



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

INFLUENCIA DEL MÁRMOL RECICLADO SOBRE LA FLUIDEZ, REACTIVIDAD, DENSIDAD Y COMPRESIÓN, EN MORTEROS ECOLÓGICOS, TRUJILLO 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Luis Kenji Díaz Gutiérrez

Asesor:

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú

2019

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres, quienes forman parte primordial en mi vida y que sin ellos no se hubiera logrado alcanzar esta meta. Son ellos los que hasta ahora han velado por mi bienestar y educación. Es así que con su esfuerzo, dedicación y las ganas de nunca rendirse, han sido un gran ejemplo hacia mi hermano y a mí. A mis padres va este proyecto, que sin ellos, nunca habría podido existir.

AGRADECIMIENTO

Primero agradecer a Dios por permitirme llegar a esta etapa de mi vida, asimismo agradezco especialmente a mis padres y hermano por el apoyo que me han brindado en todo este camino universitario.

Agradezco al Ing. Iván Vásquez Alfaro por guiarme, por su apoyo, ayuda y la gran amistad brindada.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN.....	10
I. INTRODUCCIÓN	11
1.1. Realidad problemática	11
1.1.1. Antecedentes	15
1.1.2. Justificación	18
1.1.3. Arena normalizada	21
1.1.4. Agua	22
1.1.5. Cemento.....	24
1.1.6. Mármol	36
1.2. Formulación del problema.....	42
1.3. Objetivos	42
1.4. Hipótesis	43
II. METODOLOGÍA	46
2.1. Tipo de investigación	46
2.2. Materiales, instrumentos y métodos	47
2.3. Procedimientos de recolección de datos	48
III. RESULTADOS	74
3.1. Caracterización de la materia prima	74
3.2. Ensayos realizados.....	76
3.3. Métodos estadísticos y procedimientos de análisis de datos	79
3.4. Evaluación económica	81
IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	82
4.1. Discusión.....	82
4.2. Conclusiones.....	97
REFERENCIAS	99
ANEXOS.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de arenas normalizadas.....	22
Tabla 2. Características de la arena de Ottawa.....	22
Tabla 3. Límite permisible para la calidad del agua.....	23
Tabla 4. Composición química del cemento portland.....	28
Tabla 5. Componentes principales del cemento portland.....	28
Tabla 6. Requisitos para utilizar caliza en cemento portland.....	34
Tabla 7. Requisitos físicos y químicos de cementos adicionados.....	35
Tabla 8. Clasificación del mármol según su color.....	38
Tabla 9. Usos del mármol.....	39
Tabla 10. Hipótesis general.....	43
Tabla 11. Hipótesis específica para la fluidez.....	43
Tabla 12. Hipótesis específica para la reactividad.....	44
Tabla 13. Hipótesis específica para la densidad.....	44
Tabla 14. Hipótesis específica para la compresión.....	45
Tabla 15. Variables dependientes.....	46
Tabla 16. Recolección y análisis de datos de los instrumentos.....	47
Tabla 17. Características físicas del cemento.....	49
Tabla 18. Caracterización granulométrica e índice de vacíos de la arena Ottawa.....	51
Tabla 19. Límites permisibles para preparar la arena de Ottawa.....	51
Tabla 20. Análisis granulométrico de los agregados.....	53
Tabla 21. Huso granulométrico del agregado fino.....	53
Tabla 22. Contenido de humedad.....	54
Tabla 23. Volumen del molde de peso unitario.....	55
Tabla 24. Peso unitario suelto y compactado del agregado.....	55
Tabla 25. Gravedad específica y absorción del agregado.....	56
Tabla 26. Actividad puzolánica del mármol.....	57
Tabla 27. Esquema de composición química de la arena de Ottawa y del mármol.....	58
Tabla 28. Esquema de composición química del agua.....	58
Tabla 29. Dosificación 1:2.75 con 0% de polvo de mármol, para 1575g.....	59
Tabla 30. Dosificación 1:2.75 con 3% de polvo de mármol, para 1575g.....	59
Tabla 31. Dosificación 1:2.75 con 6% de polvo de mármol, para 1575g.....	59
Tabla 32. Dosificación 1:2.75 con 9% de polvo de mármol, para 1575g.....	60
Tabla 33. Dosificación 1:2.75 con 12% de polvo de mármol, para 1575g.....	60
Tabla 34. Dosificación 1:2.75 con 16% de polvo de mármol, para 1575g.....	60
Tabla 35. Dosificación 1:2.75 con 20% de polvo de mármol, para 1575g.....	61
Tabla 36. Ensayo de fluidez.....	63
Tabla 37. Ensayo de reactividad.....	64
Tabla 38. Ensayo de densidad.....	65

Tabla 39. Ensayo de resistencia a compresión.	66
Tabla 40. Resumen de tabla anova unifactorial.	71
Tabla 41. Caracterización de la arena de Ottawa.	74
Tabla 42. Requisitos químicos del agua.	74
Tabla 43. Características del mármol.	75
Tabla 44. Fluidez del mortero.	76
Tabla 45. Reactividad.	76
Tabla 46. Densidad en seco del mortero a 3 días, 7 días y 28 días.	77
Tabla 47. Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 3, 7 y 28 días.	77
Tabla 48. Compresión de morteros a 3 días, 7 días y 28 días.	78
Tabla 49. Desviación estándar, coeficiente de variación para compresión a 3, 7 y 28 días.	78
Tabla 50. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de fluidez.	79
Tabla 51. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de reactividad.	79
Tabla 52. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de densidad.	79
Tabla 53. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de compresión.	79
Tabla 54. Resultados de la prueba de normalidad. (SPSS)	80
Tabla 55. Costo unitario para un m ³ de mortero.	81
Tabla 56. Costo total para cada diseño.	81
Tabla 57. Diseño de mezcla para cada porcentaje.	87
Tabla 58. Análisis granulométrico de la arena de Ottawa - muestra 1.	103
Tabla 59. Análisis granulométrico de la arena de Ottawa - muestra 2.	103
Tabla 60. Análisis granulométrico de la arena de Ottawa - muestra 3.	104
Tabla 61. Ensayo de humedad de los agregados.	105
Tabla 62. Media, varianza, desviación estándar para humedad de los agregados.	105
Tabla 63. Peso suelto y compactado de los agregados.	105
Tabla 64. Volumen del molde.	106
Tabla 65. Media, desviación estándar para peso suelto y compactado de los agregados.	106
Tabla 66. Peso específico y absorción de los agregados.	106
Tabla 67. Media, desviación estándar para peso específico y absorción de los agregados.	107
Tabla 68. Ensayo de fluidez.	108
Tabla 69. Media, varianza, desviación estándar para el ensayo de fluidez.	108
Tabla 70. Ensayo de reactividad.	109
Tabla 71. Ensayo de densidad en seco del mortero a 3 días.	110
Tabla 72. Media, varianza, desviación estándar para densidad en seco a 3 días.	110
Tabla 73. Ensayo de densidad en seco del mortero a 7 días.	111
Tabla 74. Media, varianza, desviación estándar para densidad en seco a 7 días.	111
Tabla 75. Ensayo de densidad en seco del mortero a 28 días.	112
Tabla 76. Media, varianza, desviación estándar para densidad en seco a 28 días.	112
Tabla 77. Ensayo de resistencia a compresión a 3 días de curado.	113
Tabla 78. Ensayo de resistencia a compresión a 7 días de curado.	114

Tabla 79. Ensayo de resistencia a compresión a 28 días de curado.	115
Tabla 80. Media, desviación estándar para resistencia a compresión de 3 días de curado.	116
Tabla 81. Media, desviación estándar para resistencia a compresión de 7 días de curado.	116
Tabla 82. Media, desviación estándar para resistencia a compresión de 28 días de curado.	117
Tabla 83. Índice de actividad puzolánica a 3 días.	117
Tabla 84. Índice de actividad puzolánica a 7 días.	117
Tabla 85. Índice de actividad puzolánica a 28 días.	118
Tabla 86. Varianza de la fluidez del mortero con mármol reciclado.	123
Tabla 87. Anova de la fluidez del mortero con mármol reciclado.	124
Tabla 88. Varianza de la reactividad del mortero con mármol reciclado.	125
Tabla 89. Anova de la reactividad del mortero con mármol reciclado.	125
Tabla 90. Varianza de la densidad del mortero con mármol reciclado.	126
Tabla 91. Anova de la densidad del mortero con mármol reciclado.	127
Tabla 92. Varianza de la resistencia a la compresión del mortero con mármol reciclado.	128
Tabla 93. Anova de la resistencia a la compresión del mortero con mármol reciclado.	128
Tabla 94. Análisis de costos del mármol.....	129

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Contaminación al medio ambiente de la fábrica de cemento	11
Figura 2. Residuos de mármol en la cantera de Junín	14
Figura 3. Proceso de la fabricación del cemento	24
Figura 4. Ingreso del crudo a intercambiadores.....	26
Figura 5. Crudo en el horno a diferentes temperaturas	27
Figura 6. Formación del clinker.....	27
Figura 7. Fenómeno de hidratación del cemento.....	32
Figura 8. Difractograma de nanopartículas de CuO	37
Figura 9. Residuos generados por etapa del proceso de la industria marmolera.	41
Figura 10: Diagrama del proceso de investigación.....	48
Figura 11. Curva granulométrica de la arena de Ottawa	50
Figura 12. Proceso de obtención del mármol.	52
Figura 13. Ingreso de datos en programa SPSS.....	67
Figura 14. Ingreso de valores para cada porcentaje de mármol.	67
Figura 15. Ingreso de resultados en la vista de datos.....	68
Figura 16. Ingreso de resultados en la vista de datos	68
Figura 17. Proceso para analizar las variables.....	69
Figura 18. Selección de normalidad.....	69
Figura 19. Análisis de difracción de rayos X	75
Figura 20. Diagrama Ternario C.A.S.....	89
Figura 21. Fluidez y Ra/c del mortero con mármol.....	88
Figura 22. Fases del desarrollo de la reacción álcali-agregado	90
Figura 23. Densidad a los 3, 7 y 28 días.....	92
Figura 24. Segregación y exudación.....	94
Figura 25. Resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días.....	96
Figura 26. Curva granulométrica de la arena de Ottawa.....	104
Figura 27. Puntos porcentuales de la distribución $F_{0.05, v1, v2}$	129
Figura 28. Trituración del mármol.....	138
Figura 29. Chancado del mármol en la máquina los Ángeles	138
Figura 30. Determinación de la granulometría de la arena de Ottawa y mármol.....	139
Figura 31. Determinación del contenido de humedad de la arena de Ottawa y mármol.....	139
Figura 32. Determinación del peso suelto y compactado de la arena de Ottawa y mármol	140
Figura 33. Determinación del peso específico y absorción de la arena de Ottawa y mármol	140
Figura 34. Ensayo de Conductividad de la arena de Ottawa y mármol.....	141
Figura 35. Conformación de probetas de mortero.....	141
Figura 36. Probetas de mortero.....	142
Figura 37. Ensayo de fluidez.....	142
Figura 38. Moldes para el ensayo de reactividad.....	143

Figura 39. Ensayo de reactividad.....	143
Figura 40. Ensayo de densidad de probetas de mortero.....	144
Figura 41. Ensayo de resistencia a compresión de probetas de mortero.....	145

RESUMEN

Los cementos adicionados han sido investigados para tratar de disminuir la contaminación ambiental, también para reducir los desechos acumulados que perjudican la salud, uno de los cuales tenemos los residuos del mármol, en partículas finas provocan afecciones pulmonares y cardiovasculares; el mármol tiene una composición similar a la del cemento portland tipo I, que están conformados en su mayoría por calcita, por ello se utilizó el mármol como adición del cemento tipo I, con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas y mecánicas, para la elaboración de un cemento adicionado, determinando la influencia del mármol reciclado en un mortero ecológico.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó como materia prima a materiales de construcción como; la arena de Ottawa, que está establecida en la NTP 334.090, como requisito que debe cumplir toda evaluación de cementos adicionados; se utilizó agua destilada a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, con cantidades establecidas por la norma de cada ensayo. Por otro lado las dosificaciones de sustitución de mármol reciclado por cemento portland tipo I fue de 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20%, las probetas sometidas al ensayo de resistencia a compresión fueron curadas a 3, 7 y 28 días.

