.

#### **Equipo utilizado**

- Mezcladora para mortero
- Máquina de tracción
- Molde metálico en forma de ocho
- Espátula
- Recipiente para curado de muestras

#### **Procedimiento**

- Colocar el mortero en los moldes metálicos en forma de ochos previamente engrasados, teniendo cuidado de no compactarlo.
- Luego el mortero debe compactarse con 20 golpes con ayuda de los pulgares en puntos distribuidos sobre la totalidad de la superficie de la muestra.
- Enrasar y alisar la superficie del mortero con ayuda de la espátula.
- A las 24 horas, desmoldar y llevar los especímenes a la cámara de agua para el curado correspondiente.
- Transcurridos los 7, 14 y 28 días de edad de curado, se extraen los especímenes con 1 hora de tolerancia antes del ensayo.
- Transcurridos este tiempo, se coloca los especímenes en los brazos mecánicos de la máquina de tracción para que esta proceda a jalar los ochos por la parte gruesa de ellos aumentando la carga de tracción.
- La carga de rotura es la carga a la cual el espécimen ha fallado.

#### **Expresión de los resultados**

$$F'c = \frac{P}{S}$$

Donde:

$F'c$  = Resistencia a la tracción (Kg/cm<sup>2</sup>)

P = Carga de rotura (Kg)  
S = Sección transversal (cm<sup>2</sup>)

### Resultados de laboratorio

Para cada tipo de mortero, se ensayó 4 muestras en forma de ocho a los 7,14 y 28 días de curado, donde el promedio de todas estas se presenta en la Tabla N° 34 y Figura N° 8.

Tabla N° 34: Resultados de ensayo de resistencia a la tracción

TIPO DE MORTERO	TRACCIÓN PROMEDIO (kg/cm <sup>2</sup> )		
	7 Días	14 Días	28 Días
Mortero A MF = 1.90	16.27	18.68	20.02
Mortero B MF = 2.30	18.76	20.61	21.27
Mortero C MF = 3.00	24.06	26.61	30.28
Mortero D MF = 3.40	20.95	22.52	24.90

Fuente: Elaboración propia

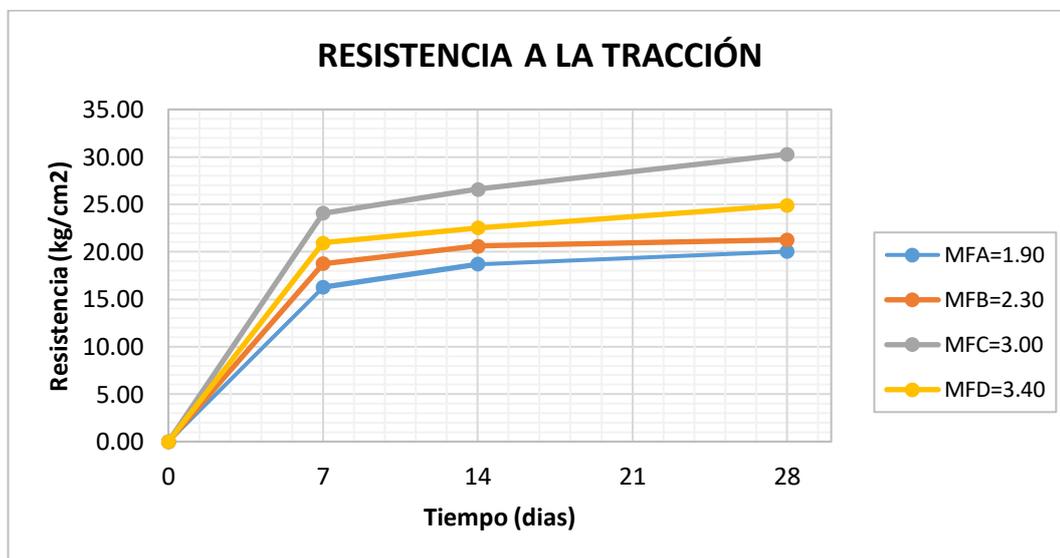


Figura N° 8: Ensayo de resistencia a la tracción

### 6.2.3 Retracción

El ensayo de retracción consiste en determinar el cambio de la longitud de morteros de cemento debido a causas distintas a la aplicación de fuerzas externas

y cambios de temperatura. Estos cambios de longitud pueden ser un aumento o disminución lineal de un espécimen de prueba. Se siguió la norma ASTM C157 (Determinación del cambio de longitud de morteros y concretos endurecidos de cemento hidráulico) para la realización de este ensayo.

### **Equipo utilizado**

- Mezcladora para mortero
- Molde para probetas
- Compactador
- Espátula
- Comparador de longitud
- Vernier

### **Procedimiento**

- Colocar el mortero en dos capas iguales, compactándolo uniformemente en el molde para probetas previamente engrasado cuyas dimensiones son 1"x1"x11".
- Enrasar y alisar la superficie del mortero con la espátula.
- Inmediatamente después de completar el moldeo, afloje el dispositivo sosteniendo los pernos de calibración en su posición en cada extremo del molde.
- Retirar las muestras de los moldes luego de 24 horas y efectuar la primera lectura en el comparador de longitudes.
- Posteriormente reposar los especímenes en una bandeja con agua hasta la edad que se realiza el ensayo.
- Realizar el control de las mediciones en el comparador de longitudes a edades de 7,14 y 28 días después de fabricadas las probetas y verificar con ayuda del vernier.

### **Expresión de los resultados**

$$R = \frac{(L_i - L_f)}{L_i} \times 100\%$$

Donde:

R = Retracción (%)

Li = Longitud inicial (mm)

Lf = Longitud final (mm)

### Resultados de laboratorio

Para cada tipo de mortero, se ensayó 4 barras de retracción a los 7,14 y 28 días de curado, donde el promedio de todas estas se presenta en la Tabla N° 35 y Figura N° 9.

Tabla N° 35: Ensayo de retracción

TIPO DE MORTERO	RETRACCIÓN PROMEDIO (%)		
	7 Días	14 Días	28 Días
Mortero A MF = 1.90	0.010	0.012	0.014
Mortero B MF = 2.30	0.007	0.009	0.009
Mortero C MF = 3.00	0.010	0.011	0.012
Mortero D MF = 3.40	0.006	0.006	0.010

Fuente: Elaboración propia

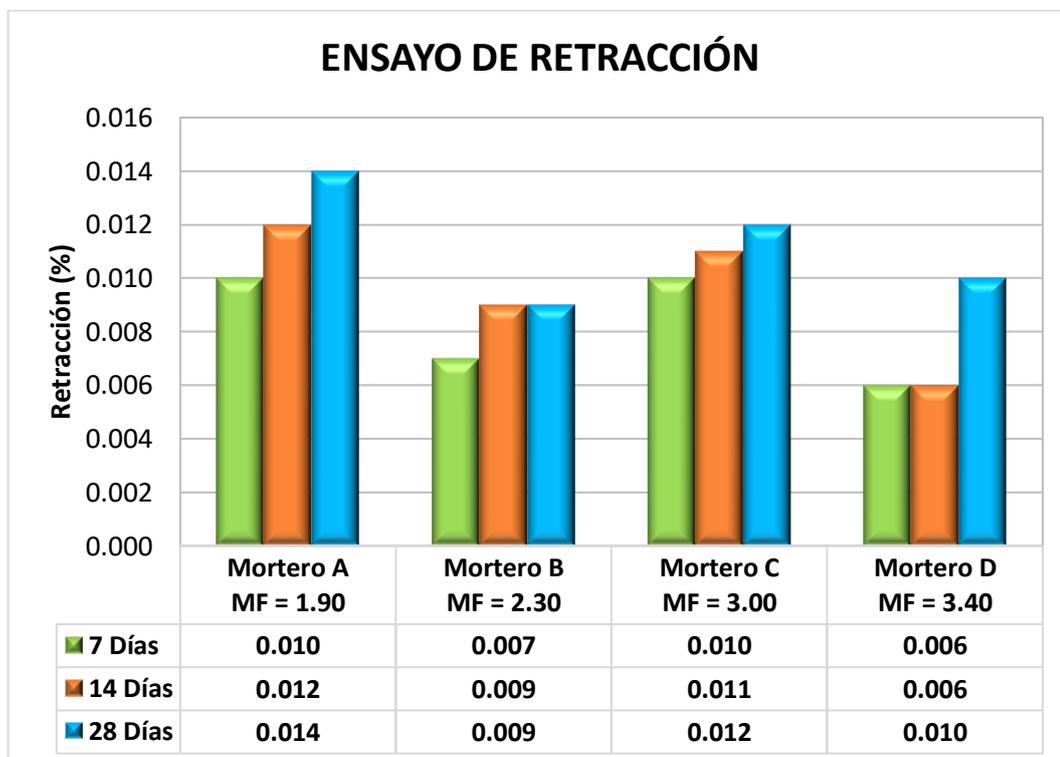


Figura N° 9: Ensayo de retracción

#### 6.2.4 Resistencia al corte en pilas desfasadas

El ensayo tiene por objetivo determinar de manera indirecta la resistencia a la adherencia del mortero con el ladrillo de las obras de albañilería en base a la resistencia al corte por cizalle.

En este ensayo se determinó la adherencia entre el mortero y la unidad de albañilería, al someter a la junta entre ambos, a un esfuerzo de corte como se muestra en la Figura N° 10. Para realizar este ensayo se tomó como referencia la norma mexicana NMX-C-082-1974 (Determinación del esfuerzo de adherencia de los ladrillos cerámicos y el mortero de las juntas) y la norma Nch 167.Of2001 (Construcción Ladrillos cerámicos – Ensayos).

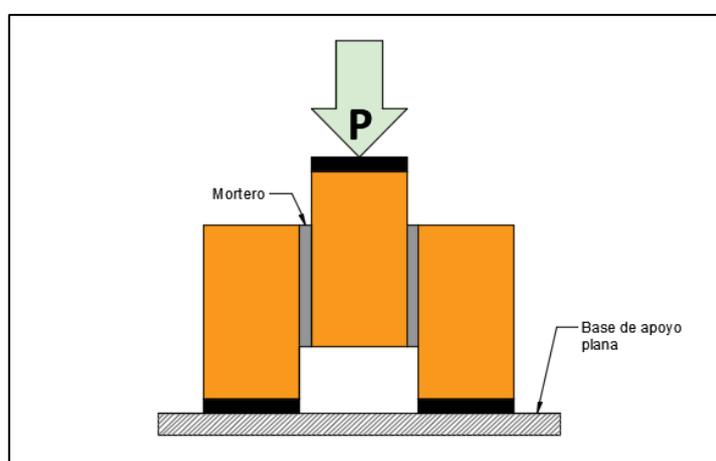


Figura N° 10: Esquema ensayo de corte por cizalle

#### **Equipo utilizado**

- Mezcladora para mortero
- Ladrillo King Kong de 18 huecos perforado macizo
- Badilejo
- Escuadra
- Nivel de mano
- Máquina Universal a compresión

#### **Procedimiento**

- Hidratar los ladrillos King Kong 18 huecos previo al asentado para mejorar la adherencia unidad-mortero.
- Elaborar las pilas desfasadas con 3 ladrillos, considerando aspectos de verticalidad, espesor de junta (1.5cm) y dimensiones de los especímenes.

