



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DEL MÁRMOL RECICLADO SOBRE LA REACTIVIDAD, DENSIDAD, COMPRESIÓN Y RESISTENCIA A PILAS EN MORTEROS, TRUJILLO 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Civil

Autor:

Br. Reyna Quispe Luisita Alejandra

Asesor:

Ing. Vásquez Alfaro Iván Eugenio

Trujillo – Perú
2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por la Bachiller **Luisita Alejandra Reyna Quispe**, denominada:

**INFLUENCIA DEL MÁRMOL RECICLADO SOBRE LA REACTIVIDAD,
DENSIDAD, COMPRESIÓN Y RESISTENCIA A PILAS EN MORTEROS,
TRUJILLO 2018.**

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro.
ASESOR CIP 123509

MBA. Ing. Josualdo Carlos Villar Quiroz
JURADO CIP 106997
PRESIDENTE

MSC. Ing. Wiston Henry Azañedo Medina
JURADO CIP 107619

MBA. Ing. Ricardo Daniel Avalos Alayo
JURADO CIP 97900

DEDICATORIA

A Dios y la Virgen de la Puerta, por estar siempre conmigo y ser mis guías en mi sendero, dándome fuerzas para seguir adelante y cumplir mis objetivos.

*A mis padres **Aurelio Reyna** y **Bertha Quispe**, y a mis hermanos **Crystal Reyna** y **Joseph Reyna**; quienes me han apoyado incondicionalmente en todo momento. Por sus enseñanzas, principios y motivación constante que me ha permitido ser una buena persona.*

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por cuidarme durante todo mi camino y darme las fuerzas para superar los obstáculos, a la Virgen de la puerta por protegerme con su manto milagroso y bendecir mi hogar, haciéndome posible culminar mi vida universitaria con éxito.

A mis padres, Aurelio y Bertha, por el apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos y enseñarme a no rendirme jamás, a ser perseverante para alcanzar todas mis metas.

A mis hermanos Crystal y Joseph, por acompañarme en cada ocasión, compartiendo alegrías y tristezas, demostrándome que siempre puedo contar con ellos.

Al ingeniero Iván Vásquez Alfaro, quien ha sido fundamental para la culminación de esta investigación. Gracias por la paciencia, por los conocimientos brindados, por la orientación y por la motivación durante el desarrollo de la tesis.

A mis amigos y compañeros con los que empecé esta vida universitaria. Quienes en estos 5 años me brindaron su apoyo y una mano amiga con la cual contar en todo momento. En especial a Kenji Diaz quien me acompañó en el proceso de la realización de esta investigación brindándome todo su apoyo y comprensión.

Luisita Alejandra Reyna Quispe

ÍNDICE DE CONTENIDO

APROBACIÓN DE LA TESIS	2
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS	5
ÍNDICE DE TABLAS	10
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	16
1.1. Realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema.....	20
1.3. Justificación.....	20
1.4. Limitaciones.....	24
1.5. Objetivos	24
1.5.1. Objetivo general	24
1.5.2. Objetivos específicos.....	24
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	26
2.1. Antecedentes	26
2.2. Bases teóricas	29
A. Mortero.....	29
A.1. Clasificación del mortero	29
A.2. Componentes del mortero	31
A.2.1. Cemento portland	31
A.2.2. Agregado fino.....	32
A.2.3. Agua	36
A.3 Dosificación del mortero	37
A.4. Ensayos del mortero	37
B. Mármol	38
B.1. Difracción de rayos X (DRX)	38
B.2. Principales propiedades en estado endurecido	39
B.3. Características	40
B.4. Usos del mármol	42
B.5. Canteras principales de obtención de mármol	43

B.6. Residuo actual de mármol en la construcción	43
B.7. Características del residuo de mármol	43
B.8. Estado actual de la utilización de los residuos de mármol	44
2.3. Hipótesis	45
2.3.1. Formulación de hipótesis	45
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	49
3.1. Operacionalización de variables	49
3.1.1. Variable independiente	49
3.1.2. Variable dependiente	49
3.2. Diseño de investigación	51
3.3. Unidad de estudio	51
3.4. Población	51
3.5. Muestra	52
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	54
3.6.1. Técnicas de recolección de datos	54
3.6.2. Instrumento de recolección de datos	54
3.6.3. Procedimientos de recolección de datos	55
A. Materia prima	56
A.1. Cemento	56
A.2 Agua	56
A.3. Agregado	57
B. Caracterización física y química	57
B.1. Caracterización física	57
B.1.1. Ensayo granulométrico NTP 400.012	57
B.1.2. Contenido de humedad NTP 339.185	58
B.1.3. Peso unitario suelto y compactado NTP 400.017	59
B.1.4. Gravedad específica y absorción NTP 400.021	61
B.2. Caracterización química	62
B.2.1. Evaluación química del agregado NTP 400.042	62
B.2.2. Agua NTP 339.088	63
C. Mármol	64
D. Diseño de mezcla	64
E. Mezcla, conformación, codificación y curado ASTM C31.....	67
F. Ensayos para evaluar las propiedades del mortero	68
F.1. Ensayo de reactividad ASTM C1260	68
F.2. Ensayo de densidad NTP 321.139	69
F.3. Ensayo de compresión NTP 339.034	71
F.4. Ensayo de resistencia a pilas NPT 339. 613	73

F.4.1. Ladrillo Lark King Kong 18 huecos	73
F.4.2. Ensayo de compresión axial de pilas de albañilería	75
G. Procedimientos básicos para el aporte de materiales	77
G.1. Cálculo de la cantidad de ladrillos para muros	77
G.2. Cálculo de la cantidad de mortero, cemento y arena gruesa	78
3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos	79
3.7.1. Método de análisis de datos	79
3.7.2. Instrumento de análisis de datos	80
3.7.3. Procedimiento de análisis de datos	80
A. Datos previos	80
A.1. Grados de libertad	80
A.2. Nivel de significancia	80
A.3. Criterio de rechazo	80
A.4. Intervalos de confianza	81
B. Análisis de varianza	81
B.1. Parámetros del modelo	81
B.2. Análisis de varianza	82
C. Medidas de tendencia central	82
C.1. Media aritmética	82
C.2. Varianza	83
C.3. Desviación estándar	83
C.4. Coeficiente de variación	84
CAPÍTULO 4. RESULTADOS	85
4.1. Caracterización de la materia prima	85
4.1.1. Agregado fino	85
4.1.2. Agua	86
4.1.3. Mármol	87
4.2. Ensayos realizados	89
4.2.1. Reactividad	89
4.2.2. Densidad	90
4.2.3. Compresión	92
4.2.4. Resistencia a pilas	93
4.2.4.1. Ladrillo Lark King Kong 18 huecos	93
4.2.4.1. Compresión axial de pilas de albañilería	94
4.3. Costos de producción del mármol	94
4.4. Evaluación económica de las alternativas	95
4.5. Análisis de datos	96
4.5.1. Reactividad	96

4.5.2. Densidad	98
4.5.3. Compresión	99
4.5.4. Resistencia a pilas	101
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN	108
5.1. Caracterización de la materia prima	108
4.1.1. Agregado fino	108
4.1.2. Cemento	112
4.1.3. Mármol	113
4.1.4. Agua potable	114
4.1.5. Diseño de mezcla	115
5.2. Ensayos realizados	115
5.2.1. Reactividad	115
5.2.2. Densidad	118
5.2.3. Compresión	119
5.2.4. Resistencia a pilas	122
5.2.4.1. Ladrillo lark King Kong 18 huecos	125
5.2.4.1. Compresión axial de pilas de albañilería	130
5.3. Evaluación económica de las alternativas	132
5.4. Evaluación económica de las alternativas	133
CONCLUSIONES	135
RECOMENDACIÓN	136
REFERENCIAS	137
APÉNDICE	141
APÉNDICE 1: Caracterización de agregados	141
APÉNDICE 2: Resultados de ensayos	148
ANEXOS	158
ANEXO 1: Panel fotográfico	158
ANEXO 2: Guía de observación por cada ensayo	169
ANEXO 3: Distribución de F de Fisher.....	173
ANEXO 4: Certificado de ensayos en la Universidad Privada del Norte	174
ANEXO 5: Certificado de ensayos en la Universidad Nacional de Trujillo	175
ANEXO 6: Certificado de ensayo DRX	176
ANEXO 7: Ficha técnica del cemento portland tipo I Qhuna	178
ANEXO 8: Ficha técnica del cemento portland tipo I Pacasmayo.....	180

ANEXO 9: Ficha técnica de ladrillos Lark King Kong 18 huecos	181
ANEXO 10: Arena gruesa SODIMAC	182
ANEXO 11: Normativo para el procedimiento experimental	183
ANEXO 12: Certificado de calibración de balanza electrónica	193
ANEXO 13: Certificado de calibración de máquina de compresión	197

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones de los morteros.....	29
Tabla 2: Guía para seleccionar morteros de mampostería.....	29
Tabla 3: Compuestos del Cemento portland.....	30
Tabla 4: Resistencia a la compresión para agregados sanos.....	34
Tabla 5: Tamaños para el agregado fino.....	34
Tabla 6: Limite permisible para la calidad de agua.....	35
Tabla 7: Dosificaciones del mortero de albañilería.....	36
Tabla 8: Clasificación del mármol según su color.....	39
Tabla 9: Matriz de hipótesis general.....	43
Tabla 10: Matriz de hipótesis específica 1.....	43
Tabla 11: Matriz de hipótesis específica 2.....	44
Tabla 12: Matriz de hipótesis específica 3.....	44
Tabla 13: Matriz de hipótesis específica 3.....	45
Tabla 14: Matriz de hipótesis específica 4.....	45
Tabla 15: Matriz de hipótesis específica 5.....	46
Tabla 16: Matriz de hipótesis específica 6.....	46
Tabla 17: Operacionalización de variables dependientes.....	48
Tabla 18: Diseño de investigación.....	49
Tabla 19: Niveles de variables.....	49
Tabla 20: Límites permisibles para el agua de mezcla.....	55
Tabla 21: Análisis granulométrico de los agregados.....	56
Tabla 22: Huso granulométrico del agregado fino.....	56
Tabla 23: Contenido de humedad.....	57
Tabla 24: Volumen del molde de peso unitario.....	58
Tabla 25: Peso unitario suelto y compactado del agregado.....	59
Tabla 26: Gravedad específica y absorción del agregado.....	60
Tabla 27: Esquema de composición química del agregado fino y del mármol.....	61
Tabla 28: Esquema de composición química del agua.....	61
Tabla 29: Dosificación 1:3 con 0% de mármol molido, para 2700g.....	63
Tabla 30: Dosificación 1:3 con 15% de mármol molido, para 2700g.....	63
Tabla 31: Dosificación 1:3 con 30% de mármol molido, para 2700g.....	63
Tabla 32: Dosificación 1:3 con 45% de mármol molido, para 2700g.....	64
Tabla 33: Dosificación 1:3 con 60% de mármol molido, para 2700g.....	64
Tabla 34: Dosificación 1:3 con 75% de mármol molido, para 2700g.....	64
Tabla 35: Dosificación 1:3 con 90% de mármol molido, para 2700g.....	65
Tabla 36: Ensayo de reactividad.....	67
Tabla 37: Ensayo de densidad.....	69
Tabla 38: Ensayo de resistencia a compresión.....	70
Tabla 39: Variación dimensional de ladrillo lark King Kong 18 huecos.....	71
Tabla 40: Alabeo.....	72
Tabla 41: Resistencia a la compresión por unidad de ladrillo.....	72
Tabla 42: Porcentaje de vacíos.....	73
Tabla 43: Ensayo de resistencia a pilas.....	74
Tabla 44: Cantidad de ladrillos por m ² de muro.....	76
Tabla 45: Cantidad de mortero, cemento y arena gruesa por m ² de muro.....	77
Tabla 46: Tabla de Análisis de varianza.....	80
Tabla 47: Características del agregado fino.....	83
Tabla 48: Requisitos químicos del agua.....	84
Tabla 49: Características del mármol.....	85
Tabla 50: Reactividad.....	87
Tabla 51: Densidad en seco del mortero a 3 días, 7 días y 28 días.....	88
Tabla 52: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 3, 7 y 28 días.....	89
Tabla 53: Compresión de morteros a 3 días, 7 días y 28 días.....	90
Tabla 54: Media, variación, desviación estándar para compresión en seco a 3, 7 y 28 días.....	91
Tabla 55: Ensayos a ladrillo Lark King Kong 18 huecos.....	91

Tabla 56: Resistencia a pilas a 28 días.	92
Tabla 57: Análisis de costos.	93
Tabla 58: Intervalos de confianza de reactividad.	95
Tabla 59: Normalidad datos de reactividad.	95
Tabla 60: Estimación de Y_i para los datos de reactividad.	95
Tabla 61: Análisis de varianza de reactividad.	96
Tabla 62: Intervalos de confianza de densidad.	96
Tabla 63: Normalidad datos de densidad.	97
Tabla 64: Estimación de Y_i para los datos de densidad.	97
Tabla 65: Análisis de varianza de densidad.	97
Tabla 66: Intervalos de confianza de compresión.	98
Tabla 67: Normalidad datos de compresión.	98
Tabla 68: Estimación de Y_i para los datos de compresión.	98
Tabla 69: Análisis de varianza de compresión.	99
Tabla 70: Intervalos de confianza de resistencia a pilas.	99
Tabla 71: Normalidad datos de resistencia a pilas.	100
Tabla 72: Estimación de Y_i para los datos de resistencia a pilas.	100
Tabla 73: Análisis de varianza de resistencia a pilas.	100
Tabla 74: Muro ladrillo de soga C:A 1:3 con 0% de mármol molido junta 1.5 cm.	102
Tabla 75: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 15% de mármol molido junta 1.5 cm.	102
Tabla 76: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 30 % de mármol molido junta 1.5 cm.	103
Tabla 77: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 45 % de mármol molido junta 1.5 cm.	103
Tabla 78: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 60 % de mármol molido junta 1.5 cm.	104
Tabla 79: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 75 % de mármol molido junta 1.5 cm.	104
Tabla 80: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 90 % de mármol molido junta 1.5 cm.	105
Tabla 81: Características de la arena y del mármol.	106
Tabla 82: Características físicas del cemento.	110
Tabla 83: Diseño de mezcla por cada porcentaje.	113
Tabla 84: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales.	121
Tabla 85: Requisitos complementarios para unidades de albañilería.	121
Tabla 86: Limitaciones de la unidad de albañilería para uso estructural.	122
Tabla 87: Tipos de ladrillo según condición de intemperismo.	123
Tabla 88: Resistencia de la albañilería.	129
Tabla 89: Ensayo granulométrico del agregado fino.	139
Tabla 90: Ensayo granulométrico del mármol.	140
Tabla 91: Media, variación, desviación estándar para granulometría del agregado fino.	140
Tabla 92: Media, variación, desviación estándar para granulometría del mármol.	141
Tabla 93: Ensayo humedad de los agregados.	141
Tabla 94: Media, variación, desviación estándar para humedad de los agregados.	142
Tabla 95: Ensayo peso suelto y compactado de los agregados.	142
Tabla 96: Media, variación, desviación estándar para peso suelto y compactado.	143
Tabla 97: Ensayo peso específico del agregado fino.	143
Tabla 98: Media, variación, desviación estándar para peso específico del agregado fino.	144
Tabla 99: Ensayo peso específico del mármol.	144
Tabla 100: Media, variación, desviación estándar para peso específico del mármol.	145
Tabla 101: Reactividad.	146
Tabla 102: Densidad en seco del mortero a 3 días.	147
Tabla 103: Densidad en seco del mortero a 7 días.	148
Tabla 104: Densidad en seco del mortero a 28 días.	149
Tabla 105: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 3 días.	149
Tabla 106: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 7 días.	150
Tabla 107: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 28 días.	150
Tabla 108: Ensayo de resistencia a compresión a 3 días de curado.	151
Tabla 109: Ensayo de resistencia a compresión a 7 días de curado.	152
Tabla 110: Ensayo de resistencia a compresión a 28 días de curado.	153
Tabla 111: Desviación estándar para resistencia a compresión de 3 días de curado.	154
Tabla 112: Desviación estándar para resistencia a compresión de 7 días de curado.	154
Tabla 113: Desviación estándar para resistencia a compresión de 28 días de curado.	154

Tabla 114: Ensayo de resistencia a pilas a 28 días..... 155

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Diagrama esquemático del problema de investigación.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 2: Estados de la humedad de los agregados</i>	<i>33</i>
<i>Figura 3: Difractometría de rayos X (DRX)</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4: Residuos generados por etapa del proceso de la industria marmolera.....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 5: Molde para el ensayo de reactividad.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 6: Molde para el ensayo de densidad.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 7: Molde para el ensayo de compresión.</i>	<i>51</i>
<i>Figura 8: Muestra para el ensayo de resistencia a pilas.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 9: Diagrama del proceso de investigación.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 10: Proceso de obtención del mármol.....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 11: Muro.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 12: Volumen de mortero por m² de muro</i>	<i>76</i>
<i>Figura 13: Curva granulométrica del agregado grueso.</i>	<i>84</i>
<i>Figura 14: Curva granulométrica del mármol.</i>	<i>85</i>
<i>Figura 15: Análisis de difracción de rayos X</i>	<i>86</i>
<i>Figura 16: Comparación del precio de la arena y el mármol molido para un m³.....</i>	<i>94</i>
<i>Figura 17: Curva granulométrica del agregado fino vs mármol.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 18: Porcentaje de peso retenido del mármol.</i>	<i>110</i>
<i>Figura 19: Fases del desarrollo de la relación álcali-agregado.....</i>	<i>115</i>
<i>Figura 20: Densidad a 3, 7 y 28 días.</i>	<i>117</i>
<i>Figura 21: Compresión a 3, 7 y 28 días.</i>	<i>119</i>
<i>Figura 22: Medidas de la variación dimensional.....</i>	<i>123</i>
<i>Figura 23: Medida de la concavidad y convexidad.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 24: Valores máximos de alabeo del ladrillo 18 huecos King Kong.</i>	<i>126</i>
<i>Figura 25: Valores de la resistencia a la compresión de ladrillos 18 huecos.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 26: Valores del porcentaje de vacíos de ladrillos Lark 18 huecos.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 27: Valores de ensayo a pilas.....</i>	<i>130</i>
<i>Figura 28: Determinación de la granulometría de arena y mármol.</i>	<i>156</i>
<i>Figura 29: Determinación del contenido de humedad de arena y mármol.</i>	<i>156</i>
<i>Figura 30: Determinación del peso específico y absorción de la arena.</i>	<i>157</i>
<i>Figura 31: Determinación del peso específico del mármol.</i>	<i>157</i>
<i>Figura 32: Determinación de la absorción del mármol.</i>	<i>158</i>
<i>Figura 33: Determinación del peso unitario suelto y compactado de arena y mármol.....</i>	<i>158</i>
<i>Figura 34: Conformación de probetas de mortero.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 35: Desmolde de probetas de mortero.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 36: Ensayo de reactividad.</i>	<i>160</i>
<i>Figura 37: Ensayo de densidad de probetas de mortero.....</i>	<i>161</i>
<i>Figura 38: Ensayo de resistencia a compresión de probetas de mortero.....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 39: Ensayo de variación dimensional.....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 40: Ensayo de alabeo.....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 41: Ensayo de porcentaje de vacíos.....</i>	<i>164</i>
<i>Figura 42: Capa de yeso.....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 43: Ensayo de resistencia a compresión de unidades.....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 44: Elaboración de pilas.</i>	<i>166</i>
<i>Figura 45: Ensayo de resistencia a compresión de pilas.....</i>	<i>166</i>

RESUMEN

La investigación, tiene el objetivo de determinar la influencia del porcentaje de mármol reciclado sobre la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros; reduciendo de tal manera costos y la contaminación ambiental. Se plantea la utilización de mármol de residuos de marmolerías como una alternativa de adición para un mortero de asiento. La dosificación empleada fue de cemento: arena 1:3 con porcentajes de mármol reciclado como sustituto de la arena de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, con una relación agua/cemento de 0.65. Se utilizó agregado fino con módulo de finura de 2.4, cemento Qhuna Tipo I. Se realizaron los ensayos de caracterización de los agregados finos tales como granulometría (ASTM C136), humedad (ASTM C566), peso específico y absorción (ASTM C128) y peso unitario y compactado (ASTM C29). Las probetas de reactividad (ASTM C 1260), de dimensiones rectangulares 2.5 cm x 2.5 cm x 28 cm, para densidad (ASTM C642) y compresión (ASTM C109) de dimensiones cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm y la resistencia compresión axial de las pilas (ASTM C1314).

El diseño más óptimo se dio con el porcentaje de sustitución del 90%, con valores de resistencia a compresión a 3 días de 409 kg/cm², densidad de 2018 kg/m³, mientras que a 7 días en cuanto a resistencia a compresión de 511 kg/cm², densidad de 2088 kg/m³, por último, a 28 días de 568 kg/cm², densidad de 2096 kg/m³ y resistencia a compresión axial de las pilas de 167 kg/cm². El ensayo de reactividad mientras mayor el porcentaje de mármol agregado menor era la expansión, el mortero elaborado sin porcentaje de reemplazo de mármol obtuvo una expansión del 4.18%, mientras que al reemplazar en un 90% de arena por mármol se obtuvo una expansión del 0.94%.

ABSTRACT

The research aims to determine the influence of the percentage of recycled marble on the reactivity, density, compression and resistance to piles in mortars; thus reducing costs and environmental pollution. The use of marble from marble residues is proposed as an alternative for the addition of a seating mortar. The dosage used was cement: sand 1: 3 with percentages of recycled marble as a substitute for sand of 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% and 90%, with a water / cement ratio of 0.65. Fine aggregate with fineness modulus of 2.4, Qhuna type I cement was used. Characterization tests of fine aggregates were carried out such as granulometry (ASTM C136), humidity (ASTM C566), specific weight and absorption (ASTM C128) and weight unitary and compacted (ASTM C29). The reactivity test pieces (ASTM C 1260), with rectangular dimensions 2.5 cm x 2.5 cm x 28 cm, for density (ASTM C642) and compression (ASTM C109) with cubic dimensions of 5 cm x 5 cm x 5 cm and compression strength of the batteries (ASTM C1314).

The most optimal design was given with the percentage of substitution of 90%, with values of compressive strength at 3 days of 409 kg / cm², density of 2018 kg / m³, while at 7 days in terms of compressive strength of 511 kg / cm², density of 2088 kg / m³, finally, 28 days of 568 kg / cm², density of 2096 kg / m³ and resistance to axial compression of the piles of 167 kg / cm². The reactivity test while increasing the percentage of marble added less was the expansion, the mortar made without percentage of marble replacement obtained an expansion of 4.18%, while when replacing 90% of sand with marble, an expansion of 0.94%.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial el sector de la construcción es una de las actividades económicas con mayor demanda de mano de obra y ejerce un incremento en la economía, debido a que es uno de los sectores más productivos que aporta en el desarrollo de los países y regiones. (Exterior, 2015).

La albañilería es la más empleada de manera tradicional y desarrollada mediante experimentación, está compuesto por unidades asentadas con mortero, siendo estos los elementos estructurales capaces de resistir todas las cargas que afecten a la construcción. (Montes, 2017). Se caracteriza por ser viviendas unifamiliares de 1 a 5 pisos como máximo, a pesar de ser el más utilizado en distintas construcciones presenta una serie de deficiencias, debido al material utilizado o por la mano de obra no capacitada. (Horna , 2015).

En Colombia, el uso de mortero se ha incrementado, debido a que se utiliza como material de pega o relleno. La determinación de la dosificación de los morteros debe de cumplir con una resistencia promedio alta, según la “Norma Colombiana de diseño y construcción sismo resistente”, clasifica a los morteros de la siguiente manera: M (17.5 MPa), S (12.5 MPa) y N (7.5 MPa), según su resistencia a la compresión del mortero mínima a los 28 días, medida en cubos de 5 cm de arista. (Rivera, 2015) Por otra parte, en México, los morteros que se empleen como elementos estructurales de mampostería deberán cumplir con los siguientes requisitos: Su resistencia a compresión será por lo menos de 40 kg/cm². El volumen se medirá en estado suelto. Según el tipo de mortero se clasifica de la siguiente manera: I (12.5 MPa), II (7.5 MPa) y III (4.0 MPa) según su resistencia a la compresión. (Gómez, 2014). Por último, en Chile, según la norma NCh2256/1 establece requisitos de resistencia a la compresión de acuerdo al tipo de albañilería. Para la albañilería confinada la norma NCh2123 establece que el valor mínimo de la resistencia especificada debe ser el que corresponda a la resistencia de la unidad que se emplee en la albañilería, la cual, si las unidades utilizadas son hechas a mano no deben ser menores a 5 MPa, y para las unidades hechas a máquina de 10 MPa. Según la norma NCh1928 nos menciona que el mortero no debe someterse a ensayos de resistencia a la compresión y retención de agua cuando su dosificación en peso sea 1:0,22:4 (cemento: cal: arena) y use una cantidad de agua tal que el asentamiento medido según NCh1019 sea menor o igual a 18 cm, ciñéndose en cuanto a la calidad de los materiales, a los requisitos establecidos en NCh2256/1. (Monreal, 2010)

En Perú, el sector de la construcción ha ido creciendo durante la última década del siglo XX, sobre todo debido a las inversiones públicas y privadas, del mismo modo el aumento del ingreso económico en los hogares. En los últimos años las empresas del sector de construcción, han alcanzado un mayor auge al reportar un crecimiento en el mes de octubre con 14.25%, tasa que incrementaría según estimaciones del Instituto Nacional de Estadística e Informática. (INEI, 2017)

El crecimiento del sector construcción y la industria del cemento van de la mano, es por ello que el incremento positivo del sector de construcción se debe al aumento del consumo interno de cemento en 3.52% y al avance físico de obras, según Aníbal Sánchez, jefe del Instituto Nacional de Estadística e Informática (Informática, 2017).

Según Norma Técnica E-070 Albañilería (2006) los morteros se clasifican en: tipo P, empleado en la construcción de los muros portantes; y NP, utilizado en los muros no portantes y según la ASTM C270, se clasifica de acuerdo a la resistencia a la compresión obtenida, para su aplicación.

Las exigencias hoy en día de sostenibilidad en la construcción generan empleo de materiales que permitan un mayor rendimiento en sus propiedades físicas y mecánicas y con menor impacto ecológico. La reutilización de agregados reciclados como sustitución de agregados naturales, aportan a la protección de recursos naturales, a la disminución de los volúmenes de residuos generados y un menor consumo de energía. (Martínez, Pavón y Díaz, 2013)

En estudios realizados con agregados reciclados Díaz, Martínez y Pavón (2013); determinó, que los morteros elaborados con residuos cerámicos tienen influencia sobre las propiedades de los morteros, favoreciendo la protección de armaduras de refuerzo en elementos armados de ferrocemento, utilizaron la relación a/c de 0.58 con ello a los 28 días se pudo alcanzar un valor promedio de resistencia a la compresión de 452.04 kg/cm², siendo aptos para el uso en mampostería estructural. Junco (2012); determinó, que los morteros elaborados con residuos de espumas rígidas de poliuretano generados en la industria, favorece en la baja densidad de las mezclas que repercute directamente en la evaluación de las cargas sobre la estructura de los edificios, se realizó un estudio sobre un edificio tipo de vivienda, en el que se ha calculado que el empleo de los morteros aligerados puede llegar a reducir hasta en un 7.7% el peso total del edificio. También, se realizó ensayos de ciclos de hielo-deshielo para determinar su resistencia a compresión a los 28 días donde se obtuvo 71.48 kg/cm² y 156.22 kg/cm². Borrachero, Monzó, Payá y Serrano (2012), encontró que los morteros ligeros con cascarilla de arroz tienen densidades bajas de 1.1 g/cm³ a 1.3 g/cm³, y con unas resistencias mecánicas entre 20.39 kg/cm² a 40.79 kg/cm², los resultados no presentan las propiedades mecánicas de los morteros y hormigones tradicionales, pero pueden ser utilizados en componentes de construcción livianos y de uso no portante (aislamiento térmico/acústicos o rellenos).

En el Perú se posee grandes cantidades de minerales metálicos. Del mismo modo una gran cantidad de minerales no metálicos, tales como el mármol y el travertino. Estos minerales se encuentran en grandes proporciones en la sierra central, principalmente en el departamento de Junín, que tiene un aproximado de 25 millones de toneladas convirtiéndolo así en la principal reserva de América Latina, otros productores son Ayacucho, Huancavelica y Lima. Perú exporta estos minerales a más de 30 países siendo el principal comprador Estados Unidos que adquiere el 80% de las exportaciones travertino y el 20% restante está conformado por mercados de Sudamérica y Europa. (Desarrollo Peruano, 2007) Actualmente en Junín en una cantera de mármol travertino se obtienen de 80 m³ a 100 m³, según el Instituto Regional de Mármol de Junín (IRMJ) de aumentar la explotación de producción se podría obtener entre 500 m³ a 700 m³. La cantera ubicada en esta parte del país llama la atención de empresarios nacionales y extranjeros. La extracción del mármol se realiza en bloques y luego es transformado en baldosas, tableros para cocina, para baño y otros productos acabados en empresas de Lima que se dedican a este rubro. La utilización del mármol en la construcción genera desperdicios de 3% a 5% de la superficie total donde se realiza su colocación (Correo, 2013), por lo que se deduce que se presenta gran cantidad de estos residuos.

En la actualidad, la industria minera no metálica, existen 30 canteras operadas solo por pequeños productores, y se propone una similar cantidad en manos de empresas privadas. Según el Instituto Regional de Mármol de Junín, en el mercado peruano un pequeño productor llega a recibir en promedio US\$ 150 por cada m³ de este mineral no metálico. (Gestión, 2012).

Actualmente no existen entidades o empresas que se encarguen de reutilizar residuos de mármol, pero existen empresas en México como Arca S.L. y Maga S.L, que comercializan material con mármol reciclado para otros fines, sin embargo, la aplicación de adicionar nuevos materiales reciclados solo se ha dado en temas de investigación. (Revista de Arquitectura e Ingeniería, 2015)

El sector de la construcción es el responsable de la creación de infraestructura de vivienda, transporte, instalaciones sanitarias, entre otros proyectos, en las que se origina la cultura y el crecimiento económico de la humanidad. Aunque a pesar de su importancia para el crecimiento, la práctica constructiva es uno de los principales factores en el proceso de modificación del planeta y de contaminación, pues es un gran consumidor de recursos y generador de desechos (Acevedo Agudelo, Vásquez Hernández, Ramírez Cardona, 2012). En el 2016 el Poder Ejecutivo modificó el marco legal de la Ley N° 27314 - Ley General de Residuos Sólidos sobre la gestión integral de los residuos sólidos mediante el Decreto Legislativo N° 1278 con la finalidad de actualizarla y asegurar una eficiente gestión de los

residuos sólidos. El Decreto Legislativo N° 1278 tiene como primordial finalidad asegurar la gestión y manejo adecuado de los residuos sólidos, basado en tres pilares: reducir residuos como primera prioridad, la eficiencia en el uso de los materiales y los residuos vistos como recursos (Sistema Nacional de Información Ambiental, 2016). En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación, la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente. (El Peruano, 2016).

Ante estos cambios, existe la necesidad de crear nuevos materiales que sean totalmente ecológicos, económicos y saludables para la construcción. (Uriel Hernández, 2011) La reutilización de residuos sólidos es una alternativa para reducir insumos y poder aprovechar para mejorar las propiedades del concreto; con esto estamos contribuyendo con el medio ambiente y el ahorro de costos. De tal modo, que el aumento de los residuos generados de distintas industrias, incentivan en las posibilidades de utilización de residuos sólidos, como propuestas de nuevos materiales de adición en la construcción, que al ser añadidos presentarán mejoras en sus propiedades en estado fresco y endurecido, cuyo fin es de disminuir la contaminación ambiental y daños en la salud. (Santos, Villegas, & Betancourt, 2012)

En Trujillo el mortero empleado en estas construcciones, por lo general es deficiente y muy pobre, debido a la mala práctica de la elaboración de la mezcla de mortero, donde el personal tiende a disponer del agregado fino en las condiciones que lo proporciona su proveedor y obvia la caracterización de sus componentes, no establece una dosificación requerida para el tipo de trabajo y por facilidad de trabajabilidad, tiende a aumentar la cantidad de agua. (Villaroel, 2017) Estas omisiones ocasionan una inadecuada resistencia a la compresión en el mortero, provocando en las zonas debilitadas la aparición de fisuras y grietas en los muros de albañilería, consecuentemente estas edificaciones se vuelven más propensas a ser vulnerables ante una eventualidad sísmica, poniendo en riesgo la integridad de las personas que las habitan. (Huaman, 2015)

Viéndose reflejada esta problemática, se plantea dar soluciones innovadoras mediante la aplicación de nuevos materiales, que brinden un mayor desempeño en las propiedades mecánicas y físicas del mortero para muros de albañilería. Por tal motivo, el proyecto consistirá en la caracterización y la evaluación del residuo de mármol, los cuales serán normalizados y aplicados en la dosificación elegida, y en porcentajes como sustituto del agregado fino. La utilización de este material permitirá obtener las características que presenta este material, y determinar cuál es su influencia en el mortero. Con el desarrollo de esta investigación, se mostrará que la dosificación utilizada será muy óptima y económica, las

cuales podrán ser empleadas en obra y reforzará el conocimiento teórico sobre los morteros para muros de albañilería.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el porcentaje de mármol reciclado en morteros sobre la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros, Trujillo?

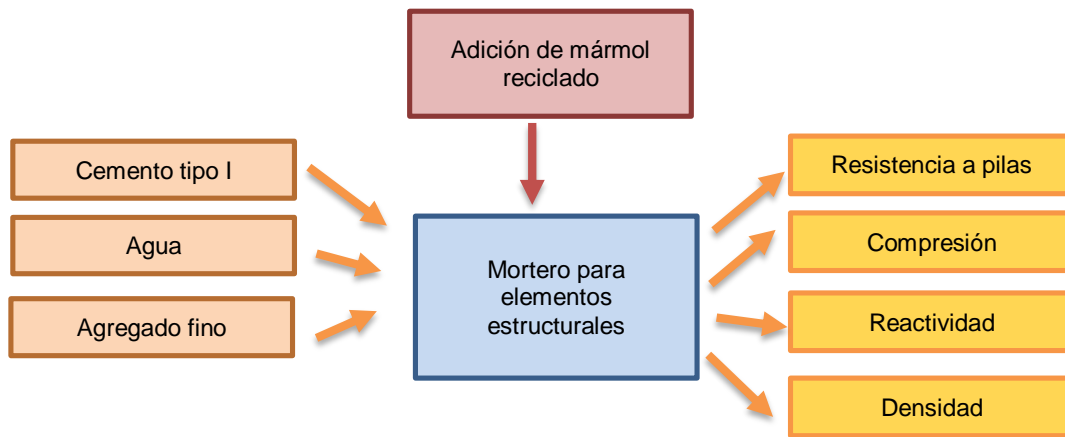


Figura 1: Diagrama esquemático del problema de investigación.

1.3. Justificación

El mortero es uno de los materiales de uso común en obras de albañilería y construcción, debido a que es el principal elemento con el que se adhieren los ladrillos, piedras o como relleno de espacios en alguna estructura. Para ello, debe de cumplir con ciertas propiedades físicas y mecánicas que permitan que el mortero sea óptimo; por lo que esta investigación se rige bajo la normal E-070 Albañilería y la ASTM C270, en este caso se utiliza la dosificación 1:3, compuesta por cemento: arena para muros portantes, más la adición de residuos de mármol en distintos porcentajes; esto permite un nuevo avance como nuevos materiales de elaboración para morteros y se busca beneficiar a las personas inmersas en el mundo de la construcción, brindándoles un mortero mejorado. (Villaroel, 2017)

El mármol es un material muy utilizado en el sector de la construcción, principalmente como material para pisos, muebles, cubiertas y columnas. El mármol fragmentado es utilizado como agregados en concreto; además, de utilizarse como materia prima en la producción de cal viva. En menor porcentaje se utiliza como base para elaborar escultura y arte funerario. La

extracción del mármol, se realiza en canteras a cielo abierto por medio del corte con barrenos e hilo diamantado y sierras. En algunos casos se utilizan explosivos para facilitar la extracción. Este hecho, genera que la cantidad de residuos se incremente de manera directa y proporcional a la producción, sobre todo con la producción de losetas y pisos. El proceso de elaboración es sencillo, se realiza un corte primario para dividir el bloque en placas que permitan una mejor manipulación, de ser necesario se realiza un corte secundario con sierras manuales. Posteriormente se realizan los acabados, proceso mediante el cual se estima que por cada metro cúbico manufacturado se producen 808.77 kg de residuos. (Revista de Arquitectura e Ingeniería, 2015) Este tipo de residuos representan en la actualidad un desecho industrial, los cuales se acumulan en los patios de las marmolerías, es importante señalar que el problema más crítico que generan los residuos es el polvillo que se dispersa en el ambiente con la acción del viento, provocando problemas ambientales y de salud. (Revista de Arquitectura e Ingeniería, 2015)

De acuerdo con las estadísticas que registra el Sector Salud (Ministerio de Salud, 2014), la incidencia de asma se ha duplicado en la última década con una prevalencia de 6 % de la población y la rinitis alérgica se elevó a un 14 %, de ahí se han considerado como uno de los padecimientos más frecuentes en la ciudadanía, afectando más a los que trabajan en el sector de marmolería. Todo ello se debe al exceso de polvo por la falta de lluvias.

La investigación propuesta busca, analizar la influencia del mármol reciclado sobre la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros; donde se podrá aplicar el amplio conocimiento tales como los cursos de albañilería, materiales de construcción, tecnología de concreto; y el uso de técnicas de Ingeniería Civil; y a la vez considerar diferentes parámetros de control de calidad para llevar a cabo un adecuado diseño de morteros; se utiliza un material que tiene bajo costo de obtención que contribuye a soluciones constructivas económicas. (Villaroel, 2017)

La presente investigación se justifica por un tema de nuevos materiales de construcción, como lo es la utilización del polvo de mármol reciclado como sustituto en diferentes porcentajes de la arena, que mejora las propiedades físicas y mecánicas, lo cual genera un mejor comportamiento en el mortero, además el mármol es un material muy solicitado para decoración, recubrimientos, construcción y en esculturas, generando residuos en desde su fabricación hasta su colocación.

Es importante mencionar que, el presente estudio contribuirá con la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 la cual indica en el artículo 4, ítem 6 que se debe fomentar el reaprovechamiento de los residuos sólidos y su manejo adecuado. En la investigación se recicla los residuos de mármol y se busca utilizarla como inclusión en el mortero, del mismo modo la contaminación ambiental disminuirá y los costos se verán reducidos, por lo que se

utilizará un material con bajo costo de obtención, contribuyendo a minimizar las acumulaciones que se puedan presentar en el sector de la marmolería. Con esta información surge la inquietud de darle uso al residuo de mármol que, al introducirla en el mortero, se espera, que superen algunas características físicas y mecánicas, haciendo un buen uso del material reciclado. Esta propuesta de un material reciclable, de bajo costo con grandes ventajas, tiene como utilidad tecnológica ser un aporte para fomentar, generar y transferir conocimiento científico y tecnológico a favor del desarrollo social y económico del país.

Según la ASTM C270 los morteros de cemento se pueden dividir en tipo M, N, S y O dependiendo de las características y propiedades mecánicas de cada uno. Al requerir un mortero de uso estructural se utilizará un mortero Tipo M, según la ASTM C270 tiene una resistencia mínima de 17.2 Mpa o 175 Kg/cm², resistencia necesaria para un mortero de albañilería confinada.