Este estudio aplicó las Normas Técnicas Peruanas (NTP), así como también a la Asociación Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), por lo que en esta investigación se desarrollaron ensayos de caracterización de la arena de Ottawa y del mármol molido, así como humedad (NTP 339.127), granulometría (NTP 400.012), peso específico y absorción (NTP 400.022), peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017), índice de actividad puzolánica (NTP 334.066). Por otro lado ensayos de mortero con mármol molido fue la fluidez (NTP 334.057), reactividad (NTP 334.110), de dimensiones rectangulares 2.5 cm x 2.5 cm x 28 cm, para densidad (NTP 339.187) y compresión (NTP 334.051) de dimensiones cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm; con un total de 168 ensayos.

El diseño más óptimo se dio con el porcentaje de sustitución al 20% de mármol reciclado, con valores de fluidez de 111.6% con una relación agua/cemento de 0.65, su densidad a 3 días de 1992 kg/m^3 , con resistencia a compresión de 26.3 Mpa, mientras que a 7 días su densidad fue de 2039 kg/m^3 , con resistencia a compresión de 34.9 Mpa, por último, a 28 días de 2059 kg/m^3 , con resistencia a compresión de 40.6 Mpa. En el ensayo de reactividad mientras mayor porcentaje de mármol se sustituye por cemento, su expansión es menor, el mortero elaborado sin porcentaje de reemplazo de mármol obtuvo una expansión del 3.89%, mientras que al reemplazar en un 20% de mármol por cemento se obtuvo una expansión del 0.67%.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la actualidad el desarrollo del sector de la construcción es una de las actividades económicas con mayor demanda y ejerce un incremento en la economía, lo cual está relacionado directamente proporcional con el crecimiento poblacional, lo que impulsa al mayor desarrollo de proyectos de infraestructura (Gestión, 2018). Al haber un incremento en la construcción se genera un mayor consumo de cemento, haciendo que las grandes industrias del cemento generen emisiones de humo de los hornos de cocción, liberando grandes cantidades de dióxido de carbono (CO_2) al medio ambiente (Borrás, 2017).

A nivel mundial se sabe que el cemento cada día tiene mayor relevancia en la economía, es un componente indispensable para la construcción especialmente en edificaciones. Se conoce que la fabricación del cemento no ecológico produce el 5% del CO_2 emitido al planeta a través de los humos que se generan en los hornos de cocción. Según The Global Cement Report en su reporte Panorama mundial de la industria del cemento: El consumo mundial de cemento alcanzó las 4,129 millones de toneladas para el año 2016, logrando un aumento de 1.8% con respecto al año 2015 y, en el 2015, hubo una disminución de 2.4% con respecto al 2014. China es el país con mayor demanda de cemento con 2,395 millones de toneladas en el 2016, alcanzando el 58% de la participación mundial. Excluyendo a China, el consumo mundial de cemento alcanzó las 1,734 millones de toneladas en el 2016, creciendo un 1% con respecto al 2015. El grado de asociación entre el consumo de cemento mundial y el PBI mundial se ubica en 95.8%, excluyendo a China se ubica en 79.5%. Por tales motivos, es que varios países se ven presionados en elaborar cementos ecológicos, utilizando insumos reaprovechables o utilizando maquinarias automatizadas para reducir el gasto de energía (ASOCEM, 2016).



Figura 1. Contaminación al medio ambiente de la fábrica de cemento. (Cementos Pacasmayo, 2018)

En España el grupo de Nanomateriales en Construcción (NANOC), en la elaboración de cemento ecológico, ha logrado sustituir la piedra caliza como materia prima por residuos

sólidos de centrales térmicas. Gracias a esta nueva técnica de producción se han logrado realizar una gestión eficaz de los residuos a través de su reciclaje, contribuir a la preservación de los recursos naturales del planeta y evitar la emisión directa de gases de efecto invernadero a la atmósfera, a través de la eliminación de la calcinación de la materia prima. También permite reducir en un 50% la demanda energética en el proceso de síntesis del cemento (Tecnalia, 2010).

Se conoce que en Panamá, lideran el proyecto de cemento ecológico conocido como cemento Rapid Set, consigue una resistencia mucho más rápida que el cemento portland y en muchos casos se puede aplicar en una hora. Alcanzando la resistencia a compresión en un día mientras que el cemento portland equivalentemente lo haría en un mes. Este cemento ecológico utiliza menor temperatura de quemado para la elaboración del cemento a unos 1,280 °C, lo cual es significativamente inferior que la temperatura de quemado del cemento Clinker portland que es de 1,500 °C a más, esto conlleva a que se reduzcan las emisiones de CO₂ y tenga un ahorro de energía, esto es debido a la composición mineralógica que posee Rapid Set, uno de sus principales componentes son sulfoaluminato cálcico, silicato dicálcico y sulfato anhídrido de calcio. No se forma silicato tricálcico (Saez, 2013).

En México, alumnos del Tec de Monterrey crearon un cemento ecológico llamado Plamarsa en la cual utilizaron los desechos de mármol de las industrias, que al año desechan entre 40 a 80 toneladas, este nuevo material destacará por ser repelente al calor y tener una consistencia ligera. Está compuesto por 40% de residuos de mármol, 20% de desechos de plásticos y 40% de aditivo, esto permite que sea hasta 40% más económico que un concreto de grava y arena (JST-Tec de Monterrey, 2011).

En el Perú se cuenta con cuatro productores de cemento con un total de nueve plantas cementeras, entre los que podemos encontrar a los cementos portland o tradicionales (I, II y V); cementos adicionados, donde encontramos a los puzolánicos (IPM y PM) y compuesto (fillers); y por último los cementos mejorados o performance (GU, MS, HS, MH, R). Donde los cementos portland adicionados pueden contener puzolanas, escorias de alto horno y compuestos (material calizas y/o inertes), a los cuales podemos llamar ecológicos por utilizar insumos que muchas veces son pasivos ambientales, por otro lado, también se dice cemento ecológico a los fabricados en una planta cementera que reduzca su emisión de CO₂ o disminuya el consumo de energía y así poder evitar el aumento del calentamiento global, no obstante, existe la Norma Técnica Peruana 334.090 y ASTM C595 los cual se encarga de fiscalizar la buena práctica de las investigaciones referentes a cementos adicionados (Asociación de Productores de Cemento, 2018).

En la ciudad de Trujillo, las edificaciones de albañilería o mampostería confinada con una altura de hasta 5 pisos, son las construcciones más usadas, para viviendas, oficinas, hoteles, etc. Sin embargo muchas de estas edificaciones se realizan de manera informal, según (Laucata, 2013), La mayoría de las viviendas informales, carecen de diseño

arquitectónico, estructural y se construyen con materiales de baja calidad. Además estas viviendas son construidas generalmente por los mismos pobladores de la zona, quienes no poseen los conocimientos para disminuir la contaminación que se produce en una edificación, ni medios económicos necesarios para una buena práctica constructiva.

En el Perú según INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) en el año 2017 eran 31'237,385, personas y para el 2021 superaran los 33 millones de personas, esto indica que se necesitará más de un millón y medio de viviendas, de los cuales aproximadamente el 70% serán de material noble por ser construcciones resistentes y duraderas con mejores propiedades y sobre todo que cuidan nuestro medio ambiente debido al nuevo enfoque ecológico en viviendas sustentables y ahorro de energía en la fabricación de materiales de construcción (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

La producción de mármol en el mundo es muy grande e importante para la economía de varios países, por lo que concebir la idea de eliminar sus residuos es prácticamente imposible. Es por esto que resulta relevante, poner en práctica los resultados de las diversas investigaciones, para minimizar el efecto negativo que producen los residuos y que afectan de manera importante al medioambiente y por consecuencia a la población expuesta, principalmente a la más vulnerable: niños y adultos mayores (Revista de Arquitectura e Ingeniería, 2015).

A través de la identificación de los impactos ambientales generados por el proceso de producción del concreto premezclado, se pudo determinar que el aspecto más relevante y visible son las emisiones de polvo; por ello es importante apuntar todos los esfuerzos en prevenir, mitigar y corregir dichas emisiones mediante mejoras tecnológicas (Navas, Reyes, & Galván, 2015)

Estudios epidemiológicos recientes relacionan distintas afecciones pulmonares y cardiovasculares con partículas ultrafinas, de ahí el interés del estudio de estas partículas en la actualidad (Araujo, 2011).

Actualmente a nivel mundial se vive una revolución en el aspecto del cuidado al medioambiente, para tratar de disminuir la contaminación al medio ambiente, muchos investigadores en el mundo han fijado sus ojos en los residuos de la industria del mármol. Entre los estudios que existen, se realizan esfuerzos para tratar de mitigar los efectos negativos, buscando alternativas para su uso en la fabricación de otros materiales, utilizando como materia prima dichos residuos (Revista de Arquitectura e Ingeniería, 2015).

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.



Figura 2. Residuos de mármol en la cantera de Junín. (Ministerio de Energía y Minas, 2000)

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 (Gestión, 2012), por lo que se deduce que se presenta gran cantidad de estos residuos.

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).

Ante estos cambios, existe la necesidad de crear nuevos materiales que sean totalmente ecológicos, económicos y saludables para la construcción (Hernández, 2011). La reutilización de residuos sólidos es una alternativa para reducir insumos y poder aprovechar para mejorar las propiedades del cemento; 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).

Esta investigación busca optimizar el consumo de materias primas, cuidando el medio ambiente de acuerdo al decreto legislativo de residuos sólidos N° 1278 “El país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y 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” (MINAM, 2017). Conociendo esto se optó por adicionar mármol marfil en diferentes porcentajes y constatar si el elemento añadido causa efecto en forma positiva, verificando a través de ensayos sus propiedades físicas y mecánicas; no obstante, de no realizarse esta investigación se perdería la oportunidad de reaprovechar el mármol marfil. Así también anularía la posibilidad de contribuir al medio ambiente y reducir la contaminación producida por los procesos de extracción del mármol así como la contaminación atmosférica que genera un gran riesgo para la salud de los ecosistemas, ya que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo.

Es necesaria la utilización del mármol marfil en el cemento, ya que se plantea utilizar el mármol en sustitución del cemento, debido a sus diferentes aplicaciones tanto en losas, vigas, columnas, adoquines, productos prefabricados y sobre todo porque hasta la actualidad nadie ha estudiado la influencia de la sustitución de cemento portland tipo I por mármol marfil.

1.1.1. Antecedentes

Gonzáles de la Cotera, 2012. En su investigación; Estudio de un cemento portland ecológico, publicada por la asociación de productores de cemento (ASOCEM), Perú. Tuvo como objetivo estudiar el comportamiento del Cemento Portland de los tipos I y V con adiciones de filler calizo en porcentajes del 3% y 5% en masa, para obtener la reducción de la emisión de CO₂ y adicionalmente de SO₂NO_x y material particulado. La investigación aplicada, analiza los parámetros de control: pérdida por ignición y residuo insoluble; el comportamiento de las pastas, fluidez, fraguado y resistencia a la compresión. El comportamiento de las calizas varía, mostrando mejor aptitud cuando es mayor el contenido de CaO₃ y menor el correspondiente al Al₂O₃ Y MgO. El cemento tipo V mejora en sus principales características: reológicas y resistentes. Se concluye que los Cementos Portland, con incorporación no mayor de 5% de filler calizo, pueden contribuir al desarrollo sostenible de la industria, facilitando la reducción de las emisiones de CO₂ y colaborando con los sistemas industriales que limitan las emisiones de material particulado y de SO₂.

Este antecedente indica que el filler calizo 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.