- Almacenar los especímenes en ambiente de laboratorio, cubiertas con polietileno, hasta el momento del ensayo.
- A la edad de 28 días previo al ensayo, medir las áreas verticales de contacto y verificar los niveles de la pila.
- Colocar la pila desfasada en la posición correcta en la maquina universal para la aplicación de la carga. Se utilizará neoprenos en las caras de apoyo para reducir posibles irregularidades.
- Aplicar la fuerza sobre el espécimen de manera gradual, lentamente, sin aumentos bruscos, cuando esta logra despegar los ladrillos, registrar la carga máxima.

### **Expresión de los resultados**

$$S_a = \frac{P}{S}$$

Donde:

$S_a$  = Esfuerzo de adherencia por corte (Kg/cm<sup>2</sup>)

$P$  = Carga máxima aplicada (Kg)

$S$  = Suma de las dos superficies adheridas al ladrillo central (cm<sup>2</sup>)

### **Resultados de laboratorio**

Para cada tipo de mortero, se ensayó 4 pilas de albañilería desfasadas a los 28 días de curado, donde el promedio de todas estas se presenta en la Tabla N° 36 y Figura N° 11.

Tabla N° 36: Ensayo al corte en pilas

<b>TIPO DE MORTERO</b>	<b>ESFUERZO DE ADHERENCIA POR CORTE (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Mortero A MF = 1.90	4.93
Mortero B MF = 2.30	4.52
Mortero C MF = 3.00	4.22
Mortero D MF = 3.40	3.99

Fuente: Elaboración propia

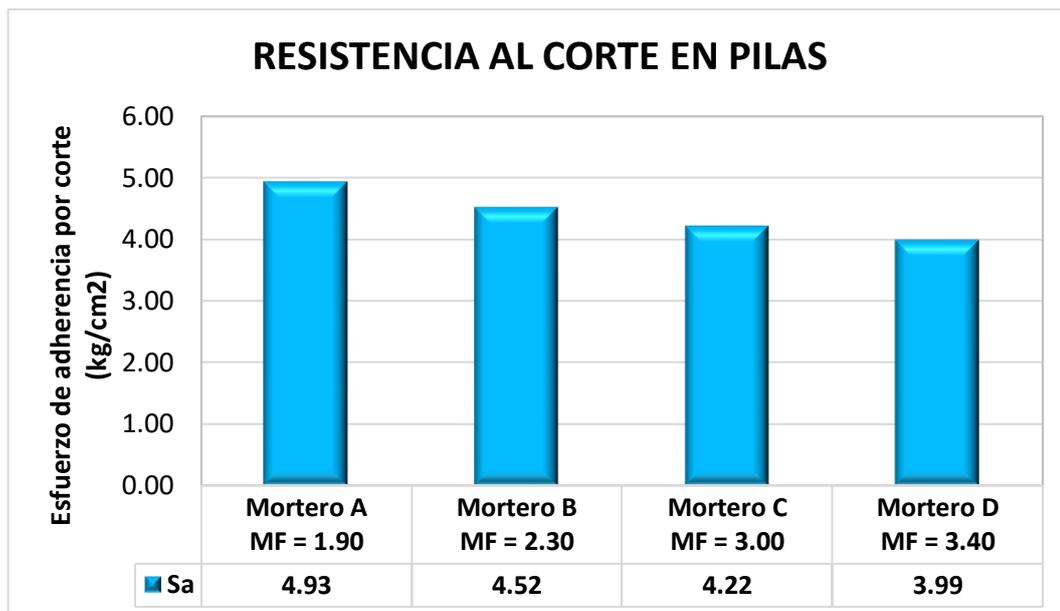


Figura N° 11: Ensayo de resistencia al corte en pilas

## CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Se presenta el análisis de los resultados de los ensayos al mortero en estado fresco y endurecido para los cuatro tipos de arena MFA (patrón), MFB, MFC y MFD estudiadas. Se obtuvo tablas y gráficos comparativos con respecto a la muestra "A" a quien llamaremos muestra patrón y realizaremos las comparaciones con las otras muestras para cada uno de los ensayos por independiente.

### 7.1 Análisis de ensayos del mortero en estado fresco

#### 7.1.1 Fluidez

En la presente investigación, para el diseño de los tipos de morteros estudiados se trató de mantener la fluidez casi constante, es decir, cercano a un mismo valor dando valores en el rango entre 110% a 113%, debido a que en este rango se obtienen morteros trabajables y de buena consistencia. En todos los casos la cantidad de agregado y cemento fue el mismo variando sólo la cantidad de agua.

En el Tabla N° 37 y la Figura N° 12 se muestra los valores de cantidad de agua requerida respecto al mortero patrón resultando 91.72% para el mortero tipo B (MF=2.30), 82.57% para el mortero tipo C (MF=3.00) y 79.30% para el mortero tipo D (MF =3.40). Se observa que con el incremento del módulo de finura, para un mismo rango de fluidez, la cantidad de agua disminuye.

Tabla N° 37: Porcentaje de variación de la cantidad de agua requerida respecto al patrón

TIPO DE MORTERO	CANTIDAD DE AGUA (grs)	VARIACION CON RESPECTO AL PATRÓN (%)	INDICE DE FLUIDEZ (%)
Mortero A MF = 1.90	459.00	100	112.27%
Mortero B MF = 2.30	421.00	91.72	112.35%
Mortero C MF = 3.00	379.00	82.57	111.84%
Mortero D MF = 3.40	364.00	79.30	110.14%

Fuente: Elaboración propia

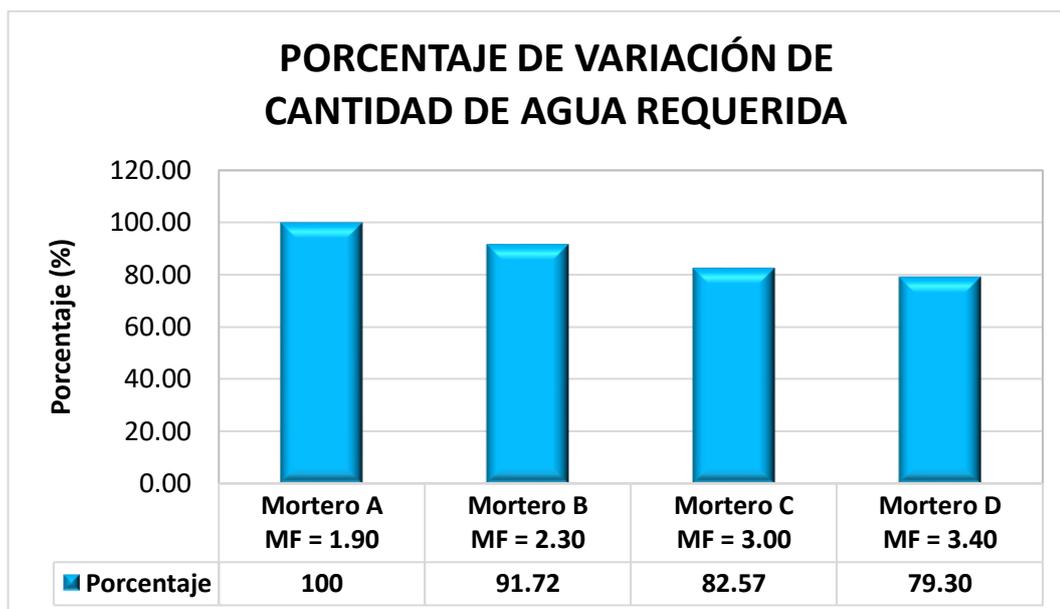


Figura N° 12: Porcentaje de variación de la cantidad de agua requerida respecto al patrón

### 7.1.2 Peso Unitario

En la Tabla N° 38 y la Figura N° 13 se muestra los valores del peso unitario respecto al mortero patrón. Debido a que se ha considerado un amplio rango de módulos de finura (desde 1.90 a 3.40), la propiedad de peso unitario del mortero tiende a variar para diferentes módulos de finura. Así, las muestras A y B tienen granos más pequeños en comparación a las muestras C y D. Se observa que los morteros tipo A y B preparados con módulo de finura del agregado dentro del rango recomendado por la norma E.070, presentan menores pesos unitarios respecto a los morteros tipo C y D cuyos módulos de finura son mayores a este rango.

Tabla N° 38: Porcentaje de variación del peso unitario respecto al patrón

TIPO DE MORTERO	PESO UNITARIO (kg/m <sup>3</sup> )	VARACIÓN CON RESPECTO AL PATRON (%)
Mortero A MF = 1.90	2080.75	100.00
Mortero B MF = 2.30	2036.83	97.89
Mortero C MF = 3.00	2176.17	104.59
Mortero D MF = 3.40	2140.25	102.86

Fuente: Elaboración propia

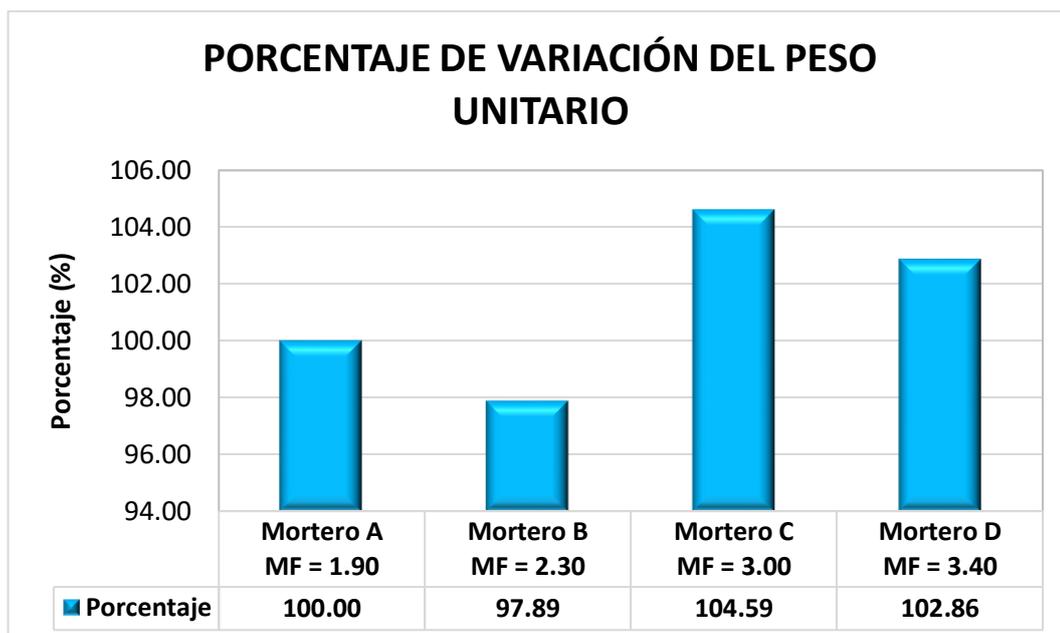


Figura N° 13: Porcentaje de variación del peso unitario respecto al patrón

### 7.1.3 Tiempo de fraguado

En la Tabla N° 39 y las Figuras N° 14 y N° 15 se muestra los valores del tiempo de fraguado inicial y final respecto al mortero patrón. Se observa que los morteros tipo A y B preparados con módulo de finura del agregado dentro del rango recomendado por la norma E.070, presentan un mayor tiempo de fraguado inicial respecto a los morteros tipo C y D cuyos módulos de finura son mayores a este rango. Así mismo, al incrementarse el módulo de finura del agregado el tiempo de fraguado final aumenta para todos los casos.