La Universidad de Castilla la Mancha (2015), menciona que los morteros son mezclas plásticas obtenidas con un aglomerante, arena y agua los cuales sirven para unir piedras ladrillos, enlucidos, revestimientos, etc. También clasifica a los morteros en ricos, ordinarios y pobres. Por ello se utilizará un cemento rico el cual cuenta con una dosificación cemento: arena 1:3, el cual tiene una resistencia mínima de 160 Kg/cm² y se clasifica como un mortero para uso estructural, además en la investigación de Villaroel (2017) se menciona que la dosificación óptima para un mortero adicionado con un material reciclado es de 1:3.

Al realizar una construcción es importante saber qué tipos de cementos existen en la localidad y cuál debemos elegir según su uso. Los cementos que no requieren propiedades especiales son el tipo I y Ico, considerados de uso general. Por este motivo que se decidió emplear el cemento tipo I porque presenta una resistencia alta a 28 días en comparación al cemento Tipo ICo que su resistencia es media. Otro motivo de la elección es porque no contiene alguna adición durante su proceso de fabricación, mientras que el Tipo ICo contiene adiciones hasta un 30%, además esta investigación pretende analizar el comportamiento de la adición del mármol en el concreto, por ello es conveniente realizarlo sobre un cemento sin adiciones. El cemento utilizado será "Qhuna", debido a sus altas resistencias iniciales, tiene una resistencia a compresión a 28 días de 501.04 kg/cm² mientras que cemento Pacasmayo que cubre la demanda de las regiones del norte del país (Centro de Negocios, 2010) tiene una resistencia de 406 kg/cm², alta resistencia al ataque de los álcalis y por su menor costo, ya que lo que se busca en obra es aminorar gastos, pero con mejores propiedades (Ver ANEXO 6 y 7).

El ingeniero Carlos Zavala, jefe de laboratorio de estructuras del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), informó a la población sobre la calidad de los ladrillos que las viviendas deberían tener para poder resistir un movimiento sísmico de al menos 7.8 grados; los ladrillos adecuados son los artesanales tipo King Kong

para estructuras, o de lo contrario los ladrillos industriales de 18 huecos o 24 huecos (La República, 2017). Seminario, C (2013), indica que en cuanto a ladrillos industrializados las unidades de la marca Lark presentan mejores resistencias que la marca Fortes y Tallán.

Se utilizará el mármol en porcentajes de reemplazo del agregado fino (arena gruesa) en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, valores concordantes a la investigación de Villaroel (2017), para la elaboración de un mortero con adición de material reciclado. Además, se utilizará el mármol como material de reemplazo debido a su estructura interna, sus propiedades físicas, químicas y su buen comportamiento, reacción con el cemento.

Esta investigación aportará a la comunidad científica, ingenieril, entre otras, sobre el comportamiento del mortero, con diferentes porcentajes de residuos de mármol como sustituto del agregado fino y la dosificación que se utilizó, se basó en los antecedentes de otras investigaciones, la principal fue la tesis de Juan Villaroel (“Evaluación del porcelanato reciclado y dosificación en mortero de asentado sobre la resistencia a compresión, absorción, densidad y flujo”) donde indica que se presenta un mejor comportamiento en sus propiedades físicas y mecánicas, para ser empleados en muros de albañilería de construcción. Por ello es que se estableció la dosificación 1:3 que me permitirá una mejor trabajabilidad del mortero, se busca dar solución a la aparición de aberturas profundas con mayor dimensión que usualmente afecta todo el espesor del material, daños estructurales como son las grietas y del mismo modo las aberturas pequeñas que son daños simples o superficiales como las fisuras en los muros de albañilería, reduciendo la vulnerabilidad sísmica de la edificación. La aplicación de esta investigación en el ámbito laboral, beneficiará económicamente a las empresas y personas dedicadas en el rubro de la construcción, debido a la fácil adquisición y cero costos de los residuos de mármol, que será reemplazado por materia prima (arena).

El presente proyecto ampliará los conocimientos en el área de morteros y además se empleará como fuente de implementación y mejora continua a los estudiantes de ingeniería civil, ingeniería de materiales, arquitectura y otras carreras afines. Con los resultados obtenidos, se podrá generar nuevas hipótesis y proyecciones para ser empleados en otros campos de la construcción y generar el interés sobre la utilización de los residuos de mármol y otros tipos de residuos. Los ensayos que se ejecutarán se realizarán por las recomendaciones basadas en tesis con el mismo rubro de la reutilización de material reciclado en morteros de asentado, por lo cual se realizó el ensayo de densidad para determinar qué tan denso era el mortero al aumentar los distintos porcentajes de mármol molido, y como este afectaría en la resistencia a la compresión por ello se realizaron estos dos ensayos; en cuanto a la resistencia a pilas se realizará ya que se desea ver que tanto afecta en el mortero al variar los porcentajes de mármol y por último el ensayo de reactividad con el fin de analizar la expansión que hay al incluir un material reciclado tal como el mármol en un mortero de asentado.

1.4. Limitaciones

Limitado material bibliográfico nacional e internacional acerca de investigaciones de mortero con residuos de mármol. Por lo que se tomará como base bibliográfica materiales similares a este compuesto, dicho tal para este estudio será basado en puzolanas, microsílíce y porcelanato que son materiales reciclados.

- ✓ Se realizará mayores búsquedas en diferentes universidades y en la web.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la influencia del mármol reciclado sobre la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros, Trujillo.

1.5.2. Objetivos específicos

- ✓ Realizar un análisis de costos del diseño con mármol molido y mezcla base patrón.
- ✓ Evaluar la resistencia a compresión de pilas en los distintos porcentajes de mármol (0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%) a 28 días.
- ✓ Determinar la máxima resistencia a compresión de un mortero nuevo a partir de residuos de mármol molido, NTP 339.034 (ASTM C109); con un tiempo de curado de 3, 7 y 28 días.
- ✓ Realizar ensayo de reactividad, NTP 334.082 (ASTM C1260), de las muestras en los distintos porcentajes de mármol.
- ✓ Evaluar la densidad, NTP 202.001 (ASTM C127-04), de las muestras en los distintos porcentajes de mármol.
- ✓ Realizar los ensayos de caracterización del agregado fino y el mármol molido, así como granulometría NTP 400.012 (ASTM C136), contenido de humedad NTP 339.127 (ASTM C566), peso específico y absorción NTP 400.022 (ASTM C128), peso unitario suelto y compactado NTP 400.017 (ASTM C29).
- ✓ Caracterizar químicamente, la conductividad y Ph del mármol y arena gruesa.
- ✓ Analizar si la variable independiente influye en la variable dependiente.
- ✓ Comparar el diseño óptimo con mármol molido y mezcla base patrón.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Villareal (2017), en su investigación “Evaluación del porcelanato reciclado y dosificación en mortero de asentado sobre la resistencia a compresión, absorción, densidad y flujo”, publicado por la Universidad Privada del Norte en Trujillo, Perú. Tuvo como objetivo principal determinar la influencia del porcentaje de porcelanato molido en el mortero de asentado sobre la resistencia a compresión (ASTM C109), absorción (ASTM C128), densidad (ASTM C642) y flujo (ASTM C1437); en probetas cúbicas de 5cm*5cm*5cm, cuyas dosificaciones empleadas fueron de cemento:arena 1:3 y 1:4 con porcentajes de porcelanato molido como sustituto de la arena de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%; curadas en una solución de hidróxido de calcio y ensayadas a una edad de 28 días, a excepción del flujo por otro lado el cemento utilizado fue Pacasmayo tipo I. Al concluir se obtuvo como resultados que el diseño más óptimo para la dosificación era de 1:3, el porcentaje de sustitución se dio entre el 75% al 90% presentaba valores de resistencia a compresión entre 341 kg/cm² a 343 kg/cm², flujo de 29% a 28%, absorción de 9.6% a 8.9% y densidad de 1876 kg/cm³ a 1870 kg/cm³ y para la dosificación 1:4, el porcentaje de sustitución se dio entre el 60% al 75% presentaba valores de resistencia a compresión entre 248 kg/cm² a 287 kg/cm², flujo de 0%, absorción de 9.5% a 9.4% y densidad de 1944 kg/cm³ a 1911 kg/cm³.

- ✓ Lo resaltante de la investigación es la adición de porcelanato molido en reemplazo de la arena, y la dosificación adecuada que servirá como base para el proyecto, concluyendo que la más adecuada sería la dosificación cemento: arena 1.3 ya que se obtiene mejores resultados con esta dosificación, con una relación agua:cemento constante de 0.65.

Varas y Villanueva (2017), en su investigación “Análisis comparativo de los tiempos de fraguado y resistencia de un concreto f_c 210 kg/cm² del cemento Pacasmayo y Qhuna”, publicado por la Universidad Privada Antenor Orrego en Trujillo, Perú. Se realizó estudios de tiempo de fraguado y resistencia de compresión, con diferentes relaciones agua-cemento como: 0.40, 0.48 y 0.56, en probetas cilíndricas de dimensiones de 15 cm x 30 cm, ensayadas a 3 días, 7 días, 14 días y 28 días. Al concluir se demostró que el cemento Qhuna es el más adecuado si se desea un desencofrado rápido con una relación a/c de 0.40; en cuanto al ensayo de resistencia a compresión los mejores resultados se obtuvieron con relación a/c de 0.48, para cementos Pacasmayo a los 28 días de curado con una resistencia de 210 kg/cm² sin embargo con cementos Qhuna se obtuvo una resistencia de 270 kg/cm².

- ✓ El aporte de la investigación es el tipo de cemento a utilizar, en este caso el Cemento Qhuna presenta mejores resultados que el Cemento Pacasmayo a pesar de que ambos cementos tuvieron el mismo $f'c$ de diseño ambos varian de acuerdo a su resistencia.

Huaman (2015), en su investigación "Influencia del porcentaje de agregado fino y módulo de finura sobre la resistencia a la compresión y absorción en morteros para la construcción", publicado por la Universidad Nacional de Trujillo, Perú. La metodología de esta investigación se basó en realizar ensayos de resistencia a la compresión y absorción para morteros bajo las normas ASTM, con probetas de 5cmx5cmx5cm, usándose dosificaciones (1:1, 1:2, 1:3, 1:4), a diferentes módulos de finura del agregado fino (1.0, 2.4, 2.8), con una relación agua/cemento de 0.55, obteniéndose resultados para el módulo de finura de 1.0 para la resistencia a la compresión de (225.71 kg/cm², 274.95 kg/cm², 83.47 kg/cm², 56.96 kg/cm²) y para la absorción de (12.65%, 10.95%, 12.71%, 17.48%), para el módulo de finura de 2.4 los valores a la resistencia a la compresión (233.28 kg/cm², 259.53 kg/cm², 230.83 kg/cm², 210.17 kg/cm²) y para la absorción de (18.36%, 13.30%, 9.19%, 10.20%), para la resistencia a la compresión y absorción de módulo de finura de 2.8, los resultados fueron (237.22kg/cm², 285.87 kg/cm², 287.74 kg/cm², 251.16 kg/cm²) y (16.19%, 11.55%, 9.16%, 8.32%) respectivamente. Al finalizar que el mortero elaborado con el agregado fino de módulo de finura 2.8 en la dosificación 1:4 es el ideal para la elaboración de morteros de pega.

- ✓ El presente antecedente, ha permitido determinar el agregado fino que debe ser empleado en morteros, donde se ve mejores resultados en las propiedades de resistencia a la compresión, siendo este una arena gruesa comprendido entre el módulo de finura de 2.5 a 3.5, del mismo modo permite escoger la dosificación adecuada en cuanto a sus resultados en este caso cemento:arena 1:4.

Kreiker, Carrizo, Ceppi y Mutal (2014), en su investigación "Caracterización de desechos industriales inorgánicos para ser usados como material suplementario en morteros cementicios", publicado en la revista ENTAC, Brazil. Se realizó la caracterización de desechos industriales inorgánicos para ser usados como material suplementario en morteros cementicios. En esta investigación se realizó estudios de resistencia a la compresión bajo la norma IRAM 1622, con probetas de dimensiones de 4cm x 4cm x 16 cm, con una dosificación de 1:3 cemento:arena con una relación a/c (agua/cemento) de 0.5. Se realizaron sustituciones del 0%, 15% y 30% del cemento por residuos de pulido de porcelanato, obteniéndose los siguientes resultados a 28 días (216.18 kg/cm², 199,86 kg/cm² y 174.37 kg/cm²) y a 60 días (255.95 kg/cm², 254.93 kg/cm² y 219.24 kg/cm²). Se concluyó que el uso de residuo de pulido de porcelanato como material de adición del cemento al 15% podría ser una alternativa sustentable para agregar valor a estos desechos. Se podría evitar su destino

de enterramiento, además de contribuir a la disminución de la contaminación por la fabricación del cemento.

- ✓ Este antecedente indica que el residuo de pulido de porcelanato puede ser usado como reemplazante del cemento, y que generaría la obtención de su máxima resistencia a la compresión a largo plazo; por lo que el material que añadiré en este caso residuos de mármol se podría dar los mismos resultados.; y nos recomienda la dosificación a utilizar cemento:arena 1:3.

Martínez, Pavón y Díaz (2013), en su investigación “Evaluación de las prestaciones de morteros estructurales fabricados con áridos reciclados mixtos de diferente composición”, publicado en la Revista Cubana de Ingeniería, Cuba. Se realizó estudios de resistencia a la compresión de agua para morteros bajo la norma NC 656, con probetas de dimensiones de 4x4x16 cm, con una dosificación de cemento:arena de 1:2, para esto se usó diferentes áridos representados por (MEP, MER-1, MER2, MR-3), siendo estos, árido natural procedente de la zona, árido artificial de cubierta de tejas cerámicas y paredes de mampuesto, árido artificial de cubiertas de hormigón armado y paredes de ladrillos cerámicos, árido artificial de cubiertas de hormigón armado y paredes de bloques de hormigón, usándose una relación agua/cemento de (0.43, 0.58, 0.52 y 0.50) y la adición del aditivo superfluidificante de base acrílica con retardo de fraguado (Dynamón SRC 20) en porcentajes de (0.3, 0.7, 0.6, 0.6), obteniéndose los valores de retención de agua de 90.7%, 95.4%, 94.9 % , 94.6 % y resistencia a la compresión de 505.78 kg/cm², 452,04 kg/cm², 398.71 kg/cm² y 430.32 kg/cm² respectivamente. Se concluyó que la composición de los áridos reciclados tiene influencia sobre las propiedades de los morteros, el árido reciclado que poseía una composición mayoritaria de material cerámico dio como resultado el mortero con mejores prestaciones, a pesar de necesitar una relación a/c ligeramente superior que el resto de los morteros reciclados.

- ✓ Este antecedente indica que el utilizar el árido artificial, proveniente de cubierta cerámicas y paredes de mampuesto, incrementa las propiedades del mortero que se asemejan al mortero elaborado con arena natural. Por lo que se deduce que otros tipos de agregados reciclados servirían como adición en la elaboración de un mortero.

Mafla (2009), en su investigación “Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción”, publicado por la facultad de ingeniería UNIMINUTO, Colombia. Se realizó estudios de resistencia de compresión a las muestras de mortero utilizando como adición del SiO₂, obtenido de las cascarillas de arroz, al cemento Portland común para ver el efecto que esta materia prima tiene sobre el comportamiento mecánico del concreto fabricado con ella, para la obtención de microsilíce primero se coloca en un crisol a una temperatura de 700°C y

luego pasa por un proceso de molienda en un molino de bolas. En cuanto al diseño de mezcla empleo una relación agua:cemento 0.485 y establece que los porcentajes óptimos de adición oscilaron entre el 5% y 10% del peso del cemento. Se concluye que la cascarilla de arroz presenta buenas propiedades como material puzolánico, su alta pureza y su alta superficie específica proporciona un incremento de la densificación del concreto y por lo tanto un aumento de la resistencia a la compresión.

- ✓ El aporte de la investigación se debe tener en cuenta la relación agua:cemento 0.485, ya que una inadecuada dosificación ocasiona la formación de agregados esféricos muy duros en el interior del concreto y por lo tanto una abrupta disminución de la resistencia a la compresión, busca nuevos materiales de adición para mejorar las propiedades del mortero.

2.2. Bases teóricas

A. Mortero

El mortero es un material de construcción constituido básicamente por una mezcla de cemento, agregado fino y eventualmente otro material aglomerante (cal, yeso, cemento, etc.) que, al adicionarse agua, reacciona y adquiere resistencia, también puede estar compuesto por aditivos que mejoren sus propiedades tanto en estado fresco, como en endurecido. (Mayta, 2014)

A.1. Clasificación del mortero

Según la norma ASTM C-270, clasifica a los morteros de acuerdo a cuatro tipos, designándolos como M, S, N, O. Estos pueden ser especificados por proporción o por propiedades, pero no por ambos casos. La especificación por proporción rige siempre que se hace referencia a la norma ASTM C-270 y no se menciona un método específico. La clasificación del tipo de mortero bajo la especificación de propiedades depende de la resistencia a la compresión, la retención de agua y el contenido de aire.

El tipo M es una mezcla de alta resistencia que ofrece más durabilidad que otros morteros, se utiliza en mampostería reforzada o sin refuerzo sujeta a grandes cargas de compresión, acción severa de congelación, altas cargas laterales de adobe, vientos fuertes o temblores. Debido a su durabilidad superior, el tipo M debe usarse en estructuras en contacto con el suelo tales como cimentaciones, muros de

contención, aceras, tuberías de agua servidas y pozos. (Tecnología de los materiales, 2012)

El tipo S alcanza alta resistencia de adherencia, la más alta que un mortero puede alcanzar, se utiliza para estructuras sujetas a cargas compresivas normales, que a la vez requieren alta resistencia de adherencia, también se utiliza donde el mortero es el único agente de adherencia con la pared, como en el caso de revestimientos o para pegar baldosas de barro cocido. (Tecnología de los materiales, 2012)

El tipo N es de propósito general, utilizado en estructuras de mampostería sobre el nivel del suelo. Es bueno para paredes internas y divisiones. Este mortero de mediana resistencia representa la mejor combinación de resistencia, trabajabilidad y economía. (Tecnología de los materiales, 2012)

El tipo O es de baja resistencia y mucha cal, se debe utilizar en paredes, divisiones sin carga, y para el revestimiento exterior que no se congela cuando está húmedo. El mortero tipo O se usa a menudo en residencias de uno y dos pisos. Es el favorito de los albañiles porque tiene excelente trabajabilidad y bajo costo. (Tecnología de los materiales, 2012)

Tabla 1: Especificaciones de los morteros (ASTM C-270)

Mortero	Tipo	Resistencia mínima promedio a compresión a 28 días kg/cm ² , (MPa)	Retención mínima de agua (%)	Contenido máximo de aire (%)	Relación de agregados (Medida en condición húmeda y suelta)
Cemento – cal	M	176 (17.2)	75	12	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes.
	S	127 (12.4)	75	12	
	N	53 (5.2)	75	14	
	O	25 (2.4)	75	14	
Cemento de mampostería	M	176 (17.2)	75	18	
	S	127 (12.4)	75	18	
	N	53 (5.2)	75	18	
	O	25 (2.4)	75	18	

Tabla 2: Guía para seleccionar morteros de mampostería. (ASTM C270)

Localización	Segmento constructivo	Tipo de mortero	
		Recomendado	Alternativo
Exterior sobre el terreno	Paredes de carga	N	S o M
	Paredes sin carga	O	N o S
Exterior bajo el terreno	Muros de cimentación	S	M o N
	Muros de contención		
Interior	Pozos, descargas de aguas negras	N	S o M
	Paredes de carga		
	Divisiones sin carga		

A.2. Componentes del mortero

A.2.1. Cemento portland

Se define como agregado fino al conjunto de materiales granulares inertes, de origen natural y artificial, con tamaños de partícula que pasan la malla N° 4 (4.75 mm) y quedan retenidas por la malla N° 200 (0.075 mm) según la norma NTP 400.011.

Los cementos se emplean básicamente para producir morteros y concreto cuando se mezcla con agua y agregados, obteniéndose elementos constructivos prefabricados "in situ". La elección del tipo de cemento Portland, cantidad y dosificación es muy significativa para concretos de alto desempeño, este se rige bajo la norma ASTM C150 o C595. El cemento portland está formado básicamente de una mezcla de caliza y arcilla (Clinker) producto de la cocción hasta sinterización por la molienda conjunta, más yeso dihidrato.

✓ Composición química del cemento

El cemento está conformado por el óxido de calcio (CaO), óxido de sílice (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), siendo el total de éstos del 95% al 97%. En pequeñas cantidades también se presentan otros óxidos: la magnesia, el anhídrido sulfúrico, los álcalis y otros de menor importancia (Mayta, 2014).

Tabla 3: Compuestos del Cemento portland (Fernandez, 2013)

Nombre	Composición	Peso molecular	Fórmula abreviada	Nombre del mineral
Silicato Tricálcico	3CaO, SiO_2	228	C_3S	Alita
Silicato Bicálcico	2CaO, SiO_2	172	C_2S	Belita
Aluminato Tricálcico	3CaO, Al_2O_3	270	C_3A	-
Ferrito Aluminato Tetracálcico	4CaO, Al_2O_3 , Fe_2O_3	486	C_4AF	Celita
Ferrito Bicálcico	2CaO, Fe_2O_3	272	C_2F	-

✓ **Tipos de cemento**

Tipos especificados en norma NTP 334.009, y ASTM C-150-99.

Tipo I: Para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.

Tipo II: Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

Tipo III: Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.

Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.

Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

A.2.2. Agregado fino

Se define como agregado fino al conjunto de materiales granulares inertes, de origen natural y artificial, con tamaños de partícula que pasan la malla N° 4 (4.75 mm) y quedan retenidas por la malla N° 200 (0.075 mm) según la norma NTP 400.011.

El agregado puede clasificarse en naturales o artificiales. Los agregados naturales son aquellos que proceden de la desintegración natural o artificial de rocas (silíceos, calizos, graníticos, basálticos, etc) que se pueden dividir a la vez en rodados que son de usos más económicos y machacados que se originan de rocas de tamaño excesivo mientras que los artificiales son obtenidos mediante procesos industriales a partir de materia orgánica o inorgánica. (Rivera, 2015)

Propiedades físicas de mayor importancia

✓ **Densidad:**

Los agregados tienen poros que pueden ser accesibles, abiertos o inaccesibles; por lo que no se puede hablar de una sola densidad sino de varias que dependerá si el volumen que contemplan se incluya o no los dos tipos de poros, y si la muestra de agregado esta seca en estufa o posea agua lo cual llenará sus poros abiertos (saturado de agua, pero con superficie seca).

Las densidades relativas y aparentes saturadas con superficie seca, son muy utilizadas en dosificación de concreto.

La densidad de un concreto dependerá de los agregados que entran en su composición lo cual es importante en la fabricación de concreto ligera, pesada y convencional. (Rivera, 2015)

✓ Porosidad y absorción:

Estas dos propiedades tienen una gran influencia en su adherencia con la pasta de cemento en consecuencia el concreto también; y a la vez en su durabilidad.

La porosidad es la relación entre el volumen de huecos accesibles al agua y el volumen real de dicha partícula. Los poros en los agregados pueden ser de tamaños variables oscilando desde los visibles a simple vista o los micro poros.

Si los poros fueran de gran tamaño lo adecuado sería que la pasta de cemento no penetre en ellos debido a la alta viscosidad. Si la mezcla es rica se crea una película de pasta alrededor de los granos del agregado lo cual impedirá que absorban agua con la que la $r/a/c$ queda más alta en el caso en que se empleen dosificaciones pobres de cemento, en cuyo caso penetra el agua en los poros y la mezcla tiende a rigidizarse

La absorción de una muestra de un agregado se relaciona entre el aumento de masa de la misma debido a una imbibición parcial de agua, teniendo la superficie seca y la masa seca de la muestra. Es la propiedad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna.

La absorción de un agregado debe ser menor al 5%. (Fernandez, 2013)

✓ Humedad:

Es la propiedad que tiene el agregado donde se relaciona el peso del agua presente en una muestra (inalterado) y el peso seco de la misma (horno). El contenido de humedad varía según el intemperismo.

De acuerdo con el contenido de agua los agregados estos se clasifican en:

Secados al horno: Peso constante, temperatura superior a 100° C.

Secados al aire: Sin humedad superficial, pero su interior contiene humedad.

Saturados y superficialmente secos (SSS): No absorben agua en la mezcla de concreto.

Húmedos: Contienen un exceso de humedad en la superficie.

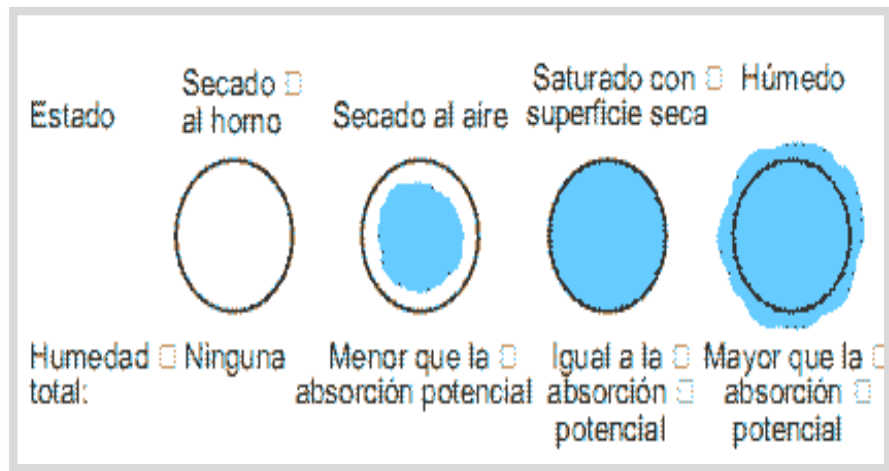


Figura 2: Estados de la humedad de los agregados (Horna, 2015)

La importancia de la humedad de los agregados sobre todo de la arena es importante debido al efecto negativo que pueden generar en las resistencias del concreto.

La humedad de las arenas se determina en laboratorio mediante el secado de la muestra en estufa. (Horna, 2015)

✓ Entumecimiento:

El entumecimiento de las arenas es el incremento de volumen que se da cuando se humedecen. Al aumentar la cantidad de agua contenida en la arena hasta su límite. Esta depende no solo de su humedad sino también de su finura.

El agregado grueso presenta un entumecimiento muy reducido debido a que el espesor de la película de agua es muy pequeño en comparación con el tamaño del agregado. (Fernandez, 2013)

✓ Resistencia mecánica

La determinación de la resistencia de un concreto se hace mediante probetas talladas por los agregados de origen, que se determinan mediante el ensayo a compresión.

La influencia de los agregados en la resistencia a la compresión se debe a su tamaño, textura, forma, limpieza superficial y absorción. (Fernandez, 2013)

Tabla 4: Resistencia a la compresión para agregados sanos.

Rocas	Resistencia a compresión (N/mm ²)
Caliza	150
Cuarcita	250
Grava silicea	130
Granito	180
Gneis	140
Mármol	110
Esquitos	170

✓ Granulometría:

La clasificación granulométrica de un agregado consiste en determinar la distribución por tamaños de partículas que lo conforman. Todo ello se realiza a través de tamices normalizados.

La granulometría de arena y grava se realiza por separado, haciendo una por cada tipo.

Agregado Fino, es aquel material que pasa por el tamiz 3/8" y como mínimo en un 95% en el tamiz N°4, quedando retenido en el tamiz N° 200; resulta de la desintegración natural o artificial de las rocas. Su clasificación de las arenas por su tamaño es:

Tabla 5: Tamaños para el agregado fino.

Descripción	Tamaño (mm)
Arena Gruesa	2-5
Arena Media	0.5-2
Arena Fina	0.05-0.5
Polvo de Roca	0.005-0.05

Módulo de Finura: El módulo de finura indica el tamaño promedio del agregado empleado en un concreto para determinar en qué proporciones se han de mezclar.

A.2.3. Agua

El agua es un componente importante del concreto, se emplea en el amasado del mismo y en su curado.

✓ **Agua de Amasado:**

Tiene como finalidad la hidratación de los componentes activos del cemento y de realizar que la masa fresca sea más trabajable, por último, crear un espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento.

El agua para el amasado debe ser limpia y libre de cualquier impureza con la finalidad de no producir alteraciones ni retrasos en el fraguado y endurecimiento ni en su durabilidad. (Fernandez, 2013)

El agua de mar y las que contengan sales (aguas procedentes del cenagal y pantanos) no deben de incluirse en la preparación del amasado del cemento debido a su efecto negativo en las resistencias mecánicas.

✓ **Agua de Curado:**

Para el curado del concreto, las aguas amasadas lo son también para el curado.

Las normas NTP 339.088 y ASTM C-1602 consideran para el amasado y/o curado de concretos debe de cumplir con las siguientes condiciones:

Tabla 6: Limite permisible para la calidad de agua. (NTP 339.088)

PH	5,5 – 8,0
Sólidos en suspensión (ppm)	50000
Alcalinidad (NaHCO ₃) (ppm)	< 600
Sulfatos (Ión SO ₄) (ppm)	< 3000
Cloruros (Ión Cl ⁻) (ppm)	< 1000
Conductividad, 25°C (uS/cm)	< 1500
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos (NA HCO ₃ ⁻) (ppm)	< 1000

A.3. Dosificación del mortero

Según la Norma E.070 (2006): Los componentes del mortero tendrán las proporciones volumétricas en estado suelto.

Tabla 7: Dosificaciones del mortero de albañilería. (Norma E.070)

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

Los morteros se clasifican en tipo P, empleado en la construcción de los muros portantes y NP, utilizado en los muros no portantes.

A.4. Ensayos del mortero

Las propiedades del mortero dependen en esencia de las propiedades del cemento con el que se fabrica, así como de la calidad de arena con la cual se va a realizar la mezcla. Una vez humedecido el cemento, se inicia el proceso de hidratación producto del cual, es posible considerar propiedades del mortero tanto en estado plástico como estado endurecido.

B. Mármol

El mármol es una roca metamórfica de apariencia cristalina que se origina a través de una serie de procesos geológicos que reaccionan a cambios de ambientes diferentes donde se formaron. Procede del metamorfismo de las rocas calizas tras una recristalización de sus minerales que genera mayormente el aumento de la compacidad y varía las demás características con respecto a la roca de origen. El valor del mármol dependerá de sus características tales como color, textura y transparencia y el tamaño de los bloques extraídos en las canteras. (Dirección general de promoción minera, 2012)

Para la caracterización del mármol se utilizará una herramienta tecnológica en un laboratorio especializado en geología o suelos para realizar el ensayo. La mineralogía del agregado se realizará por la difracción de rayos X (DRX).

B.1. Difracción de rayos X (DRX)

La difracción de rayos X se centra en las interrupciones ópticas que se producen cuando una irradiación monocromática atraviesa una abertura de espesor comparable a la longitud de onda de la irradiación. Los rayos X tienen longitudes de onda de Angstroms, del mismo orden que las distancias interatómicas de la estructura de las redes cristalinas. Al ser irradiados sobre la muestra a examinar, los

rayos X se difractan con ángulos que dependen de las longitudes interatómicas. El método analítico del Polvo al Azar o de Debye-Scherrer se basa en irradiar con rayos X sobre un espécimen formado por multitud de cristales colocados al azar en todas las direcciones probables. Para ello es aplicable la Ley de Bragg: $n\lambda = (2d)(\text{sen}\theta)$, en la que “d” es la longitud entre los planos interatómicos que ocasionan la difracción. (Torrence & Germaine 2003)

La difracción de rayos-x es un procedimiento de alta tecnología no destructivo para el estudio de una amplia gama de materiales, incluso fluidos, metales, minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, recubrimientos de capa fina, cerámicas y semiconductores. El empleo primordial de la difracción de rayos X es la identificación cualitativa de la estructura mineralógica de un espécimen cristalina. Otros usos son el análisis cuantitativo de composición cristalino, la precisión de tamaños de cristales, la delimitación del coeficiente de dilatación térmica, así como cálculos sobre la simetría del cristal y en especial la cantidad de longitudes a determinadas familias de planos y el producto de los parámetros de la red. (Torrence & Germaine 2003)

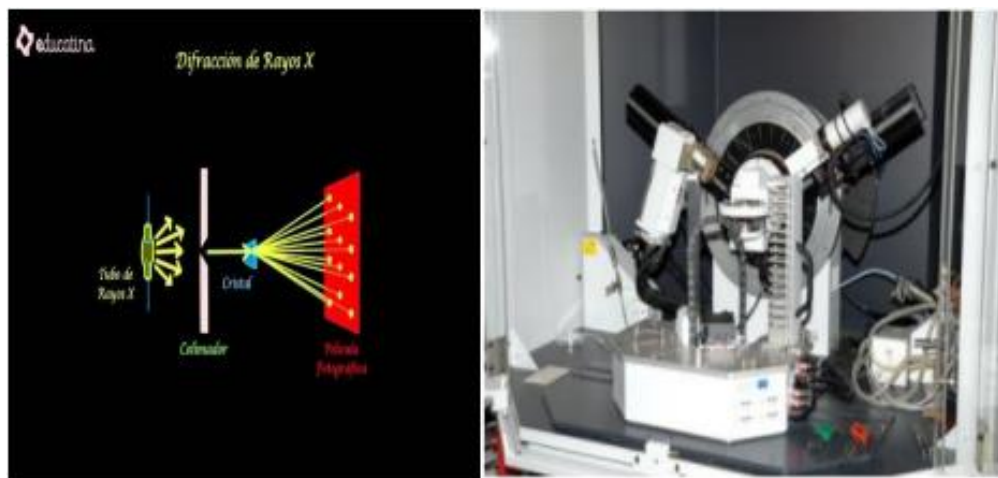


Figura 3: Difractometría de rayos X (DRX) (Torrence & Germaine, 2003)

B.2. Principales propiedades en estado endurecido

Reactividad: Acosta y Cabrera (2010), este ensayo consiste en la reacción que presentan algunos agregados con los álcalis del cemento, cuando existe presencia de agua en los poros se produce una sustancia gelatinosa de silicato alcalino que es expansivo y puede destruir al hormigón. Si la expansión es menor al 10% se puede

utilizar el agregado como mortero para la construcción de una edificación, si esta entre los 10% a 20% de expansión se deberá realizar otros ensayos para verificar que el mortero no dañe a la edificación que se piensa realizar, si es mayor a 20% no se puede utilizar porque dañaría a la edificación.

Densidad: Chiguay (2007), la densidad del mortero se define como el peso por unidad de volumen. Depende del peso específico y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del mortero. Para los morteros convencionales confeccionados con materiales granulares provenientes de rocas sin contenidos de minerales metálicos, su valor oscila entre 1.8 y 2.3 kg/dm³. La densidad experimenta ligeras variaciones con el tiempo, que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera y que en total puede significar una variación de hasta un 5 % de su densidad inicial. (p.2)

Resistencia a la compresión: Generalmente se usa como el principal criterio para seleccionar el tipo de mortero a utilizar en una estructura de mampostería, ya que es fácil de medir y puede relacionarse con otras propiedades como la adherencia y la durabilidad. Aunque la resistencia a la compresión de los muros puede incrementarse utilizando un mortero más resistente, el aumento no es proporcional a la resistencia a la compresión del mortero (aumenta sólo 10% cuando la resistencia del mortero aumenta en un 130%). (Rivera, 2015)

Resistencia a compresión axial de pilas: Quiun (2005), son prismas compuestos por dos o más hiladas de ladrillos asentados una sobre otra mediante mortero, generalmente se utilizan para diseñar estructuralmente los muros de un edificio, de tal modo que se pueda controlar la calidad de la construcción de albañilería. La resistencia a compresión axial de las pilas depende de la relación altura-espesor o esbeltez, por lo que la norma nacional de Albañilería E-070 adopta un valor nominal de esbeltez igual a cinco.

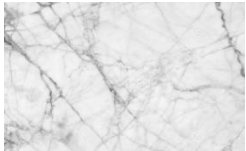
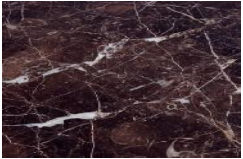

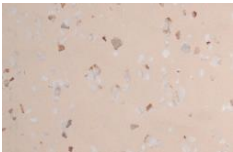

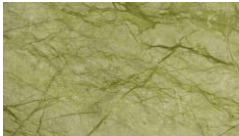
B.3. Características

Mineralogía:

- ✓ Tipo básica: Roca sedimentaria.
- ✓ Grupo de strunz: Carbonatos.
- ✓ Raya: Blanca.

Color: Se clasifican según el color en monocolors y policromos.

Tabla 8: Clasificación del mármol según su color

Color	Descripción	Imagen
Veteados	Cuando aparecen diferentes colores en el fondo.	
Arborescente	Cuando aparecen vetas en todas las direcciones.	
Brechas	Contienen fragmentos más o menos atrapados en una misma masa.	
Brocateles	Fragmentos más pequeños.	
Blancos	Son ricos en CO_3Ca , marcados por vetas apenas visibles.	
Verdes	Contienen silicatos magnésicos.	

Estructura: Se clasifica de acuerdo con el tamaño de los cristales.

- ✓ Afano cristalinos.
- ✓ Muy finamente cristalinos.
- ✓ Finamente cristalinos.
- ✓ Medianamente cristalinos.
- ✓ Groseramente cristalinos.
- ✓ Muy groseramente cristalino.

Porosidad y durabilidad

- ✓ Porosidad baja (0.02% – 0.5%) en los mármoles
- ✓ Baja absorción de agua. (Resistente a la acción del hielo)
- ✓ Calizas: Pueden tener alta porosidad y absorción.
- ✓ Es atacado por contaminantes atmosféricos.

Transparencia.

- ✓ Todos los minerales cuando aparece en aglomerados granulares son translúcidas.

Densidad.

- ✓ 2.6 g/cm³ a 2.8 g/cm³ y puede ser variable, en función de los agregados y proporción de sus componentes.

Propiedades Químicas

- ✓ Composición:
Predominará el carbonato de calcio (CaCO₃), acompañado de una gran diversidad de otros minerales (mica, silicatos magnésicos, grafito, óxidos de hierro, etc.)
- ✓ Durabilidad:
Mohs: Calcita: 3
- ✓ La resistencia a agentes agresivos:
Poco abrasivo (Bajo costos de extracción y de acabado.)

B.4. Usos del mármol

- ✓ Arquitectura (Losetas) (>50%)
- ✓ Esculturas: Mausoleos, estatuas.
- ✓ Áridos en concreto y carreteras.
- ✓ Para cementos, materiales cerámicos, obtención de la cal para carga, fabricación de cemento portland.
- ✓ En industrias químicas como fundentes en minas metálicas.
- ✓ En industrias ópticas.
- ✓ Se una como roca ornamental en cementos (lápidas). (Rojas y Quispe, 2017)

B.5. Canteras principales de obtención del mármol

- ✓ Mármoles y Granitos (Trujillo)
- ✓ Gallos Mármol (Trujillo)
- ✓ Mármol Travertino (Junín)
- ✓ Granito Rojo (Pisco)

B.6. Residuo actual de mármol en la construcción

El abuso desmedido de los recursos naturales ha generado un impacto negativo en cuanto al residuo generado en las actividades que se puedan desarrollar. La construcción civil es una de las actividades que genera más residuo. Por otro lado, también tenemos al sector de la marmolería que genera lodo y partículas de polvo durante el proceso de su elaboración. El tamaño de los residuos de mármol varía, aproximadamente menores a 70 cm y de distintas formas tales como rectangulares, cuadradas, circulares, entre otras.