Reyna, 2018. En su investigación; Influencia del mármol reciclado sobre la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros, publicada por la Universidad Privada del Norte en Trujillo, Perú. Tuvo como objetivo determinar la influencia del porcentaje de mármol reciclado sobre la reactividad (ASTM C 1260), densidad (ASTM C642), compresión (ASTM C109) y resistencia a pilas en morteros (ASTM C1314); en probetas cúbicas de 5 cm x 5 cm x 5 cm, cuya dosificación empleada de cemento:arena es de 1:3 con porcentajes de mármol molido como sustituto de la arena de 0%, 15%, 30%, 45%, 60%, 75% y 90%, con una relación agua/cemento de 0.65; curadas y ensayadas a una edad de 3, 7 y 28 días, a excepción de la reactividad que estuvo en curado por 14 días en una solución de hidróxido de sodio (PELEX); el cemento utilizado fue Qhuna. Se concluyó que el mármol molido en comparación de la arena, presentó valores más bajos en cuanto al peso específico, absorción, peso unitario y peso suelto. El diseño más óptimo se dio en el porcentaje de sustitución al 90%, con valores de resistencia a compresión a 28 días de 567.80 kg/cm², densidad de 2096 kg/m³, expansión del 0.94% y resistencia a compresión axial de las pilas de 171 kg/cm². Lo resaltante de esta investigación es que con la adición de mármol molido en sustitución de la arena para morteros tiene una mayor resistencia y una menor expansión, en sus recomendaciones se establece que tendría mejores resultados si se añade en el cemento por ello se realiza ese estudio.

Ascate & Zavaleta, 2018. En su estudio; Influencia de la sustitución de escoria de zinc sobre la densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión, por cemento portland tipo I, realizados en la Universidad Privada del Norte en Trujillo, Perú. En su investigación; busca determinar la influencia de la sustitución de escoria de zinc sobre la Densidad (NTP 334.005), finura (NTP 334.002), fraguado (NTP 334.006), expansión (NTP 334.004), fluidez (NTP 334.057), y compresión (NTP 334.051), por cemento portland tipo I, con el fin de explorar la posibilidad de utilizar este desecho industrial como adición al cemento para la producción de un cemento ecológico. Se elaboraron cubos de 5cm de lado, con Cemento Portland tipo I y arena de Ottawa en proporción de 1: 2.75, con porcentajes de escoria de zinc como sustituto del cemento de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, ensayadas a 1 día, 3 días, 7 días y 28 días de curado. Para el ensayo de fluidez y compresión en la mezcla patrón se utilizó 359 ml de agua y para los porcentajes con escoria se utilizó 351 ml. Para este caso se reportó una fluidez de 125%, 115%, 111%, 109% y 107%, en resistencia a la compresión de 41.5 Mpa, 41.2 Mpa, 40.7 Mpa, 42.6 Mpa y 37.9 Mpa respectivamente, fueron ensayadas a los 28 días de curado. Los resultados mostraron una dosificación óptima de sustitución al 5% de escoria de zinc, donde se obtuvo una densidad de 3.06 g/cm³, superficie específica de 3680 cm²/g, tiempo de fraguado inicial de 139 min y fraguado final de 278 min, una expansión autoclave de 0.040%, una fluidez de 114.67%, y un resistencia a la compresión máxima

de 41.2 MPa a 28 días de curado, al 5% de sustitución no altera las propiedades del cemento portland tipo I.

Lo importante de esta investigación es que se puede utilizar los residuos de escoria de zinc en un 5%, contribuirá a la protección del medio ambiente, debido a la utilización de un residuo industrial; a su vez que implicaría un menor consumo de cemento.

Torres, Baquero & Silva, 2016. En su investigación; Evolución de la actividad puzolánica de un residuo de la industria del petróleo, realizados en la Universidad Nacional de Colombia. Se busca evaluar de la actividad puzolánica del catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC), procedente de la industria del petróleo; con el fin de explorar la posibilidad de utilizar este desecho industrial como adición al cemento para la producción de concretos y morteros. Se realizó el estudio aplicando las técnicas de Termogravimetría (TG) y Calorimetría Diferencial (DSC). La determinación del Índice de Actividad Puzolánica se determinó a partir de la resistencia a la compresión, el cual se llevó a cabo aplicando la Norma ASTM C311. Se elaboraron cubos de 5cm de lado, con Cemento Portland ordinario (OPC) y arena de Ottawa en proporción de 1: 2.75. Para la evaluación del índice de actividad puzolánica, la norma ASTM C618 precisa como valor mínimo un índice resistente igual o superior al 75% a 28 días para considerar un material como puzolana. Para este caso se reportó un índice del 69% y del 92% a los 7 y 28 días respectivamente. Los resultados mostraron que este desecho puede ser utilizado como adición al cemento en morteros y concretos, sumando la importancia de la utilización de un residuo industrial.

Finalmente se puede afirmar que el uso del residuo de la industria del petróleo; en mezclas de morteros y concretos; contribuirá a la protección del medio ambiente, debido a la utilización de un residuo industrial; a su vez que implicaría un menor consumo de cemento y con índices puzolánicos altos.

Durand, 2017. En su estudio; Influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales, publicada por la Universidad Privada del Norte en Trujillo, Perú. Tuvo como objetivo evaluar la influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad (ASTM C143), fraguado (ASTM C403), compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales. Para el desarrollo se utilizó agregado grueso de tamaño máximo nominal de 1/2", agregado fino con módulo de finura de 2.5, cemento Pacasmayo Tipo I y se elaboró un diseño de mezcla de concreto de $f'c$ 280 kg/cm², con relación agua/cemento de 0.52, con súperplastificante Sika ViscoCrete-3330 en dosificación de 0.2% con respecto al peso del cemento, siguiendo los parámetros del comité ACI 211. Se adicionó a la mezcla de concreto óxido de calcio extraído a partir de residuos de ganado bovino en porcentajes de 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% y 6% con

respecto a la mezcla de concreto. Se concluyó que el porcentaje óptimo de adición de óxido de calcio es al 4% para mejorar las propiedades del concreto en estado fresco-endurecido, obteniendo una mezcla plástica, trabajable, con una resistencia máxima de 353 kg/cm² a 28 días. Asimismo presentó la mayor densidad, con una mínima porosidad de 4.69% y una absorción de 1.54%.

Lo resaltante de esta investigación es la cantidad de porcentajes de óxido de calcio que se adicionó para mejorar las propiedades del concreto tanto en estado fresco y endurecido.

Laínez, Martínez & Velásquez, 2012. En su investigación; La influencia del uso de microsilíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concreto de alta resistencia, realizado en la Universidad de El Salvador. Su investigación determina que se adicionará 3 porcentajes de microsilíce en el rango de 5% a 20%, con estos diseños de concreto se realizará la investigación. Así mismo se tiene los resultados de las pruebas que se realizaron al concreto en estado fresco, entre las cuales se encuentran: revenimiento al concreto, temperatura, contenido de aire, peso volumétrico y tiempo de fraguado; por otro lado también se tiene los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizaron a la mezcla de concreto en estado endurecido, entre las cuales se encuentran: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad. Esta investigación aporta que una adición de 7%, 12%, 17% de adición de micro sílice sobre el peso del cemento, considerando los resultados de resistencia a la compresión y revenimiento obtenidos en la investigación concluye que el porcentaje de adición más viable para la utilización de micro sílice es del 12% debido a que obtuvo resistencia a la compresión a los 28 días de 689 kg/cm² respecto a la mezcla patrón, que fue de 538 kg/cm². Al 17% obtuvo una resistencia de 714 kg/cm² sin embargo; considera adecuada al 12% ya que el rango de valores de revenimiento fue de 5 a 7 pulgadas, y al 17% fue de 3 pulgadas.

Este estudio refleja los rangos en porcentaje de sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I así como la importancia de la finura de la escoria al ser utilizada en los diseños.

1.1.2. Justificación

El cuidado del medio ambiente es de mucha importancia, por lo que surge la necesidad de investigar cementos adicionados, resultan en el rubro una gran ventaja porque la adición no es calcinada, se produce un ahorro de combustible considerable y una disminución a la contaminación ambiental. Con los cementos adicionados se logra la disminución de la huella de carbono atribuida a la fabricación del cemento, además del uso de pasivos industriales que también atentan contra el ambiente. Como ventaja adicional y no menos importante, los concretos con cementos adicionados presentan

algunas ventajas tecnológicas con respecto a los tradicionales, sobre todo en referencia a resistencias mayores a largo plazo y mayor durabilidad gracias a la impermeabilidad y a las adiciones en sí mismas. Ante estas ventajas, el mundo usa actualmente los cementos adicionados de manera muy extendida (alrededor del 85 %). En el Perú cada vez se fabrican más tipos y mayores volúmenes en todas las plantas de cemento (Biondi, 2016).

Se encuentran dos tipos de adiciones las activas y las inertes, entre las adiciones activas, sin duda, figuran las de escorias de alto horno, las que incluso tienen propiedades hidráulicas propias y las puzolanas naturales y artificiales. Como adiciones inertes, actualmente de gran uso, están los fillers, sobre todo los calizos; se debe considerar que esos fillers son en razón de su constitución y composición afines al clínker y a la pasta hidratada; resulta claro y entendible que se produzca un efecto epitáxico debido a la similitud de las estructuras. Así, el filler calizo en partículas finas proporciona un aumento en las resistencias mecánicas por la epitaxia, que se forma cuando en su reacción de hidratación, el cemento cristaliza sobre dicho filler calizo (Biondi, 2016).

En el Perú se utilizan únicamente las puzolanas naturales en la fabricación del cemento, por tener poca y variable producción de cenizas volantes y ninguna de microsíllice. Sin embargo, se tienen varios cementos puzolánicos, con filler de calizo y con escoria de alto horno. Existen numerosos cementos dentro de estos tipos, pero se tratarán solo los considerados en las normas técnicas peruanas derivadas de las normas ASTM. Así se tiene una norma específica para los cementos adicionados, la NTP 334.090 de cementos portland adicionados, la cual corresponde a la norma ASTM C595, pero existe además la norma NTP 334.082 de cementos portland, que deviene de la norma ASTM C1157 (Biondi, 2016).

En el proceso de la fabricación del cemento, primero se debe elaborar el clínker, el cual tiene como materia prima al menos 70% de caliza (Acevedo & Guerra, 2005). El óxido de calcio, derivado de la caliza, es el principal componente del mármol. Es por ello que se propone la utilización de mármol reciclado como fuente de extracción de óxido de calcio, que no solo permitirá obtener cementos con altas resistencias sino también reducir costos de fabricación y disminuir el impacto ambiental.

Este trabajo se realizó considerando el gran aumento del consumo de cemento, el rápido crecimiento del sector construcción que se da a nivel mundial debido al crecimiento poblacional. Por ello, la presente investigación se justifica que al realizar la evaluación, generará resultados que serán comprobados con las hipótesis planteadas, asimismo servirá como guía y sustento teórico, ampliando de esta manera las fuentes exploratorias

sobre el tema en cuestión, ya que hasta la actualidad los trabajos de investigación de cementos con mármol son escasos.

El elemento principal en la construcción es el cemento, es el más utilizado en el sector de la construcción. El cemento es el principal elemento que al mezclar con agregados y agua se crea una pasta que permite adherir los ladrillos, piedras o como relleno de espacios en alguna estructura, y que posteriormente se endurece. Estos elementos deben de cumplir con ciertas propiedades tanto físicas como mecánicas que permitan que el cemento sea óptimo; por lo que esta investigación se rige bajo la norma E-070 Albañilería, la ASTM C270, NTP 334.051 y la NTP 334.090 , en este caso se utiliza la dosificación 1:2.75, compuestas por cemento: arena de Ottawa como nos menciona la NTP 334.051, más la sustitución del mármol reciclado en distintos porcentajes; esta manera permite un nuevo avance como nuevos materiales para la elaboración de cementos ecológicos y se busca beneficiar a las personas inmersas en el mundo de la construcción.