Tabla N° 39: Porcentaje de variación del tiempo de fraguado respecto al patrón

TIPO DE MORTERO	TIEMPO DE FRAGUADO INICIAL	TIEMPO DE FRAGUADO FINAL	VARIACIÓN PORCENTUAL	
			T.F.I (%)	T.F.F (%)
Mortero A MF = 1.90	5h:10 min	6h: 55min	100.00	100.00
Mortero B MF = 2.30	5h:17 min	7h: 10min	102.26	103.61
Mortero C MF = 3.00	4h:40 min	7h: 20min	90.32	106.02
Mortero D MF = 3.40	4h:50 min	7h: 45min	93.55	112.05

Fuente: Elaboración propia

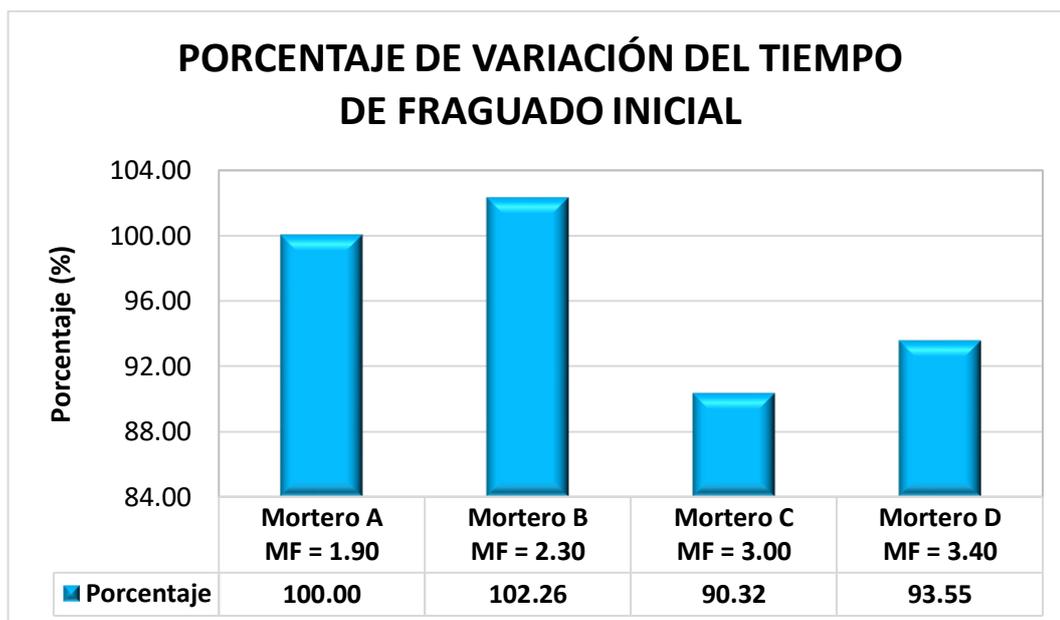


Figura N° 14: Porcentaje de variación del tiempo de fraguado inicial respecto al patrón

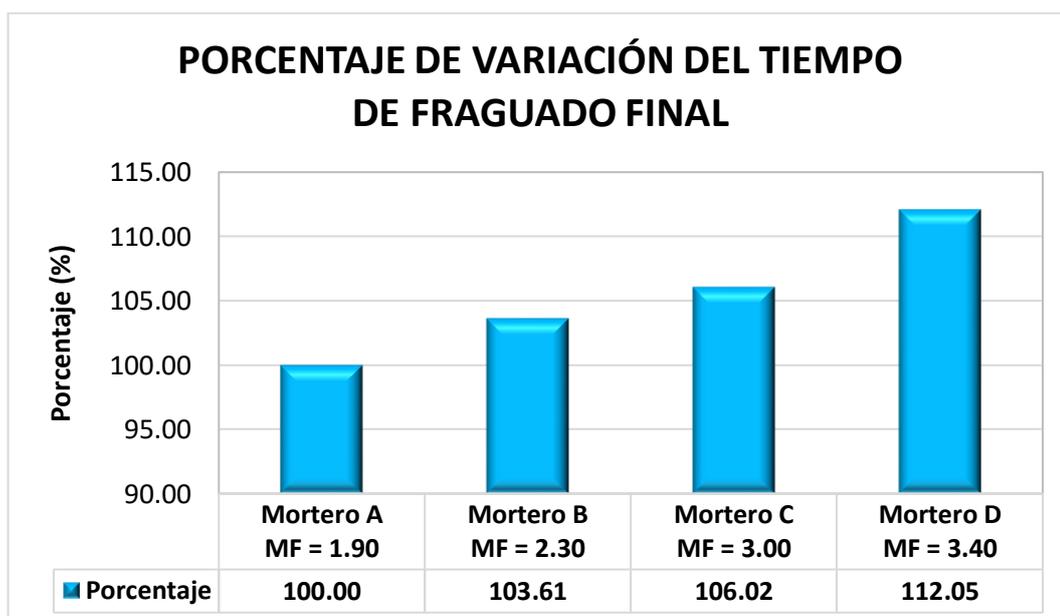


Figura N° 15: Porcentaje de variación del tiempo de fraguado final respecto al patrón

#### 7.1.4 Exudación

En la Tabla N° 40 y la Figura N° 16 se muestra los valores de la exudación respecto al mortero patrón resultando 107.51% para el mortero tipo B (MF=2.30), 146.76% para el mortero tipo C (MF=3.00) y 177.72% para el mortero tipo D (MF=3.40). Se observa que conforme se incrementa el módulo de finura, el porcentaje de exudación en el mortero aumenta.

Tabla N° 40: Porcentaje de variación de la exudación respecto al patrón

TIPO DE MORTERO	EXUDACIÓN (%)	VARACIÓN CON RESPECTO AL PATRON (%)
Mortero A MF = 1.90	7.72	100.00
Mortero B MF = 2.30	8.30	107.51
Mortero C MF = 3.00	11.33	146.76
Mortero D MF = 3.40	13.72	177.72

Fuente: Elaboración propia

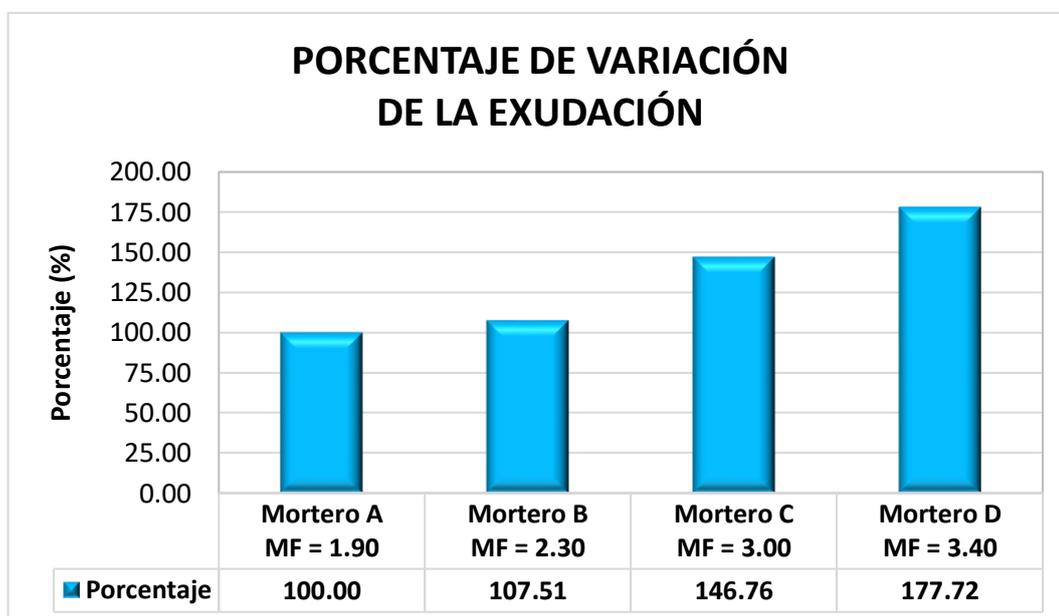


Figura N° 16: Porcentaje de variación de la exudación respecto al patrón

## 7.2 Análisis de ensayos del mortero en estado endurecido

### 7.2.1 Resistencia a la compresión axial

En la Tabla N° 41 y las Figuras N° 17 y N° 18 se muestra los valores de la resistencia a la compresión respecto al mortero patrón. A los 28 días, el mortero tipo B (MF=2.30) alcanza un 109.43%, el mortero tipo C (MF=3.00) un 173.78% y el mortero tipo D (MF =3.40) un 163.83%, respecto al mortero patrón curado 28 días. Se observa que al incrementar el módulo de finura del agregado desde 1.90 a 3.00, la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días aumenta, luego

comienza a disminuir para morteros preparados con módulos de finura mayores 3.00.