Los residuos generados causan contaminación del suelo debido al polvo sobre la superficie, por lo que el suelo absorbe el óxido de calcio que es el elemento por el cual está constituido el mármol, con el transcurrir del tiempo este suelo se volverá infértil.

También, produce daños en la salud del ser humano, como enfermedades respiratorias, como la neumoconiosis que es la principal causa de la muerte de los trabajadores del sector del mármol. Con el clima el polvo se levanta y afectaría a la comunidad aledaña.

Hay numerosas investigaciones a nivel nacional como internacional con el fin de reutilizar los residuos del polvo de mármol en la construcción civil de este modo se podrá disminuir la contaminación ambiental y en la salud. (Solano et al., 2010)

B.7. Características del residuo de mármol

La cantidad de residuos de mármol ha ido aumentando por lo que las eliminaciones de estos se pueden depositar en ríos o vertederos. En general la cantidad de todo tipo de residuos ha ido aumentando y cada vez se genera un mayor impacto en la contaminación ambiental, por lo que se ha buscado reducir los efectos negativos reutilizando estos residuos tal como es el caso de las cenizas volantes en la elaboración del concreto.

El polvo de mármol se puede obtener durante las distintas etapas del proceso de mármol. (Solano et al., 2010)

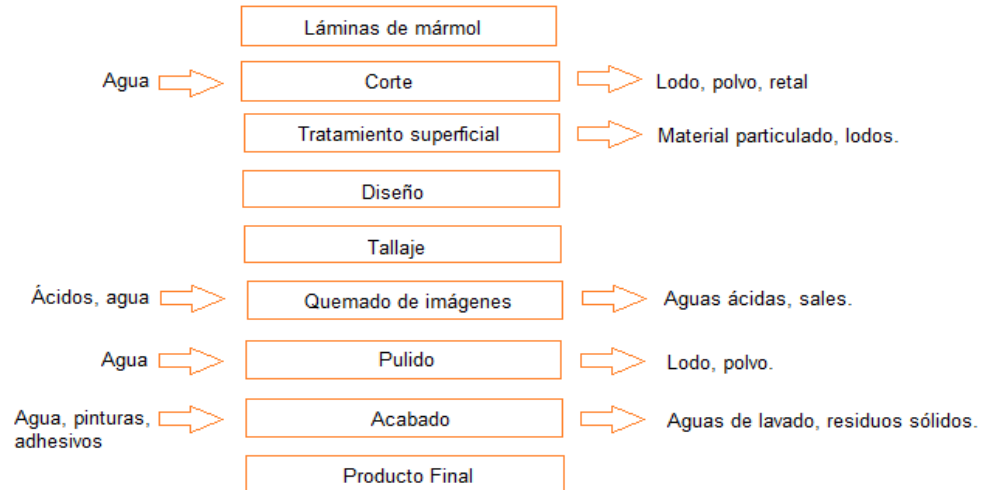


Figura 4: Residuos generados por etapa del proceso de la industria marmolera. (Solano, 2010)

En la actualidad se generan 450 toneladas de desechos por día (Solano et al., 2010) o sea 162.000 toneladas anuales, lo que representa un contaminante de alto impacto al ambiente y del suelo, en donde son depositados los desechos. Existe una fuerte contaminación del suelo debido a la acumulación de polvo sobre la superficie donde es depositado el residuo, por ocupación parcial de la superficie por escombros. De esta manera, el suelo absorbe el óxido de calcio (CaO) del residuo que con el tiempo va provocando que el suelo en donde se encuentra se vuelva infértil y no permita el crecimiento de vegetación. (Rodríguez, 2012). Durante el proceso de la elaboración de mármol donde más se genera residuos es en la etapa donde se realiza el corte de los bloques para su manufactura en talleres y el proceso de transformación en planchas y piezas para su puesta en obra.

B.8. Estado actual de la utilización de los residuos de mármol

La utilización de los residuos de la elaboración de mármol es básicamente de carbonato cálcico. Entre los usos más comunes de los residuos del mármol son: en la industria del cemento desulfurante, aplicaciones en la industria del papel, elaboración de pinturas, objetos de decoración, entre otros.

Estudios realizados concluyen que la utilización de residuos de polvo en un 50% en peso del cemento, no genera perjuicio alguno en sus propiedades de los concretos.

El polvo de mármol y el filler calizo tienen características químicas semejantes por lo que se puede sustituir el polvo por el filler, ambos favorecen la hidratación del cemento a tiempos cortos. Este polvo de mármol al ser un residuo es económico. (Scaciolo, 2012)

2.3. Hipótesis

2.3.1. Formulación de la hipótesis

Tabla 9: Matriz de hipótesis general.

Hipótesis general	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino, en la ciudad de Trujillo, mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros ensayados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en el año 2018.	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	Mármol				
	Reactividad				
	Densidad	Mortero	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	Año 2018
	Resistencia a la compresión				
Resistencia a pilas					

Tabla 10: Matriz de hipótesis específica 1.

Hipótesis específica 01	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
La sustitución de mármol en un 15% sobre el agregado fino, en la ciudad de Trujillo, mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros ensayados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en el año 2018.	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	Mármol				
	Reactividad				
	Densidad	Mortero	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	Año 2018
	Resistencia a la compresión				
Resistencia a pilas					

Tabla 11: Matriz de hipótesis específica 2.

Hipótesis específica 02	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
La sustitución de mármol en un 30% sobre el agregado fino, en la ciudad de Trujillo, mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros ensayados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en el año 2018.	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	Mármol				
	Reactividad				
	Densidad.	Mortero	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	Año 2018
	Resistencia a la compresión.				
Resistencia a pilas.					

Tabla 12: Matriz de hipótesis específica 3.

Hipótesis específica 03	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
La sustitución de mármol en un 30% sobre el agregado fino, en la ciudad de Trujillo, mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros ensayados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en el año 2018.	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
	Mármol				
	Reactividad				
	Densidad.	Mortero	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	Año 2018
	Resistencia a la compresión.				
Resistencia a pilas.					

Tabla 13: Matriz de hipótesis específica 3.

Hipótesis específica 03	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de mármol en un 45% sobre el agregado fino, en la ciudad de Trujillo, mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros ensayados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en el año 2018.	Mármol				
	Reactividad				
	Densidad.				
	Resistencia a la compresión.	Mortero	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	Año 2018
	Resistencia a pilas.				

Tabla 14: Matriz de hipótesis específica 4.

Hipótesis específica 04	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de mármol en un 60% sobre el agregado fino, en la ciudad de Trujillo, mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros ensayados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en el año 2018.	Mármol				
	Reactividad				
	Densidad.				
	Resistencia a la compresión.	Mortero	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	Año 2018
	Resistencia a pilas.				

Tabla 15: Matriz de hipótesis específica 5.

Hipótesis específica 05	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de mármol en un 75% sobre el agregado fino, en la ciudad de Trujillo, mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros ensayados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en el año 2018.	Mármol				
	Reactividad				
	Densidad.	Mortero	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	Año 2018
	Resistencia a la compresión.				
	Resistencia a pilas.				

Tabla 16: Matriz de hipótesis específica 6.

Hipótesis específica 04	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de mármol en un 90% sobre el agregado fino, en la ciudad de Trujillo, mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros ensayados en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en el año 2018.	Mármol				
	Reactividad				
	Densidad.	Mortero	Mejora	Laboratorio de la Universidad Privada del Norte	Año 2018
	Resistencia a la compresión.				
	Resistencia a pilas.				

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

3.1.1. Variable independiente

Mármol:

Los porcentajes de residuos de mármol está comprendida entre 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90% ($n_0, n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6$) del volumen total. Estos residuos de mármol serán molidos, en la máquina los Ángeles hasta alcanzar un tamaño de partículas que reemplace al agregado fino.

3.1.2. Variables dependientes

- **Reactividad (A):**

Para lo cual se elaboran probetas rectangulares de 28cm x 2.5cm x 2.5cm.

- **Densidad (B):**

Para lo cual se elaborarán probetas cubicas de 5cm x 5cm x5cm. Medido en g/cm^3 .

- **Compresión (C):**

Para lo cual se elaborarán probetas cubicas de 5cm x 5cm x5cm. Su medida será en kg/cm^2 .

- **Resistencia a pilas (D):**

Empleando pilas de 3 ladrillos. Su medida será en kg/cm^2 .

Tabla 17: Operacionalización de variables dependientes.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Ítems
Reactividad (A)	Reacción entre el sodio y potasio del cemento portland.	Determinar las propiedades químicas del cemento en cuanto a la expansión del mortero de asentado.	Expansión Porcentaje	Largo Ancho Alto	(mm) (%)
Densidad (B)	Peso de la unidad de volumen del mortero en estado endurecido.	Mejorar las propiedades físicas del mortero de asentado.	Peso Volumen	Peso seco Peso saturado Peso sumergido	(g) (cm ³)
Compresión (C)	Capacidad de un material de soportar una carga sobre una unidad de área.	Mejorar la resistencia a compresión del mortero de asentado.	Resistencia a compresión Área bruta Velocidad de carga	Carga máxima de rotura Largo y Ancho 0.9	(kgf) (cm ²) (KN/seg)
Resistencia a pilas (D)	Ladrillos asentados uno sobre el otro mediante mortero.	Mejorar las propiedades mecánicas del mortero de asentado.	Resistencia a compresión Área bruta Velocidad de carga Deformación unitaria de pilas	Carga máxima de rotura Largo y Ancho 0.9 Cada 100 kgf.	(kgf) (cm ²) (KN/seg) mm

3.2. Diseño de investigación

La presente investigación es experimental, porque se basa en la elaboración de morteros de asentado con distintos porcentajes de mármol como sustituto de arena, en la que se mejorará la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas; del tipo experimental puro, ya que se controla y limita la cantidad de porcentaje de mármol que se empleará como sustituto de la arena para morteros de asentado.

Tabla 18: Diseño de investigación. (Manual de estadística, UPN)

Muestra	Diseño con preprueba-posprueba y grupo de control		
G ₁	O ₁	X	O ₂
G ₂	O ₃	-	O ₄

En esta investigación se aplicó el diseño experimental del tipo monofactorial, con una variable independiente, en donde se muestran las variables en la tabla 12.

Tabla 19: Niveles de variables.

Variables independientes de estudio							
Factores de estudio	Niveles de estudio						
A: Porcentaje de mármol	0% A1	15% A2	30% A3	45% A4	60% A5	75% A6	90% A7
Variables dependientes de estudio							
Reactividad (mm).							
Densidad (g/cm ³).							
Resistencia a la compresión (kg/cm ²).							
Resistencia a pilas (kg/cm ²).							

3.3. Unidad de estudio

Mármol reciclado en mortero para pilas de ladrillo.

3.4. Población

Todas las probetas de mortero de asentado.

3.5. Muestra

El muestreo es no probabilístico, debido a que los elementos de la población se seleccionan en base al criterio del investigador y es por conveniencia, ya que el número de muestras fue obtenido de un estudio preliminar, con el fin de tener una muestra representativa y confiable.

El mortero elaborado está constituido a base de cemento portland tipo I de la empresa Qhuna con una relación a/c: 0.65, agregado fino de la cantera Rubio – Jaén del sector el Milagro y mármol molido en porcentajes de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%. Se obtienen 3 réplicas por cada estudio preliminar.

Reactividad Álcali - Sílice:

Nº de muestras = V.I * V.D x Nº de réplicas.

Nº de muestras = (1 x 7) x (1 x 1) x 3

Nº de muestras = 21 muestras.

Se realizaron 21 probetas de morteros de 4 cm x 2.5 cm x 28 cm, con sustitución de mármol por agregado fino en distintas proporciones de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, bajo la norma ASTM D1260 Método de ensayo de reactividad álcali-sílice.

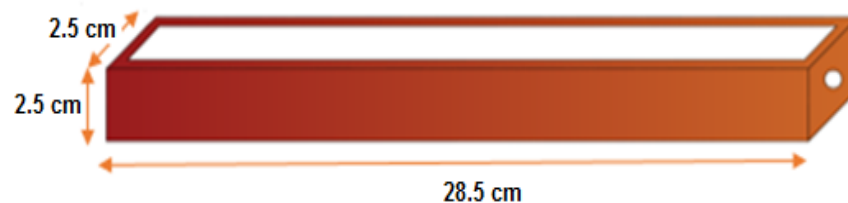


Figura 5: Molde para el ensayo de reactividad.

Densidad:

Nº de muestras = V.I * V.D x Nº de réplicas.

Nº de muestras = (1 x 7) x (1 x 1) x (1 x 3) x 3

Nº de muestras = 63 muestras.

Se realizaron 63 cubos de mortero de 5 cm x 5 cm x 5 cm, adicionando porcentajes de mármol por agregado fino en distintas proporciones de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, bajo la ASTM D2412 Método de ensayo de densidad, para lo cual se utilizó el método de Arquímedes. (p.67)

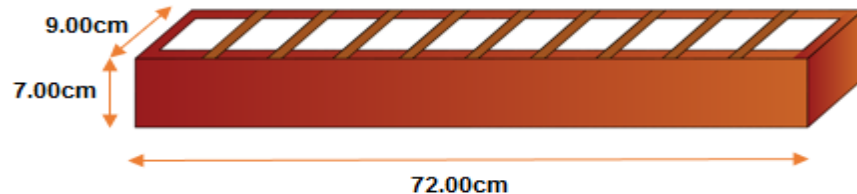


Figura 6: Molde para el ensayo de densidad.

Resistencia a la compresión:

N° de muestras = V.I * V.D x N° de réplicas.

N° de muestras = (1 x 7) x (1 x 1) x (1 x 3) x 3

N° de muestras = 63 muestras.

Se realizaron 63 cubos de mortero de 5 cm x 5 cm x 5 cm, adicionando porcentajes de mármol por agregado fino en distintas proporciones de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, bajo la norma ASTM C109 Método de ensayo de compresión de cubos.

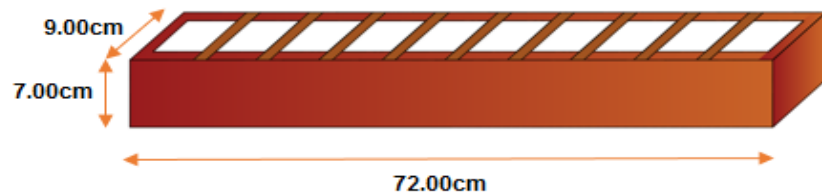


Figura 7: Molde para el ensayo de compresión.

Resistencia de pilas:

N° de muestras = V.I * V.D x N° de réplicas.

N° de muestras = (1 x 7) x (1 x 1) x 3

N° de muestras = 21 muestras.

Se realizaron 21 pilas con ladrillos de 18 huecos, utilizando morteros con sustitución de mármol por agregado fino en distintas proporciones de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, bajo la ASTM C1314 Método de ensayo para medir la resistencia a compresión de la mampostería.

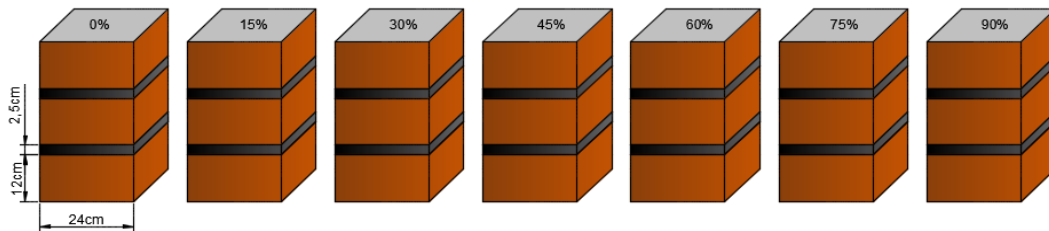


Figura 8: Muestra para el ensayo de resistencia a pilas.

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

La técnica empleada para la recolección de datos es la observación, puesto que durante la ejecución de ensayos se pudo registrar el comportamiento y características del mortero de asentado sustituyendo con diferentes porcentajes de mármol (0%,15%,30%,45%, 60%, 75% y 90%) la arena.

3.6.2. Instrumento de recolección de datos

El instrumento empleado para la recolección de datos fue la guía de observación, el cual permite recolectar información al momento de realizar los ensayos de reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros. (Ver ANEXO 2)

3.6.3. Procedimiento de recolección de datos

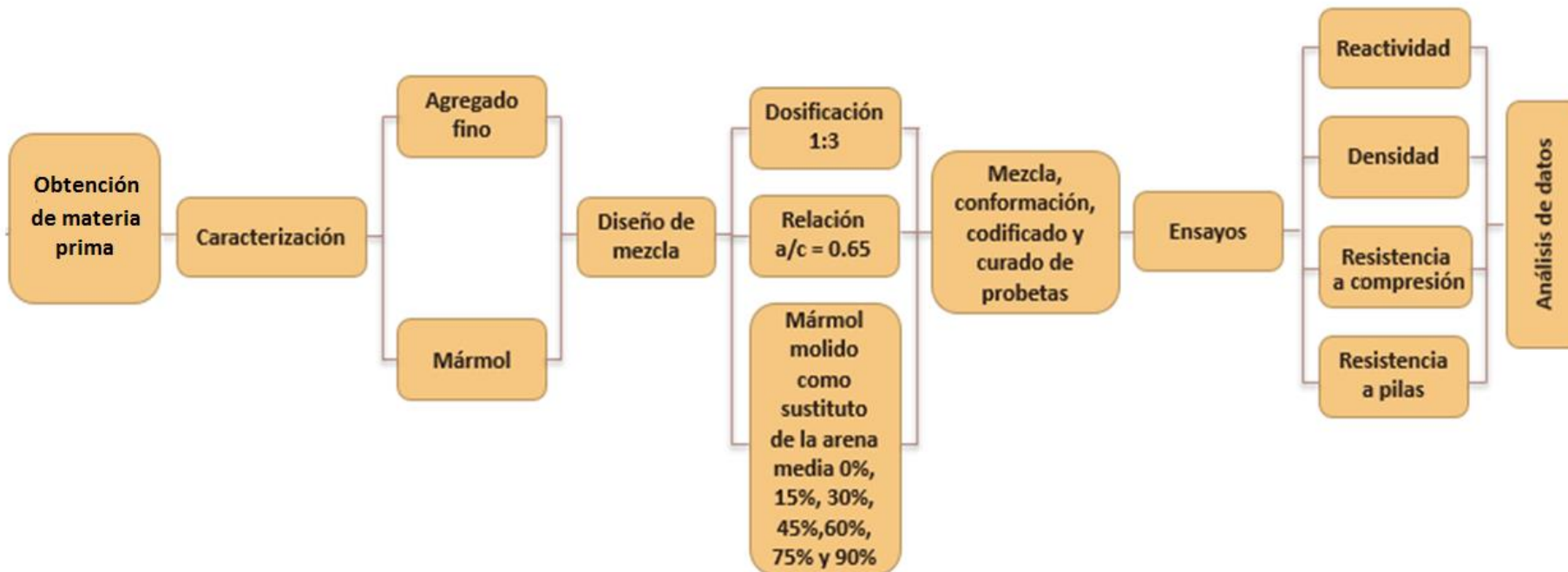


Figura 9: Diagrama del proceso de investigación.

A. Materia prima

El material seleccionado fue de residuos de la fabricación de lapidas de mármol obtenidas frente al cementerio Miraflores en la Av. Miraflores 1314. Se obtuvieron distintas muestras de mármol, para la selección del material se procedió a realizar ciertos ensayos tales como: peso específico, absorción y humedad. El material que cumplió con las especificaciones se redujo a su mínimo tamaño de partículas con la utilización de la maquina Los Ángeles, antes de ello se realizó la limpieza correspondiente del equipo a utilizar con la colocación de arena la cual permite retirar los finos que pueda haber en su interior, se procedió a girar el equipo por 2 minutos, después de verificar la limpieza del equipo se retiró la arena, acto seguido se coloca el material seleccionado (30 kilos) de mármol reciclado durante 60 minutos con 11 bolas de acero de diámetro de 4.75 cm a 4.77 cm y peso de 413.2 gramos a 413.5 gramos, por último se procedió a tamizar el material en diferentes tamaños usando los tamices N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo.

A.1. Cemento

El cemento utilizado para la elaboración de diseño de mezcla es el cemento portland Tipo I suministrado por Cementos Qhuna, el cual es un cemento de uso general que para emplearse en obras no requieran propiedades especiales y cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150.

A.2. Agua

El agua para el diseño de mezcla debe cumplir algunos límites permisibles por ello se realizó un análisis químico de una muestra de agua potable para el ensayo de conductividad, siguiendo el procedimiento de:

- ✓ Se colocó 2 vasos de pírax de 250 ml en la mesa, una con 150 ml de agua destilada y la otra con 150 ml de agua potable.
- ✓ Se dejó reposar 24 horas, para luego tomar lectura con el medidor de salinidad (ppm), conductividad (uS/cm). Se colocó el electrodo en cada vaso de pírax y se toma nota el valor de cada parámetro registrado en la pantalla del equipo.

Las normas NTP 339,088 y ASTM C-1602 considera para el amasado y/o curado de concretos, los límites siguientes:

Tabla 20: Límites permisibles para el agua de mezcla (NTP 339.088)

Sólidos en suspensión (p.p.m)	5000
Materia orgánica (p.p.m)	3
Alcalinidad (NaHCO ₃) (p.p.m)	1000
Sulfatos (Ión SO ₄) (p.p.m)	1000
Cloruros (Ión Cl) (p.p.m)	1000
Ph	5 a 8

A.3. Agregado

Para la elaboración de la investigación se partió en buscar un agregado que este más accesible y cerca al lugar de la investigación. Empleamos los agregados de la cantera Rubio-Jaén del sector el Milagro.

B. Caracterización física y química

B.1. Caracterización física

B.1.1. Ensayo granulométrico NTP 400.012 | ASTM C136

- ✓ Se tomó tres muestras por cada tipo de agregado de 1Kg cada una.
- ✓ Luego se pesó cada tamiz para obtener el peso de cada uno, para el agregado fino los tamices a utilizar fueron: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo, después se procedió a colocar los tamices en orden decreciente según la abertura.
- ✓ Luego se vierte la muestra en el tamiz de la malla superior, y se tapa; posteriormente se enciende la máquina vibradora Rotap durante 5min.
- ✓ Al finalizar el tiempo se pesó cada tamiz con la muestra retenida en una balanza analítica de 0.1 gramos con capacidad de 2Kg, para obtener el peso retenido en cada tamiz. El mismo proceso se realizó tres veces.
- ✓ El módulo de finura para el agregado fino se calculó con la siguiente formula:

Ecuación 1: Módulo de finura

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

Tabla 21: Análisis granulométrico de los agregados

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g) A	Peso de tamiz + peso retenido (g) B	Peso retenido (g) C = B - A	% Peso retenido D=C/ΣC	% Peso retenido acumulado E=D ₀ +D ₁	% Que pasa F=100-E
3/4"	19.00						
1/2"	12.5						
3/8"	9.5						
N°4	4.75						
N°8	2.36						
N°16	1.18						
N°30	0.6						
N°50	0.3						
N°100	0.15						
N°200	0.08						
Fondo	0						
Peso tamizado (g) =							

Asimismo, el agregado fino debe cumplir con los requisitos mínimos impuestos por la ASTM C33, la cual se presenta en la tabla 13.

Tabla 22: Huso granulométrico del agregado fino. (NTP 400.037)

Tamiz	Abertura (mm)	Límite inferior	Límite superior
3/8"	9.5	100	100
N° 4	4.8	95	100
N° 8	2.4	80	100
N° 16	1.2	50	85
N° 30	0.6	25	60
N° 50	0.3	5	30
N° 100	0.2	0	10
N° 200	0.1	0	5

B.1.2. Contenido de humedad NTP 339.185 | ASTM C566

- ✓ Se tomó el peso de tres taras (recipiente metálico) para luego colocar la muestra para cada tipo de agregado en su estado natural en una balanza analítica de 0.1 gramos con capacidad de 1Kg (Ph).
- ✓ Se colocó en la estufa a una temperatura de 100°C ± 5°C por 24 horas y luego se pesa (Ps).
- ✓ Se determinó el contenido de humedad mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 2: Porcentaje de humedad.

$$W\% = \left[\frac{Ph - Ps}{Ps} \right] \times 100$$

Dónde:

Ph: Peso natural del material

Ps: Peso seco del material

Tabla 23: Contenido de humedad.

Cód.	Tara (g)	Tara + muestra natural (g)	Tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g) (Ph)	Peso de la muestra seca (g) (Ps)	Humedad (%) W
M 1						
M 2						
M 3						
Promedio						

B.1.3. Peso unitario suelto y compactado NTP 400.017 | ASTM C29

- ✓ Se pesó el molde vacío.
- ✓ Luego el agua fue vertida en el molde, hasta llenarlo y luego se tomó el peso, esto nos sirvió para calcular el volumen del molde.
- ✓ Seguido se vertió la muestra en el molde, de agregado hasta llenarlo (En el caso del peso unitario compactado se hizo en 3 capas iguales de material en el recipiente y cada capa se compactó uniformemente en todo el recipiente con una varilla 25 veces)
- ✓ Se enrazó la superficie. Después se pesó el molde con la muestra y mediante esta fórmula se determinó el peso unitario compactado.
- ✓ Los resultados se calcularon con las siguientes formulas:

Ecuación 3: Volumen del recipiente

$$\text{Volumen del recipiente} = \frac{\text{Peso del agua contenida en el recipiente}}{\text{Factor del agua a } 23^{\circ}\text{C} \left(997.5 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}$$

Ecuación 4: Peso unitario suelto.

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

Dónde:

Gs: Peso unitario del agregado suelto + peso del recipiente. (kg)

T: Peso del recipiente. (kg)

V: Volumen del recipiente. (m³)

PUSS: Peso unitario suelto. (kg/m³)

Ecuación 5: Peso unitario suelto compactado.

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

Dónde:

Gc: Peso unitario del agregado compactado + peso del recipiente. (kg)

T: Peso del recipiente. (kg)

V: Volumen del recipiente. (m³)

PUCS: Peso unitario compactado. (kg/m³)

Tabla 24: Volumen del molde de peso unitario.

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso del molde + agua (kg)	Peso del agua (kg)	Factor del agua a 23°C (kg/m ³)	Volumen del molde (m ³)
Volumen del agua		_____	_____	_____		_____
		_____	_____	_____		_____
Promedio						

Tabla 25: Peso unitario suelto y compactado del agregado.

Cód.	Peso del Molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (G) (kg)	Peso de la muestra compactada + molde (G) (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compac. (kg/m ³)
M 1								
M 2								
M 3								
Promedio								

B.1.4. Gravedad específica y absorción NTP 400.021 | ASTM C127

- ✓ Se seleccionó 1.5Kg de la muestra y se dejó en un balde con agua por 24 horas para realizar el ensayo 3 veces, después de ello se secó la muestra con una secadora donde quedó superficialmente seca.
- ✓ Luego se utilizó el cono con diámetro inferior de 90 mm y diámetro superior de 40 mm, después se procedió a rellenar en tres capas iguales compactando 25 veces cada capa con el pisón de un peso de 340 gramos y con un diámetro de 25 mm. Para verificar que la muestra es la adecuada a una condición saturada superficialmente seca este debe derrumbarse 1/3 del todo de lo contrario se vuelve a realizar el mismo procedimiento.
- ✓ Posteriormente se tomó el peso de la fiola con agua hasta 500 ml (B), luego se botó el agua, se colocó la muestra en la fiola y nuevamente se procedió a llenar con agua hasta 500 ml y se eliminó todas las burbujas de aire, haciendo rodar la fiola durante un minuto, sobre una superficie plana.
- ✓ Luego se pesó la fiola con el agua y la muestra (C),
- ✓ Se dejó reposar la muestra dentro de la fiola; se botó el agua, y la muestra se pone en una tara (S) y se colocó en la estufa a 100 ° C aproximadamente 24 horas.
- ✓ Por último, se tomó el peso de la muestra (A), con las siguientes fórmulas se determinó el peso específico y absorción.

Ecuación 6: Densidad seca.

$$D S = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 7: Densidad saturada superficialmente seca.

$$D_{SSS} = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 8: Densidad aparente.

$$D_A = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 9: Porcentaje de absorción

$$A (\%) = \frac{B - A}{A} \times 100 (\%)$$

Donde:

A: Peso en el aire de la muestra seca. (gr)

B: Peso en el aire de la muestra saturada. (gr)

C: Peso en el agua de la muestra. (gr)

Tabla 26: Gravedad específica y absorción del agregado.

Cód.	P muestra saturada en el aire (g)	P muestra sumergida (g)	P muestra seca (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
Promedio							

B.2. Caracterización química

B.2.1. Evaluación química del agregado fino (NTP 400.042) y mármol.

Este ensayo se llevó a cabo con el propósito de comprobar que los áridos cumplan con los límites permisibles que señala la norma NTP 400.042 y ver sus principales propiedades químicas.

- ✓ Se colocó 3 vasos de pírax de 250 ml, uno con 50 gr del agregado fino con agua destilada con el doble de volumen de la arena y el otro con 50 gr del mármol con agua destilada con el doble de volumen de la arena.

- ✓ Luego se embolsó con plástico cada vaso para que al reposar en agua no sea alterada por el cambio de temperatura.
- ✓ Se dejó reposar por 72 horas, para después tomar lectura con el medidor de alcalinidad (pH) y conductividad (Se debe convertir uS/cm a dS/cm).
- ✓ Finalmente se colocó con cuidado el electrodo en cada vaso de pirex y se tomó nota del valor de cada parámetro registrado en la pantalla del equipo. Además, la NTP 400.042 indica rangos para pH entre 6-8.

Tabla 27: Esquema de composición química del agregado fino y del mármol.

Sector	Conductividad (dS/cm)	pH
Agua con agregado fino		
Agua con mármol		

B.2.2. Agua (NTP 339.088)

El agua de diseño tiene que cumplir los límites mostrados en la tabla 6 (NTP 339.088), por lo que se realizó el ensayo de conductividad y pH la SUNASS (Superintendencia nacional de servicios de saneamiento), indica que el agua potable debe tener una conductividad a 25°C menor a 1500 uS/cm y un pH entre 5.5 y 8.

- ✓ Se colocó 3 vasos de Pírex con 150 ml de agua destilada y otros 3 vasos con 150 ml de agua potable.
- ✓ Se dejó reposar como mínimo durante 24 horas y se cubrió las muestras con plásticos impermeable, para luego tomar lectura de la conductividad (Se debe convertir uS/cm a dS/cm) y pH.
- ✓ Se colocó el electrodo en cada vaso de Pírex y se tomó nota del valor de cada parámetro registrado en la pantalla del equipo.

Tabla 28: Esquema de composición química del agua

Sector	Conductividad (ds/cm.)	pH
Agua		

C. Mármol

Para la obtención del mármol, se realiza los procesos de recolección, molienda y tamizado de los residuos de mármol.

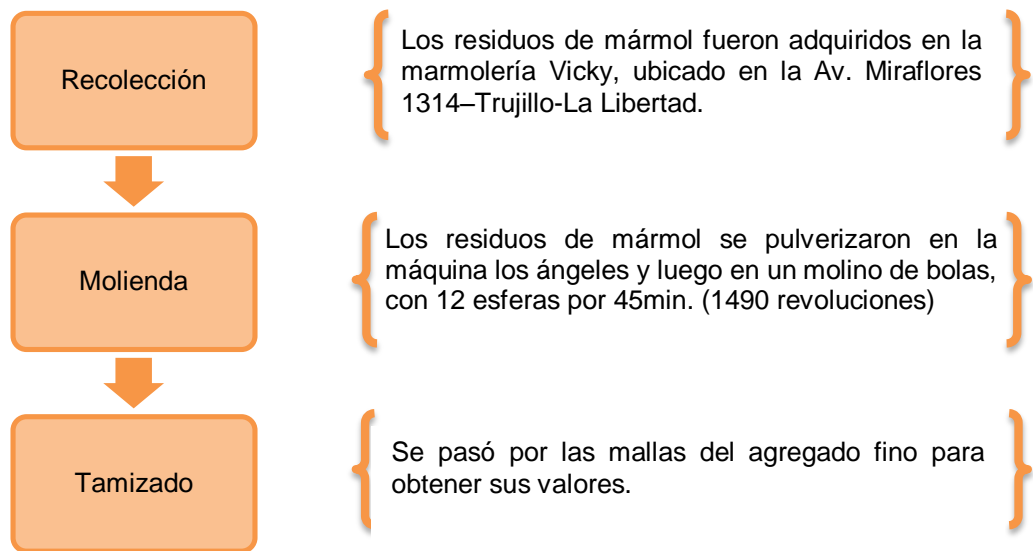


Figura 10: Proceso de obtención del mármol.

D. Diseño de mezcla

Para la dosificación del mortero se tomó la relación de 1:3; con una relación agua/cemento constante de 0.65; a su vez se fue reemplazando la arena (natural) por el mármol molido (artificial) en porcentajes de peso en función de la arena de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%.

La dosificación con el reemplazo de arena por mármol molido, fueron diseñadas para 2700 g en función de los materiales sólidos del mortero para 8 cubos de 5 cm x 5 cm x 5 cm con material sobrante, están especificadas en las siguientes tablas 22 al 28:

Tabla 29: Dosificación 1:3 con 0% de mármol molido, para 2700g.

Mármol		0%			
Material	Cemento	Agregado Fino		Agua Potable	Total cemento:arena
Características	Tipo I	Natural	Artificial		
Proporciones de sólidos en volumen	1	3		a/c	4
		3	0	0.65	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	25	75		0	100
		75	0		
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (gr)	675	2025	0	438.75	2700
Cantidad total del material en gramos (gr)					3138.75

Tabla 30: Dosificación 1:3 con 15% de mármol molido, para 2700g.

Mármol		15%			
Material	Cemento	Agregado Fino		Agua Potable	Total cemento:arena
Características	Tipo I	Natural	Artificial		
Proporciones de sólidos en volumen	1	3		a/c	4
		2.55	0.45	0.65	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	25	75		0	100
		85	15		
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (gr)	675	1721.25	303.75	438.75	2700
Cantidad total del material en gramos (gr)					3138.75

Tabla 31: Dosificación 1:3 con 30% de mármol molido, para 2700g.

Mármol		30%			
Material	Cemento	Agregado Fino		Agua Potable	Total cemento:arena
Características	Tipo I	Natural	Artificial		
Proporciones de sólidos en volumen	1	3		a/c	4
		2.1	0.9	0.65	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	25	75		0	100
		70	30		
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (gr)	675	1417.5	607.5	438.75	2700
Cantidad total del material en gramos (gr)					3138.75

Tabla 32: Dosificación 1:3 con 45% de mármol molido, para 2700g.

Mármol		45%			
Material	Cemento	Agregado Fino		Agua Potable	Total
Características	Tipo I	Natural	Artificial		cemento:arena
Proporciones de sólidos en volumen	1	3		a/c	4
		1.65	1.35	0.65	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	25	75		0	100
		55	45		
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (gr)	675	1113.75	911.25	438.75	2700
Cantidad total del material en gramos (gr)					3138.75

Tabla 33: Dosificación 1:3 con 60% de mármol molido, para 2700g.

Mármol		60%			
Material	Cemento	Agregado Fino		Agua Potable	Total
Características	Tipo I	Natural	Artificial		cemento:arena
Proporciones de sólidos en volumen	1	3		a/c	4
		1.2	1.8	0.65	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	25	75		0	100
		40	60		
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (gr)	675	810	1215	438.75	2700
Cantidad total del material en gramos (gr)					3138.75

Tabla 34: Dosificación 1:3 con 75% de mármol molido, para 2700g.

Mármol		75%			
Material	Cemento	Agregado Fino		Agua Potable	Total
Características	Tipo I	Natural	Artificial		cemento:arena
Proporciones de sólidos en volumen	1	3		a/c	4
		0.75	2.25	0.65	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	25	75		0	100
		25	75		
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (gr)	675	506.25	1518.75	438.75	2700
Cantidad total del material en gramos (gr)					3138.75

Tabla 35: Dosificación 1:3 con 90% de mármol molido, para 2700g.

Material	Mármol		90%		Agua Potable	Total cemento:arena
	Cemento	Agregado Fino				
Características	Tipo I	Natural	Artificial			
Proporciones de sólidos en volumen	1	3			a/c	4
		0.3	2.7		0.65	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	25	75			0	100
		10	90			
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (gr)	675	202.5	1822.5		438.75	2700
Cantidad total del material en gramos (gr)						3138.75

E. Mezcla, conformación, codificación y curado ASTM C-31

Mezcla del mortero

- ✓ Los materiales que se emplearon para realizar la mezcla de mortero fueron: arena, mármol molido, agua y cemento.
- ✓ Las herramientas usadas fueron: una balanza con una capacidad de 10Kg de sensibilidad de 0.1 g, un cucharón, una espátula de hoja de acero y un recipiente de plástico.
- ✓ Las mezclas de mortero se realizaron para 2700 g en función de los materiales sólidos.
- ✓ Para el desarrollo, se tomó los componentes sólidos como la arena, cemento y mármol molido según los diseños de mezcla establecidos y se vertió en el molde de plástico, realizando el mezclado y homogenizando dichos componentes, esta operación se efectuó en un lapso de 30 a 60 segundos.
- ✓ Luego se incorporó la porción líquida paulatinamente logrando que la mezcla se homogenice al máximo, esta operación duró entre 3 a 5 minutos.

Conformación de probetas

- ✓ Se realizó la elaboración de las probetas de mortero según el tipo de ensayo.
- ✓ Los materiales que se emplearon fueron: grasa lubricante, papel toalla, bolsas plásticas y la mezcla de mortero.
- ✓ Las herramientas utilizadas fueron: un molde de madera de 10 compartimientos de 5 cm x 5 cm x 5 cm barnizado, un apisonador de madera barnizado de 10 cm, con 7.5 cm de forma cilíndrica de diámetro de 1.5 cm y 2.5 cm de forma cúbica de 2.5 cm x 2.5 cm x 2.5 cm, una espátula de hoja de acero y un cucharón; para los ensayos de compresión y densidad mientras que para el ensayo de reactividad se utilizaron moldes de las dimensiones 28.5 cm x 2.5 cm x 2.5 cm.

- ✓ Se realizó el engrasado al molde de madera, después se colocó la mezcla de mortero en tres capas y se prosiguió a realizar el apisonamiento, cada capa fue compactada 25 veces según la norma ASTM C109.
- ✓ Luego se enrasó con la espátula los moldes de madera, para obtener una superficie uniforme y se encapsulo con una bolsa plástica en un ambiente bajo techo.
- ✓ Después de 24 horas se desmoldó el molde de madera y se retiró los especímenes de mortero.

Codificación

- ✓ Después de desmoldar, se prosiguió a codificar en forma aleatoria de acuerdo a cada diseño de mezcla, con un lápiz corrector y se realizó la toma de sus medidas con un vernier.