Por otro lado, numerosos materiales de desecho se generan a partir de procesos de fabricación de las industrias y de los residuos sólidos municipales, tal como es el caso de la fabricación del mármol es un material muy utilizado en el sector de la construcción, principalmente como material para pisos, muebles, cubiertas y columnas. La creciente conciencia sobre el medio ambiente ha contribuido enormemente a las preocupaciones relacionadas con la eliminación de los residuos, es importante mencionar que, el presente estudio contribuirá con la Ley General de Residuos Sólidos N° 1278 la cual indica 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 cemento, 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. La gestión de residuos sólidos es uno de los principales problemas ambientales en el mundo, debido a la escasez de espacios para ser utilizados como rellenos sanitarios y a su costo cada vez mayor, por lo que la utilización de los residuos se ha convertido en una alternativa atractiva (Reyna, 2018).

Los residuos del mármol reciclado son un tipo de adición ecológica, con gran porcentaje de calcio en su composición química y que por sus características pueden ser comparados como un microsíllice, ceniza volante o puzolana. El cemento está formado principalmente por CaO ($\geq 75\%$ en masa), por lo que podemos afirmar que esta adición funcionará como un activador de endurecimiento del mortero, proporcionándole mayor resistencia y una masa más homogénea debido al tamaño de sus partículas que al ser igual al tamaño del cemento, logrará llenar los espacios vacíos y disminuirá la porosidad del mortero. Por ello con este trabajo se intenta establecer nuevos parámetros para el

diseño de un cemento ecológico a partir de la sustitución del mármol reciclado por cemento portland tipo I (Durand, 2017).

Por consiguiente es necesario realizar el estudio y evaluar el comportamiento del mármol reciclado en el mejoramiento de las propiedades del cemento portland tipo I, para ello se realizarán ensayos de acuerdo a la NTP 334.090 de cementos donde también se utilizarán materiales sugeridos por la misma norma, como la arena de ottawa, agua destilada y cemento portland tipo I (el cual es de uso general y no contiene adiciones); con 7 dosificaciones al 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20%, las cuales fueron asignadas debido a que el cemento portland adicionado, contiene filler calizo en cantidad menor al 30% según NTP 334.090 y los rangos propuestos se asignaron debido a que se realizaron un estudio preliminar con probetas piloto. Hasta el momento en Perú no se ha trabajado con este material; aunque contamos con cementos adicionados tanto con puzolanas y compuesto minerales, aún no existe un cemento portland adicionado con mármol reciclado. Por tal motivo sería de gran importancia conocer, cual es la proporción más óptima del mármol reciclado en cemento portland tipo I.

Por otro lado, la respuesta estructural de las viviendas se verán mejoradas gracias al incremento de la resistencia del cemento, sobre todo en elementos de importancia estructural, por ende este cemento permitirá a las estructuras responder de manera más eficiente que un cemento convencional. Por ello, es relevante estudiar este tema puesto que existen escasas fuentes que hayan profundizado de manera detallada esta variable. Así mismo, mediante esta investigación se propone dejar un alcance como recurso académico para promover y motivar a más estudiantes a innovar y continuar explorando sobre el tema.

1.1.3. Arena normalizada

Las arenas normalizadas a nivel internacional se encuentran en dos vertientes, por un lado encontramos normas nacionales antiguas, de granulometría de tipo monogranular y por la otra vertiente las que pertenecen a la norma ISO (Organización Internacional de Normalización), cuyas arenas cumplen con ciertos estándares de calidad la cual brinda una granulometría muy extendida y hace que el mortero cumpla las funciones del concreto o más conocido como microconcreto, los cuales al ensayarlos permiten obtener resultados muy similares a los concretos de composición corriente (González, 2013).

Tabla 1. Características de arenas normalizadas. (González, 2013)

Ciudades	U.S.A.	Reino Unido	U.S.S.R.	ISO	Japón	China
Designación	ASTM C-109-80	BS 4550 Part. 3 Sección 3.4:1978	GOST 310.4-81	ISO R679"	JIS R520- 1981	GB-177-77
Cemento/arena	1 / 2.75	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2.5
Agua/cemento	0.485	0.40	0.40	0.50	0.65	0.46 a
Origen de la arena	Ottawa (Ill.)	Leighton Buzaard	Vorckun	Silicosa con gránulos redondeados	Toyoura	Fujian
Dimensiones (mm)	0.15/0.60	0.60/0.85 (max. 10% 0.6)	0.50/0.90	0.08/2.00	0.10/0.30	0.25/0.65
Especímenes (cm)	5 x 5 x 5	7 x 7 x 7	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16
Compactación	a mano	vibración	vibración	aplicación de choques	a mano	vibración

Arena de ottawa

En la actualidad la arena de ottawa proviene de Ottawa-Illinois USA, donde se estandarizó este material y es muy utilizado en investigaciones sobre materiales granulares. La NTP 334.051 especifica las características de la arena normalizada para ensayos de cemento y en la Asociación Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) C-109 nos brinda las características de una arena normada, se puede apreciar en la Tabla 1. Entre sus características encontramos que corresponde a una arena pobremente graduada (SP) y está compuesto por minerales de cuarzos con una dureza de 7 Mohs, los granos grandes son redondeados, sub-redondeados y los granos pequeños sub-angulares (Maureira, 2012).

Tabla 2. Características de la arena de Ottawa. (NTP334.051, 2013)

Tamiz	Porcentaje Acumulado Retenido
149 µm	98 ± 2
297 µm	75 ± 5
425 µm	40 ± 5
595 µm	2 ± 2
1,19 mm	0

1.1.4. Agua

Su composición química está dada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H₂O), en estado puro es inodora e insípida, no siempre se encuentra en estado puro por

lo que puede contener en disolución gases y sales, en suspensión, polvos y a veces microbios. El agua es el segundo componente del mortero, empleándose en el amasado y en su curado (Fernández, 2011).

1.1.4.1. Agua de amasado

El agua que se añade en la mezcla, junto con los demás componentes del mortero, tiene las siguientes misiones: primero, hidratar los componentes activos del cemento; segundo, actuar como lubricante haciendo posible que la masa fresca sea trabajable y, tercero, crear espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento. Para que el agua sea apta para el amasado de un mortero, debe estar limpia y encontrarse libre de impurezas por encima de determinados límites a fin de que no se produzca alteraciones en la hidratación del cemento, retraso en el fraguado y endurecimiento, reducción de resistencias, ni peligros en su durabilidad. (Fernández, 2011).

Según la NTP 334.077 indica que la temperatura del agua de mezclado para la preparación de los especímenes de morteros de cemento debe ser 23°C +/- 2°C. También, nos dice que se debe utilizar agua destilada la cual se encuentra libre de impurezas e iones. La destilación es un método para purificar el agua, básicamente separa los componente líquidos de una mezcla eliminando las sales disueltas.

En la siguiente tabla se mostrará los límites permisibles para el uso del agua de amasado y de curado.

Tabla 3. Límite permisible para la calidad del agua. (NTP 339.088, 2006)

Descripción	Límite Permisible
Sólidos en suspensión	< 50000 ppm
Alcalinidad (NaHCO ₃)	< 600 ppm
Sulfatos (ión SO ₄)	< 3000 ppm
Cloruros (ión Cl ⁻)	< 1000 ppm

1.1.4.2. Agua de curado

Las aguas adecuadas para el amasado lo son también para el curado (Fernández, 2011).

Para la NTP 334.077, los tanques serán con material no corrosivos. Tendrán control automático de temperatura para mantener el agua a 23 °C +/- 2°C, todos los tanques deberán estar equipados con un registrador de temperaturas, con un elemento sensor ubicado dentro de tanque del agua. El agua del tanque debe ser saturada con hidróxido de calcio para prevenir el afloramiento en los especímenes.

1.1.5. Cemento

Según la Norma Técnica Peruana (NTP 334.009), el cemento Portland es un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker compuesto esencialmente por silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas sulfato de calcio como adición durante la molienda, es decir:

$$\text{Cemento Portland} = \text{Clinker Portland} + \text{Yeso}$$

1.1.5.1. Elaboración de cemento

El sistema que se emplea actualmente para la fabricación del cemento portland es el denominado “vía seca”.

Consiste en extraer materias primas de la cantera mediante voladura de la caliza y arcilla, los cuales pasan a una etapa de trituración (machacadoras de mandíbulas), para reducir tamaño y generar una molienda óptima de materias primas.

Luego se dosifica la mezcla y se homogeniza, generando el crudo; este crudo se coloca en un horno rotatorio para transformar la arcilla y caliza en otros componentes, obteniéndose el clinker. Este clinker pasa a una molienda agregándole un regulador de fraguado para formar el cemento portland y agregándole otras adiciones para formar un cemento adicionado.

La piedra caliza o también llamado carbonato de calcio (CaCO_3) representa el 80%, el cual suele llevar impurezas de carbonato de magnesio (MgCO_3) y las arcillas ($\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) representa un 20%, la cual suele contener óxido de hierro (Fe_2O_3), ya que si no contiene óxido de hierro no es válido para la fabricación del cemento portland (Rodríguez, 2013).

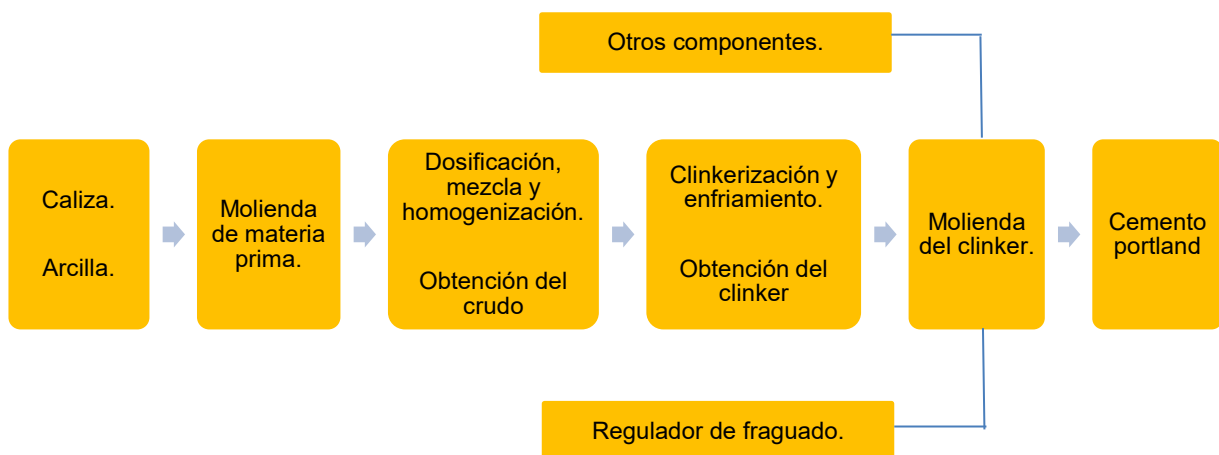


Figura 3. Proceso de la fabricación del cemento. (Rodríguez, 2013)

1.1.5.2. Dosificación del crudo de los cementos portland

Para la correcta dosificación del crudo se determinan los porcentajes en peso de los compuestos químicos de las materias primas, obteniendo los siguientes módulos.

Módulo hidráulico, relaciona el óxido de cal de la caliza entre los óxidos de silíceo, alúmina y hierro de la arcilla (Rodríguez, 2013).

$$MH = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Estándar de cal, relaciona el óxido de cal de la caliza entre los óxidos de silíceo, alúmina y hierro de la arcilla, pero modificados con un coeficiente para mayor exactitud; es el que se utiliza actualmente en las cementeras.

$$StC = \frac{100CaO}{2.8SiO_2 + 1.1Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3}$$

Módulo silíceo, relaciona el óxido de silíceo entre la alúmina y el hierro de la arcilla.

$$Ms = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Módulo de fundente, relaciona el óxido de alúmina y hierro de la arcilla.

$$Mf = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

El rango establecido para el control de las mezclas de arcillas y calizas son los siguientes:

$$1.7 < MH < 2.3 / StC > 90 / 1.8 < Ms < 3 / 1.8 < Mf < 2.8$$

Una vez calculado la dosificación de piedra caliza y arcilla, estas se mezclan y muelen a una granulometría inferior a 0.2 mm para obtener un crudo adecuado para introducir al horno (Rodríguez, 2013).