Tabla N° 41: Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión respecto al patrón

EDAD (días)	MORTERO A MF = 1.90	MORTERO B MF = 2.30	MORTERO C MF = 3.00	MORTERO D MF = 3.40
7	128.53	137.22	195.24	179.22
14	134.54	152.58	233.05	214.45
28	145.44	159.15	252.74	238.27
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100	106.76	151.90	139.44
14	100	113.41	173.22	159.40
28	100	109.43	173.78	163.83

Fuente: Elaboración propia

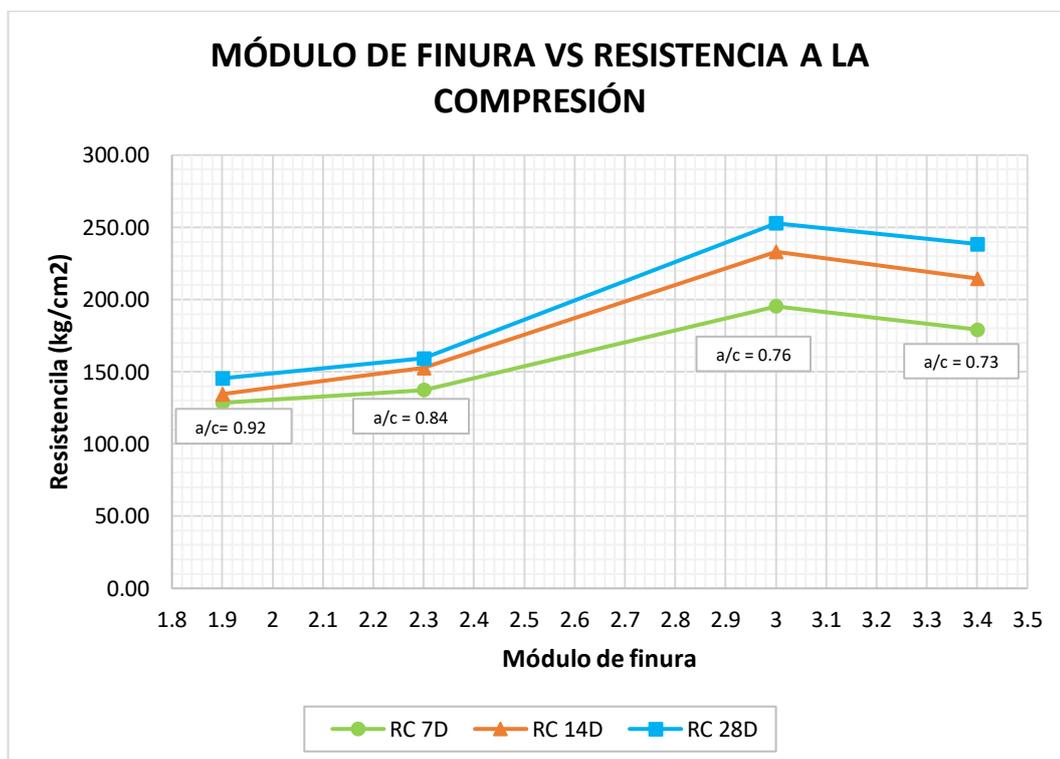


Figura N° 17: Módulo de finura vs Resistencia a la compresión

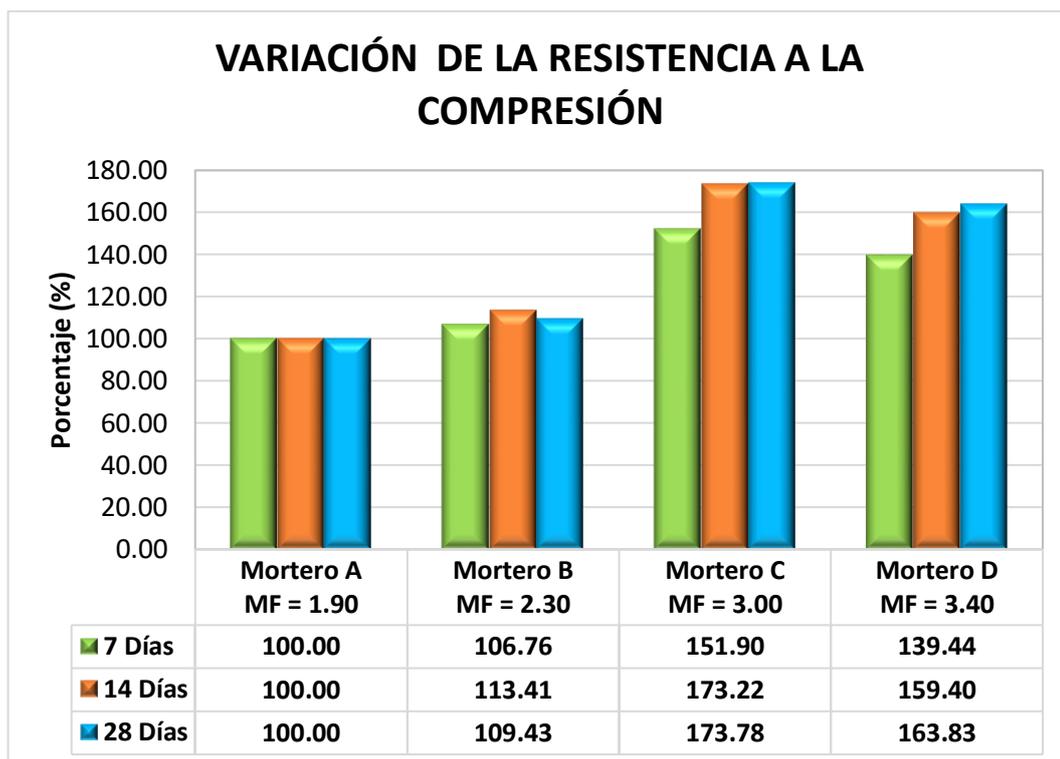


Figura N° 18: Porcentaje de variación de la resistencia a la compresión respecto al patrón

#### Comentario

Algunos países de la región poseen normas, las cuales clasifican a los morteros en función a propiedades específicas de resistencia a la compresión, de acuerdo con las características de los materiales utilizados en su preparación.

La norma ASTM C 270 (Especificación estándar para mortero para unidades de mampostería), clasifica a los morteros de mampostería en cuatro tipos (M, S, N y O) de acuerdo a sus propiedades y dosificaciones. Además, dicha norma da una guía general para seleccionar morteros de mampostería según su uso y las condiciones en las cuales se va a colocar.

En el Tabla N° 42, se muestra la clasificación por propiedades que depende de la resistencia a la compresión, la retención de agua y el contenido de aire del mortero. Estos requisitos son para especímenes preparados en laboratorio y no para morteros mezclados en obra.

Tabla N° 42: Requisitos para la especificación por propiedades

Especificación por Propiedades <sup>A</sup>					
Mortero	Tipo	Resistencia a la compresión promedio a 28 días, min, kg/cm <sup>2</sup> (Mpa)	Retención de agua, min, %	Contenido de Aire, máx, % <sup>B</sup>	Relación de Agregados (medidos en condiciones húmedas, sueltas)
Cemento - cal	M	176 (17.2)	75	12	No menor de 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	127 (12.4)	75	12	
	N	53 (5.2)	75	14 <sup>C</sup>	
	O	25 (2.4)	75	14 <sup>C</sup>	
Cemento para mortero de pega	M	176 (17.2)	75	12	
	S	127 (12.4)	75	12	
	N	53 (5.2)	75	14 <sup>C</sup>	
	O	25 (2.4)	75	14 <sup>C</sup>	
cemento para mampostería	M	176 (17.2)	75	18	
	S	127 (12.4)	75	18	
	N	53 (5.2)	75	20 <sup>D</sup>	
	O	25 (2.4)	75	20 <sup>D</sup>	

Fuente: (ASTM C270, 2003)

En base a los resultados obtenidos, podemos clasificar a los morteros estudiados tomando como referencia la propiedad mecánica de resistencia a la compresión promedio a los 28 días de la Tabla N° 42. Se ubicó a los morteros estudiados en la categoría de Mortero de cemento para mortero de pega, ya que el aglomerante que se utilizó (Cemento portland tipo I) fue el que más se ajustaba a las características de dicha categoría.

La clasificación resultó de la siguiente manera: para el Mortero A (MF=1.90) y Mortero B (MF=2.30) le correspondería una clasificación tipo "S" mientras que, para el Mortero C (MF=3.00) y Mortero D (MF=3.40), como tipo "M".

### 7.2.2 Resistencia a la tracción

En la Tabla N° 42 y las Figuras N° 19 y N° 20 se muestra los valores de la resistencia a la tracción respecto al mortero patrón. Al igual que la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción a los 7, 14 y 28 días aumenta con el

incremento del módulo de finura hasta el mortero tipo C (MF=3.00), luego comienza a disminuir para morteros preparados con módulos de finura mayores.

Tabla N° 43: Porcentaje de variación de la resistencia a la tracción respecto al patrón

EDAD (días)	MORTERO A MF = 1.90	MORTERO B MF = 2.30	MORTERO C MF = 3.00	MORTERO D MF = 3.40
7	16.27	18.76	24.06	20.95
14	18.68	20.61	26.61	22.52
28	20.02	21.27	30.28	24.90
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100.00	115.30	147.90	128.74
14	100.00	110.30	142.40	120.53
28	100.00	106.20	151.22	124.37