Curado

- ✓ Los especímenes de mortero se colocaron en una poza de curado de hidróxido de calcio durante 3, 7 y 28 días, según la ASTM C192 a una temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

F. Ensayos para evaluar las propiedades del mortero

F.1. Ensayo de reactividad ASTM C1260

- ✓ Se pesó los materiales a utilizar en el mortero.
- ✓ Luego se pasó a mezclar los materiales manualmente debido a que se trabajó con mezclas menores a 0.007 m^3 .
- ✓ El mezclado se realizó de la siguiente manera: El cemento se combinó con el agregado fino, luego se adicionó el mármol.
- ✓ Seguidamente se conformaron 21 probetas de $28.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm} \times 2.5 \text{ cm}$, en tres capas varilladas con 25 golpes.
- ✓ Se retiró los moldes a las 24 horas después de moldeados, luego se procedieron a curar por 7 días en un recipiente de agua con cal.
- ✓ Después se procedió a tomar medidas de todas las probetas, inmediatamente se sumergieron a un recipiente con una solución de hidróxido de sodio en pelex (NaOH), bajo la norma ASTM C1260, la cual especifica que cada litro de solución deberá contener 40 g de NaOH disuelta en 900 ml de agua y debe ser diluida con agua destilada para obtener 1 L de solución.
- ✓ Por último, se dejó por 16 días al medio ambiente que posteriormente se volvió a tomar las medidas para obtener los datos finales.

Tabla 36: Ensayo de reactividad.

Mármol	Cód.	L. Inicial (mm)	L. Final (mm)	LF-LI (mm)	% Expansión	Promedio % Expansión
0%						
15%						
30%						
45 %						
60%						
75%						
90%						

F.2. Ensayo de densidad NTP 321.139 | ASTM C642

Elaboración y curado de especímenes de mortero en laboratorio NTP 339.183 (ASTM C192)

- ✓ Se pesó los materiales a utilizar en el mortero.
- ✓ Luego se pasó a mezclar los materiales manualmente debido a que se trabajó con mezclas menores a 0.007 m³.
- ✓ El mezclado se realizó de la siguiente manera: El cemento se combinó con el agregado fino, luego se adicionó el mármol.
- ✓ Seguidamente se conformaron 63 probetas de 5 cm x 5 cm x 5 cm, en tres capas varilladas con 25 golpes.
- ✓ Se retiró los moldes a las 24 horas después de moldeados. Luego se introdujeron en la posa de curado, por 3, 7 y 28 días para luego ser puestas en el horno y tomar sus pesos respectivos. La poza tenía agua potable a temperatura 23° C+2 °C incorporada con cal con una concentración de 1% a 2%.

Refrendado de testigos cúbicos de concreto NTP 339.037 (ASTM C617).

Consiste en la preparación y acondicionamiento de las probetas para luego ser ensayadas. Se refrendan con mortero de azufre para conseguir una distribución uniforme de la carga. El procedimiento que se siguió fue:

- ✓ El azufre se calentó en una olla a una temperatura de 130 C°.
- ✓ Se aplicó una capa delgada de aceite sobre el molde, con la finalidad de poder retirar la probeta del plato más fácilmente
- ✓ Se adicionó el azufre derretido en el molde e inmediatamente se colocó la probeta encima, esperamos unos segundos y se retiró la probeta del molde.
- ✓ Se verificó que las probetas estén niveladas y de no estarlo se volvieron a cabecear.
- ✓ Luego se dejó endurecer por 2 horas como se describe en la ASTM C617.
- ✓ En seguida se realizó el ensayo de densidad mediante el método de Arquímedes.

Determinación de Densidad

- ✓ Se retiró las probetas de la poza de curado a 3, 7 y 28 días.
- ✓ Se midió la masa aparente mientras estaban sumergidos bajo el agua (P_m).
- ✓ Luego se secó superficialmente, para luego determinar su peso saturado seco (P_{sss}).
- ✓ Luego se llevaron las probetas al horno y se dejaron por 72 horas, pasado ese tiempo se midió su masa seca (P_s).
- ✓ Finalmente se calculó la densidad seca, absorción y porosidad

Ecuación 10: Densidad en seco.

$$D = \frac{(P_s)}{(P_{sss} - P_m)}$$

Donde:

P_s = Peso seco de la muestra

P_{sss} = Peso de la muestra saturada y superficialmente seca

P_m = Peso sumergido de la muestra

Tabla 37: Ensayo de densidad.

Mármol	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso seco (g)	Densidad (Kg/m ³)	Promedio densidad (Kg/m ³)
0%	_____	_____	_____	_____	_____
15%	_____	_____	_____	_____	_____
30%	_____	_____	_____	_____	_____
45%	_____	_____	_____	_____	_____
60%	_____	_____	_____	_____	_____
75%	_____	_____	_____	_____	_____
90%	_____	_____	_____	_____	_____

F.3. Ensayo de compresión NTP 339.034 | ASTM C109

- ✓ Se realizó el mismo procedimiento del ensayo de densidad en cuanto a la elaboración, curado y refrendado de probetas cúbicas Se retiró las probetas de la poza de curado a 3, 7 y 28 días.
- ✓ Luego se midió el diámetro de la probeta con el micrómetro con la aproximación de 0,1mm, estas dimensiones se utilizaron para calcular el área de la sección. Se limpió las superficies planas superior e inferior de la máquina y también ambas bases de cada probeta.
- ✓ Luego se colocó la probeta centrada en la prensa y se aplicó la carga en forma continua a una velocidad de 0.90 KN/s.
- ✓ La resistencia a compresión se calculó mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 11: Área

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Donde:

D= Diámetro (mm)

Ecuación 12: Resistencia a la compresión.

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

Donde:

F= Fuerza (Kg.f)

A = Área. (mm²)

Tabla 38: Ensayo de resistencia a compresión.

Mármol	Dimensiones			Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)			
0%						
15%						
30%						
45%						
60%						
75%						
90%						

F.4. Ensayo de resistencia a pilas de prismas NTP 339.613

F.4.1. Ladrillo Lark King Kong 18 huecos (9x12.5x23) cm

Variación dimensional NTP 399.613

- ✓ Previamente se tomaron tres tomas de medidas de largo, tres tomas de medida de ancho y tres tomas de medida de alto para cada unidad de ladrillo, con una precisión de 0.01mm
- ✓ Luego se obtuvo la medida promedio de cada una de las dimensiones para cada unidad de ladrillo, previamente codificada.
- ✓ La diferencia entre la dimensión de fabricación y la medida promedio correspondiente se expresa en porcentajes, respecto a la dimensión con la siguiente ecuación:

Ecuación 13: Variación porcentual.

$$\text{Variación \%} = \frac{ME - MP}{ME} \times 100$$

Donde:

ME= Medida especificada por el fabricante (mm)

MP= Medida promedio (mm)

Tabla 39: Variación dimensional de ladrillo lark King Kong 18 huecos.

Dimensiones	Ladrillo King Kong 18 huecos por fabricante	Medidas tomadas	Promedio	% Variación
Largo (cm)		_____		

Ancho (cm)		_____		

Altura (cm)		_____		

Alabeo NTP 339.613

- ✓ Se colocó una regla metálica en cada una de las caras del ladrillo, de tal forma que esta vaya de una arista a otra opuesta diagonalmente.
- ✓ Luego se colocó las láminas graduadas metálicas en la zona central y en los lados extremos.
- ✓ Es necesario colocar las láminas graduadas metálicas en la zona central, cuando el ladrillo presente forma cóncava, mientras que cuando a los extremos se tiene una luz entre la regla y la unidad, la cara de la unidad ensayada tiene forma convexa.

Tabla 40: Alabeo.

Cód.	Concavidad			Convexidad		
	Cara sup. (mm)	Cara inf. (mm)	Prom. (mm)	Cara sup. (mm)	Cara inf. (mm)	Prom. (mm)
Lad-1						
Lad-2						
Lad-3						
	Prom. (mm)			Prom. (mm)		

Resistencia a la compresión NTP 399.613

- ✓ Para la realización de este ensayo se utilizaron tres unidades secas y limpias. A estas se les colocó, tanto en la parte superior como inferior una capa de yeso-agua, para uniformizar las superficies de contacto con el cabezal por donde se transmite la carga y la base donde se apoya el ladrillo, se las dejó reposar por 30 min.
- ✓ Se colocó el espécimen debajo del apoyo superior (bloque metálico endurecido).
- ✓ Se aplicó la carga, con la velocidad adecuada (0.9KN/s).
- ✓ Finalmente, se registró la máxima carga de rotura de cada unidad de albañilería.

Tabla 41: Resistencia a la compresión por unidad de ladrillo

Unidad	Fuerza (kn)	Resistencia (n/mm ²)	Resistencia (kg/m ²)
Lad-1			
Lad-2			
Lad-3			
Promedio			

Porcentaje de vacíos NTP 399.613

- ✓ Se registraron las medidas promedio de cada una de las dimensiones de las unidades de ladrillo, determinadas en el ensayo de dimensionamiento.
- ✓ Se colocó un plástico, sobre ella se pone el espécimen a ser ensayado, ubicándolo con los ejes de las perforaciones.
- ✓ Se rellenaron las perforaciones con arena fina dejándolas caer de forma natural. No se debe forzar la presencia de este elemento en los núcleos. Con la ayuda de una regla metálica se niveló la arena en las perforaciones.
- ✓ Con la escobilla, se removió todo exceso de arena de la parte superior del espécimen y de la hoja de papel.
- ✓ Se levantó el espécimen posibilitando que la arena de las perforaciones caiga sobre el plástico.
- ✓ Se transfirió la arena del plástico a una probeta de 1000ml y se anotó el volumen, con la siguiente ecuación se calculó el % de vacíos:

Ecuación 14: % de vacíos.

$$\text{Vacíos \%} = \frac{\text{Volumen total de la arena}}{\text{Volumen de la unidad}} \times 100$$

Tabla 42: Porcentaje de vacíos

Cód.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Volumen de ladrillo (cm ³)	Volumen de arena (ml)	% de Vacíos
Lad-1						
Lad-2						
Lad-3						
Promedio						

F.4.2. Ensayo de compresión axial de pilas de albañilería

- ✓ Previamente se realizaron ensayos a las unidades de ladrillos que se utilizaron.
- ✓ Se pesó los materiales a utilizar en el mortero.
- ✓ Luego se pasó a mezclar los materiales manualmente debido a que se trabajó con mezclas menores a 0.007 m³.
- ✓ El mezclado se realizó de la siguiente manera: El cemento se combinó con el agregado fino, luego se adicionó el mármol, así sucesivamente con los diferentes porcentajes de mármol.

- ✓ Antes del asentado, las unidades fueron seleccionadas eliminando aquellas que presentaban fisuras, para posteriormente limpiarlas. En todos los casos, las juntas horizontales de mortero cubrieron toda la superficie de asentado de la unidad. Y tuvieron un grosor nominal de 2.5 cm.
- ✓ Luego de que las 21 pilas cumplieren 28 días de edad, fueron ensayadas a compresión axial a una velocidad de carga de 4 ton/min.
- ✓ Previamente, se aplicó un capping de yeso-cemento, de unos 3 mm de espesor, en las caras en contacto con los cabezales de ensayo.
- ✓ Por último, se envuelven con un plástico térmico, para luego ser ensayados.

Tabla 43: Ensayo de resistencia a pilas.

Mármol	Compresión (Kg/cm ²)	Compresión (Kg/cm ²)
0%	_____	_____
15%	_____	_____
30%	_____	_____
45%	_____	_____
60%	_____	_____
75%	_____	_____
90%	_____	_____

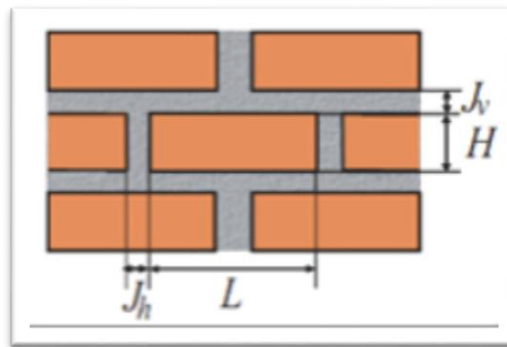
G. PROCEDIMIENTOS BÁSICOS PARA EL APORTE DE MATERIALES

A continuación, se presenta la forma de calcular las cantidades de los principales materiales que se usarán en la construcción de la vivienda:

G.1. Cálculo de la cantidad de ladrillos para muros

Para calcular la cantidad de ladrillos que se necesitan por m² de muro, se puede emplear la siguiente ecuación:

Figura 11: Muro (m²). (Aceros Arequipa, 2017)



Ecuación 15: Cantidad de ladrillos para muros.

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

Datos:

CL= Cantidad de ladrillos (m²)

L= Longitud de ladrillo (m)

J_h= Espesor junta horizontal (m)

H= Altura del ladrillo (m)

J_v= Espesor junta vertical (m)

Las cantidades obtenidas no consideran desperdicio (rotura de ladrillos) por lo que se debe aumentar a esta cantidad obtenida un 5%.

En el siguiente cuadro, se muestra un resumen con las cantidades de ladrillo por m² de muro:

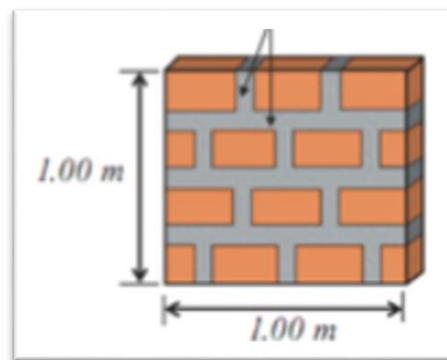
Tabla 44: Cantidad de ladrillos por m² de muro. (Aceros Arequipa, 2017)

Tipo de ladrillo	Dimensiones (cm)	Espesor junta (cm)	Cantidad		Cantidad (5% desperdicio)	
			Cabeza	Soga	Cabeza	Soga
King kong	9x13x24	1	72	40	76	42
King kong	9x13x24	1.5	66	38	69	40
Pandereta	9x13x24	1	77	40	81	42
Pandereta	9x13x24	1.5	71	38	75	40

G.2. Cálculo de la cantidad de mortero, de cemento y de arena gruesa por m²

Para calcular la cantidad de mortero que entra por m² de muro, se debe usar la siguiente ecuación:

Figura 12: Volumen de mortero por m² de muro. (Acero Arequipa, 2017)



Ecuación 16: Cantidad de mortero.

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

Datos:

V_{mo} = Volumen de mortero. (m³/m²)

V_{mu} = Volumen de muro. (m³/m²)

V_{la} = Volumen de ladrillos. (m³/m²)

Por ejemplo, si se quiere calcular la cantidad de mortero que se empleará en el asentado de soga de ladrillo king kong (9x13x24) por m² de muro con 1.5 cm. de junta horizontal y vertical, se tendrá lo siguiente:

Espesor del muro

1 m²

Cantidad de ladrillos sin desperdicio
Volumen del ladrillo

$$V_{mo} = 1 \times 1 \times 0.13 - 38 \times 0.09 \times 0.13 \times 0.24 = 0.023 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

V_{mu} **V_{la}**

Con esta fórmula obtenemos la cantidad de m³ de mortero por cada m² de muro, pero como adicionalmente se sabe que 1 m³ de mortero de proporción 1:5 consume 7.5 bolsas de cemento y 1.05 m³ de arena gruesa, entonces por simple multiplicación, podremos conocer la cantidad de cemento y arena por m² de muro.

La siguiente tabla muestra la cantidad de mortero, cemento y arena gruesa para un m² de muro con los ladrillos comúnmente usados:

Tabla 45: Cantidad de mortero, cemento y arena gruesa por m² de muro. (Aceros Arequipa, 2017)

Tipo de ladrillo	Dimensiones (cm)	Espesor junta (cm)	Cantidad de mortero (m ³ /m ²)		Cemento (m ³ /m ²)		Arena gruesa (m ³ /m ²)	
			Cabeza	Soga	Cabeza	Soga	Cabeza	Soga
King kong	9x13x24	1	0.038	0.018	0.3	0.1	0.04	0.02
King kong	9x13x24	1.5	0.055	0.023	0.4	0.2	0.06	0.02
Pandereta	9x13x24	1	0.040	0.016	0.3	0.1	0.04	0.02
Pandereta	9x13x24	1.5	0.056	0.022	0.4	0.2	0.06	0.02

El desperdicio de mortero en muros con ladrillos huecos es muy alto, pudiendo ser más del doble de las cantidades calculadas, debido a que el mortero ingresa en los huecos de los ladrillos.

3.7. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

3.7.1. Método de análisis de datos

El análisis estadístico de datos se realizará con método de inferencia estadística, ya que, a partir de la información obtenida por muestra, permite inducir el comportamiento de la población específica con una margen de error medible en probabilidad.

3.7.2. Instrumento de análisis de datos

El instrumento que se utilizará es el método de Analysis of Variance (ANOVA) que permitirá identificar las diferencias entre poblaciones de muestras independientes. Para ello, se realizará la prueba de Shapiro-Wilk, para comprobar si se cumple con el criterio de normalidad.

Para el análisis de datos se usará el software Statistical package for the social sciences (SPSS).

Para la prueba se considerarán como hipótesis:

- **Hipótesis nula (H_0):** Es una afirmación tentativa que se realiza acerca del valor de un parámetro poblacional.
- **Hipótesis alterna (H_1):** Es una afirmación contraria a la presentada en la hipótesis nula.

3.7.3. Procedimiento de análisis de datos

A. Datos previos

A.1. Grados de Libertad

- Grados de libertad de la variable mármol (A)
G.L= $k-1$
- Grados de libertad del error
G.L= $N-k$

Donde:

k = Número de niveles de la variable (A)

N = Número de total de muestras.

A.2. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con $\alpha=0.05$ como nivel de confianza (95%), debido a que es un nivel de confianza habitual en investigaciones experimentales, y es un compromiso entre formular premisas con la probabilidad de acertar.

A.3. Criterio de rechazo

La hipótesis alterna H_1 se acepta si $F_0 > F_{\alpha,((a-1),(n-1))}$

- F_0 se obtiene experimentalmente.
- $F_0 > F_{\alpha,((a-1),(n-1))}$, se obtiene mediante tablas estadísticas. (Ver Anexo 3)

Donde:

n = Número de niveles.

r = Número de réplicas.

A.4. Intervalos de Confianza

$$\mu = \bar{X} \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

n = Número de niveles.

σ = Desviación estándar.

\bar{X} =Promedio.

t = t-student

B. Análisis de varianza

B.1. Parámetros del modelo

- Suma de cuadrados totales.

$$SCT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{N}$$

- Suma de cuadrados de tratamientos

$$SC_{TRAT.} = \sum_{i=1}^b \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y^2}{N}$$

- Suma de cuadrados del error

$$SC_E = SCT - SC_{TRAT.}$$

- Suma de cuadrados medios

$$CM_{TRAT.} = \frac{SC_{TRAT.}}{k - 1}$$

$$CM_{E.} = \frac{SC_{E.}}{N - k}$$

B.2. Análisis de varianza

Tabla 46: Tabla de Análisis de varianza. (Montgomery, 2006)

FV	SC	GL	CM	F ₀	Valor-p
Tratamientos	$SC_{TRAT.} = \sum_{i=1}^b \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y^2}{N}$	k-1	$CM_{TRAT.} = \frac{SC_{TRAT.}}{k - 1}$	$F = \frac{CM_{TRAT.}}{CM_{E.}}$	P(F > F ₀)
Error	$SC_E = SCT - SC_{TRAT.}$	N-k	$CM_{E.} = \frac{SC_{E.}}{N - k}$		
Total	$SCT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{N}$	N-1			

Si $F = \frac{CM_{TRAT.}}{CM_{E.}} > F_{\alpha (k-1, N-k)}$, se rechaza H₀.

Se demuestra que los valores esperados de los cuadrados medios están dados por:

$$E(CM_{E.}) = \sigma^2 \quad \text{y} \quad E(CM_{TRAT.}) = \sigma^2 + \frac{\sum_{i=1}^k (n_i) r_i^2}{k-1}$$

En estas expresiones se aprecia que cuando la hipótesis nula es verdadera, ambos cuadrados medios estiman la varianza σ^2 , ya que el segundo término de la expresión para el $E(CM_{TRAT.})$ sería igual a cero.

C. Medidas de tendencia central

C.1. Media aritmética

Es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos (Promedio).

Se suma todos los datos de cada ensayo por dosificación, así como lo indica la fórmula siguiente:

Ecuación 17: Media aritmética.

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n}$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética.

Σ = Sumatoria.

x_i = Observación de la muestra.

n = Tamaño de la muestra.

C.2. Varianza

Es una medida de dispersión que mide la diferencia promedio que hay entre cada uno de los valores respecto a su punto central (Media).

Para determinar la varianza de nuestros ensayos, se reemplaza los datos hallados de cada dosificación en la siguiente fórmula:

Ecuación 18: Varianza.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Donde:

σ^2 = Varianza

Σ = Sumatoria.

\bar{x} = Media aritmética.

x_i = Observación de la muestra.

n = Tamaño de la muestra.

C.3. Desviación estándar

Es una medida de dispersión de variables, muy usada en trabajos de investigación. La desviación estándar nos da como resultado un valor numérico que representa el promedio de diferencia que hay entre los datos y la media. Para calcular la desviación estándar es necesario sacar la raíz a la varianza.

Los datos de la varianza de cada ensayo se reemplazan en la fórmula siguiente para determinar la desviación estándar:

Ecuación 19: Desviación estándar.

$$DS = \sqrt{\sigma^2}$$

Dónde:

σ^2 = Varianza

C.4. Coeficiente de variación

Es una medida de dispersión que describe la cantidad de variabilidad en relación con la media. El coeficiente de variación no se basa en unidades, se utiliza en lugar de la desviación estándar como en la ASTM C39, para comparar la dispersión de los conjuntos de datos que tienen diferentes unidades o diferentes medias, se representa en porcentaje.

El dato de la desviación estándar hallado anteriormente es dividido por la media aritmética y multiplicado por 100 como lo indica la fórmula siguiente:

Ecuación 20: Coeficiente de variación

$$CV = \frac{DS}{\bar{x}} \times 100$$

Donde:

DS = Desviación estándar
 \bar{x} = Media Aritmética.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de la materia prima

4.1.1. Agregado fino

Propiedades físicas y químicas

Tabla 47: Características del agregado fino.

Ensayo Norma	Resultado	Rango	Bibliografía / Autor
Granulometría Módulo de Finura NTP 400.012 / ASTM C136	2.4	Ver Tabla N° 21 2.3 - 3.1	
Humedad NTP 339.185/ ASTM C566	0.9	-	
Peso unitario suelto (kg/m ³) NTP 400.017 / ASTM C29	1660	1500– 1800	Huamán (2015)
Peso unitario compactado (kg/m ³) NTP 400.017 / ASTM C29	1740	1600 – 1900	México (2015) Pasquel (2000)
Peso específico (g/cm ³) NTP 400.022 / ASTM C128	2.6	2.6 – 3.0	
Absorción (%) NTP 400.022 / ASTM C128	2.7	0.2 – 5.0	
Requisitos Químicos			
Ph NTP 339.088	7,9	5,0 – 8,0	
Conductividad (uS/cm) NTP 339.088	381	< 1500	

Análisis Granulométrico

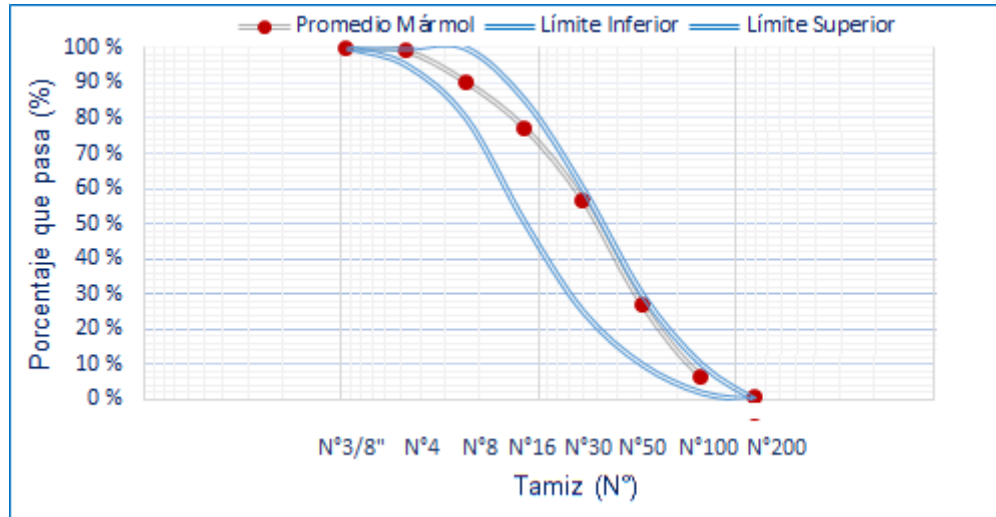


Figura 13: Curva granulométrica del agregado grueso.

El agregado fino está compuesto por:

- ✓ % Grano grueso (N°4 a N°8): 10
- ✓ % Grano medio (N°16 a N°30): 33
- ✓ % Grano fino (N°50 a N°200): 56
- ✓ % Grano limo - arcilloso (< N°200): 1

4.1.2. Agua

Tabla 48: Requisitos químicos del agua.

Ensayo Norma	Resultado	Rango
Ph ASTM C-1602	6,0	5,0 – 8,0
Conductividad (uS/cm) NTP 400.043	1421	< 1500

4.1.3. Mármol

Propiedades físicas y químicas

Tabla 49: Características del mármol.

Ensayo	Resultado	Bibliografía / Autor
Análisis Granulométrico		
Módulo de Finura	2.5	
Contenido de humedad	0.3	
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1760	
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1850	Villarroel (2017)
Peso específico (g/cm ³)	2.7	
Absorción (%)	1.3	
Requisitos Químicos		
Ph	8.20	
Conductividad (uS/cm)	179	

Análisis Granulométrico

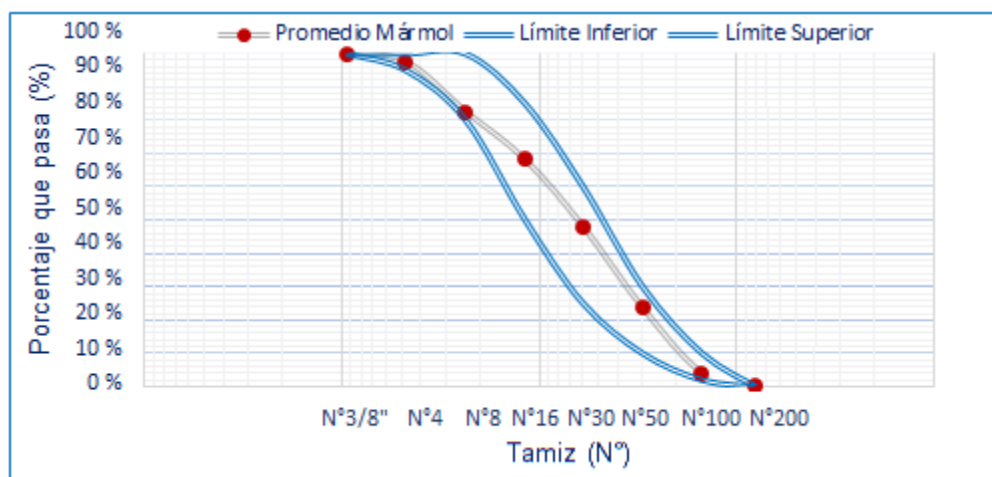


Figura 14: Curva granulométrica del mármol.

Análisis DRX

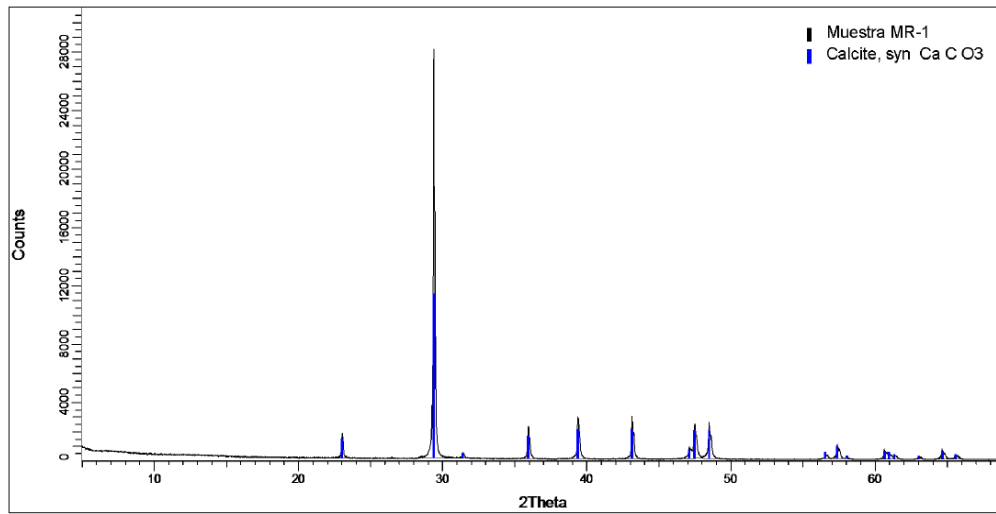


Figura 15: Análisis de difracción de rayos X

- ✓ La composición del mármol, que está compuesto por 100% de Calcita o también llamado carbonato de calcio (CaCO_3) de alta pureza en el mercado local.

4.2. Ensayos realizados

4.2.1. Reactividad

Tabla 50: Reactividad.

Mármol	Probetas	% Expansión	Promedio % Expansión
0%	1	4.28	4.18
	2	4.11	
	3	4.14	
15%	4	3.82	3.60
	5	3.33	
	6	3.65	
30%	7	2.81	2.84
	8	2.95	
	9	2.77	
45%	10	2.49	2.40
	11	2.39	
	12	2.32	
60%	13	1.79	1.85
	14	1.86	
	15	1.89	
75%	16	1.51	1.59
	17	1.65	
	18	1.61	
90%	19	1.16	0.94
	20	0.84	
	21	0.81	

4.2.2.Densidad

Tabla 51: Densidad en seco del mortero a 3 días, 7 días y 28 días.

%	3 días			7 días			28 días		
	Cód.	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)	Cód.	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)	Cód.	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
0%	D1	1911.3	1914	D22	1948.89	1963	D43	1996.82	1983
	D2	1907.5		D23	1985.62		D44	1976.71	
	D3	1924.3		D24	1953.31		D45	1975.55	
15%	D4	1904.5	1915	D25	1983.89	2003	D46	2017.68	2005
	D5	1917.0		D26	2007.82		D47	2001.32	
	D6	1922.8		D27	2017.73		D48	1997.45	
30%	D7	1945.6	1951	D28	1990.10	1997	D49	2032.85	2034
	D8	1947.6		D29	1979.15		D50	2002.65	
	D9	1959.5		D30	2021.67		D51	2067.53	
45%	D10	1954.6	1958	D31	1984.56	2007	D52	2041.69	2041
	D11	1953.4		D32	2017.98		D53	2054.87	
	D12	1967.0		D33	2017.19		D54	2026.42	
60%	D13	1989.1	1984	D34	2060.21	2050	D55	2019.92	2055
	D14	1981.1		D35	2051.30		D56	2085.34	
	D15	1980.7		D36	2038.35		D57	2060.27	
75%	D16	1994.0	1993	D37	2022.69	2060	D58	2112.81	2082
	D17	1993.2		D38	2044.97		D59	2054.79	
	D18	1990.6		D39	2110.98		D60	2077.99	
90%	D19	2030.3	2018	D40	2076.56	2088	D61	2088.98	2096
	D20	2014.3		D41	2106.49		D62	2104.67	
	D21	2010.3		D42	2080.68		D63	2095.16	

Tabla 52: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 3, 7 y 28 días.

Días	%	Densidad promedio (kg/m ³)	Varianza (kg/m ³) ²	Desviación estándar (kg/m ³)
3 Días	0%	1914	78.06	8.84
	15%	1915	87.41	9.35
	30%	1951	55.96	7.48
	45%	1958	57.21	7.56
	60%	1984	22.41	4.73
	75%	1993	3.16	1.78
	90%	2018	111.65	10.57
7 Días	0%	1963	402.21	20.06
	15%	2003	302.64	17.40
	30%	2014	439.10	20.95
	45%	2030	427.52	20.68
	60%	2050	120.82	10.99
	75%	2060	331.08	18.20
	90%	2088	263.14	16.22
28 Días	0%	1983	143.03	11.96
	15%	2005	115.29	10.74
	30%	2034	426.97	20.66
	45%	2041	202.78	14.24
	60%	2055	516.06	22.72
	75%	2082	852.88	29.20
	90%	2096	682.28	26.12

4.2.3. Compresión

Tabla 53: Compresión de morteros a 3 días, 7 días y 28 días.

%	3 días			7 días			28 días		
	Cód.	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/m ²)	Cód.	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/m ²)	Cód.	Resistencia (kg/cm ²)	Promedio (kg/m ²)
0%	C1	217.43	219	C22	308.98	309	C43	366.61	368
	C2	221.17		C23	311.85		C44	364.79	
	C3	219.56		C24	307.14		C45	371.69	
15%	C4	256.67	255	C25	346.99	347	C46	399.30	404
	C5	254.82		C26	343.45		C47	404.59	
	C6	252.04		C27	349.90		C48	407.46	
30%	C7	273.42	271	C28	373.15	371	C49	440.58	442
	C8	269.59		C29	367.66		C50	439.88	
	C9	269.31		C30	373.33		C51	445.29	
45%	C10	304.08	303	C31	394.40	396	C52	473.28	474
	C11	302.83		C32	399.25		C53	471.47	
	C12	303.03		C33	393.48		C54	477.36	
60%	C13	380.50	383	C34	439.36	439	C55	491.67	490
	C14	385.30		C35	437.83		C56	491.58	
	C15	384.44		C36	440.76		C57	488.05	
75%	C16	393.17	394	C37	472.46	471	C58	525.59	528
	C17	392.69		C38	467.37		C59	526.46	
	C18	395.13		C39	473.66		C60	531.22	
90%	C19	407.07	409	C40	513.74	511	C61	569.73	568
	C20	409.10		C41	508.40		C62	565.44	
	C21	411.57		C42	511.90		C63	568.22	

Tabla 54: Media, variación, desviación estándar para compresión en seco a 3, 7 y 28 días.

Días	Mármol	Media (Kg/cm ²)	Varianza (kg/m ³) ²	Desviación Estándar (Kg/cm ²)	Coefficiente variación (Kg/cm ²) ASTM C39	Rango aceptable - tres resultados (kg/cm ²) ASTM C39
3 Días	0%	219	3.52	1.88	3.2	11.52
	15%	255	5.42	2.33		
	30%	271	5.28	2.3		
	45%	303	0.45	0.67		
	60%	383	6.55	2.56		
	75%	394	1.66	1.29		
	90%	409	5.09	2.26		
7 Días	0%	309	5.65	2.38	3.2	11.52
	15%	347	10.43	3.23		
	30%	371	10.39	3.22		
	45%	396	9.63	3.1		
	60%	439	2.16	1.47		
	75%	471	11.15	3.34		
	90%	511	7.34	2.71		
28 Días	0%	368	12.8	3.58	3.2	11.52
	15%	404	17.12	4.14		
	30%	442	8.65	2.94		
	45%	474	9.09	3.01		
	60%	490	4.27	2.07		
	75%	528	9.18	3.03		
	90%	568	4.74	2.18		

4.2.4. Resistencia a pilas

4.2.4.1. Ensayos a Ladrillo Lark King Kong 18 huecos

Tabla 55: Ensayos a ladrillo Lark King Kong 18 huecos

Cód.	Variación dimensional			Alabeo		Resistencia a la compresión de unidades (kg/m)	Porcentajes de vacíos		
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Cara sup.	Cara inf.		Volumen de ladrillo (cm)	Volumen de arena (ml)	% de vacío
01	22.8	12.4	9.0	0.9	1.4	115.4	2544.5	1245.0	48.9
02	23.0	12.0	9.0	1.1	0.6	153.0	2484.0	1250.0	50.3
03	23.0	12.2	9.0	0.8	1.0	127.7	2525.4	1270.0	50.3
Prom.	22.9	12.2	9.0	0.9	1.0	132.0	2518.0	1255.0	49.8

4.2.4.2. Ensayo de compresión axial de pilas de albañilería

Tabla 56: Resistencia a pilas a 28 días.

Mármol	Probetas	Compresión (Kg/cm ²)	Compresión (Kg/cm ²)
0%	1	115.63	118.05
	2	117.56	
	3	120.95	
15%	4	122.76	124.27
	5	126.64	
	6	123.42	
30%	7	134.62	134.23
	8	134.52	
	9	133.55	
45%	10	145.26	145.57
	11	146.50	
	12	144.96	
60%	13	156.34	155.65
	14	154.68	
	15	155.92	
75%	16	161.76	161.08
	17	159.89	
	18	161.60	
90%	19	166.31	166.68
	20	168.11	
	21	165.61	

4.3. Costos de producción del mármol

Los rendimientos se tomaron de acuerdo a proyectos que se realizaron en la ciudad de Trujillo, la mano de obra, equipos y materiales de acuerdo a la necesidad del trabajo que se realizaba y los precios de la revista Costos, como también cotizaciones.

Costo aproximado del mármol molido para 1m³

Tabla 57: Análisis de costos.

Partida 01: Transporte de los residuos del mármol					
Rendimiento	8.12	m ³ /día	Costo unitario por m ³	13.50	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Mano de Obra</u>					
Capataz	hh	0.1	0.0044	24.08	0.11
Operario	hh	2	0.0889	20.07	1.78
					1.89
<u>Equipos</u>					
Herramientas manuales	%MO		3	1.89	0.06
Cargador sobre llantas 125 HP 2.5 yd 3	hm	0.09	0.004	164.05	0.66
Camión volquete 8 m³	hm	1	0.0444	199.03	8.84
					9.55
Partido 2: Chancado y zarandeo del mármol					
Rendimiento	12.30	m ³ /día	Costo unitario por m ³	25.35	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Mano de Obra</u>					
Capataz	hh	0.1	0.0033	24.08	0.08
Oficial	hh	1	0.0333	16.47	0.55
Operario	hh	1	0.0333	20.07	0.67
Peón	hh	3	0.1	14.81	1.48
					2.78
<u>Equipos</u>					
Herramientas manuales	%MO		5	2.78	0.14
Chancadora cónica + zaranda 200 HP	hm	1	0.0333	250.42	8.34
Grupo electrógeno 230 HP 150KW	hm	1	0.0333	143.15	4.77
Cargador sobre llantas 125 HP 2.5 yd 3	hm	1	0.0333	164.05	5.46
					18.71
TOTAL					38.85

*Capeco.

4.4. Evaluación económica de las alternativas

Para la evaluación económica se comparará el costo de producir un m³ de arena con el costo de producir un m³ de mármol. El precio en el mercado de la arena gruesa es de S/. 49.90. (Ver

ANEXO 9) y del mármol (Tabla 49), dicha comparación del precio se muestra en la siguiente figura:

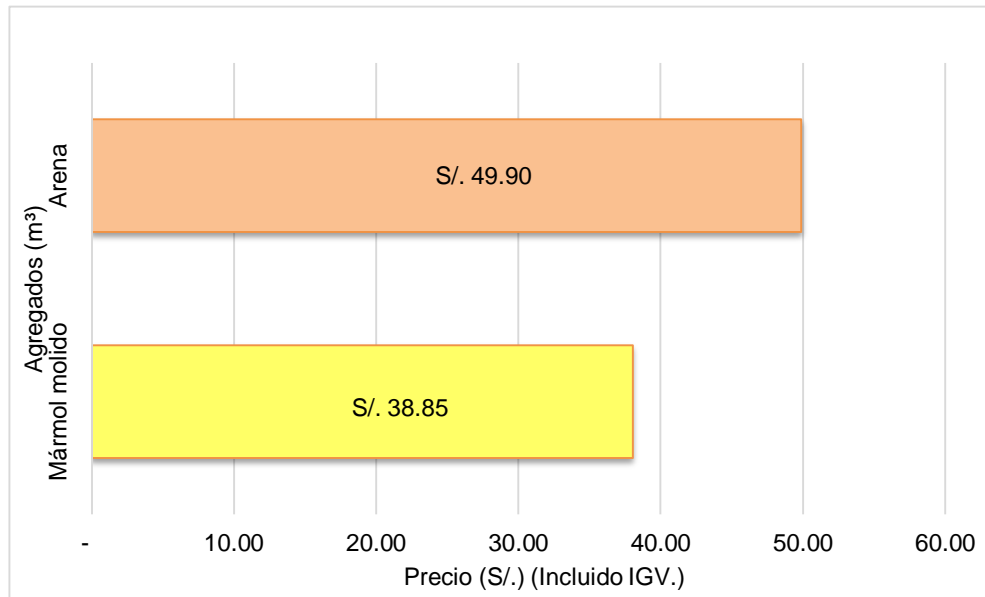


Figura 16: Comparación del precio de la arena y el mármol molido para un m³.