1.1.5.3. Proceso térmico de obtención del clinker de cementos portland

El proceso empieza en el horno vertical, que son los ciclones donde se precalientan y en el horno rotatorio donde se van a mezclar y formar los componentes fundamentales del cemento portland (Rodríguez, 2013).

➤ Fase de precalentamiento

Con el procedimiento de preparación de la materia en “vía seca”, se produce un intercambio de calor entre los gases calientes del horno y el crudo que circula en el sentido contrario gracias a una serie de ciclones desfasados. La preparación de la materia pasa por las siguientes etapas bajo la acción progresiva de la temperatura (Rodríguez, 2013).

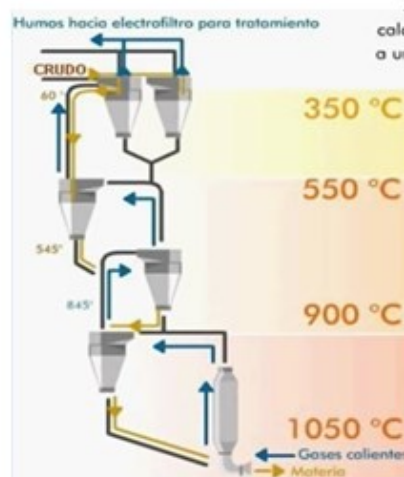


Figura 4. Ingreso del crudo a intercambiadores. (Rodríguez, 2013)

Cuando el crudo ingresa a los intercambiadores entra en contacto con una temperatura de 350°C produciendo la deshidratación de las arcillas, luego a 550°C se produce una dislocación de las estructuras y descomposición de las arcillas en óxido de sílice (SiO_2), óxido de alúmina (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), conforme el crudo va acercándose al horno rotatorio a 1050°C se produce la descarbonatación del carbonato de calcio (CaCO_3) en dióxido de carbono (CO_2) y óxido de calcio (CaO) (Rodríguez, 2013).

➤ **Fases de calcinación, reacciones exotérmicas y clinkerización**

El crudo que sale de la torre de intercambios alimenta por gravedad el horno rotatorio. Las reacciones de combinación de los elementos minerales se desarrollan a medida que la temperatura aumenta de 1350°C a 1450°C hacia la llama alimentada por la tobera. Una ligera pendiente de algunos grados y la rotación lenta del horno (2 a 3 rotaciones por minuto) aseguran el avance de la materia colocada en taludes.

Final de la calcinación, una vez ingresado el crudo al horno rotatorio a una temperatura de 1050°C, se empieza a combinar el óxido de calcio (CaO) con el óxido de sílice SiO_2 formando el silicato dicálcico (C_2S). Además, el óxido de calcio (CaO) se combina con la alúmina (Al_2O_3) y el hierro (Fe_2O_3) formando el ferro aluminato-tetracálcico (C_4AF).

Reacciones exotérmicas, se producen subiendo la temperatura a 1200°C, donde el óxido de calcio (CaO) se combina con el silicato dicálcico (C_2S) produciendo el silicato tricálcico (C_3S) y el óxido de calcio (CaO) se combina con la alúmina produciendo aluminato tricálcico (C_3A).

Zona de clinkerización, se da en un intervalo de temperatura de 1300°C a 1450°C es la fase donde se sigue formando C_3S y se pasa la fase líquida debido a la fusión de los aluminatos cálcicos (Rodríguez, 2013).

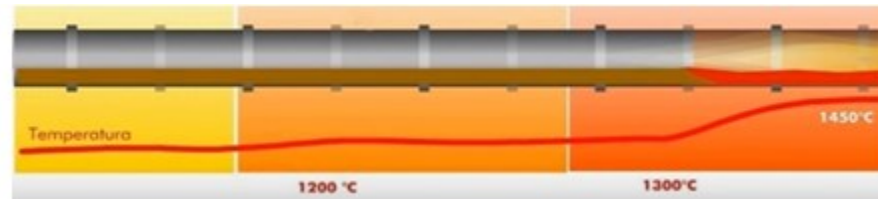


Figura 5. Crudo en el horno a diferentes temperaturas. (Rodríguez, 2013)

El clinker obtenido por la mezcla de la fase sólida y la fase líquida, debe ser enfriado bruscamente para evitar la reconversión del C_3S en C_2S y brindar una estructura vítrea en vez de cristalizar el clinker de tal manera que de 1450°C pasamos a 60°C en muy poco tiempo, dado que son inestables a altas temperaturas, asimismo se sabe que la fase sólida de los silicatos constituyen el 80% y la fase líquida 20%, esta fase líquida es la encargada de aglutinar y pegar los silicatos (Rodríguez, 2013).

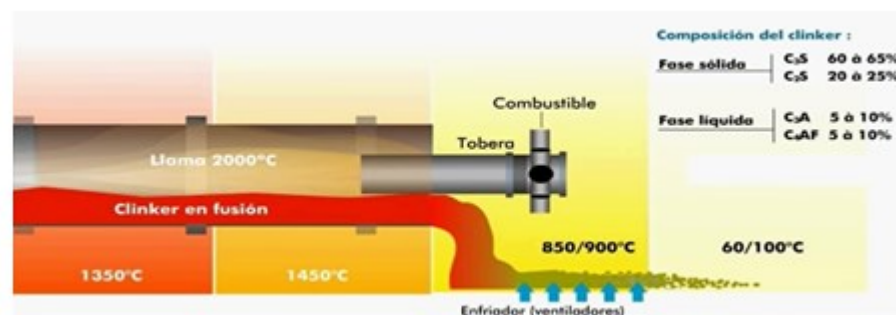


Figura 6. Formación del clinker. (Rodríguez, 2013)

Los gránulos de clinker se mezclan con regulador de fraguado (yeso), posteriormente se pasa a la molienda del cemento. Produciéndose el cemento portland a una finura adecuada para su correcta hidratación (Rodríguez, 2013).

1.1.5.4. Composición del cemento portland

➤ **Materias primas**

El cemento portland está formado, básicamente, por la molienda conjunta del producto resultante de la cocción, de una mezcla caliza y arcilla que recibe el nombre de clinker y un material empleado como regulador de fraguado que, generalmente, es yeso deshidratado. El clinker está formado por una mezcla de silicatos, aluminatos y ferrito aluminato de cal, esto hace que en la composición de las materias primas que van a formar el crudo; es decir, el material que se coloca

en el horno, son los óxidos de sílice, aluminio, hierro y cal en proporciones muy concretas.

Acompañando a los óxidos, aparecen en las materias primas otros compuestos que no son tan deseables, estos son los óxidos de magnesio, sodio, potasio y otros elementos como el anhídrido sulfúrico. Los cuatro primeros óxidos dan lugar a los componentes activos o principales del cemento portland mientras que los restantes se consideran como componentes secundarios no deseables (Fernández, 2011).

Tabla 4. Composición química del cemento portland. (Fernández, 2011)

Óxido	Símbolo	Contenido (%)
CaO	C	60 - 67
SiO	S	17 - 25
Al ₂ O ₃	A	3 - 8
Fe ₂ O ₃	F	0,5 - 6
MgO	M	0,1 - 4
Na ₂ O+K ₂ O	N+K	0,4 - 1,3
SO ₃	-	0,1 - 2,5
TiO ₂	-	0 - 0,5
Mn ₂ O ₃	-	0 - 0,3

➤ Componentes principales

Durante la calcinación en la fabricación del clinker de cemento portland los óxidos se combinan con los componentes ácidos de la materia prima entre si dando lugar a cuatro importantes compuestos. Los principales compuestos que constituyen aproximadamente entre el 90% al 95% del cemento. También se presentan en menores cantidades otros compuestos.

Los componentes minerales del clinker están formados por la combinación de dos o más óxidos principales y forman cristales mixtos.

La cantidad de componentes principales puede deducirse a través de un análisis de óxidos (Fernández, 2011).

Tabla 5. Componentes principales del cemento portland. (Fernández, 2011)

Nombre	Composición	Peso molecular	Fórmula abreviada	Nombre del mineral
Silicato tricálcico	3CaO, SiO ₂	228	C ₃ S	Alita
Silicato dicálcico	2CaO, SiO ₂	172	C ₂ S	Belita
Aluminato tricálcico	3CaO, Al ₂ O ₃	270	C ₃ A	Celita
Ferro aluminato tetracálcico	4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	486	C ₄ AF	Felita

La relación en masa de CaO/SiO_2 no debe ser inferior a 2.0 y el contenido de MgO no debe exceder el 5% en masa.

Silicato tricálcico (C_3S) o “Alita”, este componente confiere altas resistencias iniciales al cemento, prácticamente en una semana desarrolla su resistencias y después presenta una elevación de las mismas muy lenta. Genera mayor calor de hidratación.

Silicato dicálcico (C_2S) o “Belita”, este componente da pocas resistencias en los primeros días pero luego las va desarrollando progresivamente hasta alcanzar al silicato tricálcico. Genera bajo calor de hidratación.

Aluminato tricálcico (C_3A) o “Celita”, este componente por sí solo contribuye muy poco a las resistencias del cemento pero en presencia de los silicatos desarrolla unas resistencias iniciales buenas. La hidratación del C_3A es rápida al tomar contacto con el agua y se emplea yeso que actúa como regulador de fraguado, hay que tener presente que los clinker que poseen un contenido alto de aluminato tricálcico dan lugar a pastas, morteros y hormigones muy sensibles al ataque de sulfatos.

Ferro aluminato tetracálcico (C_4AF) o “Felita”, apenas tiene contribución en la resistencia de los cementos, el hierro que forma la felita tiene gran importancia como fundente en el horno y es responsable del color gris verdoso de los cementos portland y se encuentra en una porción de 3% y si su contenido se reduce al 0.5% o menos, se produce los cementos blancos (Fernández, 2011).

➤ **Componentes secundarios**

Los otros componentes que forman parte del clinker se encuentran se consideran como secundarios. Aunque entran en reducidas proporciones en la composición del clinker no por eso dejan de tener importancia debido a los efectos negativos a que pueden dar lugar. Estos componentes secundarios son fundamentalmente, la cal libre, la magnesia, los alcalinos y el anhídrido sulfúrico (Fernández, 2011).

Cal libre (CaO), es un óxido frecuente en el cemento portland debido a un defecto en la fabricación atribuible a diversas causas. La hidratación de la cal libre es expansiva dando lugar a fisuras superficiales en el hormigón.

Oxido de magnesio (MgO), al igual que la cal libre, también es expansivo aunque a más largo plazo que ésta. Suele estar combinado hasta en un 2% en las fases principales del clinker. El óxido de magnesio más peligroso es el que se encuentra cristalizado en forma de periclusa como secuencia de un enfriamiento lento del Clinker; generalmente, esto ocurre cuando se encuentra en proporción superior al 2%, estas provienen de las calizas que contienen carbonato de magnesio (MgCO_3).

Alcalinos (K_2O, Na_2O), los alcalinos o álcalis proceden de las materias primas y en general, de las arcillas y margas, encontrándose también en las cenizas del carbón quemado en el horno; en general, se volatilizan en la zona de clinkerización del horno. Los alcalinos influyen negativamente en la durabilidad de los morteros y hormigones que contengan áridos reactivos constituidos en parte por sílice.

Trióxido de azufre (SO_3), En los cementos el contenido de azufre expresado como SO_3 es mucho más elevado que en el clinker; debido, a la aportación que se hace en estos de yeso deshidratado como regulador de fraguado. A fin de evitar problemas de expansión por la acción de sulfatos el contenido de SO_3 se encuentra limitado en los cementos al 4.5 % como máximo (Fernández, 2011).