Fuente: Elaboración propia

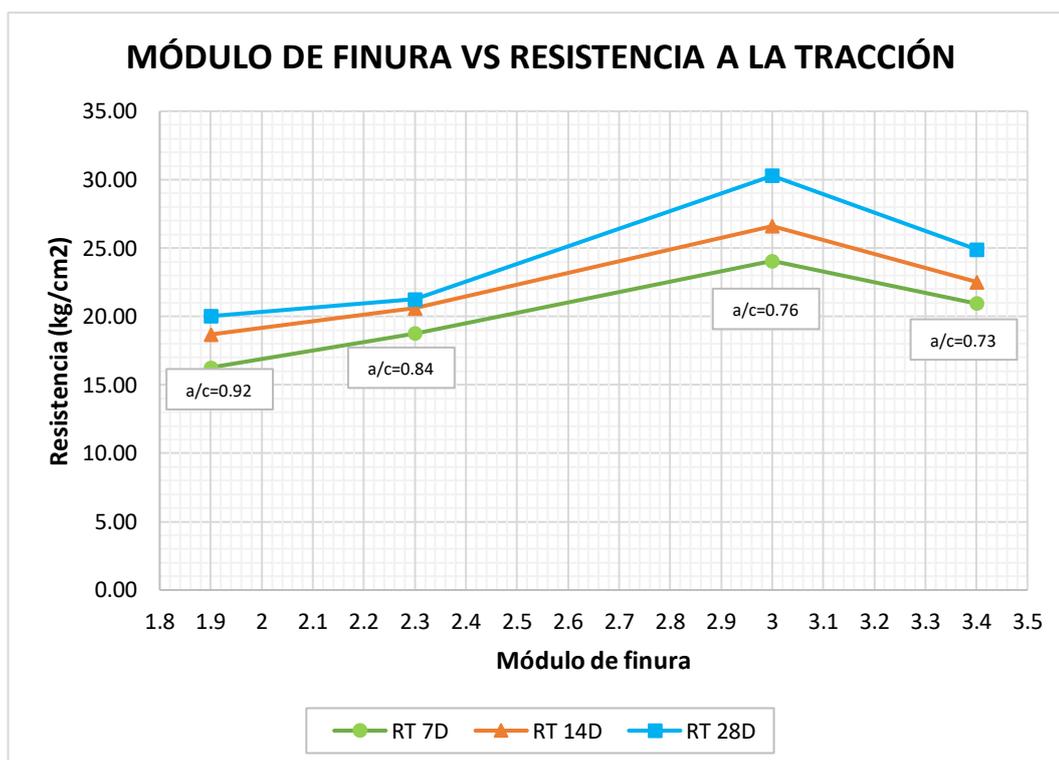


Figura N° 19: Módulo de finura vs Resistencia a la tracción

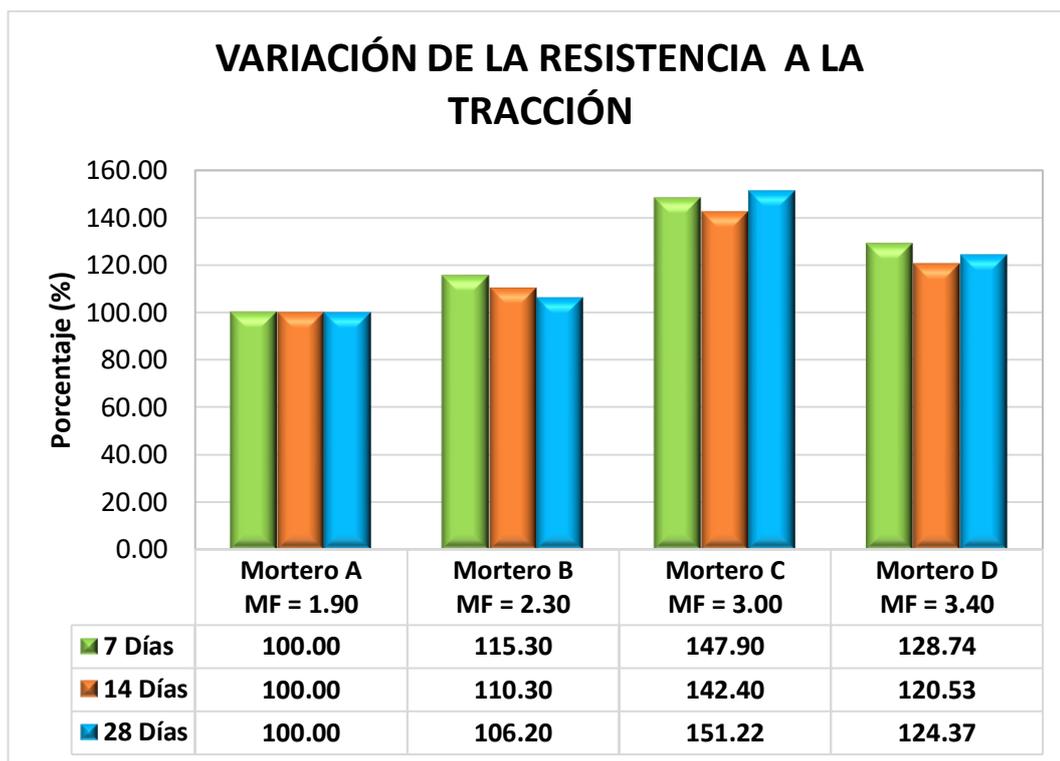


Figura N° 20: Porcentaje de variación de la resistencia a la tracción respecto al patrón

### 7.2.3 Retracción

En el Tabla N° 43 y la Figura N° 21 se muestra los valores de la retracción respecto al mortero patrón. Se aprecia que, con el incremento del módulo de finura del agregado, la variación de la retracción es aleatoria.

Tabla N° 44: Porcentaje de variación de la retracción respecto al patrón

EDAD (días)	MORTERO A MF = 1.90	MORTERO B MF = 2.30	MORTERO C MF = 3.00	MORTERO D MF = 3.40
7	0.010	0.007	0.010	0.006
14	0.012	0.009	0.011	0.006
28	0.014	0.009	0.012	0.010
PORCENTAJE DE VARIACIÓN RESPECTO AL PATRÓN				
7	100.00	67.50	100.00	55.00
14	100.00	73.47	91.84	46.94
28	100.00	65.45	89.09	74.55

Fuente: Elaboración propia

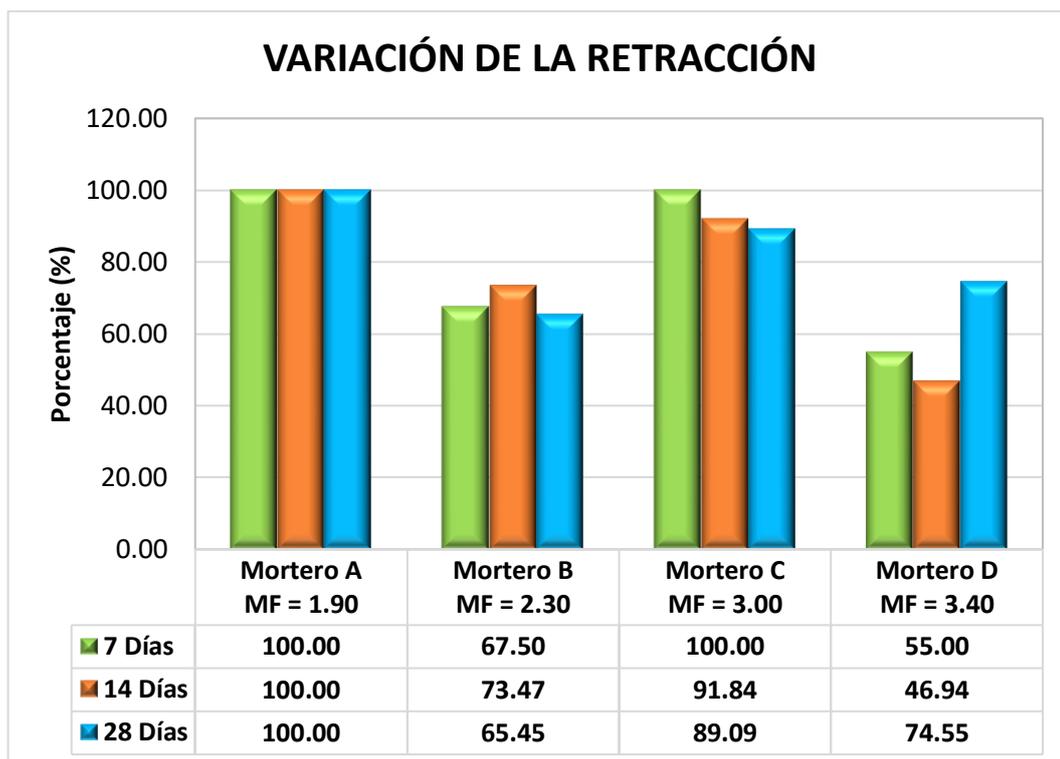


Figura N° 21: Porcentaje de variación de la retracción respecto al patrón

#### 7.2.4 Resistencia al corte en pilas desfasadas

En la Tabla N° 44 y la Figura N° 22 se muestra los valores del esfuerzo de adherencia por corte respecto al mortero patrón resultando 91.68% para el mortero tipo B (MF=2.30), 85.60% para el mortero tipo C (MF=3.00) y 80.93% para el mortero tipo D (MF =3.40). Se observa que al incrementar el módulo de finura del agregado, el esfuerzo de adherencia por corte disminuye.

Tabla N° 45: Porcentaje de variación del esfuerzo de adherencia respecto al patrón

TIPO DE MORTERO	ESFUERZO DE ADHERENCIA POR CORTE (kg/cm <sup>2</sup> )	VARACIÓN CON RESPECTO AL PATRON (%)
Mortero A MF = 1.90	4.93	100.00%
Mortero B MF = 2.30	4.52	91.68%
Mortero C MF = 3.00	4.22	85.60%
Mortero D MF = 3.40	3.99	80.93%

Fuente: Elaboración propia

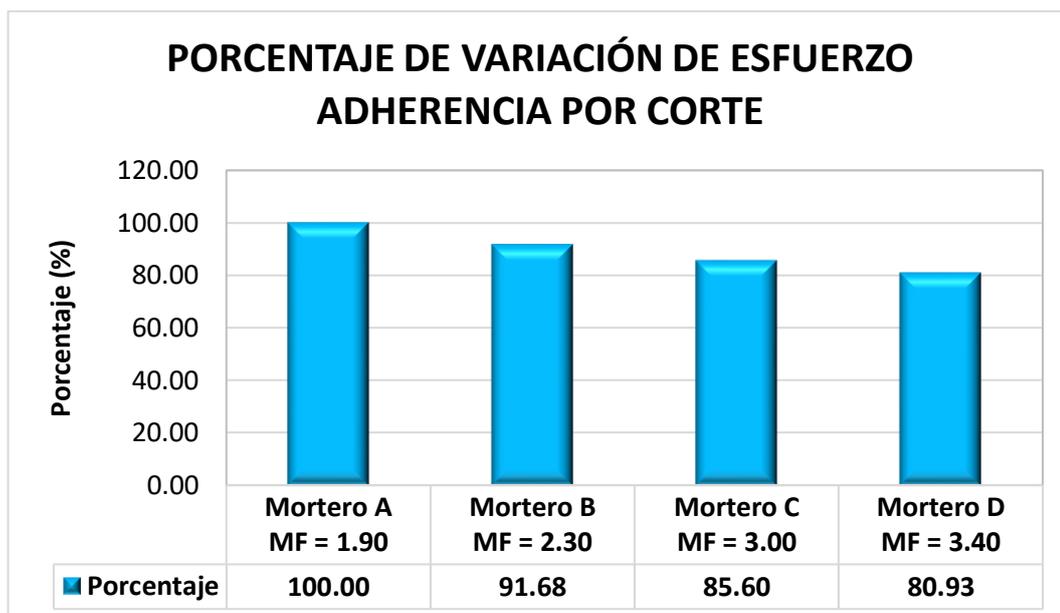


Figura N° 22: Porcentaje de variación del esfuerzo de adherencia respecto al patrón

## CONCLUSIONES

La investigación se inició obteniendo cuatro muestras de agregado de una misma cantera con módulos de finura de 1.90, 2.30, 3.00 y 3.40, dos dentro del rango recomendado por la norma E.070, albañilería y dos fuera de esta.

Se utilizó cemento Sol tipo I y ladrillo King Kong 18 huecos tipo IV para el ensayo de corte por cizallamiento.

Se realizaron ensayos al mortero en estado fresco: fluidez, peso unitario, tiempo de fraguado y exudación; y en estado endurecido: resistencia a la compresión, tracción, retracción y adherencia por corte para una relación en volumen 1:3. En base a estos resultados se realizó el análisis comparativo de la influencia del módulo de finura del agregado en las propiedades del mortero de cemento obteniéndose las siguientes conclusiones:

- 1- El incremento del módulo de finura del agregado reduce la cantidad de agua requerida para lograr una misma fluidez en el mortero, para MFB = 2.30, MFC = 3.00 y MFD = 3.40, disminuye a 91.72%, 82.57% y 79.30%, respectivamente respecto al mortero patrón.
- 2- Los pesos unitarios de los morteros preparados con módulo de finura del agregado dentro del rango recomendado por la norma E.070 son menores respecto a los morteros que poseen módulos de finura mayores a este rango, para MFB = 2.30 disminuye a 97.89%, para MFC = 3.00 aumenta a 104.59% y para MFC = 3.40 aumenta a 102.86%, respecto al mortero patrón.
- 3- El tiempo de fraguado inicial es mayor para los morteros preparados con módulo de finura del agregado dentro del rango recomendado por la norma E.070, para MFB = 2.30 aumenta a 102.26%, para MFC = 3.00 disminuye a 90.32% y para MFC = 3.40 disminuye a 93.55%, respecto al mortero patrón. Así mismo, el tiempo de fraguado final aumenta al incrementarse el módulo de finura, para MFB = 2.30, MFC = 3.00 y MFD = 3.40, aumenta a 103.61%, 106.02% y 112.05%, respectivamente respecto al mortero patrón.
- 4- A medida que incrementamos el módulo de finura del agregado, la exudación en el mortero aumenta, para MFB = 2.30, MFC = 3.00 y

MFD = 3.40, aumenta a 107.51%, 146.76% y 177.72%, respectivamente respecto al mortero patrón.