Como se puede apreciar en la figura 18, el precio para m³ de arena es superior al precio para un m³ de mármol molido en S/. 11.05, la utilización del mármol molido permite una reducción de costos por cada m³ del 22.14%.

4.5. Análisis de datos

4.5.1. Reactividad

Para la prueba se considerará como hipótesis:

- **Hipótesis alterna (H₁):** La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, disminuirá la reactividad.
- **Hipótesis nula (H₀):** La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, no influye en la propiedad de reactividad.

Tabla 58: Intervalos de confianza de reactividad.

Mármol	Intervalo de confianza		Promedio
0%	Límite inferior	3.95	4.18
	Límite superior	4.4	
15%	Límite inferior	2.98	3.60
	Límite superior	4.22	
30%	Límite inferior	2.61	2.84
	Límite superior	3.08	
45%	Límite inferior	2.19	2.40
	Límite superior	2.61	
60%	Límite inferior	1.72	1.85
	Límite superior	1.97	
75%	Límite inferior	1.41	1.59
	Límite superior	1.77	
90%	Límite inferior	0.45	0.94
	Límite superior	1.42	

Tabla 59: Normalidad datos de reactividad.

Mármol	Shapiro-Wilk	
	gl	Norm.
0%	3	.317
15%	3	.666
30%	3	.407
45%	3	.806
60%	3	.567
75%	3	.537
90%	3	.148

Tabla 60: Estimación de Y_i para los datos de reactividad.

Mármol	1	2	3	y_i
0%	4.28	4.11	4.14	12.53
15%	3.82	3.33	3.65	10.8
30%	2.81	2.95	2.77	8.53
45%	2.49	2.39	2.32	7.2
60%	1.79	1.86	1.89	5.54
75%	1.51	1.65	1.61	4.77
90%	1.16	0.84	0.81	2.81
Factor de corrección				52.18

Tabla 61: Análisis de varianza de reactividad.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Tratamiento	23.54	6	3.92	208.31	2.85
% de mármol	0.26	14	0.02		
Total	23.80	20			

4.5.2. Densidad

Para la prueba se considerará como hipótesis:

- **Hipótesis alterna (H_1):** La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, aumentará la densidad.
- **Hipótesis nula (H_0):** La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, no influye en la propiedad de densidad.

Tabla 62: Intervalos de confianza de densidad.

Mármol	Intervalo de confianza		Promedio
0%	Límite inferior	1,953.32	1983
	Límite superior	2,012.74	
15%	Límite inferior	1,978.81	2005
	Límite superior	2,032.16	
30%	Límite inferior	1,953.69	2034
	Límite superior	2,114.99	
45%	Límite inferior	2,005.62	2041
	Límite superior	2,076.36	
60%	Límite inferior	1,973.19	2055
	Límite superior	2,137.17	
75%	Límite inferior	2,009.32	2082
	Límite superior	2,154.41	
90%	Límite inferior	2,076.64	2096
	Límite superior	2,115.90	

Tabla 63: Normalidad datos de densidad.

Mármol	Shapiro-Wilk	
	gl	Norm.
0%	3	.093
15%	3	.346
30%	3	.924
45%	3	.919
60%	3	.744
75%	3	.780
90%	3	.767

Tabla 64: Estimación de Y_i para los datos de densidad.

Mármol	1	2	3	y_i
0%	2.00	1.98	1.98	5.96
15%	2.02	2.00	2.00	6.02
30%	2.03	2.00	2.07	6.10
45%	2.04	2.05	2.03	6.12
60%	2.02	2.09	2.06	6.17
75%	2.11	2.05	2.08	6.24
90%	2.09	2.10	2.10	6.29
Factor de corrección				42.90

Tabla 65: Análisis de varianza de densidad.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
% de mármol	0.027	6	0.005	8.59	2.85
Error	0.007	14	0.001		
Total	0.035	20			

4.5.3. Resistencia a compresión

Para la prueba se considerará como hipótesis:

- **Hipótesis alterna (H_1):** La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, aumentará la resistencia a compresión.
- **Hipótesis nula (H_0):** La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, no influye en la propiedad de resistencia a compresión.

Tabla 66: Intervalos de confianza de compresión.

Mármol	Intervalo de confianza		Promedio
0%	Límite inferior	358.81	368
	Límite superior	376.58	
15%	Límite inferior	393.50	404
	Límite superior	414.07	
30%	Límite inferior	434.61	442
	Límite superior	449.23	
45%	Límite inferior	466.54	474
	Límite superior	481.53	
60%	Límite inferior	485.30	490
	Límite superior	495.56	
75%	Límite inferior	520.23	528
	Límite superior	535.29	
90%	Límite inferior	562.39	568
	Límite superior	573.20	

Tabla 67: Normalidad datos de compresión.

Mármol	Shapiro-Wilk	
	gl	Norm.
0%	3	.491
15%	3	.676
30%	3	.228
45%	3	.582
60%	3	.063
75%	3	.275
90%	3	.677

Tabla 68: Estimación de Y_i para los datos de compresión.

Mármol	1	2	3	y_i
0%	366.61	364.79	371.69	1103.09
15%	399.30	404.59	407.46	1211.35
30%	440.58	439.88	445.29	1325.75
45%	473.28	471.47	477.36	1422.11
60%	491.67	491.58	488.05	1471.30
75%	525.59	526.46	531.22	1583.27
90%	569.73	565.44	568.22	1703.39
Factor de corrección				9820.26

Tabla 69: Análisis de varianza de compresión.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Mármol	86801.57	6	14466.93	1537.52	2.85
Error	131.73	14	9.41		
Total	86933.30	20			

4.5.4. Resistencia a pilas

Para la prueba se considerará como hipótesis:

- **Hipótesis alterna (H_1):** La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, aumentará la resistencia a pilas.
- **Hipótesis nula (H_0):** La sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, no influye en la propiedad de resistencia a pilas.

Tabla 70: Intervalos de confianza de resistencia a pilas.

Mármol	Intervalo de confianza		Promedio
0%	Límite inferior	111.36	118.05
	Límite superior	124.74	
15%	Límite inferior	119.12	124.27
	Límite superior	129.43	
30%	Límite inferior	132.76	134.23
	Límite superior	135.70	
45%	Límite inferior	143.55	145.57
	Límite superior	147.60	
60%	Límite inferior	153.50	155.65
	Límite superior	157.79	
75%	Límite inferior	158.51	161.08
	Límite superior	163.66	
90%	Límite inferior	163.47	166.68
	Límite superior	169.88	

Tabla 71: Normalidad datos de resistencia a pilas.

Mármol	Shapiro-Wilk	
	gl	Norm.
0%	3	.700
15%	3	.305
30%	3	.162
45%	3	.353
60%	3	.469
75%	3	.148
90%	3	.525

Tabla 72: Estimación de Y_i para los datos de resistencia a pilas.

Mármol	1	2	3	y_i
0%	115.63	117.56	120.95	354.14
15%	122.76	126.64	123.42	372.82
30%	134.62	134.52	133.55	402.70
45%	145.26	146.50	144.96	436.72
60%	156.34	154.68	155.92	466.94
75%	161.76	159.89	161.60	483.25
90%	166.31	168.11	165.61	500.03
Factor de corrección				3016.60

Tabla 73: Análisis de varianza de resistencia a pilas.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para F
Mármol	5353.97	6	892.33	121.55	2.85
Error	102.78	14	7.34		
Total	5456.75	20			

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

Dimensiones del ladrillo King Kong 18 huecos: 9 cm x 12.5 cm x 23 cm

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

Solución:

$$CL = \frac{1}{(0.23 + 0.015) \times (0.09 + 0.015)}$$

$$CL = 37 \text{ und.} + 5\% \text{ de desperdicios}$$

$$CL = 39 \text{ und.}$$

Cálculo de la cantidad de mortero de asentado (m^3) para un m^2 de muro de soga con junta de 1.5 cm de mortero:

Solución.

$$V_{mo} = 1 \times 1 \times 0.125 - 39 \times 0.09 \times 0.0125 \times 0.23$$

$$V_{mo} = 0.0244 \text{ m}^3/\text{m}^2.$$

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

La cantidad de materiales requeridos para la elaboración del mortero (cemento, arena, mármol molido y agua) de junta de 1.5 cm para un m^2 de muro de soga se disgregó de acuerdo a las cantidades de los materiales en porcentajes presentados en las tablas 66 a 72. La cantidad de bolsas de cemento requeridas para un m^3 se calculó de la siguiente manera:

Datos:

Dosificación c/a 1:3

1 Latas = 18 L

Peso específico de la arena suelta: 1738 kg/m^3

Peso específico de la arena suelta: 1738 kg/m^3

Solución:

Factor de esponjamiento: $1738 \text{ kg/m}^3 / 1738 \text{ kg/m}^3 = 1.05$

Arena: $(3 \times 18) / 1000 = 0.054 \text{ m}^3$

Cemento (bolsas) = $(1/0.054 \text{ m}^3) \times 1.05 = 19.45 \text{ bolsas}$

Costos aproximados de la incidencia del mortero con mármol molido en un m^2 de muro de soga con junta de 1.5 cm y ladrillo King Kong 18 huecos.

Tabla 74: Muro ladrillo de soga C:A 1:3 con 0% de mármol molido junta 1.5 cm

Rendimiento	7.50	²/día	Costo unitario por m²	77.06	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Mano de Obra</u>					
Capataz	hh	0.1	0.1067	24.08	2.57
Operario	hh	1	1.0667	20.07	21.41
Peón	hh	0.5	0.5333	14.81	7.90
					31.88
<u>Materiales</u>					
Arena gruesa	m ³		0.0192	42.29	0.81
Mármol molido	m ³		0	32.94	0.00
Cemento Port. Tipo I (42.5kg)	bls		0.4397	18.22	8.01
Ladrillo King Kong 18 huecos	mll		0.0410	526.21	21.57
Agua	m ³		0.0042	5.68	0.02
					30.42
<u>Equipos</u>					
Herramientas manuales	%MO		5	31.88	1.59
Madera andamiaje	pz.		0.403	3.5	1.41
					3.00

Tabla 75: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 15% de mármol molido junta 1.5 cm

Rendimiento	7.50	²/día	Costo unitario por m²	77.03	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Mano de Obra</u>					
Capataz	hh	0.1	0.1067	24.08	2.57
Operario	hh	1	1.0667	20.07	21.41
Peón	hh	0.5	0.5333	14.81	7.90
					31.88
<u>Materiales</u>					
Arena gruesa	m ³		0.0163	42.29	0.69
Mármol molido	m ³		0.0029	32.94	0.09
Cemento Port. Tipo I (42.5kg)	bls		0.4397	18.22	8.01
Ladrillo King Kong 18 huecos	mll		0.0410	526.21	21.57
Agua	m ³		0.0042	5.68	0.02
					30.39
<u>Equipos</u>					
Herramientas manuales	%MO		5	31.88	1.59
Madera andamiaje	pz.		0.403	3.5	1.41
					3.00

Tabla 76: Muro ladrillo huecos de soga. C:A 1:3 con 30 % de mármol molido junta 1.5

Rendimiento	7.50	2/día	Costo unitario por m²	76.99
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Parcial
<u>Mano de Obra</u>				
Capataz	hh	0.1	0.1067	24.08 2.57
Operario	hh	1	1.0667	20.07 21.41
Peón	hh	0.5	0.5333	14.81 7.90
				31.88
<u>Materiales</u>				
Arena gruesa	m ³		0.0134	42.29 0.57
Mármol molido	m ³		0.0058	32.94 0.19
Cemento Port. Tipo I (42.5kg)	bls		0.4397	18.22 8.01
Ladrillo King Kong 18 huecos	mll		0.0410	526.21 21.57
Agua	m ³		0.0042	5.68 0.02
				30.37
<u>Equipos</u>				
Herramientas manuales	%MO		5	31.88 1.59
Madera andamiaje	pz.		0.403	3.5 1.41
				3.00

Tabla 77: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 45 % de mármol molido junta 1.5 cm

Rendimiento	7.50	2/día	Costo unitario por m²	76.96
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio Parcial
<u>Mano de Obra</u>				
Capataz	hh	0.1	0.1067	24.08 2.57
Operario	hh	1	1.0667	20.07 21.41
Peón	hh	0.5	0.5333	14.81 7.90
				31.88
<u>Materiales</u>				
Arena gruesa	m ³		0.0106	42.29 0.45
Mármol molido	m ³		0.0086	32.94 0.28
Cemento Port. Tipo I (42.5kg)	bls		0.4397	18.22 8.01
Ladrillo King Kong 18 huecos	mll		0.0410	526.21 21.57
Agua	m ³		0.0042	5.68 0.02
				30.34
<u>Equipos</u>				
Herramientas manuales	%MO		5	31.88 1.59
Madera andamiaje	pz.		0.403	3.5 1.41
				3.00

Tabla 78: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 60 % de mármol molido junta 1.5 cm

Rendimiento	7.50	²/día	Costo unitario por m²	76.93	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Mano de Obra</u>					
Capataz	hh	0.1	0.1067	24.08	2.57
Operario	hh	1	1.0667	20.07	21.41
Peón	hh	0.5	0.5333	14.81	7.90
					31.88
<u>Materiales</u>					
Arena gruesa	m ³		0.0077	42.29	0.32
Mármol molido	m ³		0.0115	32.94	0.38
Cemento Port. Tipo I (42.5kg)	bls		0.4397	18.22	8.01
Ladrillo King Kong 18 huecos	mll		0.0410	526.21	21.57
Agua	m ³		0.0042	5.68	0.02
					30.31
<u>Equipos</u>					
Herramientas manuales	%MO		5	31.88	1.59
Madera andamiaje	pz.		0.403	3.5	1.41
					3.00

Tabla 79: Muro ladrillo de soga. C:A 1:3 con 75 % de mármol molido junta 1.5 cm

Rendimiento	7.50	²/día	Costo unitario por m²	76.90	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Mano de Obra</u>					
Capataz	hh	0.1	0.1067	24.08	2.57
Operario	hh	1	1.0667	20.07	21.41
Peón	hh	0.5	0.5333	14.81	7.90
					31.88
<u>Materiales</u>					
Arena gruesa	m ³		0.0048	42.29	0.20
Mármol molido	m ³		0.0144	32.94	0.47
Cemento Port. Tipo I (42.5kg)	bls		0.4397	18.22	8.01
Ladrillo King Kong 18 huecos	mll		0.0410	526.21	21.57
Agua	m ³		0.0042	5.68	0.02
					30.29
<u>Equipos</u>					
Herramientas manuales	%MO		5	31.88	1.59
Madera andamiaje	pz.		0.403	3.5	1.41
					3.00

Tabla 80: Muro ladrillo de saga. C:A 1:3 con 90 % de mármol molido junta 1.5 cm

Rendimiento	7.50	²/día	Costo unitario por m²	76.87	
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
<u>Mano de Obra</u>					
Capataz	hh	0.1	0.1067	24.08	2.57
Operario	hh	1	1.0667	20.07	21.41
Peón	hh	0.5	0.5333	14.81	7.90
					31.88
<u>Materiales</u>					
Arena gruesa	m ³		0.0019	42.29	0.08
Mármol molido	m ³		0.0173	32.94	0.57
Cemento Port. Tipo I (42.5kg)	bls		0.4397	18.22	8.01
Ladrillo King Kong 18 huecos	mll		0.0410	526.21	21.57
Agua	m ³		0.0042	5.68	0.02
					30.26
<u>Equipos</u>					
Herramientas manuales	%MO		5	31.88	1.59
Madera andamiaje	pz.		0.403	3.5	1.41
					3.00

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

Cada uno de los ensayos realizados, fue evaluado de acuerdo a los lineamientos que establecen las normas técnicas peruanas (NTP), la cual está basada en la norma de la sociedad americana de prueba de materiales (ASTM).

5.1. Caracterización de la materia prima

5.1.1. Agregado fino

En la tabla 73 se observa las principales propiedades físicas del agregado fino, las cuales son importantes para la elaboración del diseño de mezcla, del mismo modo se observa las propiedades del mármol. Los resultados obtenidos de la caracterización de ambos fueron evaluados según los rangos que establece la NTP 400.037 y así verificar si cumple con la calidad para ser considerado como agregado, como se muestra en la figura 19.

Tabla 81: Características de la arena y del mármol

Ensayo	Arena	Mármol
	Resultado	
Módulo de Finura	2.4	2.5
Contenido de humedad (%)	0.8	0.3
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1655	1757
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1738	1848
Peso específico (g/cm ³)	2.6	2.7
Absorción (%)	2.7	1.3

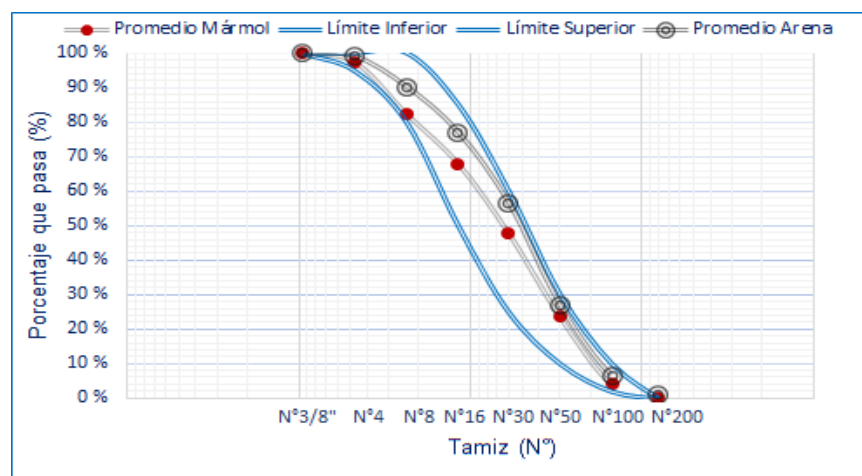


Figura 17: Curva granulométrica del agregado fino vs mármol.

El análisis granulométrico es una de las propiedades más importantes de los agregados, mostrándonos la graduación y los diferentes tamaños de las partículas que presenta la muestra, teniendo en cuenta que, si todas las partículas tuvieran un mismo tamaño, no habría un correcto acomodo entre granos ocasionando un aumento de la porosidad en y decadencia de la resistencia a compresión.

En la figura 17 se muestra una comparación de la curva granulométrica del agregado fino (arena gruesa) vs mármol, donde ambas muestras presentan un comportamiento similar debido a que poseen la misma composición granulométrica ya que se empleó el método de proporcionalidad. Ambos agregados se encuentran dentro de lo estipulado por la norma NTP 400.037.

El módulo de finura representa el tamaño medio del árido, mientras más pequeño sea, más fino es el agregado. Un módulo de finura muy pequeño significa una mayor área superficial y la adición de una mayor cantidad de agua en una mezcla de mortero. La norma NTP 400.012 recomienda que se encuentre comprendido entre 2.3 - 3.1. Se estima que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 y 2.8 producen morteros de buena trabajabilidad, reducida segregación; y las que se encuentran entre 2.8 y 3.1 son las más favorables para los morteros de alta resistencia.

Para este agregado el módulo de finura fue de 2.4 en cuanto a la arena y de 2.5 del mármol, según la Ingeniera Cinthia Huamán U. (2015) la cual cumple los requisitos de la norma E-070 Albañilería (artículo 6.2), ubicándose dentro de lo establecido y según la clasificación de arenas es una arena media (Módulo de finura entre 1.6 – 2.5). El mármol al tener un mayor módulo de finura tendrá un mejor desempeño en cuanto a las propiedades mecánicas, sabiendo que según la investigación de Huaman (2015), el mortero obtiene mejores resultados con arenas con un módulo de finura mayor.

Los áridos contienen materiales finos (menor a 75 μm) como limo y arcillas, que afectan la adherencia entre el árido y la pasta de cemento, perjudicando así al fraguado, adherencia y la adquisición de resistencia mecánica. La norma NTP 400.018 establece como límite máximo 3% de finos que pasen la malla 200; siendo para este agregado fino 0%. Es por ello, que el agregado utilizado en esta investigación es adecuado para la mezcla de mortero.

La norma NTP 339.185 no establece un límite para el contenido de humedad en los agregados, pero se recomienda que estos valores deben ser menores a los de la absorción. El agregado tiene contacto con el medio ambiente lo que le proporciona cierto grado humedad, el cual influye en la relación agua/cemento. El contenido de humedad de la arena y mármol son bajos, ambos materiales están expuestos ante

condiciones climatológicas que retienen cantidad de agua en sus poros. En la tabla 55 podemos observar que el porcentaje de humedad del agredo fino es de 0.8% y del mármol su porcentaje de humedad es de 0.3%.

Para la absorción el agregado fino es de 2.7% y del mármol de 1.3%. Polanco Rodríguez señala que el rango de absorción del agregado fino se debe encontrar entre 0.2%- 5.0%, los materiales están dentro de los parámetros que se recomienda. El mármol a diferencia de la arena es un material prensado que presenta una mínima existencia de poros en su estructura. (México, 2015). Es por ello que el mármol al presentar una menor porosidad en su estructura interna proporcionará una menor cantidad de vacíos a la mezcla de mortero viéndose reflejado en las propiedades mecánicas de este.

El peso específico sirve como indicador de calidad, teniendo en cuenta que a valores más elevados disminuye la absorción y porosidad, dando como resultados materiales con mejor comportamiento. El peso específico para este agregado fino fue de 2.6 g/cm^3 , dicho valor se encuentra en el rango de $2.5 \text{ g/cm}^3 - 2.75 \text{ g/cm}^3$, lo cual se recomienda para un agregado normal. Asimismo, Rivera L., divide en tres rangos el peso específico, ligero menor a 2.5 gr/cm^3 , normales de $2.5 \text{ g/cm}^3 - 2.75 \text{ g/cm}^3$ y pesados mayor a 2.75 g/cm^3 , con lo cual se obtuvo que el agregado fino se encuentra dentro del rango de los normales, al igual que el mármol que tiene un peso específico de 2.7 g/cm^3 , según Enrique Pasquel C. (2000). Con estos valores se demuestra que tanto la arena gruesa como el mármol son aptos para la elaboración de un mortero de asiento pudiendo obtener resistencias hasta para un uso estructural, sin embargo, el mármol al presentar un mayor peso específico puede influir más positivamente en el mortero, ya sea para sus propiedades físicas como mecánicas.

El peso unitario suelto y compactado nos permite convertir los pesos en volúmenes y viceversa. El primero trasciende más cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados; mientras que el segundo para el diseño de mezclas porque determina la densidad del material sometidas a una compactación durante el proceso de colocación del agregado. En la mayoría de los casos se recomienda que el PUS y PUCS sea de $1500 \text{ kg/m}^3 - 1800 \text{ kg/m}^3$ y $1600 \text{ kg/m}^3 - 1900 \text{ kg/m}^3$ respectivamente. El peso unitario suelto del agregado fino fue de 1655 kg/m^3 y su peso unitario compactado fue de 1738 kg/m^3 ; ambos valores se encuentran dentro de los rangos que se recomienda. Fernanda Carrasco, divide en tres rangos el peso unitario; mayor a 2000 kg/m^3 pesados, $1000 \text{ kg/m}^3 - 2000 \text{ kg/m}^3$ normales, por último, menor a 1000 kg/m^3 livianos, por lo tanto, podemos decir que el agregado utilizado se encuentra en el rango de los normales, además el mármol obtuvo un peso unitario suelto fue de

1757 kg/m³ y su peso unitario compactado fue de 1848 kg/m³, encontrándose también dentro del rango de los normales; esto quiere decir que la arena y mármol se acomodan de la mejor manera dentro del molde sin dejar muchos vacíos de aire, tanto en la masa unitaria suelta y compacta, debido que tiene una mejor distribución de partículas y esto en consecuencia da mejores resultados en cuanto a resistencia a compresión en el mortero.

Existen partículas contaminantes que se pueden encontrar en el agua y agregados, que en elevadas cantidades pueden inferir en las reacciones químicas de la hidratación del cemento. Es por ello que para determinar la cantidad de impurezas que presentan los agregados se debe realizar un análisis químico. La evaluación química del agregado fino y del mármol, se hizo en base a las propiedades del agua potable, 381 uS/cm y 179 μS/cm para la conductividad, respectivamente. La norma NTP 400.042 indica los límites máximos permisibles para el agua de amasado, hidratación y curado, cuyos valores deben ser menor a 1500 μS/cm para la conductividad, en el caso del agua que se utilizó para la investigación presentó un valor de 1421 μS/cm cumpliendo con la norma, mientras que la norma E.050 establece que si la conductividad es menor a 2dS/m se clasifica como un agregado normal, cumpliendo con esto. En la NTP 400.042 indica que el pH los agregados se encuentran en el rango de 5.0 – 8.0, para la investigación el valor del agregado fino fue de 8 y del mármol 8, por lo que la evaluación química muestra que el material es apto para ser utilizados como agregado fino en un diseño de mezcla sin ningún problema a futuro, obteniendo una buena durabilidad y así evitando problemas de expansión, sales y eflorescencia, al no contener sustancias que perjudiquen la mezcla de mortero.

Para la investigación se emplearon 15 piezas de mármol de distintos tamaños haciendo un total de un aproximado de 40 kg, se realizó una molienda con la Máquina Los Ángeles vía seca con 12 bolas de acero, se utilizó en 4 proporciones de 10 kg durante 45 minutos (1490 revoluciones), este proceso generó pérdidas en un 10%, por presentar un tamaño mayor a 4.75 mm en un 7.6% y menor a 0.08 mm en un 2.4%, como se muestra en la figura 20 donde se observa el porcentaje de peso retenido por cada tamiz, según la revista de construcción y tecnología, los agregados que tengan valores de pérdida por desgaste superiores a 35% o 40%, difícilmente se comportarán en forma adecuada en la mezcla por lo que presentan altas pérdidas, esto indica que se degradan fácilmente y resulta difícil mantener su granulometría intacta durante los procesos de manejo del material. El deterioro de los agregados está influenciado por la dureza, composición mineralógica, porosidad y textura superficial. Del mismo modo se observa que el mayor porcentaje de peso retenido se encuentra en la malla N° 100.

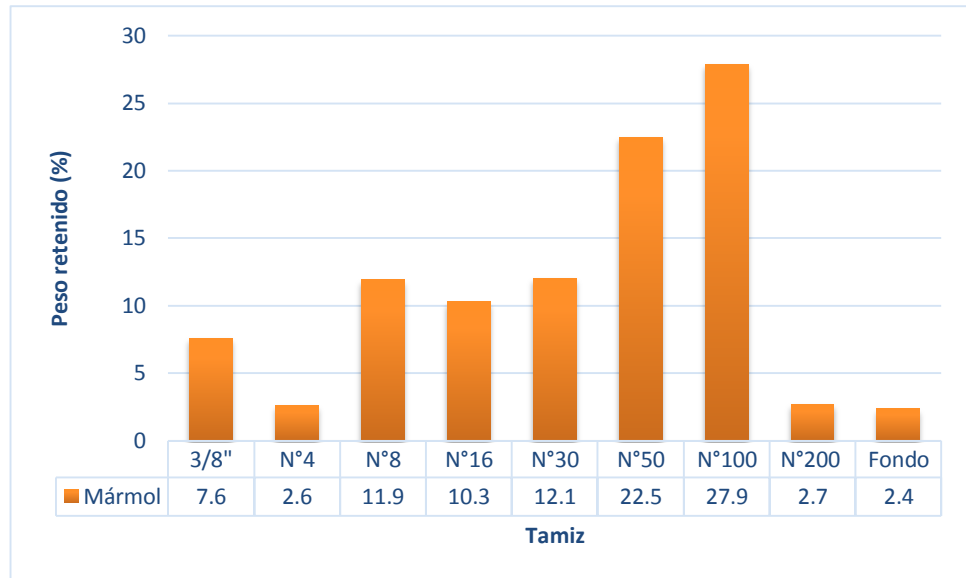


Figura 18: Porcentaje de peso retenido del mármol.

5.1.2. Cemento

El cemento Tipo I suministrado por Cementos Qhuna, es un cemento de uso general que se rige bajo la norma ASTM C150. En la tabla 74 se presenta las principales propiedades físicas del cemento Tipo I.

Tabla 82: Características físicas del cemento. (Qhuna, 2017)

Propiedades Físicas	Unidades	INVERCEM	Requisito NTP 334.009/ AST C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Superficie Especifica	cm ² /g	3540	Mínimo 2800
Expansión en autoclave	%	0.01	Máximo 0.80
Resistencia a compresión	kg/cm ²		
1 día		148	No especifica
3 días		272	Mínimo 120
7 días		347	Mínimo 190
28 días		492	Mínimo 280
Tiempo de Fraguado Vicat	mim		
Fraguado Inicial		121	Mínimo 45
Fraguado Final		270	Máximo 375

En la tabla 82 la superficie específica del cemento tipo I es mayor a lo establecido por la norma, por lo que se obtendrá como resultado un desarrollo más rápido de la resistencia y un calor de hidratación mayor debido a que la hidratación del cemento

comienza en la superficie de las partículas de cemento, cuanto más finas sean éstas, mayor será el área superficial y más rápido se producirá la hidratación del cemento repercutiendo en el incremento de la resistencia.

El cemento aporta una rápida ganancia de resistencia, pero su exceso origina una mayor rigidez a la mezcla. No es aconsejable morteros pobres en cemento por la baja resistencia que se produciría.

El cemento a emplearse de acuerdo a su uso general podía ser cemento Tipo I o cemento Tipo ICo. Se decidió utilizar cemento portland Qhuna Tipo I porque es un nuevo material en el mercado de la construcción y presenta una resistencia alta a 28 días en comparación al cemento Tipo ICo que su resistencia es media (368 Kg/cm²). (Durand, 2017)

El segundo motivo de la elección del cemento Qhuna Tipo I es porque no contiene alguna adición durante su proceso de fabricación, mientras que el Tipo ICo contiene adiciones procedentes de materiales calizos, hasta un 30% de peso y como se va a adicionar un material reciclado es favorable que el cemento no contenga adiciones, para así obtener mejores resultados, sabiendo que este cemento alcanza grandes resistencias a los 28 días.

5.1.3. Mármol

La granulometría se determinó que tenía que ser similar a la de la arena debido a que la reemplazará en distintos porcentajes. Por tanto, la utilización de un material reciclado que reemplace al agregado obtiene como resultado un menor costo de producción y al ser mármol el material reciclado una mayor resistencia a compresión.

Al tener similar tamaño de partículas que las de la arena promoverá la creación de poros en la mezcla de mortero, además al ser un material más resistente tendrá una influencia en la compresión. Sus otras propiedades físicas tales como el peso específico pueden variar de acuerdo a la estructura del mármol o su tipo. El mármol tiene un peso específico aproximado de entre los 2.4 gr/cm³ - 2.9 gr/cm³ lo cual hace que tengo un peso específico similar a los parámetros mínimos que recomiendan diversos autores para el peso específico del agregado fino (arena gruesa). Otro factor importante es que tiene un bajo contenido de humedad y absorción, por ello es que brindará un mortero trabajable ocasionando que sea de fácil manejabilidad en obra, ya que si el contenido de humedad es alto esto podría afectar el diseño de mezcla y lo que se requiere es evitar problemas de exudación o segregación. Además, el bajo

contenido de humedad se debe a que el mármol al ser un material compacto tiene menor cantidad de poros en su estructura interna lo cual lo hace un material resistente y con una mayor durabilidad.

El mármol es una roca metamórfica compactada formada a base de materiales calizos su componente principal es el carbonato cálcico cuyo contenido debe ser mayor que el 90%. El mármol al tener un grado de dureza alto entre 3 y 4 de dureza Mohs (casi comparado con el cobre), es capaz de soportar grandes cargas teniendo una resistencia a compresión de entre 600 kg/cm^2 – 1000 kg/cm^2 . (Marmolería Ganoa, 2014).

El ensayo de difracción con rayos X (DRX), se realizó para conocer la composición química y estructura interna del mármol. Este ensayo consiste en aplicar radiación X, este tipo de radiación se produce cuando una partícula de masa pequeña pero altamente energética (con una elevada energía cinética) incide en el mármol. La colisión produce una perturbación en la materia y parte de la energía se dedica a producir radiación X. El dispositivo con las perturbaciones verifica la composición del mármol y nos muestra en una gráfica llamada difractograma, como se muestra en la figura 17 se muestra la composición del mármol, que está compuesto por 100% de Calcita o también llamado carbonato de calcio (CaCO_3) de alta pureza en el mercado local para ser usado como sustitución del agregado fino, este componente generara una mezcla consistente con una óptima resistencia. La resistencia viene a ser la capacidad para soportar cargas.

Al tener un 100% carbonato de calcio (CaCO_3) en su composición podemos afirmar que el residuo de mármol mejorará las propiedades del mortero en cuanto a la resistencia, ya que al ser un material de alta dureza proporcionará un mejor desempeño en las propiedades mecánicas, además al tener un mayor peso específico disminuirá la cantidad poros, aumentando su densidad y disminuyendo su absorción.

5.1.4. Agua Potable

Para que un agua sea apta para un amasado y curado del concreto debe estar limpia y encontrarse libre de impurezas por debajo de determinados límites que indica la NTP 339.088 a fin de que no se produzcan alteraciones en la hidratación del cemento, retraso en su fraguado y endurecimiento, reducciones en sus resistencias, ni peligros en su durabilidad.

Para evaluar su calidad se realizó ensayos químicos de pH y conductividad según la norma NTP 339.088, obteniendo un valor de 6 para el PH encontrándose este valor dentro de los

límites permisibles (5.5-8). Además, presenta una conductividad de 1421 dS/cm la cual es menor a 1500 dS/cm tal como la indica la SUNASS (Superintendencia nacional de servicios de saneamiento) para que cumpla los requisitos de un agua potable. Con ello se demuestra que el agua utilizada en esta investigación no perjudicará las propiedades evaluadas del mortero.

5.2. Diseño de mezcla

El mortero está compuesto por cemento, agua, agregado fino y eventualmente adiciones. El cemento brinda propiedades de adherencia y cohesión. La cantidad del agregado fino dependerá del uso o tipo de mortero a utilizar, sabiendo que a mayor cantidad de cemento se obtendrá una mayor resistencia.

Para la elaboración del diseño de mezcla se realizó unos ensayos previos para escoger la dosificación y relación agua/ cemento adecuada, según el ingeniero Juan Villaroel (2017) se obtiene mejores resultados con la dosificación cemento:arena 1:3 y con una relación agua/cemento de 0.65; por lo que se realizó estudios previos con esta dosificación. En esta investigación, el diseño será aplicado para las construcciones de albañilería considerándose así una relación a/c de 0.65. El cemento empleado fue cemento portland Qhuna Tipo I sin propiedades especiales ni adiciones.

En la tabla 83 se tiene el diseño de mezcla patrón para un kg de mezcla de mortero con relación a/c=0.65, al cual se le fue adicionando óxido de calcio en porcentajes de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90% del peso de la arena.

Tabla 83: Diseño de mezcla por cada porcentaje.

Mármol	Mármol	Arena	Agua	Cemento
0%	0	750	162.5	250
15%	112.5	637.5	162.5	250
30%	225	525	162.5	250
45%	337.5	412.5	162.5	250
60%	450	300	162.5	250
75%	562.5	187.5	162.5	250
90%	675	75	162.5	250

5.3. Ensayos realizados

5.3.1. Reactividad

La combinación del cemento con el agua genera un medio altamente alcalino donde las partículas del agregado se encuentran totalmente inmersas. En estas condiciones algunos agregados reaccionan químicamente con el medio de contacto dando lugar a un gel que al absorber agua se expande y crea una presión capaz de lograr desintegrar el mortero o concreto. Estas reacciones químicas denominadas álcali-agregado, son causa del deterioro prematuro del concreto o mortero utilizado en las diversas construcciones.

La reactividad álcali-agregado (RAA) es un agente o agentes que atacan al mortero o concreto endurecido fabricado con un tipo de agregado, en donde con el transcurrir del tiempo y como consecuencia de la exposición del medio ambiente y ante la presencia de sodio y potasio, más humedad, presión ambiental y temperatura, alrededor de las partículas del agregado generan factores que dan origen a una expansión gradual produciendo un fisuramiento y desintegración de la estructura.

Para la reactividad existen tres tipos de reacciones los cuales son la reacción álcali sílice (ASR), reacción álcali-silicato (ASSR) y reacción álcali-carbonato.

La reacción álcali-sílice (ASR) se da cuando los hidróxidos alcalinos (NaOH, KOH), presentes en el fluido de poros del concreto o mortero atacan la superficie de los minerales silíceos en el agregado, formando así un gel que ocasiona una alteración en la superficie del agregado. Este gel que se forma tiene una gran afinidad con el agua que en consecuencia produce un incremento del volumen ocasionando fracturas y grietas. Además, a este factor se le suma la humedad que puede interferir o ser fundamental en la reacción y expansión del mortero o concreto.

La reacción álcali-silicato se caracteriza porque progresa lentamente y forma un gel muy pequeño, no hay mucha información, pero se estima que se debe a la presencia de filosilicatos (micas y cloritas). Para este fenómeno no se ha llegado a concluir que puede ocasionar una expansión a gran escala.

La reacción álcali-carbonato (ACR) se produce por los álcalis del cemento que actúan sobre distintos agregados calcáreos de grano fino como arcilla, que pueden llegar a ser reactivos. Este fenómeno se presenta de preferencia cuando se está sometido a climas húmedos. Dicha expansión se origina debido a la aparición del gel, el cual produce una expansión que genera un crecimiento de los cristales en su estructura. La reacción álcali-agregado es un fenómeno que ataca al concreto o mortero

endurecido fabricado con ciertos agregados sensibles, donde luego de varios años de exposición al medio ambiente y ante la presencia de óxidos de Sodio y Potasio provenientes principalmente del cemento más humedad y temperatura originan grietas, expansión y fisuramiento. Este proceso ocurre con el transcurrir del tiempo según como se desarrollan las diferentes fases tal como se muestra en la figura 19.