➤ **Adiciones**

Se conoce con el nombre de adiciones a aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que puede añadirse al cemento, mortero u hormigón, con la finalidad de mejorar algunas de las características físicas y/o químicas. Las adiciones pueden ser: filler calcáreo, puzolanas naturales, cenizas volantes, microsílíce, escorias de alto horno, escorias metalúrgicas, etc. (Fernández, 2011).

Filler calcáreo. Es un mineral compuesto básicamente por carbonato de calcio ($CaCO_3$), dada su facilidad de molienda, se adiciona al cemento o se muele en forma conjunta con el clinker portland en molino de cemento y ejerce efectos beneficiosos sobre los morteros u concretos en estado fresco. Adicionalmente, debido a su pequeño tamaño las partículas de filler calcáreo suelen mejorar la distribución granulométrica del cemento mejorando la resistencia temprana del concreto.

Puzolanas naturales. Las puzolanas naturales son materias sólidas de naturaleza silíceas o silicoaluminosas, con la capacidad de combinarse con la cal hidráulica o con la procedente de la hidratación de los cementos, a temperatura ambiente y en presencia de agua para formar compuestos similares a los originados en la hidratación de los componentes principales del cemento portland.

Cenizas volante. Las cenizas volantes son un residuo sólido de fina división procedente de la combustión de carbón pulverizado en los hogares de centrales termo-eléctricas y que es arrastrado por los gases y recuperado por precipitación electrostática o por captación mecánica. Las cenizas obtenidas por otros procedimientos, o que tienen otros orígenes, no se consideran cenizas volantes (Fernández, 2011).

➤ **Hidratación del cemento**

La hidratación es la reacción química entre las partículas de cemento y agua, produciéndose el proceso de hidratación que da lugar a dos mecanismos: el mecanismo de solución y el mecanismo topoquímico.

El mecanismo de solución, se desarrolla como disolución de los componentes que no están hidratados, formación de componentes que se han hidratado, precipitación de componentes que se han hidratado a partir de un exceso de solución, estas son las etapas iniciales de hidratación.

La hidratación topoquímica es una reacción química de estado sólido que se produce en la superficie de las partículas de cemento.

Los aluminatos se hidratan mucho más rápido que los silicatos. La reacción del aluminato tricálcico con el agua es inmediata y libera grandes cantidades de calor. Se utiliza yeso para ralentizar la velocidad de hidratación del aluminato. El yeso se disuelve rápidamente, generando iones sulfatos que bloquean la solubilidad de los aluminatos. La relación entre aluminatos y sulfatos determina la velocidad de fraguado. La pasta de cemento que se fragua a velocidad normal requiere baja concentraciones tanto de iones aluminatos como de iones sulfatos. La pasta de cemento seguirá siendo trabajable durante unos 45 minutos, a partir de ahí, comenzará a volverse rígida, a medida que los cristales desplacen al agua en los poros. La pasta comienza a solidificarse entre dos y cuatro horas después de añadir el agua al cemento. Si hay un exceso tanto de iones aluminato como de iones sulfatos, puede que la etapa en la que el cemento puede trabajarse dure solo 10 minutos y el fraguado puede tardar entre una o dos horas.

Si la disponibilidad de iones aluminato es alta y la de iones sulfato es baja, puede producirse un fraguado rápido (10 a 45 minutos) o un fraguado instantáneo (menos de 10 minutos). Por último, si la disponibilidad de iones aluminato es baja y la de iones sulfato es alta, el yeso puede volver a cristalizarse en los poros en 10 minutos, dando lugar a un fraguado instantáneo. El fraguado instantáneo provoca una gran liberación de calor y tiene como resultado una disminución de la resistencia máxima.

Los silicatos de calcio se combinan con agua para formar silicatos de calcio hidratado, C-S-H. Los cristales comienzan a formarse unas pocas horas después de mezclar el agua y el cemento, y se pueden desarrollar de manera continua mientras queden partículas de cemento sin reaccionar y agua libre. El C-S-H no es un compuesto bien definido. La relación calcio-silicato varía entre 1,5 y 2,0, y el contenido de agua estructuralmente combinada es todavía más variable.

El proceso de hidratación de los silicatos genera tanto C-S-H como hidróxido de calcio. La hidratación completa del C_3S produce un 61% de C-S-H y 39% de hidróxido de calcio; la hidratación completa del C_2S da lugar a un 82% de C-S-H y un 18% de hidróxido de calcio. Puesto que el C-S-H es lo que hace que la pasta de cemento sea resistente; además el hidróxido de calcio es susceptible de ser atacado por los sulfatos y las agua ácidas. Al incrementar la proporción de C_2S en relación con la de C_3S , se reduce la cantidad de hidróxido de calcio y se aumenta la resistencia a los sulfatos.

El C_3S se hidrata más rápidamente que el C_2S , contribuyendo al tiempo de fraguado final y a la ganancia de resistencia inicial de la pasta de cemento. La velocidad de hidratación se acelera si existen iones sulfato en solución. Por tanto, un efecto secundario de la adición de yeso al cemento consiste en incrementar la velocidad de generación del C-S-H.

Esquema de hidratación del cemento con material calcáreo El clinker portland está constituido por una mezcla heterogénea de varios componentes: silicato tricálcico (C_3S), silicato bicálcico (C_2S), aluminato tricálcico (C_3A) y ferroaluminato tetracálcico (C_4AF) y su proceso de hidratación consiste en una serie de reacciones simultáneas que se producen entre los compuestos anhidros y el agua. Es ampliamente conocido que no todos los componentes se hidratan a la misma velocidad y que la presencia de adiciones puede modificar estas reacciones y su cinética (Solano, 2010).

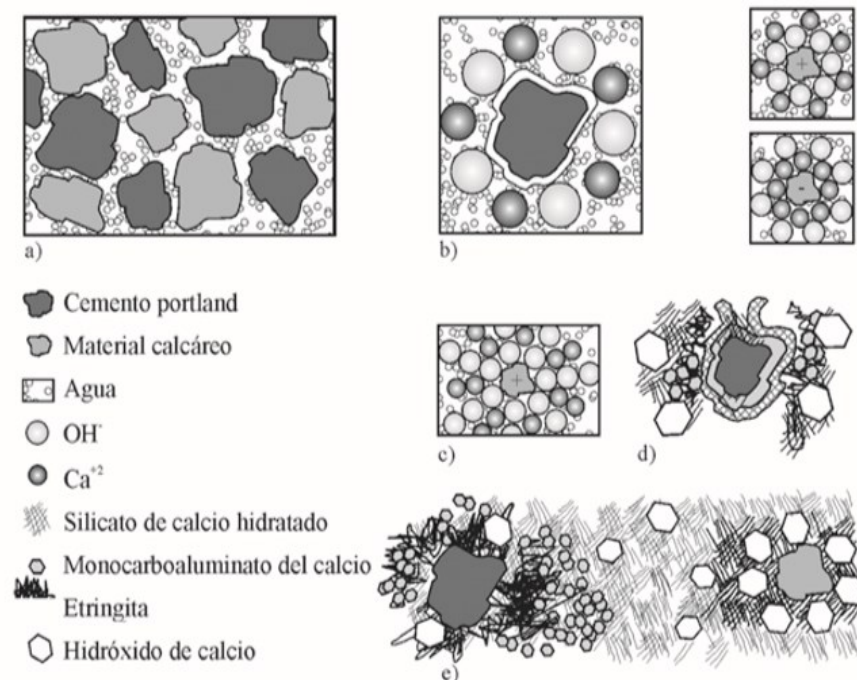


Figura 7. Fenómeno de hidratación del cemento. (Solano, 2010)

Cuando el cemento con material calcáreo se pone en contacto con el agua se genera la dispersión inicial (Figura 7a), e inmediatamente se produce la hidrólisis de los silicatos de calcio y se crea una disolución sobresaturada de iones oxidrilos (OH) y calcio (Ca^{+2}).

Otros iones como los sulfatos, álcalis, como también pequeñas cantidades de sílice, alúmina y óxido de hierro, se encuentran en la disolución. Además de iones carbonato procedentes de la disolución del carbonato de calcio del material calcáreo. Los iones OH y Ca^{+2} tienden a orientarse sobre la superficie de los granos de la adición, que debido al proceso de molienda se encuentran cargados electrostáticamente.

(Figura 7b). Este efecto se desarrolla en varias capas sucesivas, las cuales van perdiendo intensidad a medida que se alejan del grano del material calcáreo

(Figura 7c). Simultáneamente se produce la formación sobre los granos de cemento de etringita de amasado (en forma de agujas prismáticas de corta longitud) y una fina capa de CSH.

La formación de esta capa es la responsable de que el cemento presente un período denominado reposo, durante el cual las reacciones de hidratación prácticamente se detienen y en consecuencia la pasta de cemento permanece en estado plástico y trabajable durante algún tiempo (en general de 2 a 3 horas). Los principales productos de hidratación en este estado son el CSH y la etringita.

El final del período de reposo y el inicio del fraguado de la pasta se atribuye a la ruptura de la capa de CSH.

(Figura 7d). Consecuentemente las reacciones de hidratación continúan rápidamente. Así, los granos de material calcáreo constituyen los núcleos de cristalización a partir de los cuales se produce la precipitación de los cristales de CSH y este mecanismo resulta en parte, responsable de la aceleración inicial de la hidratación del cemento portland.

(Figura 7e). La etringita de amasado comienza a recrystalizar, aumentando su longitud y la pasta comienza a perder su plasticidad. Debido a que el volumen de los productos de hidratación es mayor al volumen del cemento anhidro, estos productos gradualmente comienzan a llenar los espacios vacíos entre los granos de cemento y el material calcáreo, causando puntos de contactos que producen la disminución de la movilidad de la pasta.

Con el aumento en la cantidad de productos de hidratación y la elevada concentración de puntos de contactos, se restringe por completo la movilidad de la pasta y se alcanza el tiempo de fraguado final del cemento (Solano, 2010).

1.1.5.5. Clasificación de los cementos

La clasificación de cementos según la Norma Técnica Peruana es la siguiente:

a. Cementos portland (NTP 334.009)

- **Tipo I:** Para uso general y cuando no se precisen cementos con otras propiedades específicas.
- **Tipo II:** Para uso general y cuando se precise una resistencia moderada frente a los sulfatos o moderado calor de hidratación.
- **Tipo III:** Para uso cuando se precise altas resistencias iniciales.
- **Tipo IV:** Para uso cuando se precise bajo calor de hidratación.
- **Tipo V:** Para usos cuando se precisen altas resistencias a los sulfatos.

b. Cementos adicionados (NTP 334.090)

- **Tipo IS:** Contenido de escoria entre 25% y 70%.
- **Tipo ISM:** Contenido de escoria menor a 25%
- **Tipo IP:** Contenido de puzolana entre 15% y 40%.
- **Tipo IPM:** Contenido de escoria menor a 15%
- **Tipo I (CO):** Cemento adicionado obtenido por la pulverización conjunta de Clinker Portland y materiales calizos, hasta un 30% de peso.

c. Morteros ecológicos

Es un mortero respetuoso con el medio ambiente que consigue reducir las emisiones directas de CO₂ a la atmósfera, en la cual se utilizan materiales reciclables que puedan sustituir la piedra caliza y que no alteren de forma desfavorable las propiedades primordiales del mortero (Borrás, 2017).