- 5- A medida que incrementamos el módulo de finura del agregado desde 1.90 a 3.00, la resistencia a la compresión aumenta, luego empieza a disminuir para módulos de finura en el rango de 3.00 a 3.40, para MFB = 2.30 aumenta a 109.43%, para MFC = 3.00 aumenta a 173.78% alcanzando su máxima resistencia y para MFD = 3.40 aumenta a 163.83%, respecto al mortero patrón.
- 6- El incremento del módulo de finura del agregado, al igual que en la resistencia a la compresión, produce un aumento en la resistencia a la tracción desde 1.90 a 3.00, para luego disminuir en el rango de 3.00 a 3.40, para MFB = 2.30 aumenta a 106.20%, para MFC = 3.00 aumenta a 151.22% alcanzando su máxima resistencia y para MFD = 3.40 aumenta a 124.37%, respecto al mortero patrón.
- 7- A medida que incrementamos el módulo de finura del agregado, la resistencia a la adherencia por corte disminuye, para MFB = 2.30, MFC = 3.00, y MFD = 3.40, disminuye a 91.68%, 85.60% y 80.93%, respectivamente respecto al mortero patrón.
- 8- La retracción en el mortero es aleatoria al variar el módulo de finura del agregado. A los 28 días de curado, las muestras presentan una expansión del orden entre 0.009% y 0.014%; las cuales corresponden a un mortero no expansivo, demostrando entonces propiedades de invariabilidad.
- 9- Mediante los resultados del ensayo de adherencia por corte, se corrobora el rango recomendado por la norma E.070 de 1.6 a 2.5 para asentado de unidades de albañilería debido a que se logra mejores adherencias.

## RECOMENDACIONES

- 1- Para morteros usados en asentado de unidades de albañilería, utilizar arenas con módulos de finura recomendados por la norma E.070 pues producen mayores adherencias.
- 2- Para obtener morteros de alta resistencia, se debe emplear arena gruesa que posea un módulo de finura cercano a 3.00, debido a que se obtiene mayores resistencias a la compresión.
- 3- Se recomienda realizar investigaciones con otras relaciones en volumen y otros módulos de finura además de complementarlo con los ensayos en pilas y muretes en albañilería.
- 4- Debido a que no es lo mismo usar arena gruesa destinada a la elaboración del concreto, para el mortero y viceversa, se recomienda realizar un mapeo a las canteras de agregado fino y diferenciarlas en base a su granulometría y módulo de finura.
- 5- A fin de obtener arenas con módulos de finura que reflejen la realidad, realizar el ensayo de granulometría con la mayor precisión según la norma.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Gallegos, H. y Casabonne C., “Albañilería Estructural” Tercera edición, Fondo Editorial PUCP, Lima, 2005.
2. Meza Hajar, Freud Edison, “Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento, con adición de cal aérea”, Tesis para obtención de título profesional. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2004.
3. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, “Manual de Ensayo de Materiales”, Lima, 2016.
4. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, “Reglamento Nacional de Edificaciones” Norma E.070, Albañilería, Lima, 2006.
5. Rivet, E. y Ritchie, T., “The influence of sand grading on mortar properties”, National Research Council Canada; Ottawa, 1960.
6. Sánchez De Guzmán, Diego, “Tecnología del concreto y del mortero” Quinta edición, Pontificia Universidad Javeriana - Facultad de Ingeniería, Santafé de Bogotá, 2001.
7. Vargas Flores, Julio Miguel, “Influencia del material más fino que la malla N°100 en las propiedades del mortero usado en albañilería”. Tesis para obtención de título profesional. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 1994.
8. Zabalaga Camargo, Juan Carlos, “Estudio del concreto de mediana a alta resistencia variando el módulo de finura del agregado fino utilizando cemento portland tipo I”. Tesis para obtención de título profesional. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2007.

# ANEXOS

# ANEXO A

## CURVAS GRANULOMÉTRICAS

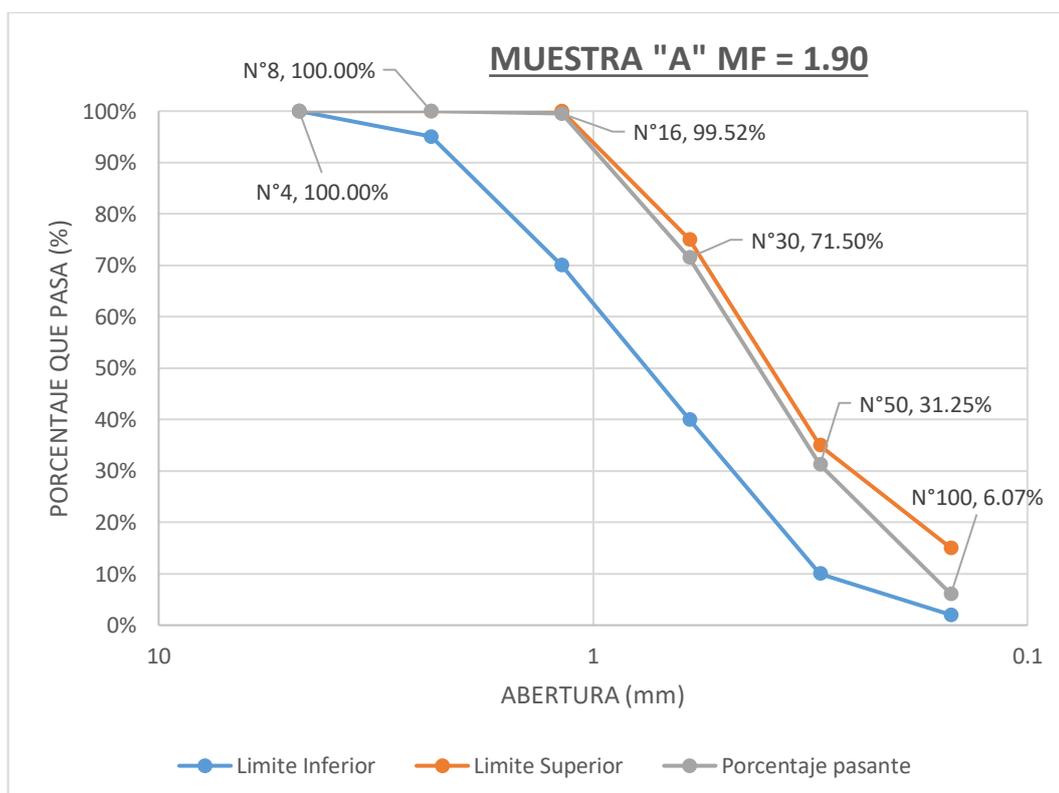
### A, B, C Y D

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Muestra: A

Descripción: Muestra promedio de 3 granulometrías.

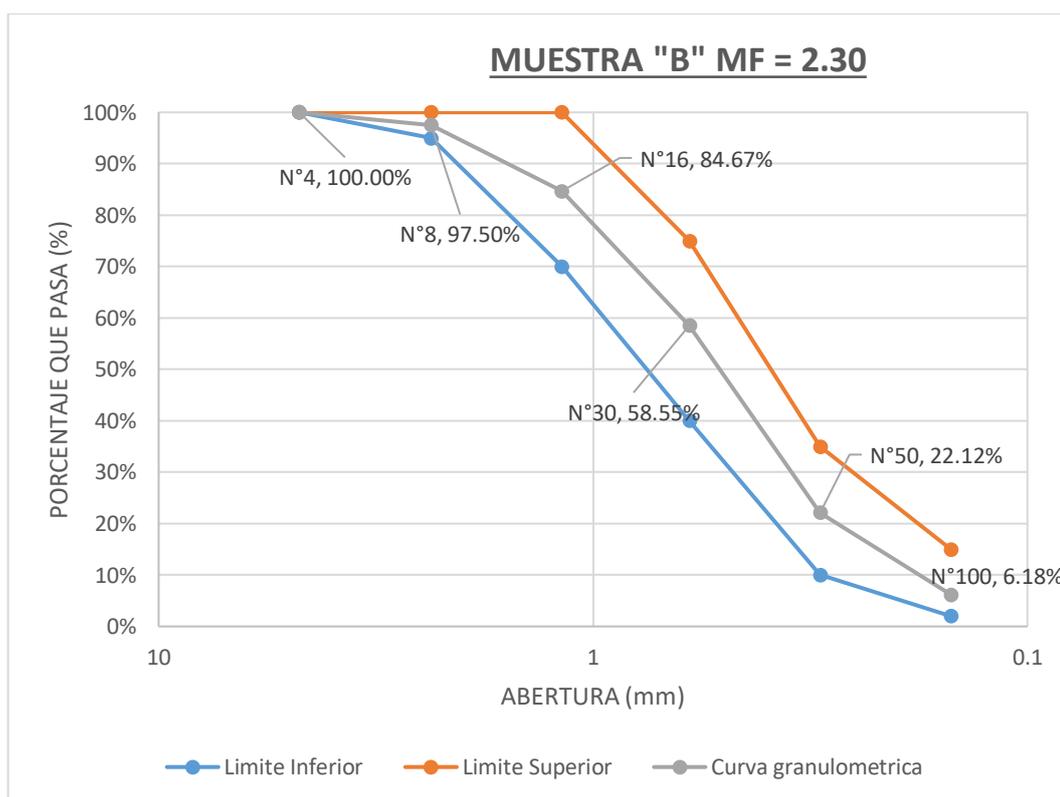
Tamaño Malla ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
N° 4	4.75	0	0.00%	0.00%	100.00%
N° 8	2.36	0	0.00%	0.00%	100.00%
N° 16	1.18	2.9	0.48%	0.48%	99.52%
N° 30	0.60	168.1	28.02%	28.50%	71.50%
N° 50	0.30	241.5	40.25%	68.75%	31.25%
N° 100	0.15	151.1	25.18%	93.93%	6.07%
Fondo		36.4	6.07%	100.00%	0.00%
Módulo de finura		1.91			



Muestra: B

Descripción: Muestra promedio de 3 granulometrías.