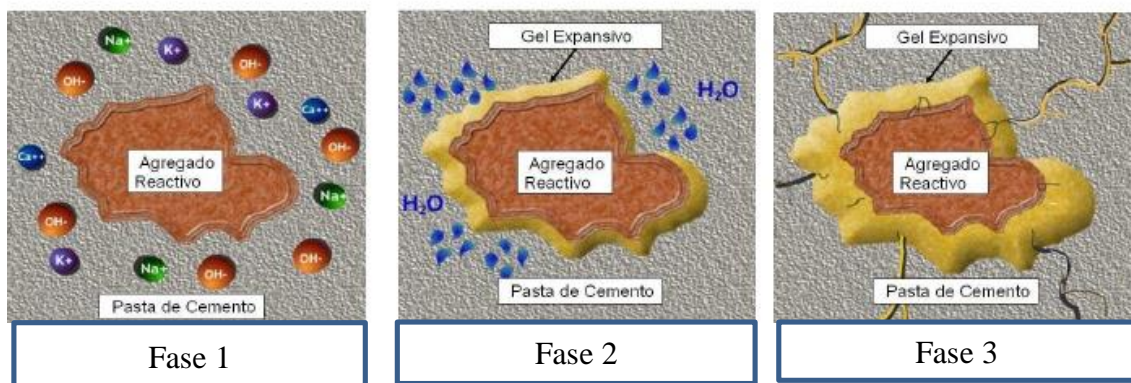


Figura 19: Fases del desarrollo de la relación álcali-agregado. (Pascal, 2015)

En donde en la fase 1 se presenta el agregado reactivo dentro de la pasta de cemento con álcalis (Na y K). Luego en la fase 2 se forma el gel expansivo debido al contacto con el agua, además la presencia de una elevada humedad incrementa esta reacción. Finalmente, en la fase 3 se observa la formación del gel al máximo en donde se produce un hinchamiento y fisuración ocasionando graves problemas en la mezcla.

Para medir la reactividad se tomó en cuenta como instrumento de medición la expansión. El mortero al ser más expansivo tendrá mayor reactividad ocasionando graves problemas en dicho material.

El mortero elaborado sin porcentaje de reemplazo de mármol obtuvo una expansión del 4.18% valor el cual es muy pequeño sin embargo, a medida que se le adiciona mármol la expansión del mortero es reducida. La reducción máxima se dio al reemplazar el 90% de arena por mármol obteniendo una expansión del 1% valor es casi nulo, es por ello que al adicionar mármol el mortero no sufrirá daños de pérdida de resistencia por fisuración y fisuración superficial por expansión, al mismo tiempo evitará un aumento de la permeabilidad y filtraciones, lo que conlleva a que no ocurra una disminución de las propiedades mecánicas. Cabe mencionar que los porcentajes de expansión fueron menores al 10% donde nos indica que se pueden utilizar dicho mortero en las obras a futuras.

De este ensayo se demuestra que al reemplazar el mármol por la arena gruesa se reducirá la expansión y no se producirá ningún tipo de reacción álcali-agregado, ocurriendo un beneficio en las propiedades del mortero. Esta reducción de expansión se justifica no solo por las propiedades y estructura interna del mármol, sino que a la vez al tener un menor contenido de humedad no promoverá la creación de un gel expansivo y así se tendrá un mortero más resistente.

5.3.2. Densidad

La densidad es una propiedad importante del mortero, que nos permitirá conocer su comportamiento físico como químico que determinará en parte la resistencia que presenta, en otras palabras, su durabilidad.

La densidad real del mortero depende principalmente de sus componentes en otras palabras, el agregado fino, su granulometría y del volumen de su composición. Se deduce que los morteros de mayor densidad son los que tienen agregados muy densos y con una adecuada distribución granulométrica continua de los tamaños, de forma que dan lugar a la compacidad máxima; de tal modo el mármol deberá cumplir con estas características ya que fue empleado como sustituto de la arena. Una óptima densidad se obtendrá cuantos menos huecos posee el mortero.

Según la UNE-EN-998-2 un mortero es ligero si tiene una densidad menor o igual a 1300 kg/cm^3 , por ello se demuestra que el mortero convencional es un mortero con una densidad promedio de 1983 kg/cm^3 , el cual es un mortero de densidad normal con una densidad aproximada a los 2000 kg/cm^3 .

En la figura 20 se puede apreciar la densidad para cada porcentaje de mármol molido a distintos días (3, 7 y 28 días). De la muestra patrón a 28 días se obtuvo una densidad de 1983 kg/cm^3 , la cual al añadir un 90% de mármol como sustituto de la arena su densidad aumento hasta los 2096 kg/cm^3 .

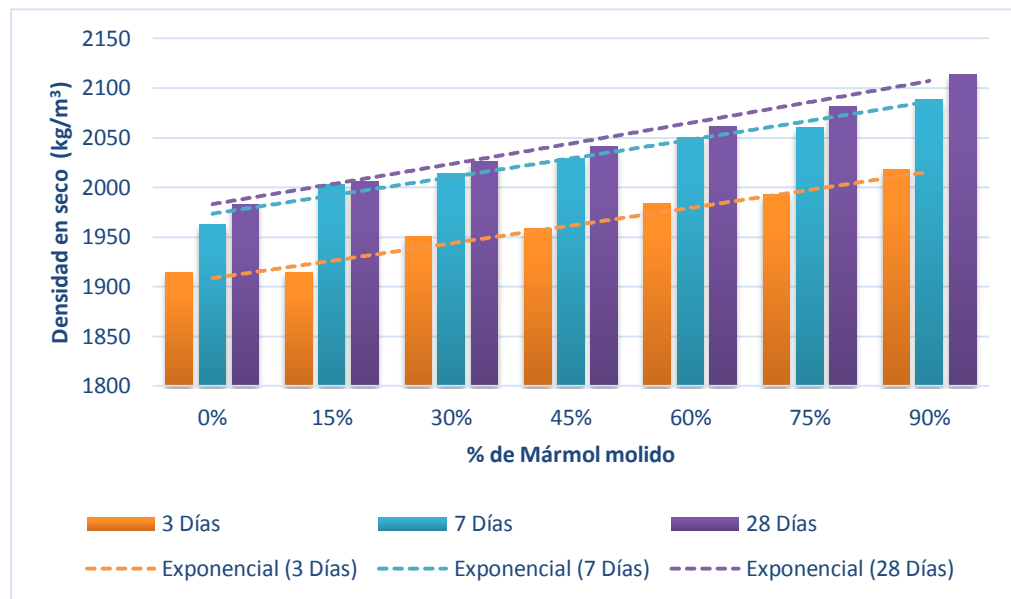


Figura 20: Densidad a 3, 7 y 28 días.

La densidad se incrementa conforme se le adiciona mayor porcentaje de mármol molido, esto se debe a que el material llega a ocupar los espacios vacíos generados por el proceso de hidratación, disminuyendo la porosidad y generando que el mortero tenga una mayor compacidad. La densidad paulatinamente se va elevando lo que indica que el mortero posee una adecuada resistencia mecánica y durabilidad. El incremento de la densidad del mortero se incrementa debido a que, al adicionar mármol, material el cual tiene más densidad que la arena gruesa, proporcionará una mezcla más compacta y uniforme lo cual producirá que se genere menos poros en el mortero endurecido.

En la Figura 20 no solo se observa que al adicionar mármol se aumenta la densidad, sino que a la vez se ve la influencia del tiempo de curado en el incremento de esta propiedad. Como se observa a mayor tiempo de curado del mortero o tiempo de hidratación el mortero obtiene una mayor ganancia de su densidad siendo el tiempo de curado prescindible en esta propiedad.

El mortero en estado endurecido al ser sumergido en agua se está curando, es decir se desarrolla un proceso en el cual el mortero controla la pérdida de agua en su masa ya sea por factores de temperatura, humedad, calor u otros factores. Al ser curado por más tiempo permite la hidratación completa del cemento reduciendo cada vez más los poros formados en la elaboración del mortero, ocasionando una mayor densidad y a la vez influyendo directamente en la resistencia, ya que al tener menos poros el mortero obtendrá una mayor resistencia.

Finalmente nos damos cuenta de que el mármol no produce una pérdida de su densidad conforme mayor es el tiempo de curado, debido a que tiene menos poros

en su estructura interna comparado con la arena gruesa, además que tiene un menor humedad y absorción por lo que su hidratación es completa, por ello se obtiene una ganancia de densidad a los 28 días de curado lo que repercute directamente en la resistencia a la compresión.

5.3.3. Compresión

El esfuerzo a compresión es la propiedad la cual define el uso del mortero, ya sea estructural o no estructural dependiendo de la clasificación según la ASTM C270. Esta propiedad va a ser influenciada por la microestructura del mortero, la relación agua/cemento, el tamaño de los agregados, el tipo de cemento y otros factores relacionados a las adiciones, amasado y tiempo de curado.

El cemento es el principal componente del mortero, el cual dependiendo la cantidad en la mezcla puede obtener elevadas resistencias. La resistencia a la compresión dependerá mucho de la relación agua/cemento, sabiendo que a menores relaciones se alcanzará una mayor resistencia. La evolución de las resistencias dependerá del tiempo de curado, a mayores días de curado alcanzará mayores resistencias, teniendo en cuenta que a partir de los 28 días el incremento es mínimo.

Con respecto a la microestructura mortero, existen diversos componentes del cemento los cuales brindan mejores resistencias iniciales y finales ocupando un alto porcentaje en el Clinker. No solo depende de estos componentes, sino de otras propiedades como la porosidad, absorción, densidad, etc., ya que si el mortero es más poroso en su estructura se encontrará una gran cantidad de vacíos generando resistencias bajas. Cabe mencionar que una trabajabilidad adecuada es muy importante, por lo que, no solo influye en el vaciado y compactado de la mezcla sino en el acomodo de los agregados para una perfecta distribución, evitando problemas como la segregación y exudación las cuales originan pérdidas de resistencias.

Según Pascal C. (1993), la relación agua/cemento puede decirse que es el factor que más influencia tiene sobre el mortero. Si el mortero es amasado con exceso de agua de la que precisa para la hidratación del cemento, quedará un gran volumen de huecos al evaporarse, con lo cual disminuirá la resistencia; es por ello que en esta investigación la relación agua/cemento es de 0.65, que permite una mayor trabajabilidad del mortero.

La adición del mármol molido al mortero genera una mayor compacidad. Este material está compuesto en un 100% por carbonato de calcio el cual es el componente principal de la caliza generando grandes beneficios a la mezcla, no solo por su tamaño

sino también por sus propiedades cementantes. Por lo que, al estar compuesto por carbonato de calcio puede crear una mayor cantidad de productos de hidratación lo cual genera un incremento en las propiedades mecánicas provocando una mayor resistencia a la compresión. También al obtener granos con una mayor finura, ocupará los espacios vacíos y poros capilares formados en el proceso de la hidratación y conformado de la mezcla, disminuyendo su porosidad y contribuyendo a formar una mezcla más homogénea.

Además, el mármol al tener un grado de dureza mayor y una resistencia muy alta en comparación a la arena logrará incrementar las propiedades mecánicas, también al lograr obtener una mayor densidad permitirá que el mortero sea más durable y resistente.

El mármol es un material que al ser adicionado a la mezcla no promueve o genera ninguna reacción álcali-agregado o incrementa el porcentaje de expansión, por ello, no producirá una reducción en la compresión axial del mortero diseñado.

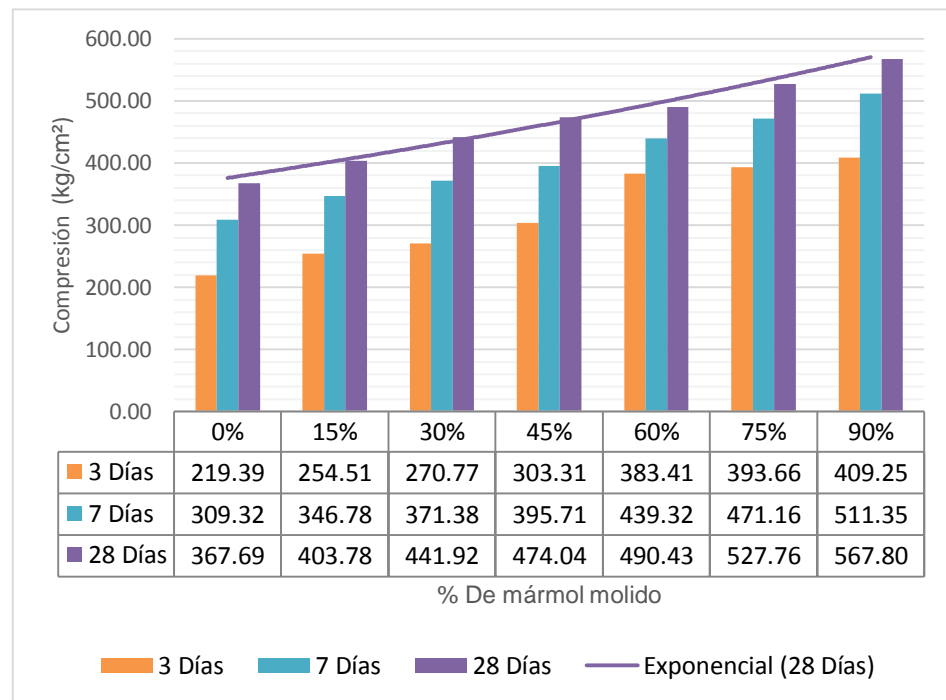


Figura 21: Compresión a 3, 7 y 28 días.

El desarrollo de las resistencias se da debido a que incrementa el tiempo de curado obteniendo una resistencia del 59% para los 3 días y 84% para los 7 días con respecto a la resistencia a los 28 días. Esto se da debido a que conforme hay un mayor tiempo de curado el mortero mantiene una hidratación constante y reduce la permeabilidad cerrando la mayoría de sus poros.

En la figura 21 se observa que se realizó un curado a 3, 7 y 28 días, de tal modo que se prolonga el periodo de hidratación, permitiendo que del mismo se incremente la resistencia a compresión, sin embargo, en las construcciones realizadas de albañilería confinada, no se acostumbra a realizar un curado prolongado. Según Hernández J. (2010), el mortero puede perder suficiente agua en tres días para reducir su porcentaje de humedad al 80%, un secado prematuro puede afectar la calidad de la mampostería, por el lado contrario curar el mortero con la adición considerable de agua resultaría menos eficiente que el curado del mortero por retención del agua en el sistema.

La dosificación cemento: arena 1:3 con 0% de mármol molido con una relación agua/cemento de 0.65 presentó un valor de resistencia a compresión de 368 kg/cm², superando a la investigación realizada por Villaroel J. (2017) con 219 kg/cm² con la misma relación agua/cemento de 0.65, así mismo con la investigación realizada por Huamán C. (2017) con 231kg/cm², pero con una relación agua/cemento de 0.55.

Se logró obtener resultados óptimos con la sustitución de mármol molido en reemplazo de la arena a diferentes porcentajes, sin la utilización de plastificantes o superplastificantes a diferencia de otros autores tales como Rivera H. (2017) y Saíz (2015) que sí tuvieron que hacer uso de ellos en sus respectivas investigaciones. Conllevando a que al realizar un mortero con adición de mármol no solo sea una propuesta de desarrollo en sus propiedades, sino a la vez una reducción del costo de producción.

Asimismo, en la figura 22 se observa que al adicionar mármol a diferentes días de curado (3, 7 y 28) se produce un incremento de la resistencia, evidenciando que el mármol influye positivamente a pesar de mantener una hidratación constante, no solo por estar compuesto por carbonato de calcio sino también por no contener ninguna sustancia la cual repercuta en la hidratación y curado del mortero.

Según las tablas de la norma ASTM C-270, los morteros ejecutados en esta investigación se clasifican en tipo M ya que sus resultados superan el valor de 176 kg/cm², y pueden ser empleados para muros de carga expuestos al exterior o interior, estructuras en contacto con el suelo tales como cimentaciones, muros de contención y pozos.

5.3.4. Resistencia a pilas

La norma E.070 Albañilería, establece los requisitos y las exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la inspección de las edificaciones de albañilería, estructuradas principalmente por muros confinados y por muros de tabiquería. Por ello en este ensayo nos centraremos en la unidad de albañilería de arcilla (ladrillo), su clasificación, y finalmente en los requisitos de aceptación de estas.

La normativa peruana exige el control de 5 propiedades en los ladrillos, las cuales son: porcentaje de vacíos, absorción, alabeo, variación dimensional y resistencia a la compresión, siendo estas dos últimas las que son controladas y garantizadas por escasas empresas formales. Hay que mencionar, además, que se establece rangos mínimos para cada tipo de ladrillo de arcilla (Tipo I, II, III, IV y V).

Tabla 84: Clase de unidad de albañilería para fines estructurales. (E. 070)

Tipo	Variación dimensional (%)			Alabeo máx. (mm)	Absorción (%)	Vacíos (%)	f'b (MPa/ Kg/cm ²)
	Hasta 100mm	Hasta 150mm	Más de 150mm				
	Altura	Ancho	Largo				
I	8	9	6	10	22	30	4.9 (50)
II	7	9	6	8	22	30	6.9 (70)
III	5	6	4.5	6	22	30	9.3 (95)
IV	4	4.5	3	4	22	30	12.7 (130)
V	3	3	1	2	22	30	17.6 (180)

Tabla 85: Requisitos complementarios para unidades de albañilería. (NTP.331.017)

Tipo	Variación dimensional (%)			Absorción (%)	Vacíos (%)	f'b (MPa)
	De 60 a 100	De 101 a 140	De 141 a 240			
	Altura	Ancho	Largo			
10	3	5	6	Sin limite	25	8
14	3	5	6	Sin limite	25	10
17	3	5	6	25	25	15
21	3	5	6	20	25	17

En la tabla 84 se observa los requisitos mínimos principales que exige la Norma E.070 para todos los tipos de ladrillos (I, II, III, IV y V), en el cual los ladrillos Tipo IV y tipo V son los que presentan una mayor resistencia y pueden ser usados para muros portantes, ya que tienen resistencias y durabilidad altas y son aptos para construcciones de albañilería en condiciones muy rigurosas. El ladrillo Tipo III es para construcciones de uso general el cual tiene una resistencia y durabilidad media.

A la vez en la tabla 84 se ve que se exigen requisitos mínimos para la absorción de los ladrillos a partir del ladrillo Tipo III, siendo para los ladrillos IV y V los requisitos más exigentes según la NTP 331.017.

Tabla 86: Limitaciones de la unidad de albañilería para uso estructural. (E.070)

Tipo	Zona sísmica 2 y 3		Zona sísmica 1
Sólido Artesanal	No	Sí, hasta 2 pisos	Sí
Sólido Industrial	Sí	Sí	Sí
Alveolar	Sí Celdas totalmente rellenas con grout	Sí Celdas totalmente rellenas con grout	Sí Celdas totalmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Sí
Tubular	No	No	Sí, hasta 2 pisos

En la Tabla 86 se observa los requisitos que se deben tener en cuenta para utilizar una unidad de albañilería de uso estructural, la cual la Norma E.070 exige un tipo de ladrillo según la Zona Sísmica en la que se realizarán las construcciones. Es por ello, que se utilizó un ladrillo sólido industrial el cual servirá para construcciones en la Zona Norte del País Clasificado como Zona 3 y actualmente modificado según la E.030 en Zona 4, además se puede apreciar que las construcciones con ladrillo sólido industrial se pueden ejecutar sin ningún inconveniente teniendo como recomendación una construcción máxima de 5 niveles.

Tabla 87: Tipos de ladrillo según condición de intemperismo. (NTP331.017)

Condiciones de uso	Condición de intemperismo		
	Bajo	Moderado	Severo
Para superficies que no están en contacto directo con la lluvia intensa, terreno o agua.	Cualquier Tipo	Tipos II, III, IV y V	Tipos IV y V
Para superficies en contacto directo con la lluvia intensa, terreno o agua.	Tipos III, IV y V	Tipos IV y V	Ningún Tipo

La NTP 331.017 nos muestra también requisitos para la elección de un tipo de ladrillo según las condiciones de intemperismo. Como se aprecia en la tabla 66 para condiciones de lluvia intensa o agua en el terreno se requiere el uso como mínimo del ladrillo tipo III si la condición es baja, es por ello que se recomienda el uso de este ladrillo como mínimo. Asimismo, en la zona norte (Trujillo) se presenta lluvias moderadas, por ello es recomendable el uso del ladrillo Tipo IV o V no solo por su condición estructural que presentan si no por la zona en donde se va a utilizar.

5.3.4.1. Ensayos a ladrillo Lark King Kong 18 huecos (9cm x 12.5cm x 23cm)

Variación dimensional

La variación dimensional es una propiedad física, la cual influye directamente en el comportamiento del muro. Por lo que, a mayor variación dimensional, mayor será el espesor de la junta y mientras mayor sea el espesor de la junta, menor será la resistencia a la compresión y fuerza cortante que presente el muro de albañilería.

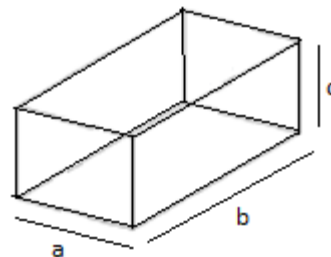


Figura 22: Medidas de la variación dimensional.

La variabilidad dimensional es una propiedad que establece la altura de las hiladas, ya que se manifiesta, con mayores variaciones, en la necesidad de aumentar el espesor de la junta de mortero por encima de lo estrictamente necesario por adhesión, que es de 9 mm a 12 mm, conduciendo a una albañilería menos resistente en compresión. (Seminario Colán, 2013)

Para este ensayo se utilizaron un total de tres ladrillos a los cuales se procedió a medir cada uno de sus lados (a, b, c), encontrándose la mayor variación en la dimensión ancho (a) correspondiente al ancho del ladrillo, con un valor de 2.40 %; mientras que los valores correspondientes al largo (b) y altura (c) del ladrillo, arrojaron porcentajes de 0.43 % y 0.00 % respectivamente, lo que indica que estos ladrillos pueden ser utilizados como portantes, ya que no exceden el 20 % de variación, especificado en norma E-070 Albañilería para la aceptación de las unidades. Al mismo tiempo, nos da la indicación de que podemos utilizar una junta de 1 cm, la cual es recomendable en la construcción, influenciando positivamente en la resistencia a la compresión de la unidad de albañilería y de resistencia a pilas.

Se puede inferir que estas variaciones dimensionales pueden ser consecuencia del proceso de producción en la zona donde se fabrica, del mismo modo influye la situación en que los trabajadores realizan su actividad, la manipulación de las unidades o el traslado hacia el lugar de secado. Como ya se mencionó anteriormente, el proceso de producción influye significativamente en la variación dimensional. Además, se debe tomar en cuenta la cocción de estos ladrillos, la temperatura produce un cambio de volumen al aumentar constantemente, como consecuencia existe una variabilidad de dimensiones tanto en los ladrillos colocados en la parte baja del horno que reciben más calor y los que están en la parte superior que reciben menos.

Finalmente, cuando se tiene una mayor variación dimensional las propiedades estructurales disminuyen e influyen en la compresión de los ladrillos. Es por ello que se puede concluir que la calidad del ladrillo determina el espesor de las juntas y la resistencia del muro en compresión y corte.

Alabeo

El alabeo es una propiedad física la cual su efecto es semejante al de la variación dimensional, puesto que el mayor alabeo del ladrillo conduce a un mayor espesor de la junta. Además, puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse vacíos en las zonas horizontales alabeadas, afectando directamente la resistencia y la fuerza cortante del muro de albañilería o incluso, puede producir fallas de tracción por flexión en la unidad. (Seminario Colán, 2013)

Para la determinación del alabeo de las unidades de albañilería, se sigue el procedimiento indicada en la Norma NTP 399.613.

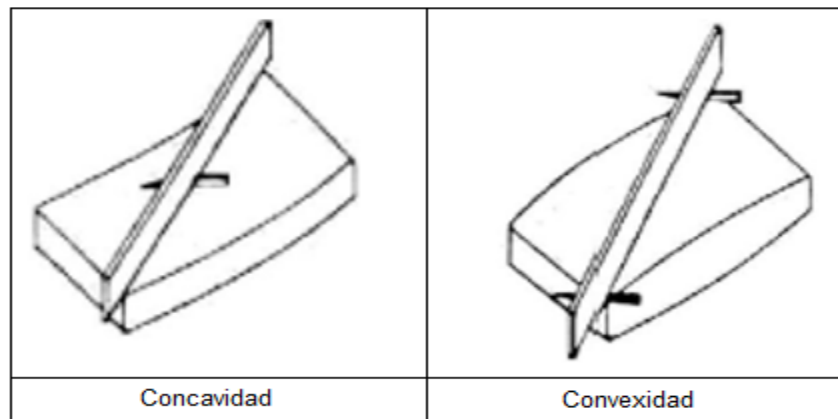


Figura 23: Medida de la concavidad y convexidad. (NTP 331.017)

Los valores obtenidos para la convexidad (0.97 mm) se encuentran dentro del margen de lo requerido, según norma E-070 Albañilería para ladrillos desde el tipo I hasta al V, donde se indica valores de alabeo de hasta 4 mm para el tipo IV y 2 mm para el tipo V, esto quiere decir que al cumplir con el alabeo en su totalidad la clasificación del ladrillo dependerá de la resistencia a la compresión de unidades f'_b , ya que es la principal propiedad del ladrillo. Además, debemos tener en cuenta que, en resumen, las imperfecciones geométricas del ladrillo (variación dimensional, alabeo) inciden en la resistencia de la albañilería. A más y mayores imperfecciones menor resistencia de la albañilería.

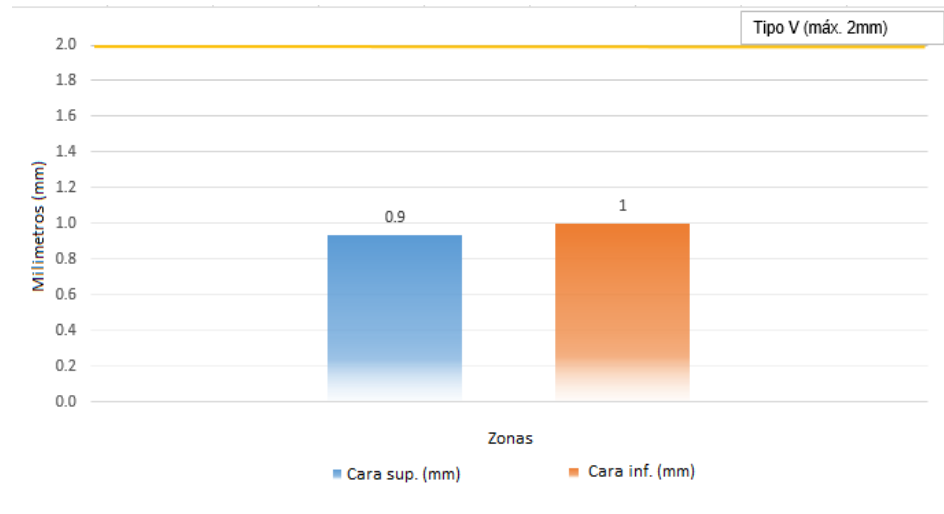


Figura 24: Valores máximos de alabeo del ladrillo 18 huecos King Kong.

Los ladrillos Lark 18 huecos King Kong presentan un alabeo menor a 2 mm tanto en la cara superior como en la cara inferior, colocándose en la categoría de ladrillo tipo V por no superar 2 mm. En la figura 25, se muestran los valores en mm de la convexidad y concavidad medidas en las caras superiores e inferiores de los ladrillos.

Este alabeo influye en la homogeneidad del mortero usado en el muro, si presenta concavidad se usará más mortero debido a la deformación que se tiene, si tiene convexidad el mortero será de menor espesor. Aparte, si no existe uniformidad en el mortero, las cargas no serán soportadas de manera proporcional entre los ladrillos y se generarían más esfuerzos. A mayor alabeo se genera mayor espesor de junta; del mismo modo puede disminuir la adherencia con el mortero al formarse varios en las zonas horizontales alabeadas, afectando directamente la resistencia y la fuerza cortante del muro, produciendo fallas de tracción por flexión en la unidad lo cual no es recomendable.

Finalmente se demuestra que el ladrillo de marca Lark cumple con los requisitos que implanta la norma E.070 teniendo alabeos menores a 2 mm, tal como como concluye en su investigación Seminario Colán Roberto Carlos (2013).

Resistencia a compresión de unidades

La resistencia a la compresión de la unidad es, por sí sola, su principal propiedad y la que finalmente determina la resistencia a la compresión del muro de albañilería ($f'm$). Unos valores altos de resistencia a la compresión indican una buena calidad para todos los fines estructurales y de exposición. Los valores bajos, en cambio, son muestra de unidades que producirán albañilería poco durable y poco resistente.

Otro factor que influye en la resistencia a la compresión es la naturaleza del material y el contenido regulado de elementos desgrasantes, como una cantidad prudencial de cal y cuarzo contenidos en la arcilla.

Las Normas Peruanas clasifican las unidades de acuerdo con su resistencia a la compresión. La compresión se da de acuerdo con las condiciones de intemperismo y de servicio, es decir a las condiciones en que se encontrarán las unidades de albañilería que conformarán la estructura. La clasificación de las unidades de albañilería que se usa en el Perú tiene como principal criterio, su aplicación. Las bases de esta clasificación son las propiedades estructurales y de durabilidad, las cuales son las principales propiedades a tener en cuenta en una construcción.

En la figura 25, en la columna anaranjada el valor promedio de las tres muestras tomadas, con un valor de 132 kg/cm^2 al ser ensayos a compresión. Además, se presenta la escala de valores para cada tipo de ladrillo. De los ensayos de tres ladrillos se obtuvo que el valor de $f'b$ promedio es de 132 kg/cm^2 , valor que está dentro de lo especificado por norma (130 kg/cm^2). Por lo que según la norma E.070 se clasificara este tipo de ladrillo como LADRILLO TIPO IV, el cual es un ladrillo de alta resistencia y durabilidad aptos para ser usados en condiciones de servicio moderado. Sin embargo, según la clasificación de la NTP 331.017 este ladrillo sería un Tipo 14, el cual es para uso general en condiciones que se requiera moderada resistencia a la compresión. Cabe mencionar que sea clasificado en base a la E.070 o la NTP 331.017 los dos mencionan que este ladrillo tiene buenas condiciones para ser usado en condiciones que se requiera moderada resistencia a la compresión.

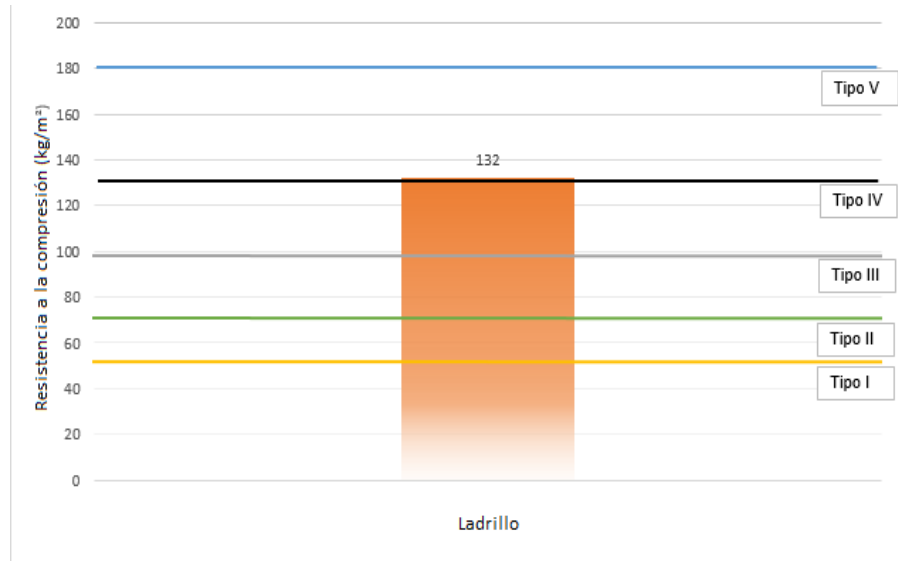


Figura 25: Valores de la resistencia a la compresión de ladrillos 18 huecos.

Porcentajes de vacíos

Los valores obtenidos del porcentaje de vacíos cumplen con la ficha técnica de Ladrillos Lark donde el valor promedio obtenido es de 49.9 % como se puede observar en la figura 26, siendo su valor aproximado en la ficha técnica del 50% (ver Anexo 4). Este porcentaje de vacíos se debe a la cantidad de huecos que presenta, de tal modo influye en la resistencia a la compresión, teniendo en cuenta el volumen de vacío hace que soporte menos carga.

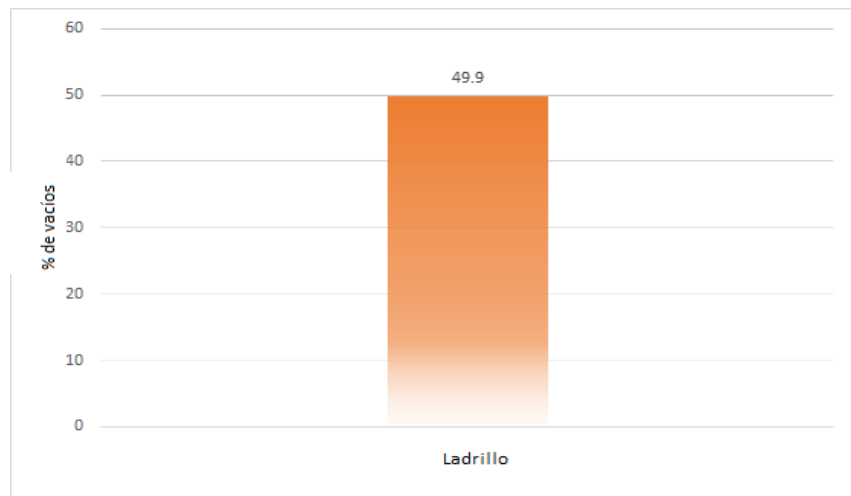


Figura 26: Valores del porcentaje de vacíos de ladrillos Lark 18 huecos.

5.3.4.2. Ensayo de compresión axial de pilas de albañilería

Las pilas de albañilería son prismas compuestos por dos o más hiladas de unidades enteras (ladrillos Lark) asentadas una sobre la otra mediante mortero con un determinado espesor o junta, además cuenta con una altura total que no debe ser excesiva a fin de facilitar su construcción, almacenaje y transporte. Estas pilas, con una edad nominal de 28 días, se ensayan a compresión axial y los resultados se utilizan para diseñar estructuralmente los muros de un edificio, así como para controlar la calidad de la construcción de la albañilería. Sin embargo, la resistencia característica a compresión axial de las pilas ($f'm$) depende de la relación altura-espesor, elaborándose para este ensayo pilas con 3 hiladas.

Tabla 88: Resistencia de la albañilería. (E.070)

Materia Prima	Denominación	Unidad f'b	Pilas f'm	Muretes V'm
Arcilla	King Kong Artesanal	5.4 (55)	3.4 (35)	0.5 (5.1)
	King Kong Industrial	14.2 (145)	6.4 (65)	0.8 (8.1)
	Rejilla Industrial	21.1 (215)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
Sílice-Cal	King Kong Normal	15.7 (160)	10.8 (110)	1.0 (9.7)
	Dédalo	14.2 (145)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
	Estándar y mecano	14.2 (145)	10.8 (110)	0.9 (9.2)
Concreto Bloque Tipo P		4.9 (50)	7.3 (75)	0.8 (8.1)
		6.4 (65)	8.3 (85)	0.9 (9.2)
		7.4 (75)	9.3 (95)	1.0 (9.7)
		8.3 (85)	11.8 (120)	1.1 (10.9)

Para el presente ensayo se utilizaron siete pilas de albañilería elaboradas con ladrillo industrial, con distintos porcentajes de mortero adicionados con mármol, curadas por un periodo de 28 días, tal como se especifica en la norma E-070 Albañilería. Del procesamiento de los datos, se determinó que la resistencia a la compresión $f'm$, para un periodo de curado de 28 días y un periodo de exposición al agua de cero días, es de 118 kg/cm^2 , tal como se especifica en la tabla N°86. Este valor es menor al indicado en la tabla N°80 donde se indica que el valor $f'm$ para ladrillos de arcilla King Kong industrial debe ser de 65 kg/cm^2 aproximadamente, ya que se está trabajando con un ladrillo de arcilla el cual tiene una resistencia muy cercana a los 145 kg/cm^2 , además conforme se iba variando el porcentaje

de mármol como sustitución de la arena la compresión axial de pilas iba aumentando con un inicio de 124 kg/cm² en un porcentaje de mármol de 15% y concluyendo con 167 kg/cm² en un porcentaje de mármol de 90%, demostrando que al adicionar mármol en la mezcla de mortero se obtendrá una unidad de albañilería más resistente.

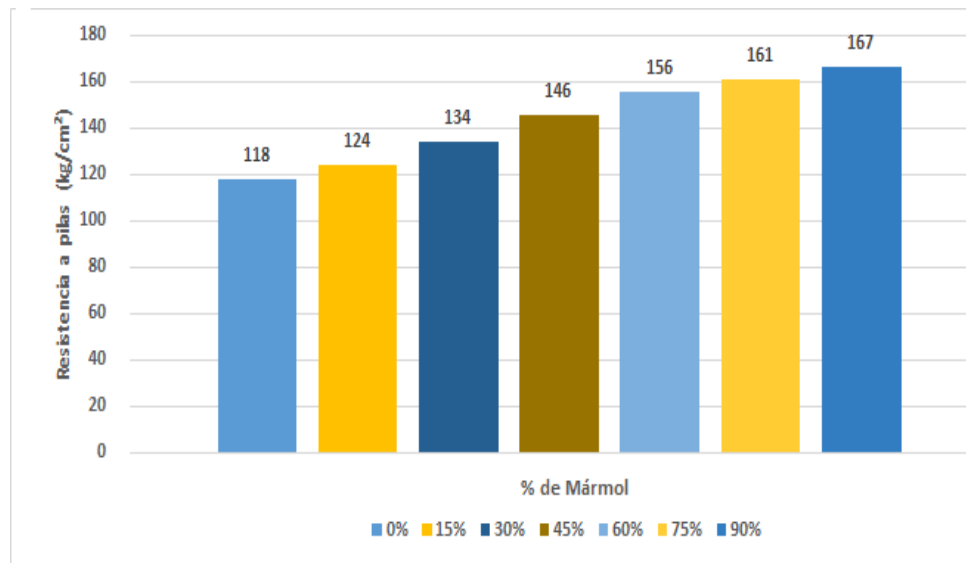


Figura 27: Valores de ensayo a pilas.

Como se observa en la figura 27 no solo tiene una gran influencia en una unidad de albañilería el ladrillo a utilizar, sino que al obtener un mortero con una mayor resistencia a la compresión y mejores propiedades tanto físicas como mecánicas influenciará en la resistencia axial de pilas de albañilería, lo cual obtendrá un gran beneficio para las construcciones. Asimismo, el mortero al estar libre de impurezas y al no generar una reacción álcali-agregado o una mayor expansión, logrará tener una mayor adherencia con la unidad de albañilería provocando que la resistencia incremente conforme se adiciona mármol en la mezcla de mortero.

Según la norma E.070 cuando se utilizan unidades de albañilería huecas, al ser sometido por compresión, se produce una expansión lateral en la pila con ello produciendo una falla por trituración. Lo cual se produjo en las siete pilas que se emplearon en esta investigación, al tener orificios la unidad de albañilería es más frágil y por ello empieza a romperse por los extremos de la unidad junto con el mortero.

5.4. Evaluación económica de las alternativas.

Los costos para la elaboración de una mezcla de mortero están constituidos básicamente por el precio del cemento, agregado y en menor escala el agua. En la figura 16 se observa una comparación de costos utilizando un agregado natural (arena) y agregado reciclado (mármol). Cabe recalcar que los costos presentados en esta investigación son referenciales, dado que los índices de precios de materiales de construcción varían mensualmente siendo publicados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática y en El Peruano.

En cuanto al costo de producción de un metro cúbico de agregado fino (arena) fue de S/.49.90, el cual disminuye si se utiliza un agregado reciclado (mármol) con un precio de S/. 38.85. De ello, podemos decir que si utilizamos mármol como sustituto de arena se ahorra S/. 11.05. Asimismo, vemos que la utilización del mármol molido permite una reducción de costos por cada m³ del 22.14%, lo cual conlleva a decir que mientras más cantidad de mortero se requiera en una obra mayor será el ahorro que se pueda alcanzar.