Tabla 6. Requisitos para utilizar caliza en cemento portland. (González de la Cotera, 2012)

Ensayo	Método de ensayo aplicable	Requisito
Finura:		
Cantidad retenida en tamizado por vía húmeda en tamiz 45 µm (N ₀ 325), máx. %	NTP 334.045	20.0
Índice de actividad:		
Con cemento portland a 28 días, min. %	NTP 334.066	75
Contenido:		
Carbonato de calcio (CaCO ₃), min. %	Difracción de rayos X (DRX)	75

Tabla 7. Requisitos físicos y químicos de cementos adicionados. (NTP 334.090)

	Requisitos	Método de ensayo	Tipos de cementos
		aplicable	ICo
Físicos	Finura	334.002	
	Expansión en autoclave, máx. %	334.004	0,80
	Tiempo de fraguado, ensayo de vicat.	334.006	
	Fraguado, minutos, no menos de		45
	Fraguado, horas, no más de		7
	Resistencia a compresión, mín., MPa	334.051	
	3 días		13.0
	7 días		20.0
	28 días		25.0
	Requerimiento de agua, % en peso del cemento, máx.	334.051	
Químicos	Óxido de magnesio (MgO), máx. %		---
	Azufre como trióxido de azufre (SO ₃), máx. %		3.0
	Azufre (S), máx. %		---
	Residuo insoluble, máx. %		---
	Pérdida por ignición, máx. %		10.0

1.1.5.6. Ensayos de mortero

El mortero es una mezcla de agregado fino, aire, agua y cemento que al consolidarse se convierte en un material con diferentes propiedades y aplicaciones, desde resistencia hasta propiedades especiales, siendo este uno de los materiales más empleados a nivel mundial (Salamanca, 2001).

a. Fluidez de morteros (NTP 334.057)

En este ensayo se determina, la fluidez de los morteros de cemento, significa también determinar la cantidad necesaria de agua que necesita un mortero de cemento para su homogeneización entre el cemento y el árido (arena de ottawa) con esta cantidad de agua el mortero puede sacar gran eficacia en la obra a ejecutar, esto más el respectivo curado.

Según la norma el porcentaje de fluidez se debe encontrar entre, $F = 110\% \pm 5\%$. Este ensayo se realiza con la mesa de flujo. Al amasar el cemento con agua en donde sus componentes reaccionan con agua formando una masa plástica que dura en cierto tiempo para ser colocada en obra (Salamanca, 2001).

b. Reactividad (NTP 334.110)

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 está 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 (Acosta, Cabrera, Rojas, & Villalba, 2010).

c. Densidad (NTP 339.187)

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 (Chinguay, 2007).

d. Resistencia a la compresión (NTP 334.051)

Es la característica mecánica principal del mortero se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa y Psi.

Esto implica que la resistencia a la compresión puede ser definida como la capacidad de soportar una fuerza sobre una determinada área. La resistencia de los cementos y la de los hormigones está ligada y de aquí la necesidad de conocerla. La resistencia de los cementos es más alta a los 28 días de curado, cuanto mayor es el contenido de C₃S y C₃A, y más elevada es la finura de molido, éste aumento a edades tempranas (Godo, 2011).

1.1.6. Mármol

El mármol es una roca metamórfica de apariencia cristalina que se origina a través de una serie de procesos geológicos que reaccionan a diferentes cambios ambientales de donde se proviene. En su composición predomina el CaCO₃ y está acompañado de una gran diversidad de otros minerales. 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, 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).

1.1.6.1. Difracción de rayos X (DRX)

Es una de las técnicas de caracterización más potentes y más comúnmente utilizadas para el análisis estructural de cristales. Sus características principales son consecuencia de ser una sonda electromagnética de la materia con una longitud de onda ($X = 1.5 \text{ \AA}$) de magnitud muy parecida al espaciado interplanar de los sólidos (típicamente del orden de unos pocos \AA). Por ser los fotones partículas de masas en reposo nulas y libres de carga, interactúan con la materia de una forma suave, lo que produce que la DRX sea una técnica de caracterización no destructiva. Otra ventaja importante es que no requiere ningún proceso específico de preparación de muestras para ser analizadas (Manzuelas, 1992).

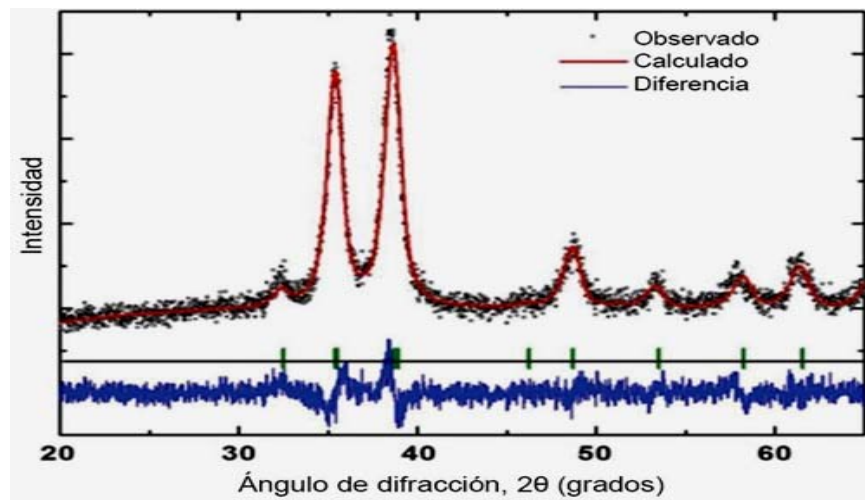


Figura 8. Difractograma de nanopartículas de CuO . (Rios, Giannini & Solis, 2015)

1.1.6.2. Características del mármol

Composición: Predominará el carbonato de calcio (CaCO_3), acompañado de una gran diversidad de otros minerales (mica, silicatos magnésicos, grafito, óxidos de hierro, etc.)

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

- Afanocristalinos.
- Muy finamente cristalinos.
- Finamente cristalinos.
- Medianamente cristalinos.
- Groseramente cristalinos.
- Muy groseramente cristalinos.

Porosidad:

- 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.

Densidad:

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

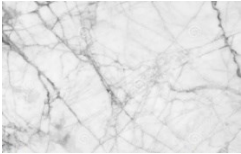
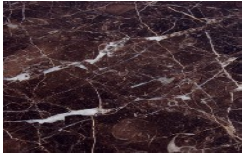

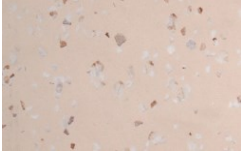
Transparencia: Todos los minerales cuando aparece en aglomerados granulares son translúcidas.

Resistencia y Durabilidad:

- Resistencia a compresión comprendida entre 400 y 1800 Kg/cm².
- Mohs: Calcita: 4.
- Resistencia a agentes agresivos: Poco abrasivo (bajo costo de extracción y de acabado).

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

Tabla 8. Clasificación del mármol según su color. (Marmola, 2018)

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.	

1.1.6.3. Usos del mármol

Se clasifican en función de estado de agregación:

Tabla 9. Usos del mármol. (Marmola, 2018)

Mármol en piedra	Mármol triturado	Mármol en polvo
Esculturas	Jardinería	Papel
Fuentes	Decoración	Hormigones
Columnas		Morteros
Pórticos		Cementos
Lapidas		Cerámicas
Piletas		Terrazos
Mortero		Cristal
Revestimientos		Caucho
Suelos		Fertilizantes

1.1.6.4. Canteras principales de obtención del mármol

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

1.1.6.5. Residuo actual del 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. En el proceso de los acabados por un metro cúbico manufacturado se producen 808.77 kg de residuos. Inclusive llega a producir hasta el 70% de residuos con respecto a la pieza en bruto.

Estos tipos de residuos representan un desecho industrial que en el mejor de los casos se utiliza como relleno de terrenos y generalmente se acumula en los patios

de las marmolerías, que luego lo depositan en vertederos, ríos, mares o en cualquier otro lugar que se encuentre cerca, y con la acción del aire y agua, se convierte en causa de contaminación ambiental y problemas de salud.

Asimismo, estos residuos contaminan el suelo debido a la acumulación de polvo sobre la superficie, de esta manera el suelo absorbe el óxido de calcio 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.

También produce numerosas enfermedades al ser humano, como es la neumoconiosis, la cual es la principal causa de muerte entre los trabajadores de la industria del mármol, al inhalar el polvo que se genera en el área de trabajo, se acumula en los pulmones provocando que la respiración sea complicada, al estar en constante exposición origina el cáncer.

Hay numerosas investigaciones 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 mejorar la salud (Santos, Villegas, & Betancourt, 2012).

1.1.6.6. Características del residuo del mármol

La cantidad de residuos de mármol ha ido aumentando por lo que las eliminaciones de estos lo depositan en ríos o vertederos, existe una fuerte contaminación del suelo debido a la acumulación de polvo sobre la superficie donde es depositado el residuo, el suelo absorbe el óxido de calcio (CaO) y con el tiempo el suelo se vuelve infértil, por lo que cada vez se genera un mayor impacto en la contaminación ambiental, es por ello que se ha buscado reducir los efectos negativos reutilizando estos residuos.

El polvo del mármol se puede obtener durante las siguientes etapas del proceso del mármol (Solano, 2010).

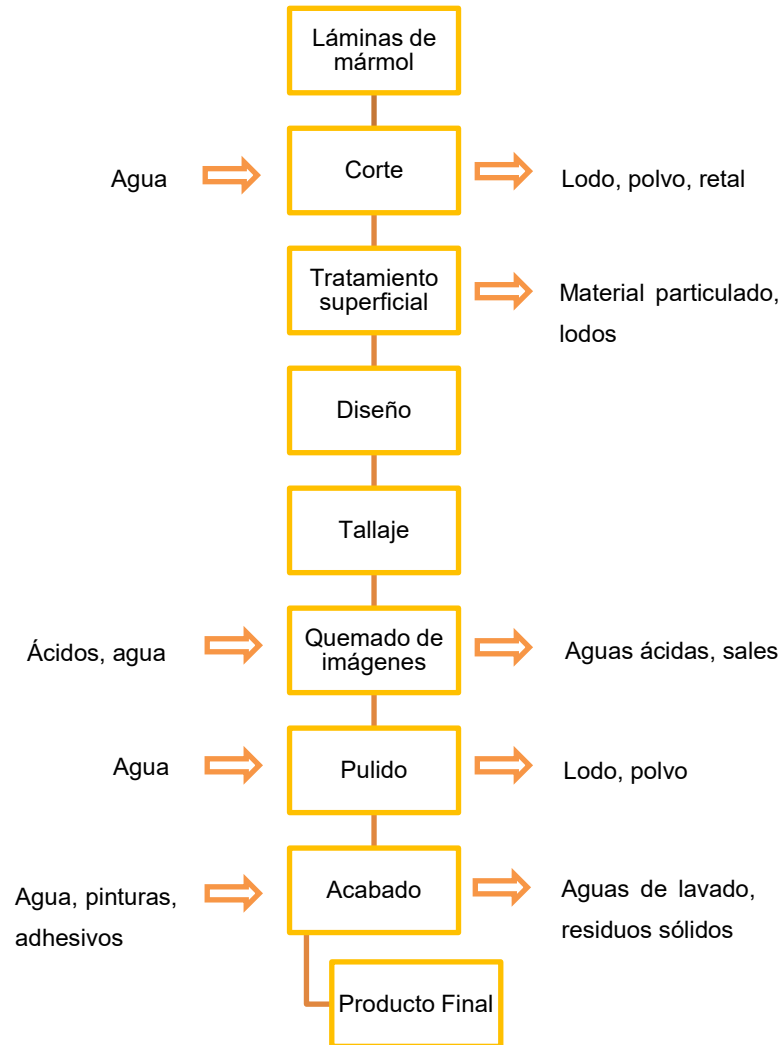


Figura 9. Residuos generados por etapa del proceso de la industria marmolera. (Solano, 2010)

1.1.6.7. Estado actual de la utilización de los residuos del 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 o morteros.

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 (Santos, Villegas y Betancourt, 2012).