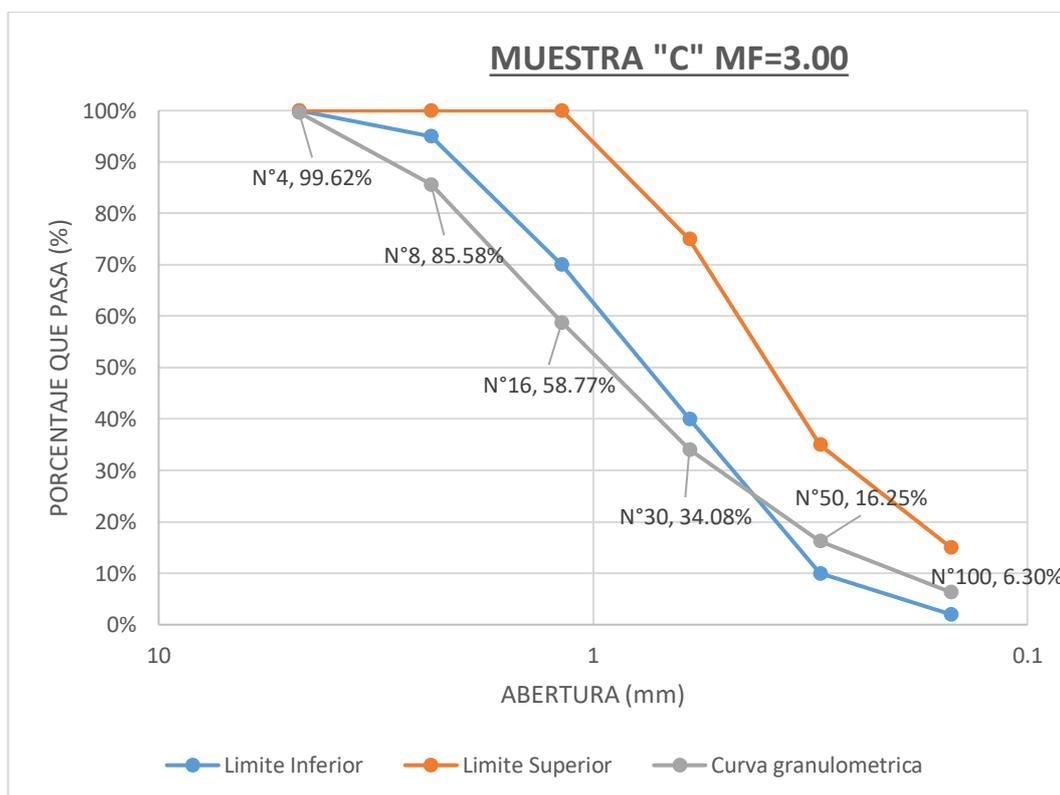
Tamaño Malla ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
N° 4	4.75	0	0.00%	0.00%	100.00%
N° 8	2.36	15	2.50%	2.50%	97.50%
N° 16	1.18	77	12.83%	15.33%	84.67%
N° 30	0.60	156.7	26.12%	41.45%	58.55%
N° 50	0.30	218.6	36.43%	77.88%	22.12%
N° 100	0.15	95.6	15.93%	93.82%	6.18%
Fondo		37.1	6.18%	100.00%	0.00%
Módulo de finura		2.31			



Muestra: C

Descripción: Muestra promedio de 3 granulometrías.

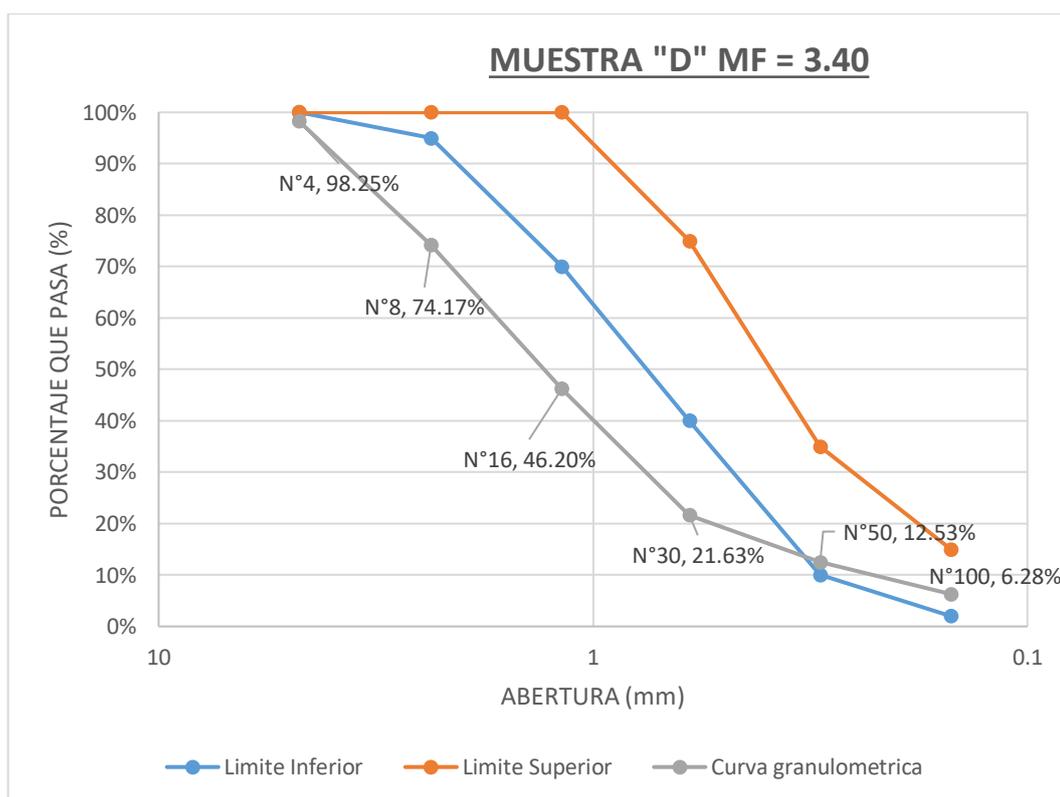
Tamaño Malla ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
N° 4	4.75	2.3	0.38%	0.38%	99.62%
N° 8	2.36	84.2	14.03%	14.42%	85.58%
N° 16	1.18	160.9	26.82%	41.23%	58.77%
N° 30	0.60	148.1	24.68%	65.92%	34.08%
N° 50	0.30	107	17.83%	83.75%	16.25%
N° 100	0.15	59.7	9.95%	93.70%	6.30%
Fondo		37.8	6.30%	100.00%	0.00%
Módulo de finura		2.99			



Muestra: D

Descripción: Muestra promedio de 3 granulometrías.

Tamaño Malla ASTM	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa
N° 4	4.75	10.5	1.75%	1.75%	98.25%
N° 8	2.36	144.5	24.08%	25.83%	74.17%
N° 16	1.18	167.8	27.97%	53.80%	46.20%
N° 30	0.60	147.4	24.57%	78.37%	21.63%
N° 50	0.30	54.6	9.10%	87.47%	12.53%
N° 100	0.15	37.5	6.25%	93.72%	6.28%
Fondo		37.7	6.28%	100.00%	0.00%
Módulo de finura		3.41			



# ANEXO B

- PROPIEDADES DEL MORTERO FRESCO
- PROPIEDADES DEL MORTERO ENDURECIDO

## PROPIEDADES DEL MORTERO FRESCO

### Fluidez

Tipo de mortero	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	D4 (mm)	Diámetro Promedio (mm)	Diámetro Inicial (mm)	Índice de Fluidez (%)
Mortero A MF = 1.90	213	216.6	217.9	215.2	215.67	101.60	112.27%
Mortero B MF = 2.30	216	217.6	217.2	212.2	215.75	101.60	112.35%
Mortero C MF = 3.00	219	214	213.9	214	215.23	101.60	111.84%
Mortero D MF = 3.40	213.6	210.7	215.4	214.3	213.5	101.60	110.14%

### Peso unitario

Tipo de mortero: A (MF = 1.90)				
N° de ensayo	Peso molde + mortero (gr)	Peso molde (gr)	Peso mortero (gr)	Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> )
1	1592.7	759.3	833.4	2083.50
2	1590.3	759.3	831	2077.50
3	1591.8	759.3	832.5	2081.25
<b>Peso unitario promedio</b>				2080.75

Tipo de mortero B: (MF = 2.30)				
N° de ensayo	Peso molde + mortero (gr)	Peso molde (gr)	Peso mortero (gr)	Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> )
1	1573.1	759.3	813.8	2034.50
2	1573.8	759.3	814.5	2036.25
3	1575.2	759.3	815.9	2039.75
<b>Peso unitario promedio</b>				2036.83

<b>Tipo de mortero: C (MF = 3.00)</b>				
<b>N° de ensayo</b>	<b>Peso molde + mortero (gr)</b>	<b>Peso molde (gr)</b>	<b>Peso mortero (gr)</b>	<b>Peso unitario (Kg/m3)</b>
1	1629	759.3	869.7	2174.25
2	1630.8	759.3	871.5	2178.75
3	1629.5	759.3	870.2	2175.50
<b>Peso unitario promedio</b>				<b>2176.17</b>

<b>Tipo de mortero: D (MF = 3.40)</b>				
<b>N° de ensayo</b>	<b>Peso molde + mortero (gr)</b>	<b>Peso molde (gr)</b>	<b>Peso mortero (gr)</b>	<b>Peso unitario (Kg/m3)</b>
1	1616.3	759.3	857	2142.50
2	1614.5	759.3	855.2	2138.00
3	1615.4	759.3	856.1	2140.25
<b>Peso unitario promedio</b>				<b>2140.25</b>

### Tiempo de fraguado

<b>Tipo de mortero</b>	<b>Tiempo inicial (hr:min:seg)</b>	<b>Tiempo transcurrido (hr:min:seg)</b>	<b>Penetración (mm)</b>
<b>Mortero A</b>	09:20:00 a.m.	13:20:00	40
		13:35:00	40
		13:50:00	37
		14:05:00	34
		14:20:00	31
		14:35:00	22
		14:50:00	15
		15:05:00	12
		15:20:00	5
		15:35:00	3 *
		15:50:00	1
		16:05:00	1
	16:15:00	0	
* NOTA: Volteo del espécimen			

Tiempo de Fraguado Inicial	5h 10min
Tiempo de Fraguado Final	6h 55min

Tipo de mortero	Tiempo inicial (hr:min:seg)	Tiempo transcurrido (hr:min:seg)	Penetración (mm)
<b>Mortero B</b>	09:00:00 a.m.	13:00:00	40
		13:15:00	38
		13:30:00	36
		13:45:00	31
		14:00:00	29
		14:15:00	26
		14:30:00	19
		14:45:00	14
		15:00:00	11
		15:15:00	9
		15:30	8
		15:45	4 *
		16:00	1
		16:10	0

\* NOTA: Volteo del espécimen

Tiempo de Fraguado Inicial	5h 17min
Tiempo de Fraguado Final	7h 10min

Tipo de mortero	Tiempo inicial (hr:min:seg)	Tiempo transcurrido (hr:min:seg)	Penetración (mm)
<b>Mortero C</b>	09:05:00 a.m.	12:50:00	40
		13:05:00	37
		13:20:00	33
		13:35:00	30
		13:50:00	22
		14:05:00	14
		14:20:00	7
		14:35:00	5
		14:50:00	3 *
		15:05:00	2
		15:20:00	1
		15:35:00	1
		16:25:00	0

\* NOTA: Volteo del espécimen

Tiempo de Fraguado Inicial	5h 17min
Tiempo de Fraguado Final	7h 10min

Tipo de mortero	Tiempo inicial (hr:min:seg)	Tiempo transcurrido (hr:min:seg)	Penetración (mm)
<b>Mortero D</b>	09:00:00 a.m.	12:45:00	40
		13:00:00	35
		13:15:00	31
		13:30:00	29
		13:45:00	27
		14:00:00	20
		14:15:00	14
		14:30:00	12
		14:45:00	9
		15:00:00	8
		15:15:00	4 *
		15:30:00	3
		15:45:00	1
		16:00:00	1
16:45:00	0		