Con respecto a los resultados obtenidos de la resistencia a compresión del mortero se observa que este aumenta cada vez que se adiciona el porcentaje de mármol como sustituto de la arena. Con ello podemos decir que no solo se tendrá un ahorro económico en cuanto a la elaboración de mortero estructural si no que, se obtendrá un incremento de las propiedades mecánicas del mortero influenciando notoriamente a la resistencia de los muros de albañilería (f'm).

El ahorro principalmente del mármol se enfoca en la utilización de un material que es un residuo, aportando una mejora en las propiedades del mortero, asimismo al obtener una mayor resistencia a la compresión se puede alterar la cantidad de cemento utilizado en la mezcla para obtener un mortero de mucho más bajo costo sin afectar su resistencia a la compresión.

El mármol, al ser obtenida del reciclaje de residuos sólidos bajo el Decreto Legislativo N°1278, disminuye la cantidad de basura y evita la degradación de los recursos naturales no renovables, es decir, contribuye con la conservación del medio ambiente. Desde el punto de vista económico, esta propuesta es atractiva ya que se utilizará un residuo como materia prima, siendo así los costos de producción disminuyen Durand, A. (2017).

5.5. Análisis de datos

Se utilizó la prueba de shapiro-wilk debido a que la muestra es menor a 50 para que se pueda contrastar la normalidad. El valor de significancia no debe de superar el 5%, lo que quiere

decir una probabilidad de 0.05 ya que si estos valores son bajos de probabilidad indica que la hipótesis nula no cumple con el número suficiente de ocasiones por lo que deberá rechazarse, y aceptar la hipótesis alternativa.

Para determinar si los datos no siguen una distribución normal, se comparó el valor p con el nivel de significancia. Un nivel de significancia de 0.05 indica un riesgo de 5% de concluir que los datos no siguen una distribución normal, cuando los datos sí siguen una distribución normal. En el caso de los ensayos se rechaza la hipótesis nula (H_0), debido a que el:

Valor $p \leq \alpha$: Los datos no siguen una distribución normal (Rechaza H_0)

Por lo que se concluye que la sustitución en porcentaje de mármol sobre el agregado fino en 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, influirá positivamente en las propiedades de reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas; debido a que se realizó un análisis estadístico que determinó si la hipótesis es una afirmación razonable. Por lo que el tratamiento tiene efecto y el experimento lo confirma.

CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó la influencia de la dosificación 1:3 y porcentaje de mármol reciclado en morteros de asentado sobre sus propiedades físicas y mecánicas, concluyendo que sus propiedades mejoran en cuanto a la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros, sin embargo, se pierde la trabajabilidad al agregar en mayor cantidad el mármol molido.
- ✓ Se realizó los ensayos de caracterización de la arena y el mármol molido, donde los valores del mármol son más bajos en comparación de la arena (módulo de finura, contenido de humedad, peso específico, absorción, peso unitario suelto y compactado).
- ✓ Se determinó la densidad a 3, 7 y 28 días, donde se obtuvieron mejores resultados con un porcentaje de 90%, siendo los valores 2018 kg/m³, 2088 kg/m³ y 2096 kg/m³, respectivamente.
- ✓ Al aumentar la densidad disminuye la porosidad haciendo que aumente su resistencia a compresión, los mejores resultados se dieron con un porcentaje de 90% siendo los valores 409 kg/cm², 511 kg/cm² y 568 kg/cm², a 3, 7 y 28 días respectivamente.
- ✓ El diseño más óptimo se dio entre el porcentaje de sustitución de 90%, presentando un valor de resistencia a pilas de 167 kg/cm².
- ✓ A mayor adición de porcentaje de mármol como sustituto de la arena, este mejorara sus propiedades.
- ✓ El mármol molido puede ser reemplazado hasta en un 90%.
- ✓ Económicamente el m³ de mármol molido comparado con un m³ de arena es más cómodo, permitiendo un ahorro aproximado de S/. 11.05.
- ✓ El costo de un mortero para 1m² de muro de soga con junta de 1.5cm y Ladrillo King Kong 18 huecos con 0% de mármol es de S/.77.06 y con 90% de mármol es de S/.76.87. El ahorro es de S/.0.19 obteniendo mejores propiedades en el mortero.

RECOMENDACIONES

- ✓ Separar en bolsas herméticas el agregado fino y el cemento, para evitar que las condiciones climatológicas condicionen las propiedades físicas de estos materiales.
- ✓ En el proceso de construcción cuando se emplee el mortero con mármol molido, mezclar primero las partes sólidas, luego verter el agua de manera paulatina de tal forma que homogenice la mezcla al máximo, esta operación de mezclado debe durar como máximo 5 minutos y la manipulación de dicha mezcla debe ser 15 minutos desde que inició el proceso de mezclado, para evitar falsos fraguados, alteración en el contenido del aire y pérdida de agua de la mezcla. Si se va usar mezclas con poca fluidez, recomienda emplear las unidades de albañilería maquinadas y humedecerlas previamente, de tal forma que no succionen el agua de mezcla del mortero y que permitan una adecuada hidratación del cemento y no se vea afectada su propiedad de resistencia a compresión, como adherencia. También se recomienda realizar un curado en obra, ya sea por humedecer las unidades de albañilería o el uso de curadores durante 7 días, de tal manera que el mortero alcance un valor aceptable o cercano a su máxima resistencia compresión.
- ✓ En estudios posteriores, realizar el ensayo de adherencia, retención de agua y contenido de aire, resistencia a compresión de muretes para las dosificaciones estudiadas.
- ✓ Investigar el uso de aditivos plastificantes, con el fin de brindar mayor trabajabilidad a la mezcla de mortero y ver su influencia en las dosificaciones estudiadas.
- ✓ Realizar investigaciones, donde se usen dosificaciones cemento:arena comprendidos entre 1:5 a 1:8 con mármol molido variando la relación agua/cemento con el fin de determinar el valor más óptimo.
- ✓ Realizar investigaciones, sobre la evaluación de la actividad puzolánica que produce el mármol molido.
- ✓ Realizar un estudio minucioso acerca del precio que podría presentar el mármol molido como árido en el sector de la construcción.
- ✓ Emplear el mármol molido en otros campos de la construcción, mediante la realización de investigaciones.
- ✓ Realizar una investigación donde el mármol sustituya en ciertos porcentajes al cemento.
- ✓ Emplear distintas marcas de cemento para ver con cual se obtiene mejores propiedades.

REFERENCIAS

- Acevedo, Ramírez y Vásquez (2012). "Actualidad y necesidad en el sector de la construcción". Colombia. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/30825/39307>
- Alfaro Caycho, J. (2014) *"la puzolanidad y reactividad álcali-sílice de morteros adicionados con óxido de calcio obtenido de conchas de abanico"* (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo- Perú.
- Borrachero, Monzó, Payá y Serrano (2012). "Morteros aligerados con cascarilla de arroz". España. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <http://www.bdigital.unal.edu.co/29659/1/28275-137900-1-PB.pdf>
- Carretero Gómez, A. (1995). La industria del mármol en Almería. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=C9ulCFY_qCcC&pg=PA68&dq=estudio+del+marmol&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwjFgP0vJXbAhVCmlkKHa4jB9YQ6AEIJzAA#v=onepage&q=estudio%20del%20marmol&f=false
- El Economista (2017). *"El Economista"*. Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde <http://www.economistaamerica.pe/economia-eAm-peru/noticias/8808009/12/17/Sector-Construccion-creceria-538-en-2018.html>
- El Peruano (2016). "Decreto Supremo que modifica el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA". Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-modifica-el-reglamento-para-la-gestion-y-decreto-supremo-n-019-2016-vivienda-1444264-1/>
- El Peruano (2000). "Decreto legislativo N° 1278". Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-de-gestion-integral-d-decreto-legislativo-n-1278-1466666-4/>
- Exterior, S. I. (2015). "El sector construcción en los países de Latinoamérica" Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde <http://www.siicex.gob.pe/siicex/resources/sectoresproductivos/El%20sector%20construccion%20en%20los%20pa%C3%ADses%20de%20Latinoamerica%202015.pdf>

- Gaceta oficial del distrito federal (2004). "Normas técnicas complementarias sobre criterios y acciones para el diseño estructural de las edificaciones". México. Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde <http://www.smie.org.mx/layout/normas-tecnicas-complementarias/ntc-criterios-gaceta-oficial-df-2004.pdf>
- Gallegos, H., y Casabonne, C. (2005). "Albañilería Estructural". Universidad Católica, Perú. Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde <https://es.scribd.com/doc/106080890/ALBANILERIA-ESTRUCTURAL-3Ed-Hector-Gallegos-Carlos-Casabonne>
- Grupo RPP (2016). "Así está el Perú: Solo hay 12 rellenos sanitarios para los 1851 distritos" Recuperado el 10 de noviembre de 2017, desde <http://rpp.pe/politica/elecciones/asi-esta-el-peru-solo-hay-12-rellenos-sanitarios-para-los-1851-distritos-noticia-944901>
- Grupo RPP (2016). "Solo hay 11 rellenos sanitarios para 31 millones de personas en el país" Recuperado el 10 de noviembre de 2017, desde <http://rpp.pe/peru/actualidad/solo-hay-11-rellenos-sanitarios-para-31-millones-de-personas-en-el-pais-noticia-996181> rpp 2016
- Hernández, U. (2011). "Comportamiento mecánico y físico del mortero a base de CBCA como árido en aplanados en muros". México. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <https://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30602/1/HdzJaen.pdf>
- Horna, M. (2015). "Influencia del tipo de curado en la resistencia a la compresión axial de la albañilería". Universidad Privada del Norte, Perú. Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/9432/Horna%20Hern%C3%A1ndez%20Mar%C3%ADa%20Ver%C3%B3nica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Huamán, C. (2015). "Influencia del porcentaje de agregado fino y módulo de finura sobre la resistencia a la compresión y absorción en morteros para la construcción". (Tesis de licenciatura). UNT, Trujillo, La Libertad, Perú.
- INEI (2017). "600 mil voluntarios empadronaron a la población y las viviendas en las áreas urbanas del país". Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde <http://www.censos2017.pe/600-mil-voluntariosas-empadronaron-a-la-poblacion-y-las-viviendas-en-las-areas-urbanas-del-pais/>
- Informática (2017). "Gestión". Recupero el 13 de Diciembre de 2017, desde <https://gestion.pe/economia/inei-sector-construccion-sumo-dos-meses-crecimiento-consecutivo-julio-143627>

- Junco, C. (2012). "Morteros aligerados con residuos de espumas rígidas de poliuretano". España. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=41483>
- Mafla, A. (2014). "Uso de la cascarilla de arroz como material alternativo en la construcción". Universidad del Cauca, Colombia. Recuperado el 03 de octubre de 2017, desde <http://biblioteca.uniminuto.edu/ojs/index.php/Inventum/article/viewFile/47/46>
- Martínez, Pavón y Díaz (2013). "Evaluación de las prestaciones de morteros estructurales fabricados con áridos reciclados mixtos de diferente composición". Cuba. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde https://www.researchgate.net/profile/Ivan_Martinez17/publication/277012245_Evaluacion_de_la_s_prestaciones_de_morteros_estructurales_fabricados_con_aridos_reciclados_mixtos_de_diferente_composicion/links/5627ba6308aef25a243be232/Evaluacion-de-las-prestaciones-de-morteros-estructurales-fabricados-con-aridos-reciclados-mixtos-de-diferente-composicion.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2017). "Evolución Mensual de la Actividad del Sector Construcción (PBI de Construcción)" Recuperado el 23 de septiembre de 2017, desde http://www3.vivienda.gob.pe/Destacados/estadistica/62_PBI-CONSTRUCCION.pdf
- Montgomery, D. (2004). Diseño y análisis de experimentos. Recuperado de <https://www.yyy.files.wordpress.com/2013/02/disec3b1o-de-experimentosmontgomery.pdf>
- Norma técnica E.070 Albañilería (2006). "Resolución Ministerial N° 011-2006-vivienda". Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2008/01/Norma-E-070-MV-2006.pdf>
- Revista de Arquitectura e Ingeniería (2015). "Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción". México. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193943013004>
- Rivera, L. (2011). "Agregado para mortero o concreto" Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIC/IngCivil/Geotecnia/profesor_gerardo_rivera/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20%20de%202009/Tecnolog%EDa%20del%20Concreto%20%20%20PDF%20ver.%20%202009/Cap.%2002%20%20Agregados%20para%20mortero%20y%20concreto.pdf
- San Bartolome, A. (2001). Construcciones de albañilería. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=6iJhi9KPmtkC&pg=PA105&dq=alba%C3%B1ileria&hl=e>

s419&sa=X&ved=0ahUKEwivoXlvpXbAhVKrVkkHaxqBhoQ6AEISjAH#v=onepage&q=alba%C3
%B1ileria&f=false

Servicio de Gestión Ambiental de Trujillo (2017). "El botadero El Milagro". Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <http://www.munitrujillo.gob.pe/noticiasmp/categorias/limpiezapublica>

Villarroel, J. (2017). "Evaluación del porcelanato reciclado y dosificación en mortero de asentado sobre la resistencia a compresión, absorción, densidad y flujo". Universidad Privada del Norte. Perú. Recuperado el 14 de Diciembre de 2017, desde <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/10191>

Vizcarra, M. (2017). "Laboratorio de procedimientos y sistemas constructivos tradicionales como alternativa para una arquitectura sustentable". Universidad Nacional Autónoma, México. Recuperado el 13 de Diciembre de 2017, desde <http://arquitectura.unam.mx/procedimientos-y-sistemas-constructivos.html>

APÉNDICE

APÉNDICE 1: Caracterización de agregados.

Ensayo granulométrico del agregado fino

Tabla 89: Ensayo granulométrico del agregado fino.

Tamiz	Abertura (mm) ASTM E11	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
N°3/8"	9.50	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N°4	4.75	7	1	1	99	8	1	1	99	7	1	1	99
N°8	2.36	69	9	9	91	70	9	10	90	72	9	10	90
N°16	1.18	106	13	23	77	105	13	23	77	105	13	23	77
N°30	0.60	165	21	43	57	162	20	43	57	162	20	43	57
N°50	0.30	238	30	73	27	240	30	73	27	237	30	73	27
N°100	0.15	163	20	94	6	162	20	94	6	163	20	93	7
N°200	0.08	44	6	99	1	44	6	99	1	44	5	99	1
Fondo	0.03	6	1	100	0	7	1	100	0	10	1	100	0
Total		799.97	100			798.73	100			799.96	100		

Ensayo granulométrico del agregado fino

Tabla 90: Ensayo granulométrico del mármol.

Tamiz	Abertura (mm) ASTM E11	Muestra 1				Muestra 2				Muestra 3			
		Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Peso que pasa
N°3/8"	9.50	0	0	0	100	0	0	0	100	0	0	0	100
N°4	4.75	20	3	3	97	19	2	2	98	20	3	3	97
N°8	2.36	119	15	17	83	120	15	17	83	122	15	18	82
N°16	1.18	116	15	32	68	113	14	32	68	115	14	32	68
N°30	0.60	160	20	52	48	163	20	52	48	159	20	52	48
N°50	0.30	196	25	76	24	194	24	76	24	193	24	77	23
N°100	0.15	156	20	96	4	157	20	96	4	155	19	96	4
N°200	0.08	32	4	100	0	33	4	100	0	32	4	100	0
Fondo	0.03	0	0	100	0	1	0	100	0	0	0	100	0
Total		799.80	100			799.90	100			796.00	100		

Tabla 91: Media, variación, desviación estándar para granulometría del agregado fino.

Tamiz	Abertura (mm) ASTM E11	Promedio de % que pasa	Varianza %	Desviación estándar (%)	Desviación estándar (%)	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C136	Límite inferior ASTM C136	Límite superior ASTM C36
N°3/8"	9.50	100	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
N°4	4.75	99	0.29	0.54	0.26	0.86	95	100
N°8	2.36	90	2.54	1.59	0.55	1.82	80	100
N°16	1.18	77	0.59	0.77	0.55	1.82	50	85
N°30	0.60	57	3.51	1.87	0.83	2.74	25	60
N°50	0.30	27	2.26	1.50	0.83	2.74	10	30
N°100	0.15	6	0.56	0.75	0.37	1.22	2	10
N°200	0.08	1	0.19	0.43	0.14	0.46	0	0
Fondo	0.00	0						

Tabla 92: Media, variación, desviación estándar para granulometría del mármol.

Tamiz	Abertura (mm) ASTM E11	Promedio de % que pasa	Varianza %	Desviación estándar (%)	Desviación estándar (%)	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C136	Límite inferior ASTM C136	Límite superior ASTM C136
N°3/8"	9.50	100	0.00	0.00	0.00	0.00	100	100
N°4	4.75	98	0.33	0.58	0.26	0.86	95	100
N°8	2.36	82	1.81	1.35	0.55	1.82	80	100
N°16	1.18	68	2.33	1.53	0.55	1.82	50	85
N°30	0.60	48	4.33	2.08	0.83	2.74	25	60
N°50	0.30	24	2.33	1.53	0.83	2.74	10	30
N°100	0.15	4	1.00	1.00	0.37	1.22	2	10
N°200	0.08	0	0.16	0.40	0.14	0.46	0	0
Fondo	0.00	0						

Humedad de los agregados

Tabla 93: Ensayo humedad de los agregados.

Muestra	Código	Tara (g)	Tara + muestra natural (g)	Tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g)	Peso de la muestra seca (g)	Humedad (%)
					(Ph)	(Ps)	
Agregado fino	F1	27.0	198.49	197.02	171.49	170.02	0.9
	F2	27.0	203.78	202.21	176.78	175.21	0.9
	F3	23.6	178.69	177.30	155.09	153.70	0.9
Promedio							0.9
Mármol	M1	23.5	139.62	139.35	116.12	115.85	0.2
	M2	23.2	153.53	153.08	130.33	129.88	0.4
	M3	23.3	149.34	148.61	126.04	125.31	0.6
Promedio							0.4

Tabla 94: Media, variación, desviación estándar para humedad de los agregados.

Agregado	Humedad promedio (%)	Varianza %	Desviación estándar (%)	Desviación estándar (%) ASTM C566	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C566
Agregado fino	0.9	0.00	0.02	0.28	0.92
Mármol	0.4	0.03	0.18		

Peso suelto y compactado

Tabla 95: Ensayo peso suelto y compactado de los agregados.

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso de la muestra suelta + molde (kg)	Peso de la muestra compac. + molde (kg)	Peso de la muestra suelta (kg)	Peso de la muestra compac. (kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (kg/m ³)	Peso unitario compactado (kg/m ³)
Agregado fino	F1	5.3100	28.4140	29.2970	23.1000	23.9870	0.0141	1641	1704
	F2	5.3100	28.6830	30.1320	23.3700	24.8200		1660	1763
	F3	5.3100	28.7360	29.9010	23.4260	24.5910		1664	1746
	Promedio							1655	1738
Mármol	G1	5.3100	29.7460	31.7460	24.4360	26.4360	0.0141	1735	1878
	G2	5.3100	30.2550	31.2360	24.9450	25.9260		1772	1841
	G3	5.3100	30.1440	30.9670	24.8340	25.6570		1764	1822
	Promedio							1757	1847

Tabla 96: Media, variación, desviación estándar para peso suelto y compactado de los agregados.

Ensayos	Agregados	Peso unitario				Varianza (kg/m ³) ²	Desviación estándar (kg/m ³)	Desviación estándar (1s) (kg/m ³) ASTM C29	Rango aceptable para tres resultados (kg/m ³) ASTM C670
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio				
Peso unitario suelto	A. fino	1660.66	1698.31	1664.21	1674	432.16	20.79	14	46
	Mármol	1474.53	1485.9	1507.21	1489	275.23	16.59		
Peso unitario compactado	A. fino	1817.38	1876.34	1823.91	1839	1044.64	32.32	14	46
	Mármol	1664.92	1638	1678.49	1660	424.71	20.61		

Peso específico

Tabla 97: Ensayo peso específico del agregado fino.

Muestra	Código	Peso seco (g)	Peso de fiola lleno de agua (g)	Peso de fiola + agua + muestra (g)	Peso de la muestra saturada (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
		A	B	C	S				
Arena	F1	447.78	1193.77	1475.09	452.18	2621	2646	2690	2.6
	F2	436.45	1242.5	1515.14	441.78	2580	2612	2664	2.8
	F3	444.98	1193.77	1474.37	450.74	2615	2649	2707	2.7
		Promedio				2606	2636	2687	2.7

Tabla 98: Media, variación, desviación estándar para peso específico del agregado fino.

Ensayos	Resultados				Varianza (kg/m ³) ²	Desviación estándar (kg/m ³)	Desviación estándar (1s) (kg/m ³) ASTM C128	Rango aceptable para tres resultados (kg/m ³) ASTM C670
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio				
Densidad (s) (kg/m ³)	2620.74	2580.41	2615.38	2605.51	479.76	21.90	11.00	36.00
Densidad (sss) (kg/m ³)	2646.49	2611.92	2649.23	2635.88	432.50	20.80	9.50	31.00
Densidad aparente (kg/m ³)	2690.02	2664.37	2707.02	2687.13	461.05	21.47	9.50	31.00
Absorción (%)	0.98	1.22	1.29	1.17	0.03	0.16	0.11	0.36

Tabla 99: Ensayo peso específico del mármol.

Muestra	Cód.	Peso seco (g)	Peso de fiola lleno de agua (g)	Peso de fiola + agua + muestra (g)	Peso de la muestra saturada (g)	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
		A	B	C	S				
Mármol	M1	398.32	1195.06	1428.34	403.04	2346	2374	2413	1.2
	M2	390.57	1244.36	1471.84	396.98	2304	2342	2395	1.6
	M3	398.69	1195.1	1428.56	403.35	2347	2374	2413	1.2
			Promedio				2332	2363	2407

Tabla 100: Media, variación, desviación estándar para peso específico del mármol.

Ensayos	Resultados				Varianza (kg/m ³) ²	Desviación estándar (kg/m ³)	Desviación estándar (1s) (kg/m ³) ASTM C128	Rango aceptable para tres resultados (kg/m ³) ASTM C670
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio				
Densidad (s) (kg/m ³)	2346.37	2304.25	2346.75	2332.46	596.88	24.43	11.00	36.00
Densidad (sss) (kg/m ³)	2374.18	2342.06	2374.18	2363.47	343.78	18.54	9.50	31.00
Densidad aparente (kg/m ³)	2413.48	2394.81	2412.94	2407.08	112.86	10.62	9.50	31.00
Absorción (%)	1.18	1.64	1.17	1.33	0.07	0.27	0.11	0.36

APÉNDICE 2: Resultados de los ensayos.

Reactividad

Tabla 101: Reactividad

Mármol	Cód.	L. Inicial (mm)	L. Final (mm)	LF-LI (mm)	% Expansión	Promedio % Expansión
0%	1	-3.613	-3.491	0.122	4.28	4.18
	2	-1.526	-1.409	0.117	4.11	
	3	-2.762	-2.644	0.118	4.14	
15%	4	-3.853	-3.744	0.109	3.82	3.60
	5	-1.072	-0.977	0.095	3.33	
	6	-1.762	-1.658	0.104	3.65	
30%	7	0.062	0.142	0.080	2.81	2.84
	8	0.387	0.471	0.084	2.95	
	9	0.098	0.177	0.079	2.77	
45%	10	-4.754	-4.683	0.071	2.49	2.40
	11	-1.475	-1.407	0.068	2.39	
	12	-3.125	-3.059	0.066	2.32	
60%	13	0.585	0.636	0.051	1.79	1.85
	14	-2.226	-2.173	0.053	1.86	
	15	-1.899	-1.845	0.054	1.89	
75%	16	-1.055	-1.012	0.043	1.51	1.59
	17	-2.174	-2.127	0.047	1.65	
	18	-2.734	-2.688	0.046	1.61	
90%	19	-2.874	-2.841	0.033	1.16	0.94
	20	-2.263	-2.239	0.024	0.84	
	21	-2.534	-2.511	0.023	0.81	

Densidad

Tabla 102: Densidad en seco del mortero a 3 días.

Mármol	Cód.	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso seco (g)	Densidad (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
0%	D1	289.3	151.0	264.2	1911.3	1914
	D2	292.2	152.3	266.9	1907.5	
	D3	290.8	152.6	265.9	1924.3	
15%	D4	288.9	150.0	264.5	1904.5	1915
	D5	286.9	149.6	263.0	1917	
	D6	289.5	151.5	265.2	1922.8	
30%	D7	292.4	155.2	266.8	1945.6	1951
	D8	294.3	156.4	268.6	1947.6	
	D9	291.5	155.4	266.6	1959.5	
45%	D10	295.2	158.3	267.5	1954.6	1958
	D11	293.6	157.0	266.7	1953.4	
	D12	296.4	159.3	269.5	1967	
60%	D13	298.9	162.8	270.7	1989.1	1984
	D14	299.9	162.9	271.5	1981.1	
	D15	296.6	161.3	267.9	1980.7	
75%	D16	302.6	165.8	272.8	1994	1993
	D17	297.4	163	267.9	1993.2	
	D18	299.4	164.1	269.2	1990.6	
90%	D19	298.8	167.6	266.3	2030.3	2018
	D20	300.2	167.5	267.2	2014.3	
	D21	304.8	170.1	270.8	2010.3	

Tabla 103: Densidad en seco del mortero a 7 días.

Mármol	Cód.	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso seco (g)	Densidad (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
0%	D22	316.26	170.31	284.44	1948.89	1963
	D23	307.78	167.98	277.59	1985.62	
	D24	311.43	167.72	280.71	1953.31	
15%	D25	309.74	169.44	278.34	1983.89	2003
	D26	306.9	168.82	277.24	2007.82	
	D27	310.28	171.53	279.96	2017.73	
30%	D28	315.91	172.54	285.32	1990.1	1997
	D29	303.22	165.06	273.44	1979.15	
	D30	305.25	169.13	275.19	2021.67	
45%	D31	292.38	159.59	263.53	1984.56	2007
	D32	308.72	170.24	279.45	2017.98	
	D33	308.3	169.86	279.26	2017.19	
60%	D34	323.85	180.35	295.64	2060.21	2050
	D35	295.67	164.08	269.93	2051.3	
	D36	296.45	163.46	271.08	2038.35	
75%	D37	308.96	170.11	280.85	2022.69	2060
	D38	301.96	167.66	274.64	2044.97	
	D39	302.25	170.60	277.91	2110.98	
90%	D40	309.17	173.46	281.81	2076.56	2088
	D41	308.53	174.43	282.48	2106.49	
	D42	307.87	173.38	279.83	2080.68	

Tabla 104: Densidad en seco del mortero a 28 días.

Mármol	Cód.	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso seco (g)	Densidad (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
0%	D43	305.25	166.86	276.34	1996.82	1983
	D44	311.8	169.25	281.78	1976.71	
	D45	308.54	167.84	277.96	1975.55	
15%	D46	312.29	172.59	281.87	2017.68	2005
	D47	318.68	174.6	288.35	2001.32	
	D48	306.25	168.74	274.67	1997.45	
30%	D49	297.63	165.19	269.23	2032.85	2034
	D50	300.44	164.78	271.68	2002.65	
	D51	302.81	168.65	277.38	2067.53	
45%	D52	304.4	168.65	277.16	2041.69	2041
	D53	301.83	167.34	276.36	2054.87	
	D54	323.38	179.17	292.23	2026.42	
60%	D55	307.52	169.99	277.8	2019.92	2055
	D56	317.63	177.72	291.76	2085.34	
	D57	313	174.12	286.13	2060.27	
75%	D58	301.61	171.13	275.68	2112.81	2082
	D59	303.99	169.12	277.13	2054.79	
	D60	306.73	171.58	280.84	2077.99	
90%	D61	306.11	171.93	280.3	2088.98	2096
	D62	309.73	174.83	283.92	2104.67	
	D63	311.47	175.49	284.9	2095.16	

Tabla 105: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 3 días.

Mármol	Densidad en seco promedio (g/cm ³)	Varianza (g/cm ³) ²	Desviación Estándar (g/cm ³)
0%	2.02	6.10	2.47
15%	1.99	5.94	2.44
30%	1.98	5.90	2.43
45%	1.96	5.74	2.40
60%	1.95	5.72	2.39
75%	1.91	5.49	2.34
90%	1.91	5.49	2.34

Tabla 106: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 7 días.

Mármol	Densidad en seco promedio (g/cm ³)	Varianza (g/cm ³) ²	Desviación estándar (g/cm ³)
0%	2.09	6.55	2.56
15%	2.06	6.35	2.52
30%	2.05	6.30	2.51
45%	2.01	6.04	2.46
60%	2.00	5.98	2.45
75%	2.00	6.02	2.45
90%	1.96	5.78	2.40

Tabla 107: Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 28 días.

Mármol	Densidad en seco promedio (g/cm ³)	Varianza (g/cm ³) ²	Desviación estándar (g/cm ³)
0%	2.10	6.59	2.57
15%	2.08	6.49	2.55
30%	2.06	6.35	2.52
45%	2.04	6.24	2.50
60%	2.03	6.20	2.49
75%	2.01	6.04	2.46
90%	1.98	5.92	2.43

Resistencia a compresión

Tabla 108: Ensayo de resistencia a compresión a 3 días de curado.

Mármol	Cód.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (kg/cm ²)
0%	F9	4.98	4.99	5.01	24.85	53.2	217.43
	F10	4.97	4.99	4.99	24.8	53.9	221.17
	B1	4.99	5	4.98	24.95	53.4	219.56
Resistencia promedio (kg/cm²)							219
Desviación estándar (kg/cm²)							1.88
Coefficiente de variación (%)							3.52
15%	G1	4.98	4.99	5.01	24.85	62.8	256.67
	G2	4.97	4.99	4.99	24.8	62.1	254.82
	G3	4.99	5	4.98	24.95	61.3	252.04
Resistencia promedio (kg/cm²)							255
Desviación estándar (kg/cm²)							2.33
Coefficiente de variación (%)							5.42
30%	G4	4.98	4.99	5.01	24.85	66.9	273.42
	G5	4.97	4.99	4.99	24.8	65.7	269.59
	G6	4.99	5	4.98	24.95	65.5	269.31
Resistencia promedio (kg/cm²)							271
Desviación estándar (kg/cm²)							2.3
Coefficiente de variación (%)							5.28
45%	G7	4.98	4.99	5.01	24.85	74.4	304.08
	G8	4.97	4.99	4.99	24.8	73.8	302.83
	G9	4.99	5	4.98	24.95	73.7	303.03
Resistencia promedio (kg/cm²)							303
Desviación estándar (kg/cm²)							0.67
Coefficiente de variación (%)							0.45
60%	G10	4.98	4.99	5.01	24.85	93.1	380.5
	F1	4.97	4.99	4.99	24.8	93.9	385.3
	F2	4.99	5	4.98	24.95	93.5	384.44
Resistencia promedio (kg/cm²)							383
Desviación estándar (kg/cm²)							2.56
Coefficiente de variación (%)							6.55
75%	F3	4.98	4.99	5.01	24.85	96.2	393.17
	F4	4.97	4.99	4.99	24.8	95.7	392.69
	F5	4.99	5	4.98	24.95	96.1	395.13
Resistencia promedio (kg/cm²)							394
Desviación estándar (kg/cm²)							1.29
Coefficiente de variación (%)							1.66
90%	F6	4.98	4.99	5.01	24.85	99.6	407.07
	F7	4.97	4.99	4.99	24.8	99.7	409.1
	F9	4.99	5	4.98	24.95	100.1	411.57
Resistencia promedio (kg/cm²)							409
Desviación estándar (kg/cm²)							2.26
Coefficiente de variación (%)							5.09

Tabla 109: Ensayo de resistencia a compresión a 7 días de curado.

Mármol	Cód.	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (kg/cm ²)
0%	F9	4.98	4.99	5.01	24.85	75.6	308.98
	F10	4.97	4.99	4.99	24.8	76	311.85
	B1	4.99	5	4.98	24.95	74.7	307.14
Resistencia promedio (kg/cm²)							309
Desviación estándar (kg/cm²)							2.38
Coefficiente de variación (%)							5.65
15%	G1	4.98	4.99	5.01	24.85	84.9	346.99
	G2	4.97	4.99	4.99	24.8	83.7	343.45
	G3	4.99	5	4.98	24.95	85.1	349.9
Resistencia promedio (kg/cm²)							347
Desviación estándar (kg/cm²)							3.23
Coefficiente de variación (%)							10.43
30%	G4	4.98	4.99	5.01	24.85	91.3	373.15
	G5	4.97	4.99	4.99	24.8	89.6	367.66
	G6	4.99	5	4.98	24.95	90.8	373.33
Resistencia promedio (kg/cm²)							371
Desviación estándar (kg/cm²)							3.22
Coefficiente de variación (%)							10.39
45%	G7	4.98	4.99	5.01	24.85	96.5	394.4
	G8	4.97	4.99	4.99	24.8	97.3	399.25
	G9	4.99	5	4.98	24.95	95.7	393.48
Resistencia promedio (kg/cm²)							396
Desviación estándar (kg/cm²)							3.1
Coefficiente de variación (%)							9.63
60%	G10	4.98	4.99	5.01	24.85	107.5	439.36
	F1	4.97	4.99	4.99	24.8	106.7	437.83
	F2	4.99	5	4.98	24.95	107.2	440.76
Resistencia promedio (kg/cm²)							439
Desviación estándar (kg/cm²)							1.47
Coefficiente de variación (%)							2.16
75%	F3	4.98	4.99	5.01	24.85	115.6	472.46
	F4	4.97	4.99	4.99	24.8	113.9	467.37
	F5	4.99	5	4.98	24.95	115.2	473.66
Resistencia promedio (kg/cm²)							471
Desviación estándar (kg/cm²)							3.34
Coefficiente de variación (%)							11.15
90%	F6	4.98	4.99	5.01	24.85	125.7	513.74
	F7	4.97	4.99	4.99	24.8	123.9	508.4
	F9	4.99	5	4.98	24.95	124.5	511.9
Resistencia promedio (kg/cm²)							511
Desviación estándar (kg/cm²)							2.71
Coefficiente de variación (%)							7.34

Tabla 110: Ensayo de resistencia a compresión a 28 días de curado.

Mármol	Cód	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (kg/cm ²)
0%	F9	4.98	4.99	5.01	24.85	89.7	366.61
	F10	4.97	4.99	4.99	24.8	88.9	364.79
	B1	4.99	5	4.98	24.95	90.4	371.69
Resistencia promedio (kg/cm²)							368
Desviación estándar (kg/cm²)							3.58
Coefficiente de variación (%)							12.8
15%	G1	4.98	4.99	5.01	24.85	97.7	399.3
	G2	4.97	4.99	4.99	24.8	98.6	404.59
	G3	4.99	5	4.98	24.95	99.1	407.46
Resistencia promedio (kg/cm²)							404
Desviación estándar (kg/cm²)							4.14
Coefficiente de variación (%)							17.12
30%	G4	4.98	4.99	5.01	24.85	107.8	440.58
	G5	4.97	4.99	4.99	24.8	107.2	439.88
	G6	4.99	5	4.98	24.95	108.3	445.29
Resistencia promedio (kg/cm²)							442
Desviación estándar (kg/cm²)							2.94
Coefficiente de variación (%)							8.65
45%	G7	4.98	4.99	5.01	24.85	115.8	473.28
	G8	4.97	4.99	4.99	24.8	114.9	471.47
	G9	4.99	5	4.98	24.95	116.1	477.36
Resistencia promedio (kg/cm²)							474
Desviación estándar (kg/cm²)							3.01
Coefficiente de variación (%)							9.09
60%	G10	4.98	4.99	5.01	24.85	120.3	491.67
	F1	4.97	4.99	4.99	24.8	119.8	491.58
	F2	4.99	5	4.98	24.95	118.7	488.05
Resistencia promedio (kg/cm²)							490
Desviación estándar (kg/cm²)							2.07
Coefficiente de variación (%)							4.27
75%	F3	4.98	4.99	5.01	24.85	128.6	525.59
	F4	4.97	4.99	4.99	24.8	128.3	526.46
	F5	4.99	5	4.98	24.95	129.2	531.22
Resistencia promedio (kg/cm²)							528
Desviación estándar (kg/cm²)							3.03
Coefficiente de variación (%)							9.18
90%	F6	4.98	4.99	5.01	24.85	139.4	569.73
	F7	4.97	4.99	4.99	24.8	137.8	565.44
	F9	4.99	5	4.98	24.95	138.2	568.22
Resistencia promedio (kg/cm²)							568
Desviación estándar (kg/cm²)							2.18
Coefficiente de variación (%)							4.74

Tabla 111: Desviación estándar para resistencia a compresión de 3 días de curado.

Mármol	Media (Kg/cm ²)	Varianza (kg/ cm ²) ²	Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coficiente de variación (Kg/cm ²) ASTM C39	Rango aceptable para tres resultados (kg/cm ²) ASTM C39
0%	219.39	3.52	1.88		
15%	254.51	5.42	2.33		
30%	270.77	5.28	2.3		
45%	303.31	0.45	0.67	3.2	11.52
60%	383.41	6.55	2.56		
75%	393.66	1.66	1.29		
90%	409.25	5.09	2.26		

Tabla 112: Desviación estándar para resistencia a compresión de 7 días de curado.

Mármol	Media (Kg/cm ²)	Varianza (kg/ cm ²) ²	Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coficiente de variación (Kg/cm ²) ASTM C39	Rango aceptable para tres resultados (kg/cm ²) ASTM C39
0%	309.32	5.65	2.38		
15%	346.78	10.43	3.23		
30%	371.38	10.39	3.22		
45%	395.71	9.63	3.1	3.2	11.52
60%	439.32	2.16	1.47		
75%	471.16	11.15	3.34		
90%	511.35	7.34	2.71		

Tabla 113: Desviación estándar para resistencia a compresión de 28 días de curado.

Mármol	Media (Kg/cm ²)	Varianza (kg/ cm ²) ²	Desviación estándar (Kg/cm ²)	Coficiente de variación (Kg/cm ²) ASTM C39	Rango aceptable para tres resultados (kg/cm ²) ASTM C39
0%	367.69	12.8	3.58		
15%	403.78	17.12	4.14		
30%	441.92	8.65	2.94		
45%	474.04	9.09	3.01	3.2	11.52
60%	490.43	4.27	2.07		
75%	527.76	9.18	3.03		
90%	567.8	4.74	2.18		

Resistencia a pilas

Tabla 114: Ensayo de resistencia a pilas a 28 días.

Mármol	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Fuerza (KN)	Resistencia a compresión (N/mm ²)	Resistencia a compresión (Kg/cm ²)	Resistencia promedio (Kg/cm ²)
0%	23.12	12.80	29.17	335.80	11.35	115.63	118.05
	22.89	12.67	30.96	334.60	11.54	117.56	
	23.04	12.21	29.32	333.90	11.87	120.95	
15%	22.95	12.75	30.65	352.50	12.05	122.76	124.27
	23.08	12.54	30.14	359.70	12.43	126.64	
	23.15	12.85	29.82	360.30	12.11	123.42	
30%	23.10	12.37	30.80	377.50	13.21	134.62	134.23
	22.87	12.53	29.68	378.30	13.20	134.52	
	22.98	12.64	30.21	380.70	13.11	133.55	
45%	22.72	12.40	30.90	401.60	14.25	145.26	145.57
	23.22	12.53	30.37	418.30	14.38	146.50	
	23.14	12.75	29.76	419.70	14.23	144.96	
60%	22.90	12.25	30.42	430.40	15.34	156.34	155.65
	22.68	12.42	29.36	427.60	15.18	154.68	
	23.04	12.43	29.78	438.20	15.30	155.92	
75%	22.85	12.50	30.68	453.40	15.87	161.76	161.08
	23.16	12.54	30.14	455.70	15.69	159.89	
	22.93	12.46	29.75	453.10	15.86	161.60	
90%	22.65	12.40	30.47	458.40	16.32	166.31	166.68
	23.04	12.11	29.83	460.30	16.50	168.11	
	23.01	12.29	29.78	459.60	16.25	165.61	

ANEXOS

ANEXO 1: Panel fotográfico

Caracterización de la arena y mármol



Figura 28: Determinación de la granulometría de arena y mármol.