\* NOTA: Volteo del espécimen

Tiempo de Fraguado Inicial	4h 50min
Tiempo de Fraguado Final	7h 45min

### Exudación

Tipo de mortero	N° de ensayo	Exudación (%)	Exudación Promedio (%)
Mortero A MF = 1.90	1	7.78	7.72
	2	8.20	
	3	7.17	
Mortero B MF = 2.30	1	8.44	8.30
	2	8.35	
	3	8.11	
Mortero C MF = 3.00	1	11.39	11.33
	2	10.97	
	3	11.63	
Mortero D MF = 3.40	1	13.72	13.72
	2	13.44	
	3	13.98	

**PROPIEDADES DEL MORTERO ENDURECIDO****Resistencia a la compresión**

Tipo de mortero	N° de ensayo	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero A MF = 1.90	Espécimen N°	7 Días	14 Días	28 Días
	1	126.93	131.15	152.08
	2	134.24	133.82	142.04
	3	132.82	142.02	143.26
	4	120.12	131.18	144.37
<b>Compresión promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		128.53	134.54	145.44

Tipo de mortero	N° de ensayo	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero B MF = 2.30	Espécimen N°	7 Días	14 Días	28 Días
	1	128.70	150.07	161.91
	2	139.25	154.54	155.80
	3	134.63	156.66	165.83
	4	146.31	149.04	153.04
<b>Compresión promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		137.22	152.58	159.15

Tipo de mortero	N° de ensayo	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero C MF = 3.00	Espécimen N°	7 Días	14 Días	28 Días
	1	194.80	236.52	253.78
	2	185.80	221.23	251.52
	3	207.00	246.36	248.89
	4	193.35	228.10	256.79
<b>Compresión promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		195.24	233.05	252.74

Tipo de mortero	N° de ensayo	Resistencia a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero D MF = 3.40	Espécimen N°	7 Días	14 Días	28 Días
	1	165.99	218.92	240.16
	2	174.90	213.90	244.24
	3	197.00	209.90	231.23
	4	178.97	215.09	237.44
<b>Compresión promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		179.22	214.45	238.27

**Resistencia a la tracción**

Tipo de mortero	N° de ensayo	Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero A MF = 1.90	Espécimen N°	7 Días	14 Días	28 Días
	1	14.95	18.00	19.08
	2	16.41	18.36	19.92
	3	16.93	17.50	19.11
	4	16.79	20.88	21.99
<b>Tracción promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		16.27	18.68	20.02

Tipo de mortero	N° de ensayo	Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero B MF = 2.30	Espécimen N°	7 Días	14 Días	28 Días
	1	16.79	21.38	20.57
	2	19.00	19.77	21.32
	3	19.39	20.20	21.97
	4	19.85	21.08	21.20
<b>Tracción promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		18.76	20.61	21.27

Tipo de mortero	N° de ensayo	Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero C MF = 3.00	Espécimen N°	7 Días	14 Días	28 Días
	1	25.57	24.60	30.21
	2	24.93	26.72	28.85
	3	22.12	26.34	29.22
	4	23.63	28.77	32.84
<b>Tracción promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		24.06	26.61	30.28

Tipo de mortero	N° de ensayo	Resistencia a la tracción (kg/cm <sup>2</sup> )		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero D MF = 3.40	Espécimen N°	7 Días	14 Días	28 Días
	1	22.78	23.90	25.51
	2	21.23	21.94	23.72
	3	20.06	21.40	23.49
	4	19.71	22.85	26.89
<b>Tracción promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>		20.95	22.52	24.90

**Retracción**

Tipo de mortero	N° de ensayo	Retracción (%)		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero A MF = 1.90	Barra N°			
	1	0.011	0.013	0.013
	2	0.008	0.011	0.013
	3	0.012	0.014	0.016
	4	0.009	0.011	0.013
<b>Retracción promedio (%)</b>		0.010	0.012	0.014

Tipo de mortero	N° de ensayo	Retracción (%)		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero B MF = 2.30	Barra N°			
	1	0.008	0.009	0.009
	2	0.007	0.009	0.009
	3	0.006	0.009	0.009
	4	0.006	0.009	0.009
<b>Retracción promedio (%)</b>		0.007	0.009	0.009

Tipo de mortero	N° de ensayo	Retracción (%)		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero C MF = 3.00	Barra N°			
	1	0.013	0.013	0.013
	2	0.010	0.010	0.013
	3	0.008	0.011	0.011
	4	0.011	0.011	0.012
<b>Retracción promedio (%)</b>		0.010	0.011	0.012

Tipo de mortero	N° de ensayo	Retracción (%)		
		7 Días	14 Días	28 Días
Mortero D MF = 3.40	Barra N°			
	1	0.007	0.004	0.010
	2	0.004	0.003	0.009
	3	0.004	0.007	0.011
	4	0.007	0.009	0.011
<b>Retracción promedio (%)</b>		0.006	0.006	0.010

## Adherencia

Tipo de mortero	Área 1		Área 2		Carga máxima de falla en interfaz ladrillo-mortero (kgf)	Esfuerzo de adherencia por corte (kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo de adherencia promedio (kg/cm <sup>2</sup> )
	A1 (cm)	L1 (cm)	A2 (cm)	L2 (cm)			
Mortero A	16.5	12.4	16.5	12.3	1950	4.78	4.93
	16.6	12.1	17	12.1	2100	5.17	
	16.4	12.1	16.5	12.1	1920	4.82	
	16.5	12.2	16.4	12.2	1980	4.93	
Mortero B	16.4	12.1	16.5	12.2	1760	4.40	4.52
	16.5	12.1	16.3	12	1770	4.48	
	16.6	12.2	16.7	12.1	1760	4.35	
	16.2	12.1	16.4	12	1900	4.84	
Mortero C	16.5	12.1	16.5	12.1	1970	4.93	4.22
	16.8	12.3	16.6	12.2	1950	4.77	
	16.4	12.2	16.5	12.1	1650	4.13	
	16.4	12.2	16	12	1200	3.06	
Mortero D	16.4	12.2	16.8	12	1630	4.06	3.99
	16.5	12.3	16.2	12	1650	4.15	
	16.5	12.4	16.4	12.1	1610	3.99	
	16.3	12.4	16.6	12.5	1530	3.74	

# ANEXO C

## ANÁLISIS DE COSTOS

**COMPARACIÓN DE COSTOS EN EL MORTERO**

Se estimará un costo por metro cubico de mortero, para ello se muestran los precios considerados en el cálculo del costo.

DESCRIPCION	UNIDAD	COSTO UNITARIO (S/.)
CEMENTO	Bol	22.20
ARENA	m3	40.00
AGUA	m3	5.37

A continuación, se muestran los costos por metro cubico de mortero, así como un comparativo de los costos en base al mortero patrón para cada tipo de mortero estudiado en la presente investigación.

<b>COSTO DE MORTERO POR METRO CUBICO (S/./m3)</b>				
COMPONENTES	MORTERO A MF = 1.90	MORTERO B MF = 2.30	MORTERO C MF = 3.00	MORTERO D MF = 3.40
CEMENTO	125.26	127.59	130.26	131.24
ARENA	23.40	23.83	24.33	24.51
AGUA	1.18	1.10	1.02	0.98
<b>TOTAL (S/./m3)</b>	149.84	152.52	155.61	156.74

<b>COMPARACIÓN DE COSTOS</b>			
MORTERO	COSTO TOTAL (S/./m3)	AUMENTO COSTO (S/./m3)	PORCENTAJE DE AUMENTO (%)
MORTERO A MF = 1.90	149.84	0.00	0.00
MORTERO B MF = 2.30	152.52	2.68	1.79
MORTERO C MF = 3.00	155.61	5.76	3.85
MORTERO D MF = 3.40	156.74	6.90	4.60

# ANEXO D

## PANEL FOTOGRÁFICO



**Foto N° 1**  
Muestras de cada tamiz antes de la combinación



**Foto N° 2**  
Combinación resultante MF=1.90



**Foto Nº 3**  
Combinación resultante MF=2.30



**Foto Nº 4**  
Combinación resultante MF=3.40



**Foto Nº 5**  
Análisis granulométrico de los diferentes tipos de arena



**Foto Nº 6**  
Secado al horno para ensayo de contenido de humedad.



**Foto N° 7**  
Secado en cocina eléctrica de muestra de arena para ensayo de peso específico y absorción



**Foto N° 8**  
Ensayo de peso específico y absorción



**Foto Nº 9**  
Ensayo de Peso unitario



**Foto Nº 10**  
Ensayo de Porcentaje de finos



**Foto Nº 11**  
Instrumentos y materiales utilizados en la preparación de las mezclas de mortero



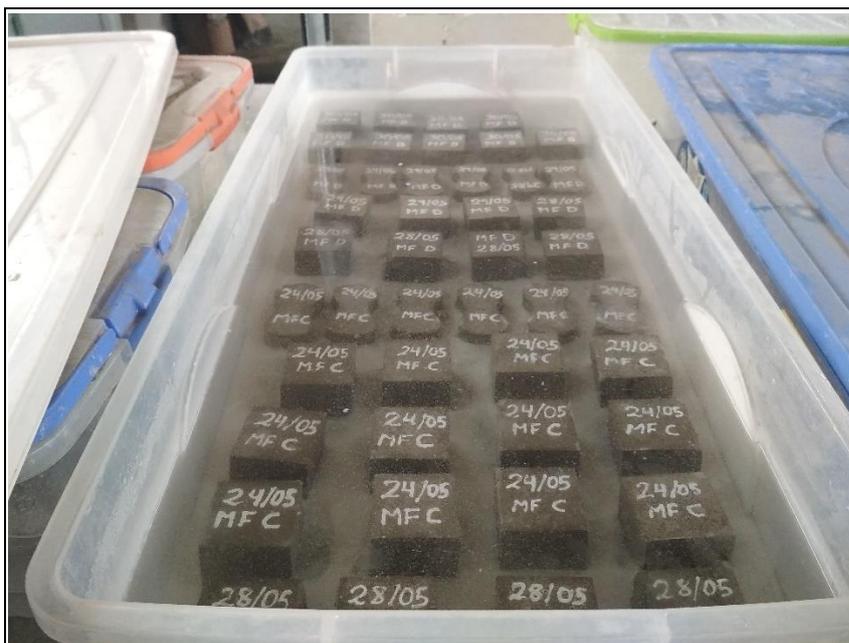
**Foto Nº 12**  
Ensayo de fluidez



**Foto Nº 13**  
Ensayo de peso unitario



**Foto Nº 14**  
Encofrado tipos cubos de mortero, ocho y moldes de retracción



**Foto Nº 15**  
Curado de muestras



**Foto Nº 16**  
Ensayo de resistencia a la compresión



**Foto N° 17**  
Ensayo de resistencia a la tracción



**Foto N° 18**  
Ensayo de retracción



**Foto N° 19**  
Ensayo de adherencia por corte



**Foto N° 20**  
Modo de falla típica en pila desfasada