Figura 29: Determinación del contenido de humedad de arena y mármol.



Figura 30: Determinación del peso específico y absorción de la arena.



Figura 31: Determinación del peso específico del mármol.



Figura 32: Determinación de la absorción del mármol.



Figura 33: Determinación del peso unitario suelto y compactado de arena y mármol.

Conformación de las probetas



Figura 34: Conformación de probetas de mortero.



Figura 35: Desmolde de probetas de mortero.

Ensayo de reactividad



Figura 36: Ensayo de reactividad.

Ensayo de densidad



Figura 37: Ensayo de densidad de probetas de mortero.

Ensayo de resistencia a compresión



Figura 38: Ensayo de resistencia a compresión de probetas de mortero.

Ensayo de resistencia a pilas



Figura 39: Ensayo de variación dimensional.



Figura 40: Ensayo de alabeo.



Figura 41: Ensayo de porcentaje de vacíos.



Figura 42: Capa de yeso



Figura 43: Ensayo de resistencia a compresión de unidades.



Figura 44: Elaboración de pilas.



Figura 45: Ensayo de resistencia a compresión de pilas.

ANEXO 2: Guía de observación por cada ensayo.

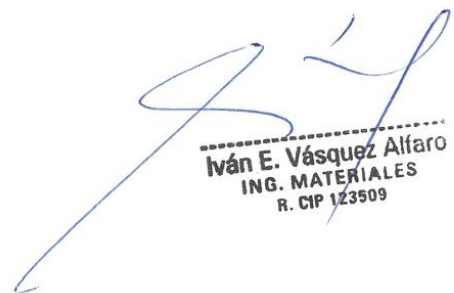
Guía de observación para reactividad.

a. Datos generales		b. Fotografía
Nombre del investigador		
Fecha		
Ubicación de laboratorio		
Ensayo		
Espécimen		
c. Datos específicos		
% de mármol molido		
Longitud inicial (Li)		
Longitud final (Lf)		
Longitud final - Longitud inicial (Lf - Li)		
% de expansión		


Iván E. Vásquez Alfaro
ING. MATERIALES
R. CIP 123509

Guía de observación para densidad.

a. Datos generales		b. Fotografía
Nombre del investigador		
Fecha		
Ubicación de laboratorio		
Ensayo		
Espécimen		
c. Datos específicos		
% de mármol molido		
Peso saturado (gr)		
Peso sumegido (gr)		
Peso seco (gr)		
Densidad		


Iván E. Vásquez Alfaro
ING. MATERIALES
R. CIP 123509

Guía de observación para compresión.

a. Datos generales		b. Fotografía
Nombre del investigador		
Fecha		
Ubicación de laboratorio		
Ensayo		
Espécimen		
c. Datos específicos		
% de mármol molido		
Largo (cm)		
Ancho (cm)		
Alto (cm)		
Área (cm ³)		
Fuerza (kN)		
Resistencia (kg/cm ²)		


Iván E. Vásquez Alfaro
ING. MATERIALES
R. CIP 123509

Guía de observación para resistencia a pilas.

a. Datos generales		b. Fotografía
Nombre del investigador		
Fecha		
Ubicación de laboratorio		
Ensayo		
Espécimen		
c. Datos específicos		
% de mármol molido		
Largo (cm)		
Ancho (cm)		
Alto (cm)		
Fuerza (kN)		
Resistencia (kg/cm ²)		


Iván E. Vásquez Alfaro
ING. MATERIALES
R. CIP 123509

ANEXO 3: Distribución de F de Fisher

n ₂	5 % (normal) y 1 % (negritas) puntos para la distribución de F																				n ₂				
	n1 grados de libertad (para el mayor cuadrado medio)																								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	14	16	20	24	30	40	50	75	100	200	500	∞	
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.74	2.70	2.65	2.61	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.43	2.42	2.40	11
	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54	4.46	4.40	4.29	4.21	4.10	4.02	3.94	3.86	3.81	3.74	3.71	3.66	3.62	3.60	
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.64	2.60	2.54	2.51	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.32	2.31	2.30	12
	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30	4.22	4.16	4.05	3.97	3.86	3.78	3.70	3.62	3.57	3.50	3.47	3.41	3.38	3.36	
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.55	2.51	2.46	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.22	2.21	13
	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10	4.02	3.96	3.86	3.78	3.66	3.59	3.51	3.43	3.38	3.31	3.27	3.22	3.19	3.17	
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.48	2.44	2.39	2.35	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.16	2.14	2.13	14
	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94	3.86	3.80	3.70	3.62	3.51	3.43	3.35	3.27	3.22	3.15	3.11	3.06	3.03	3.00	
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.42	2.38	2.33	2.29	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.10	2.08	2.07	15
	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80	3.73	3.67	3.56	3.49	3.37	3.29	3.21	3.13	3.08	3.01	2.98	2.92	2.89	2.87	
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.37	2.33	2.28	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.04	2.02	2.01	16
	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69	3.62	3.55	3.45	3.37	3.26	3.18	3.10	3.02	2.97	2.90	2.86	2.81	2.78	2.75	
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.33	2.29	2.23	2.19	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.99	1.97	1.96	17
	8.40	6.11	5.19	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59	3.52	3.46	3.35	3.27	3.16	3.08	3.00	2.92	2.87	2.80	2.76	2.71	2.68	2.65	
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.29	2.25	2.19	2.15	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.95	1.93	1.92	18
	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51	3.43	3.37	3.27	3.19	3.08	3.00	2.92	2.84	2.78	2.71	2.68	2.62	2.59	2.57	
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.91	1.89	1.88	19
	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43	3.36	3.30	3.19	3.12	3.00	2.92	2.84	2.76	2.71	2.64	2.60	2.55	2.51	2.49	
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.22	2.18	2.12	2.08	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.88	1.86	1.84	20
	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37	3.29	3.23	3.13	3.05	2.94	2.86	2.78	2.69	2.64	2.57	2.54	2.48	2.44	2.42	
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.20	2.16	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.84	1.83	1.81	21
	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31	3.24	3.17	3.07	2.99	2.88	2.80	2.72	2.64	2.58	2.51	2.48	2.42	2.38	2.36	
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.17	2.13	2.07	2.03	1.98	1.94	1.91	1.87	1.85	1.82	1.80	1.78	22
	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26	3.18	3.12	3.02	2.94	2.83	2.75	2.67	2.58	2.53	2.46	2.42	2.36	2.33	2.31	
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.15	2.11	2.05	2.01	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.79	1.77	1.76	23
	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21	3.14	3.07	2.97	2.89	2.78	2.70	2.62	2.54	2.48	2.41	2.37	2.32	2.28	2.26	
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.13	2.09	2.03	1.98	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.77	1.75	1.73	24
	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17	3.09	3.03	2.93	2.85	2.74	2.66	2.58	2.49	2.44	2.37	2.33	2.27	2.24	2.21	
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.11	2.07	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.78	1.75	1.73	1.71	25
	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13	3.06	2.99	2.89	2.81	2.70	2.62	2.54	2.45	2.40	2.33	2.29	2.23	2.19	2.17	
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.09	2.05	1.99	1.95	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.73	1.71	1.69	26
	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09	3.02	2.96	2.86	2.78	2.66	2.58	2.50	2.42	2.36	2.29	2.25	2.19	2.16	2.13	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.08	2.04	1.97	1.93	1.88	1.84	1.81	1.76	1.74	1.71	1.69	1.67	27
	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06	2.99	2.93	2.82	2.75	2.63	2.55	2.47	2.38	2.33	2.26	2.22	2.16	2.12	2.10	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.06	2.02	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.75	1.73	1.69	1.67	1.65	28
	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03	2.96	2.90	2.79	2.72	2.60	2.52	2.44	2.35	2.30	2.23	2.19	2.13	2.09	2.06	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.05	2.01	1.94	1.90	1.85	1.81	1.77	1.73	1.71	1.67	1.65	1.64	29
	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00	2.93	2.87	2.77	2.69	2.57	2.49	2.41	2.33	2.27	2.20	2.16	2.10	2.06	2.03	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.04	1.99	1.93	1.89	1.84	1.79	1.76	1.72	1.70	1.66	1.64	1.62	30
	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98	2.91	2.84	2.74	2.66	2.55	2.47	2.39	2.30	2.25	2.17	2.13	2.07	2.03	2.01	
32	4.15	3.29	2.90	2.67	2.51	2.40	2.31	2.24	2.19	2.14	2.10	2.07	2.01	1.97	1.91	1.86	1.82	1.77	1.74	1.69	1.67	1.63	1.61	1.59	32
	7.50	5.34	4.46	3.97	3.65	3.43	3.26	3.13	3.02	2.93	2.86	2.80	2.70	2.62	2.50	2.42	2.34	2.25	2.20	2.12	2.08	2.02	1.98	1.96	

ANEXO 4: Certificado de ensayos en la Universidad Privada del Norte



CERTIFICADO
DE ENSAYOS EN LABORATORIOS

El que suscribe, Wesley John Leonardo Carrasco, hace constar por medio de la presente que el Srta. Luisita Alejandra Reyna Quispe, identificada con D.N.I N° 70517024, ha realizado ensayos de granulometría, absorción, humedad, peso unitario suelto y compactado, peso específico, abrasión los Ángeles, y elaboración de especímenes de mortero en las instalaciones del laboratorio de **Estructuras y Concreto** de esta universidad, requeridos para la tesis ***"Influencia del Mármol Reciclado sobre la Reactividad, Densidad, Compresión y Resistencia a Pilas en Morteros, Trujillo 2018"***; los resultados obtenidos se encuentran registrados en nuestro archivo.

Se expide esta certificación a solicitud del interesado, para los fines que estime conveniente.

Trujillo, 13 de marzo del 2018



Wesley J. Leonardo Carrasco
Supervisor de Laboratorio

ANEXO 5: Certificado de ensayos en la Universidad Nacional de Trujillo



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Concreto y Reciclado

INFORME N°26/ABRIL18

CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

Solicitante / DNI: Luisita Alejandra Reyna Quispe/ 70517024

Institución: Universidad Privada del Norte / Sede Trujillo

Investigación: "Influencia del mármol reciclado sobre la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros, Trujillo 2018"

I. MUESTRA:

Especímenes: Morteros de 1 cemento: 3 arena gruesa; con una cantidad de 129 cubos de 5 cm x 5 cm x 5 cm de largo, ancho, y alto respectivamente y 21 rectángulos de 2.5 cm x 2.5 cm x 28 cm de largo, ancho, y alto respectivamente, realizados del 25 de setiembre al 07 de noviembre.

Muestreo: Realizado por testista.


II. ENSAYOS A APLICAR

- **NTG 41010 h 14:** Ensayo de reactividad (ASTM C 1260)
- **NTP 321.139:** Ensayo de densidad (ASTM C 642)
- **NTP 339.034:** Ensayo de resistencia a compresión (ASTM C 39)
- **NTP 399.065:** Ensayo de resistencia a pilas (ASTM D 1143)

III. PARÁMETROS DEL EQUIPO: Se considera un error de $\pm 0.5\%$

Marca	Modo	Unidades	Velocidad de carga	Capacidad máxima
Ele International	Mode I: compresión	SI	0.05 KN/seg	2000 KN

Jefe de Laboratorio de concreto y reciclado:


Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo, 04 de abril del 2018

ANEXO 6: Certificado de ensayo DRX



RESULTADOS

Solicitado por: Srta. Alejandra Reyna

ANÁLISIS POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X (DRX)

El difractograma presentado, corresponde a la muestra:

Muestra MR-1

Observaciones:

1. La cuantificación aproximada se ha realizado de acuerdo a la fase identificada en la muestra.

2. La fase encontrada se presenta en la siguiente tabla:

Muestra MR-1

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Calcita	CaCO ₃	100

Condiciones de operación y análisis:

Equipo: Difractometro

Tubo Cu (40kV, 40mA): KAlfa1: 1.54060 Å

KAlfa2: 1.54439 Å

Filtro: Kbeta: Ni

Detector: LynxEye

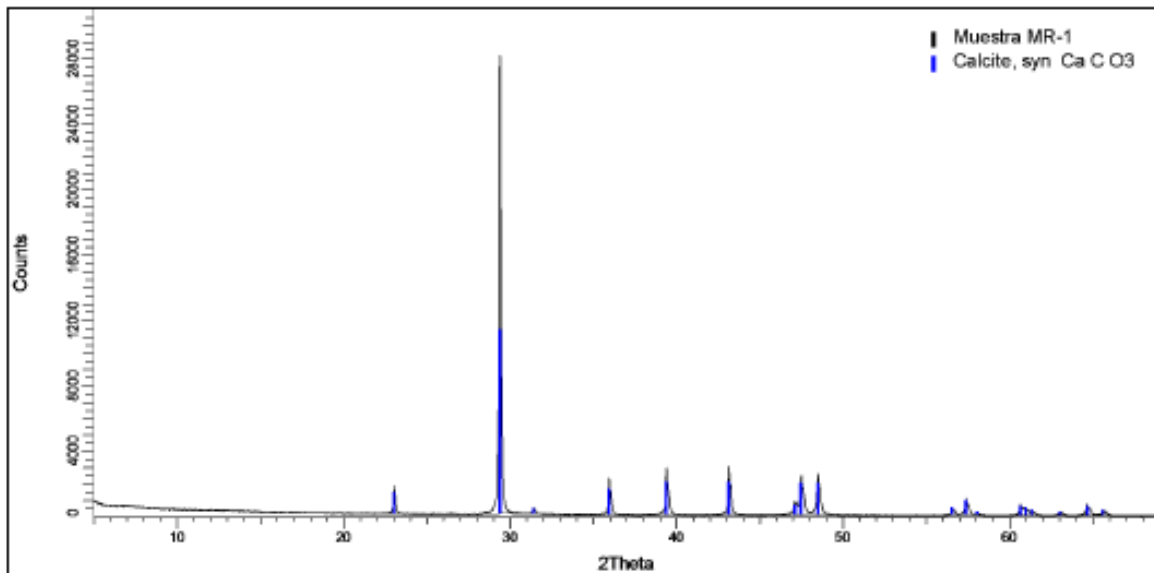
Rango de medida desde $2\theta = 5^\circ$ hasta $2\theta = 70^\circ$

Identificación: Base de datos del Centro Internacional de Datos para Difracción (ICDD).


Cuantificación: Método Refinamiento Rietveld (TOPAS Structure Database y Fiz Karlsruhe ICSD).



Figura 1. Difractograma de la Muestra MR-1 con los respectivos minerales identificados.



ANEXO 7: Ficha técnica del cemento portland tipo I - Qhuna



Cemento Qhuna / PORTLAND TIPO I

FICHA TÉCNICA

El cemento portland TIPO I, es un cemento de uso general, fabricado mediante la molienda de Clinker y yeso en diferentes porcentajes, asegurando de esa manera un producto de calidad, con mayores resistencias y tiempo de fraguado óptimo para una buena trabajabilidad en obra y/o construcción.

El cemento portland Tipo I, cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150.

APLICACIONES


- Para uso en obras de construcción en general, proporciona resistencias mayores a 6900 PSI (47.6 MPa).
- Usado en la fabricación de ladrillos o bloques de alta resistencia, alcantarillados o adoquines,
- Para asentar ladrillos, tarrajear, enchapes de mayólicas, pisos cerámicos y otros materiales.
- Para preparación de concretos en cimientos, sobre cimientos, zapatas, vigas, columnas y techado de edificaciones.
- Debido a su correcta formulación desarrolla mayores resistencias a temprana edad y un adecuado tiempo de fraguado, requerido por los maestros en obra y/o construcción.

RECOMENDACIONES

- Usar agua y agregados en la proporción correcta.
- Preparar la mezcla sobre una superficie limpia, libre de materiales ajenos a la preparación.
- Como todo concreto es recomendable siempre realizar el curado con agua a fin de lograr un buen desarrollo de resistencia y acabo final.
- Para asegurar la conservación del cemento, se recomienda almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes o pisos y protegidas de la humedad.
- Evitar apilar las bolsas en más de 10, para evitar la compactación de las mismas.

PRECAUCIONES

- Este producto, seco o húmedo puede causar irritación o quemadura a los ojos y la piel, por ende, evitar el contacto directo.
- Usar lentes de protección, guantes y botas de jebe, así como respiradores de polvo apropiados cuando se abra la bolsa o se ejecute el trabajo.
- Cubra sus brazos y piernas adecuadamente, para evitar irritación.
- Mantener fuera del alcance de los niños.



Victor Cruzado Escobar
Control de Calidad
INVERCEM S.A.

Psj. Petroperú 598 – Trujillo, La Libertad . (044) 578049



Cemento Qhuna / PORTLAND TIPO I

En el siguiente cuadro, se indica las propiedades del CEMENTO PORTLAND TIPO I

CEMENTO PORTLAND TIPO I			
Conforme a la NTP 334.009 y ASTM C 150.			
PROPIEDADES FÍSICAS	UM	REQUISITO DE NORMA NTP 334.009 y ASTM C 150	INVERCEM
Superficie Específica	Cm ² /g	Mínimo 2800	3540
Contenido de Aire	%	Máximo 12.0	8.0
Expansión en Autoclave	%	Máximo 0.80	0.01
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a 1 día	PSI (MPa)	NO ESPECÍFICA	2150 (14.8)
Resistencia a 3 días	PSI (MPa)	1740 (12.0)	3950 (27.2)
Resistencia a 7 días	PSI (MPa)	2760 (19.0)	5040 (34.7)
Resistencia a 28 días	PSI (MPa)	4060 (28.0)	7130 (49.17)
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Inicial	min	Mínimo 45	121
Fraguado Final	min	Máximo 375	270
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
SO ₃	%	Máximo 3.0	2.53
MgO	%	Máximo 6.0	0.90
Pérdida por Ignición	%	Máximo 3.0	1.9
Residuo Insoluble	%	Máximo 0.75	0.52
Fe ₂ O ₃	%	Máximo 6.0	3.59
Al ₂ O ₃	%	Máximo 6.0	4.79
C ₃ A	%	Máximo 8.0	6.42

Victor Cruzado
Victor Cruzado Escobar
Control de Calidad
INVERCEM S.A.

Psj. Petroperú 598 – Trujillo, La Libertad . (044) 578049

ANEXO 8: Ficha técnica del cemento portland tipo I - Pacasmayo



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



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150

Pacasmayo, 15 de Agosto del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO ₃	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por ignición	%	3.1	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.66	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.08	NO ESPECÍFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.5 (271)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	34.3 (350)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	39.8 (406)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	261	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2017 al 31-07-2017.

La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Junio 2017.

(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fleetas
Superintendente de Control de Calidad

ANEXO 9: Ficha técnica de Ladrillos Lark King Kong 18 huecos



MODOS DE USO

Se utiliza en paredes, muros, encofrados, columnas, ventanas, jardines, cercas, etc.

CARACTERÍSTICAS GENERALES



Denominación del Bien	KING KONG 18 HUECOS
Denominación Técnica	KING KONG 50% VACIO
Dimensiones	9 x 12.5 x 23 cm.
Peso	2.70 kg.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

De los tipos de ladrillos

Según la norma NTP 399.613 - 331.040 - 331.041 este ladrillo corresponde:

TIPO: Resistencia y durabilidad altas. Apto para construcciones de albañilería en condiciones de servicio rigurosas.

OTRAS ESPECIFICACIONES

- Procesos de fabricación altamente controlado
- Control de calidad riguroso en todos los procesos
- Peso exacto
- Secado Artificial automatizado

EL CONTENIDO DE LA FICHA PUEDE VARIAR POR CAMBIOS
EN LOS PROCEDIMIENTOS O EN LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.



www.Ladrilloslark.com.pe

ANEXO 10: Arena gruesa (Sodimac).

Arena Gruesa m3 Topex

SKU 38196-9 | Compartir ↗



❗ Precio corresponde a tienda **SODIMAC TRUJILLO**.
El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

S/ **49.90** C/U

Acumulas: 49 CMR Puntos

Cantidad

1 +
-

Agregar al carro 🛒

[Agregar a mi lista](#)

REVISLA LA DISPONIBILIDAD DE ESTE PRODUCTO AQUÍ:

Disponible para despacho a domicilio

[Simular costo de despacho](#)

Disponible para retiro en tienda

[Ver tiendas disponibles](#)

Stock disponible en tiendas

[Ver stock](#)

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

NTP 400.022

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino

AGGREGATES. Standard test method for specific gravity and absorption of fine aggregate

R.0048-2002/INDECOPI-CRT. Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 05 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Absorción, agregado, agregado fino, peso específico

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCCIONES Y COMERCIO CANARIO, CORTEA S.A. SUCURSALES PERU

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

NTP 339.185

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para
contenido de humedad total evaporable de agregados por
secado**

AGGREGATES. Standard test method for total evaporable moisture content of aggregate by drying

R.0048-2002/INDECOPI-CRT. Publicada el 2002-05-30

Precio basado en 08 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Agregados, secado, contenido de humedad

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCCIONES E COMERCIO CALVARO CORREA S.A. SUCURSAL PERU

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

NTP 400.017

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-**INDECOPI**
Calle De La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

**AGREGADOS. Método de ensayo para determinar el peso
unitario del agregado**

AGGREGATE. Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate

R.0021-99/INDECOPI-CRT. Publicada el 99-04-29

Precio basado en 10 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Hormigón, Método de ensayo, Probetas cilíndricas, curado de la probeta

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

**NTP 339.033
2009**

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales No Arancelarias - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú

HORMIGÓN (CONCRETO). Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo

CONCRETE. Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 31/C 31M-2008b Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field, Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

**2009-08-26
3ª Edición**



Designation: C 1260 – 07

Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)¹

This standard is issued under the fixed designation C 1260; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revisions, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope²

1.1 This test method permits detection, within 16 days, of the potential for deleterious alkali-silica reaction of aggregate in mortar bars.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values in inch-pound units are shown in parentheses, and are for informational purposes only.

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- C 109/C 109M Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- C 127 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate
- C 128 Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate
- C 150 Specification for Portland Cement
- C 151 Test Method for Autoclave Expansion of Hydraulic Cement
- C 295 Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete
- C 305 Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency
- C 490 Practice for Use of Apparatus for the Determination

of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete

- C 511 Specification for Mixing Rooms, Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials
- C 856 Practice for Petrographic Examination of Hardened Concrete
- D 1193 Specification for Reagent Water
- E 11 Specification for Wire Cloth and Sieves for Testing Purposes

3. Terminology

3.1 *Definitions:*

- 3.1.1 *relative density (OD), n*—as defined in Test Methods C 127 or C 128, for coarse and fine aggregates, respectively.
- 3.2 For definitions of other terms relating to concrete or aggregates, see Terminology C 125.

4. Significance and Use

4.1 This test method provides a means of detecting the potential of an aggregate intended for use in concrete for undergoing alkali-silica reaction resulting in potentially deleterious internal expansion. It is based on the NBRI Accelerated Test Method (1-4).³ It is especially useful for aggregates that react slowly or produce expansion late in the reaction. However, it does not evaluate combinations of aggregates with cementitious materials nor are the test conditions representative of those encountered by concrete in service.

4.2 Because the specimens are exposed to a NaOH solution, the alkali content of the cement is not a significant factor in affecting expansions.

4.3 When excessive expansions (see Appendix X1) are observed, it is recommended that supplementary information be developed to confirm that the expansion is actually due to alkali-silica reaction. Sources of such supplementary information include: (1) petrographic examination of the aggregate

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.26 on Chemical Reactions.

Current edition approved June 1, 2007. Published July 2007. Originally approved in 1988. Last previous edition approved in 2005 as C 1260 – 05a.

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

³ The boldface numbers in parentheses refer to a list of references at the end of the text.

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

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2929, United States.



Designation: C 642 – 06

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

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

1. Scope*

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

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

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

2. Significance and Use

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

3. Apparatus

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

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

4. Test Specimen

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

5. Procedure

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

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

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

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

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

6. Calculation

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Designation: C 39/C 39M – 05^{ε2}

Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens¹

This standard is issued under the fixed designation C 39/C 39M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

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

^{ε1} NOTE—Note 1 was corrected editorially in September 2006.

^{ε2} NOTE—Removed research report footnote from Section 10 editorially in October 2008.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of compressive strength of cylindrical concrete specimens such as molded cylinders and drilled cores. It is limited to concrete having a unit weight in excess of 50 lb/ft³ [800 kg/m³].

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

1.3 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (**Warning**—Means should be provided to contain concrete fragments during sudden rupture of specimens. Tendency for sudden rupture increases with increasing concrete strength and it is more likely when the testing machine is relatively flexible. The safety precautions given in the **Manual of Aggregate and Concrete Testing** are recommended.)

1.4 The text of this standard references notes which provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards*:²

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

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

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

C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens

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

C 873 Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation

C 1231/C 1231M Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E 74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines

Manual of Aggregate and Concrete Testing

3. Summary of Test Method

3.1 This test method consists of applying a compressive axial load to molded cylinders or cores at a rate which is within a prescribed range until failure occurs. The compressive strength of the specimen is calculated by dividing the maximum load attained during the test by the cross-sectional area of the specimen.

4. Significance and Use

4.1 Care must be exercised in the interpretation of the significance of compressive strength determinations by this test method since strength is not a fundamental or intrinsic property of concrete made from given materials. Values obtained will depend on the size and shape of the specimen, batching, mixing

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Nov. 1, 2005. Published November 2005. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2004 as C 39/C 39M – 04a.

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



Designation: D 1143/D 1143M – 07

Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load¹

This standard is issued under the fixed designation D 1143/D 1143M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope*

1.1 The test methods described in this standard measure the axial deflection of a vertical or inclined deep foundation when loaded in static axial compression. These methods apply to all deep foundations, referred to herein as *piles*, that function in a manner similar to driven piles or cast-in-place piles, regardless of their method of installation, and may be used for testing single piles or pile groups. The test results may not represent the long-term performance of a deep foundation.

1.2 This standard provides minimum requirements for testing deep foundations under static axial compressive load. Plans, specifications, and/or provisions prepared by a qualified engineer may provide additional requirements and procedures as needed to satisfy the objectives of a particular test program. The engineer in responsible charge of the foundation design, referred to herein as the Engineer, shall approve any deviations, deletions, or additions to the requirements of this standard.

1.3 This standard allows the following test procedures:

Procedure A	Quick Test
Procedure B	Maintained Test (optional)
Procedure C	Loading in Excess of Maintained Test (optional)
Procedure D	Constant Time Interval Test (optional)
Procedure E	Constant Rate of Penetration Test (optional)
Procedure F	Constant Movement Increment Test (optional)
Procedure G	Cyclic Loading Test (optional)

1.4 Apparatus and procedures herein designated "optional" may produce different test results and may be used only when approved by the Engineer. The word "shall" indicates a mandatory provision, and the word "should" indicates a recommended or advisory provision. Imperative sentences indicate mandatory provisions.

1.5 A qualified geotechnical engineer should interpret the test results obtained from the procedures of this standard so as to predict the actual performance and adequacy of piles used in the constructed foundation. See **Appendix X1** for comments regarding some of the factors influencing the interpretation of test results.

1.6 A qualified engineer shall design and approve all loading apparatus, loaded members, support frames, and test procedures. The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard. This standard also includes illustrations and appendices intended only for explanatory or advisory use.

1.7 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.8 The gravitational system of inch-pound units is used when dealing with inch-pound units. In this system, the pound (lbf) represents a unit of force (weight), while the unit for mass is slugs. The rationalized slug unit is not given, unless dynamic ($F=ma$) calculations are involved.

1.9 All observed and calculated values shall conform to the guidelines for significant digits and rounding established in **Practice D 6026**.

1.10 The method used to specify how data are collected, calculated, or recorded in this standard is not directly related to the accuracy to which the data can be applied in design or other uses, or both. How one applies the results obtained using this standard is beyond its scope.

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

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*²

- D 653** Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids
- D 3740** Practice for Minimum Requirements for Agencies

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.11 on Deep Foundations. Current edition approved Feb. 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 1950. Discontinued in August 1995 and reinstated in 2007 as D 1143-07. Last previous edition approved in 1994 as D 1143 – 81(1994)^{1,2}.

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

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

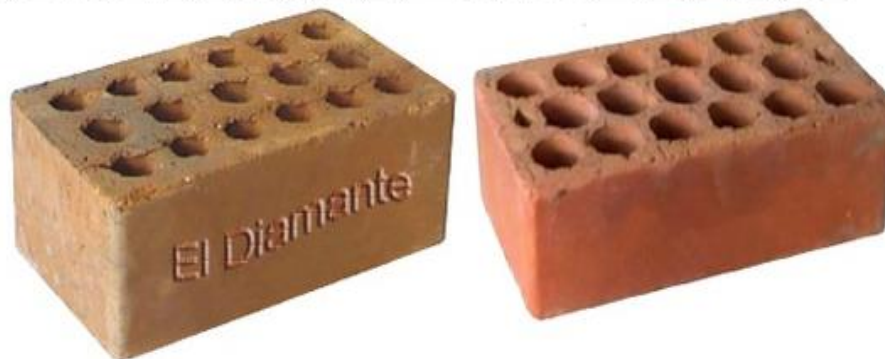
Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2959, United States.

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 399.613
2005

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú



UNIDADES DE ALBAÑILERÍA. Métodos de muestreo y
ensayo de ladrillos de arcilla usados en albañilería

MASONRY UNITS. Standard test methods of sampling and testing clay bricks used in masonry work

2005-06-14
1ª Edición



R.0955-2005/INDECOPI-CRT.Publicada el 2005-07-13
I.C.S.: 91.100.01

Precio basado en 36 páginas

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Absorción, Resistencia a la compresión, eflorescencia, congelamiento y descongelamiento, cambio inicial de absorción, cambio de longitud, módulo de rotura, *descuadre*, muestreo, tamaño, área de vacíos, distorsión

ANEXO 12: Certificado de calibración de balanza electrónica



METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 203 - 2017

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

<p>1. Expediente</p> <p>2. Solicitante</p> <p>3. Dirección</p> <p>4. Equipo de medición</p> <p> Capacidad Máxima</p> <p> División de escala (d)</p> <p> Div. de verificación (e)</p> <p> Clase de exactitud</p> <p> Marca</p> <p> Modelo</p> <p> Número de Serie</p> <p> Capacidad mínima</p> <p> Procedencia</p> <p> Identificación</p> <p> Ubicación</p> <p>5. Fecha de Calibración</p>	<p>17086</p> <p>UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p> <p>Av. Del Ejercito Nro. 920 Urb. El Molino - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.</p> <p>BALANZA ELECTRÓNICA</p> <p>4100 g</p> <p>0,01 g</p> <p>0,1 g</p> <p>II</p> <p>OHAUS</p> <p>PAJ4102</p> <p>8332050515</p> <p>0,50 g</p> <p>U.S.A.</p> <p>1-011843 (*)</p> <p>LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.</p> <p>2017-04-26</p>	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.</p> <p>METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
--	---	---

Fecha de Emisión Jefe del Laboratorio de Metrología

2017-04-28



JUAN C. QUISPE MORALES

Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282
RPM: *849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com



METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.
Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 203 - 2017

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 2 de 4

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI. Cuarta Edición.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE CONCRETO PABELLON C. INGENIERIA CIVIL.
Urb. Dean Saavedra Mz. G Lt. 24 San Isidro - Trujillo - Trujillo - LA LIBERTAD.

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	27,4 °C	27,4 °C
Humedad Relativa	65 %	65 %

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) Dirección de Metrología - INACAL 150033005	PESAS (Clase de Exactitud: F1)	INACAL LM-C-535-2016
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-C-317-2016 / LM- 491-2016.	PESAS (Clase de Exactitud: M1)	METROIL M-0774-2016
PESAS (Clase de exactitud F2) DM-INACAL LM-414-2016.		

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282
RPM: *849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 203 - 2017

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Medición Nº	Carga L1 = 2 000,01 g			Carga L2 = 4 000,01 g			
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	
1	2 000,01	5	0	4 000,01	6	-1	
2	2 000,01	5	0	4 000,01	6	-1	
3	2 000,01	6	-1	4 000,02	6	9	
4	2 000,01	5	0	4 000,02	5	10	
5	2 000,01	5	0	4 000,02	5	10	
6	2 000,01	5	0	4 000,02	6	9	
7	2 000,02	6	9	4 000,02	6	9	
8	2 000,01	5	0	4 000,02	6	9	
9	2 000,01	6	-1	4 000,02	5	10	
10	2 000,01	5	0	4 000,02	5	10	
Diferencia Máxima			10	Diferencia Máxima			11
Error Máximo Permissible			± 300	Error Máximo Permissible			± 300

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

2	1	5
3		4

Posición de las cargas

Temperatura	Inicial	Final
	27,4 °C	27,4 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	l (g)	ΔL (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1	0,10 g	0,10	5	0	1 300,00	1 300,00	5	0	0
2		0,10	5	0		1 300,02	6	19	19
3		0,10	5	0		1 300,01	6	9	9
4		0,10	5	0		1 300,00	5	0	0
5		0,10	5	0		1 299,99	5	-10	-10
Error máximo permisible								± 200	

* Valor entre 0 y 10e

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24, Urb. San Diego - LIMA - PERÚ

Telf.: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 971 439 282

RPM: *849272 / #971439282 / #942635342

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 203 - 2017

Área de Metrología
Laboratorio de Masas

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	27,4 °C	27,4 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0,10	0,10	5	0						
0,50	0,50	5	0	0	0,51	5	10	10	100
1,00	1,00	5	0	0	1,00	6	-1	-1	100
10,00	10,00	6	-1	-1	10,01	7	8	8	100
50,00	50,00	6	-1	-1	50,01	7	8	8	100
100,00	100,00	6	-1	-1	100,01	7	8	8	100
500,00	500,01	7	8	8	500,01	6	9	9	200
1 000,00	1 000,01	7	8	8	1 000,01	6	9	9	200
2 000,00	2 000,02	6	19	19	2 000,01	8	7	7	300
3 000,00	3 000,02	7	18	18	3 000,02	8	17	17	300
4 100,01	4 100,02	7	8	8	4 100,02	7	8	8	300

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza. ΔL: Carga adicional. E₀: Error en cero.
I: Indicación de la balanza. E: Error encontrado E_c: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición $U = 2 \times \sqrt{ (0,0000485 \text{ g}^2 + 0,000000000230 \text{ R}^2) }^2$

Lectura corregida $R_{CORREGIDA} = R + 0,00000864 \text{ R}$

12. Incertidumbre

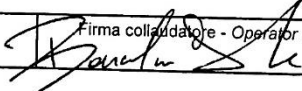
La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento



ANEXO 13: Certificado de calibración de máquina de compresión

CONTROLS		VERIFICA MACCHINA DI COMPRESSIONE COMPRESSION TESTING MACHINE				CERT.Nr. 5035/2016		
Cliente <i>Client</i>		GEOMECANICA LATINA		Indirizzo <i>Site address</i>				
Costruttore <i>Customer</i>	CONTROLS	Modello <i>Model</i>	P0375 T1182	Matricola <i>Serial no</i>	16005809 16000467	Carico max <i>Max Load</i>	50kN	
Carico misurato con-Load measured by Indicat. Manometrico - Manometer indicator Dispay dig. - Digital dis. Altri - Others		Scala-Ranges	0-50kN	Risol.-Resol.	0,001	Carico min.ver.-Lower limit	4kN	Mat.-Serial no. 16000467
Verificata con-Verified with Dinamometri elettr. - Force transducer Centralina digitale-Digital electronic tester Manometri-Manometers Anelli di prova-Proving rings		Scala-Ranges	0-50 kN	Certificato n°-Certificate no.	Bon-50/16 Bon-50/16	Valid.-Validity	gen-17 gen-17	Mat.-Serial no. A.40.01.002 A.40.02.008
Verificata secondo <i>Conform to</i>		L.Q.P1 rev.2		Carico ver. da <i>Load verified from</i>		4 kN a 50kN <i>to</i>		
Forza <i>Load</i>		Uscite centralina (divisioni) <i>Output digital electronic tester (division)</i>			Temperatura <i>Temperature</i>		20 °C	
kN	Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3	Memo				
0	0	0	0	Calcolo forze misurate/Calculation of measured forces $F_i = C + D \cdot (U_i - U_0) + E \cdot (U_i - U_0)^2 + F \cdot (U_i - U_0)^3$				
4	16421	16410	16412	Accuracy/Accuracy Ripetibilità/Repeatability $A_i = \frac{F_i - M_i}{M_i} \cdot 100$ $R_i = \frac{F_{i\max} - F_{i\min}}{M_i} \cdot 100$				
6	24631	24600	24607	Media/Media $M_i = \frac{F_1 + F_2 + F_3}{3}$				
8	32850	32783	32832					
10	41067	40978	40961					
20	82144	82004	81984					
30	123375	123274	123234					
40	164850	164737	164669					
50	207047	206680	206997					
F_n	U_1	U_2	U_3	Max				
Zero	0	0	0	0				
ELABORAZIONE DATI - DATA ELABORATION								
Coefficienti dell'equazione del dinamometro - Index of strain gauge equation								
C = 0,00000E+00		D = 2,43080E-04		E = 1,46181E-11		F = -1,04130E-16		
Forza <i>Load</i>	Forze Misurate <i>Load measured</i>			Media <i>Media</i>	Err. Accurat. <i>Accuracy err.</i>	Err. Ripetibilità <i>Repeatab. err.</i>	Risoluzione <i>Resolution</i>	
kN	Ciclo-Cycles 1	Ciclo-Cycles 2	Ciclo-Cycles 3	kN	%	%	%	
0	0,0	0,0	0,0	0,0				
4	3,995	3,992	3,993	3,993	0,16	0,07	0,03	
6	5,995	5,987	5,989	5,990	0,16	0,13	0,02	
8	7,997	7,981	7,993	7,990	0,12	0,20	0,01	
10	10,000	9,978	9,974	9,984	0,16	0,26	0,01	
20	20,009	19,974	19,970	19,984	0,08	0,19	0,01	
30	30,017	29,993	29,983	29,997	0,01	0,11	0,00	
40	40,003	39,975	39,959	39,979	0,05	0,11	0,00	
50	50,031	49,945	50,020	49,999	0,00	0,17	0,00	
F_n	F_1	F_2	F_3	M	A	R		
LIMITI DI CLASSE - FORCE SCALE TOLERANCES								
Err. accurat. <i>Accuracy err.</i>		Err. ripetibilità <i>Repeatab. err.</i>		Ritorno a 0 <i>Zero error</i>	Risoluzione <i>Resolution</i>			
%		%		% F.S.	%			
1		1		0,2	0,5			
2		2		0,4	1			
Campo di misura - Range		Da - From 4 kN		a - to 50kN				
0,16		0,26		0,00		0,03 Classe assegnata		
Campo di misura - Range		Da - From		a - to				
				Classe assegnata				
Data - Date 14-lug-16		Firma collaudatore - Operator signature 				Verificata da - Verified by 