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el mármol reciclado sobre la fluidez, reactividad, densidad y compresión, en morteros ecológicos, Trujillo 2018?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la influencia del mármol reciclado sobre la fluidez, reactividad, densidad y compresión, en morteros ecológicos.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar los ensayos de caracterización de la arena de Ottawa y el mármol molido, así como granulometría (NTP 400.012), contenido de humedad (NTP 339.127), peso específico y absorción (NTP 400.022), peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017), conductividad y pH, de la arena de Ottawa y mármol molido.
- Analizar la fluidez y relación agua/cemento (NTP 334.057) de las muestras en los distintos porcentajes de mármol.
- Realizar ensayo de reactividad (NTP 334.110) de las muestras en los distintos porcentajes de mármol.
- Evaluar la densidad (NTP 339.187) y resistencia a compresión (NTP 334.051) de las muestras en los distintos porcentajes de mármol, a 3, 7 y 28 días de curado.
- Determinar el índice de actividad puzolánica (NTP 334.066).
- Encontrar el porcentaje óptimo del mármol reciclado en cemento portland tipo I, para obtener un mortero ecológico.
- Realizar una evaluación económica del diseño con mármol reciclado y mezcla base patrón.
- Determinar estadísticamente si la variable independiente influye en las variables dependientes.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

El mármol reciclado influye en la fluidez, reactividad, densidad y compresión en morteros ecológicos, Trujillo 2018. Generará un mortero con resultados superiores o equivalentes que a la vez contribuirá con el medio ambiente.

Tabla 10. Hipótesis general.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El mármol reciclado influye en la fluidez, reactividad, densidad y compresión en morteros ecológicos, Trujillo 2018. Generará un mortero con resultados superiores o equivalentes, que a la vez contribuirá con el medio ambiente.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mármol ➤ Fluidez ➤ Reactividad ➤ Densidad ➤ Compresión 	Morteros ecológico	Influye	Trujillo	2018

1.4.2. Hipótesis específicas

- El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la fluidez, Trujillo 2018. Generará un mortero con mayor trabajabilidad.

Tabla 11. Hipótesis específica para la fluidez.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la fluidez, Trujillo 2018. Generará un mortero con mayor trabajabilidad.	Fluidez	Morteros ecológico	Aumenta	Trujillo	2018

- El mármol reciclado en morteros ecológicos disminuye la expansión, Trujillo 2018. Generará un mortero con menor estabilidad de volumen.

Tabla 12. *Hipótesis específica para la reactividad.*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El mármol reciclado en morteros ecológicos disminuye la expansión, Trujillo 2018. Generará un mortero con menor estabilidad de volumen.	Reactividad	Morteros ecológico	Disminuye	Trujillo	2018

- El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la densidad, Trujillo 2018. Generará un mortero más compacto.

Tabla 13. *Hipótesis específica para la densidad.*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la densidad, Trujillo 2018. Generará un mortero más compacto.	Densidad	Morteros ecológico	Aumenta	Perú	2018

- El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la resistencia a la compresión, Trujillo 2018. Generará un mortero con mayores resistencias a la compresión.

Tabla 14. *Hipótesis específica para la compresión.*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la resistencia a la compresión, Trujillo 2018. Generará un mortero con mayores resistencias a la compresión.	Compresión	Morteros ecológico	Aumenta	Perú	2018

II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente estudio de investigación es experimental, porque se basa en la elaboración de un mortero ecológico con distintos porcentajes de mármol reciclado lo cual permitirá incrementar la fluidez, densidad y resistencia a compresión, y disminuirá la reactividad.

Tipo experimental puro, ya que se controla y limita la cantidad de porcentaje de cemento, mármol reciclado para elaborar el mortero ecológico.

El diseño de la investigación es experimental unifactorial, en el diseño se manipula una variable independiente, las cuales serán evaluadas en varias condiciones y determinar con la estimulación de 4 variables dependientes una mejora.

2.1.1. Operacionalización de variables

➤ **Variable independiente:**

Los porcentajes de mármol reciclado está comprendida entre 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20% (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 reemplacen al cemento portland (que pasen la malla N°325).

➤ **Variables dependientes:**

- A. Fluidez (%).
- B. Reactividad (%).
- C. Densidad (g/cm^3).
- D. Compresión (MPa).

Tabla 15. Variables dependientes.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Ítems
Fluidez	Consistencia de morteros.	Propiedad física	Agua	ml
			Diámetro promedio del mortero	mm
			Plasticidad del material	%
Reactividad	Reacción entre el sodio y potasio del cemento portland.	Propiedad química	Dimensión final	%
			Expansión de probeta	mm
Densidad	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.	Propiedad física	Peso	g
			Volumen	cm^3
Compresión	Máxima resistencia de carga axial por unidad de área.	Propiedad mecánica	Área probeta	mm^2
			Carga de rotura	N
			Resistencia de espécimen	MPa

2.2. Materiales, instrumentos y métodos

Técnica de recolección y análisis de datos

Tabla 16. *Recolección y análisis de datos de los instrumentos.*

Técnicas	Instrumentos
Observación	Hojas de Observación
Análisis de Datos	Gráficos Estadísticos

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 cemento portland sustituyendo con diferentes porcentajes de mármol reciclado del (0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20%).

Para el análisis de datos se realizarán gráficos estadísticos para su mejor manipulación, puesto que procede a racionalizar los datos recaudados con el propósito de explicar las posibles relaciones que expresan las variables estudiadas, para ello se optará por un análisis univariado, que consiste en el análisis de cada una de las variables estudiadas por separado, es decir, el análisis está basado en una sola variable. El análisis de datos proporcionará innumerables beneficios a través de datos estadísticos cuantitativos que permiten procesar y presentar la información de manera organizada y resumida.

2.3. Procedimientos de recolección de datos.

El siguiente diagrama de flujo representa el proceso experimental realizado para la investigación:

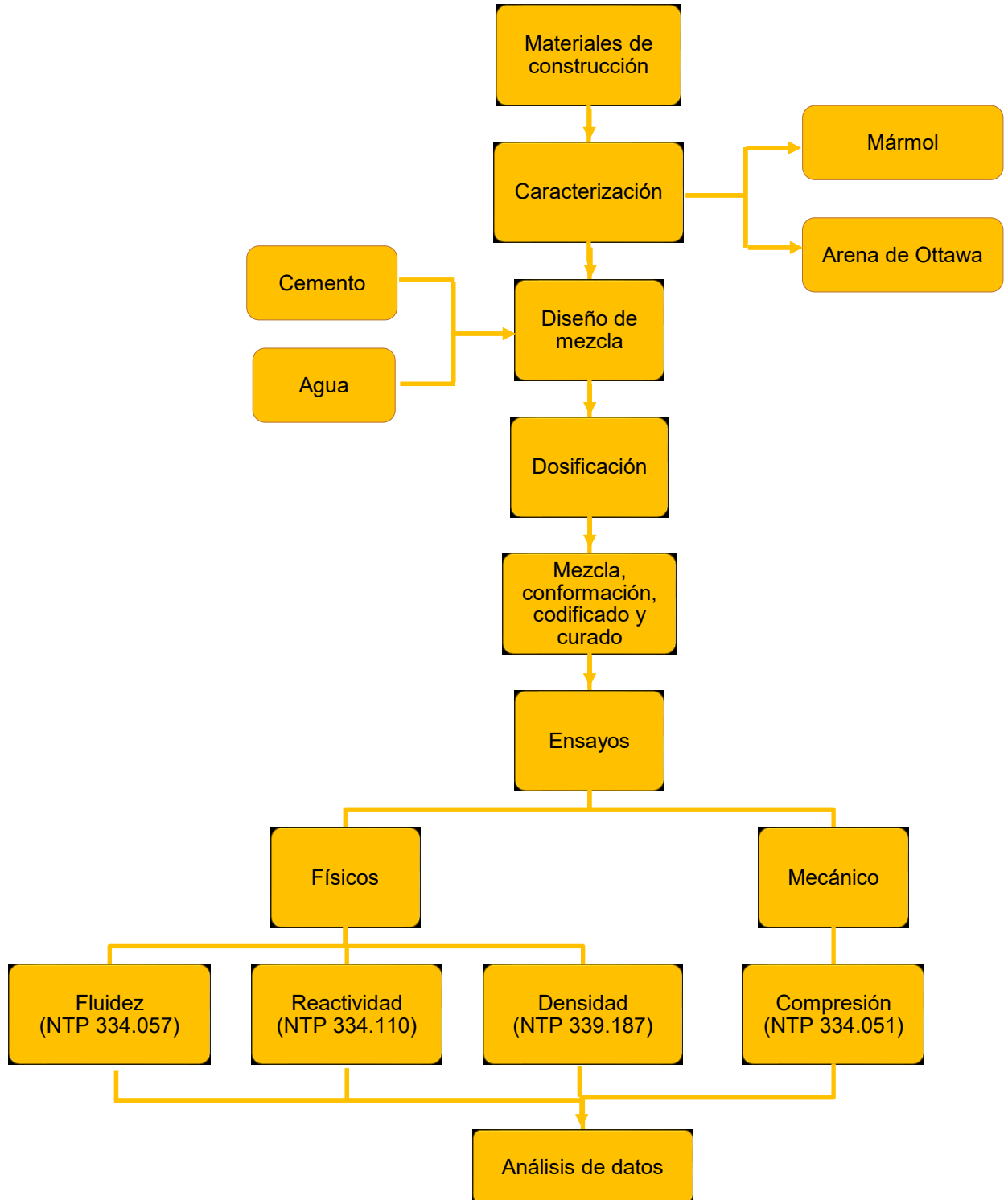


Figura 10: Diagrama del proceso de investigación.

2.3.1. Materiales de construcción.

Debido a que en esta investigación se requiere evaluar la influencia de la sustitución de cemento portland por mármol reciclado, es necesario utilizar materiales de construcción que no contengan adiciones.

2.3.1.1. Cemento portland tipo I

Se utilizó un cemento portland tipo I, el cual es para uso general que no requiera propiedades especiales, ya que este no contiene adiciones diferente de yeso y clinker; con el fin de ver el comportamiento del mármol junto al cemento. Por lo tanto se utilizó cemento portland tipo I de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A., según sus especificaciones técnicas (Anexo 5) nos da una resistencia a compresión de 20 MPa a los 3 días, de 28 MPa a los 7 días y de 36 MPa a los 28 días, y una densidad de 3.08 g/cm³ (NTP 334.090, 2013).

En la tabla 17 se presenta las principales propiedades físicas del cemento Tipo I.

Tabla 17. Características físicas del cemento (cementos Pacasmayo, 2018).

Propiedades Físicas	Unidades	CPSAA	Requisito NTP 334.009/ AST C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/ml	3.08	No especifica
Resistencia a compresión	Mpa		
	3 días	20.0	Mínimo 12.0
	7 días	28.0	Mínimo 19.0
	28 días	36.0	Mínimo 28.0
Tiempo de Fraguado Vicat	mim		
	Fraguado Inicial	138	Mínimo 45
	Fraguado Final	261	Máximo 375

Una de las propiedades importantes del cemento es la finura de sus partículas, puesto que la hidratación del cemento comienza en la superficie de las partículas de cemento, cuanto más finas sean, mayor será el área superficial y más rápido se producirá la hidratación del cemento. En la tabla 17 se muestra que el contenido de aire del cemento tipo I es menor a lo establecido por la norma, por tanto se tendrá un material más denso, con menor porosidad y con una mayor resistencia, la superficie específica del cemento es mayor a lo establecido por la norma, por tanto se tendrá como resultado un calor de hidratación mayor y un desarrollo más rápido de la resistencia.

El cemento aporta una rápida ganancia de resistencia, pero su exceso origina una mayor rigidez a la mezcla, dificultando su trabajabilidad. Tampoco es aconsejable morteros pobres en cemento por la baja resistencia que se produciría.

2.3.1.2. Arena Ottawa

La NTP 334.097 establece como requisito utilizar la arena normalizada de Ottawa para el uso en ensayos de cementos, la que es utilizada en ensayos de morteros así como fluidez y resistencia a la compresión. Sus especificaciones se encuentran en el Anexo 6. La arena de Ottawa tiene las siguientes características granulométricas determinadas en la Figura 11 (Maureira, 2012).

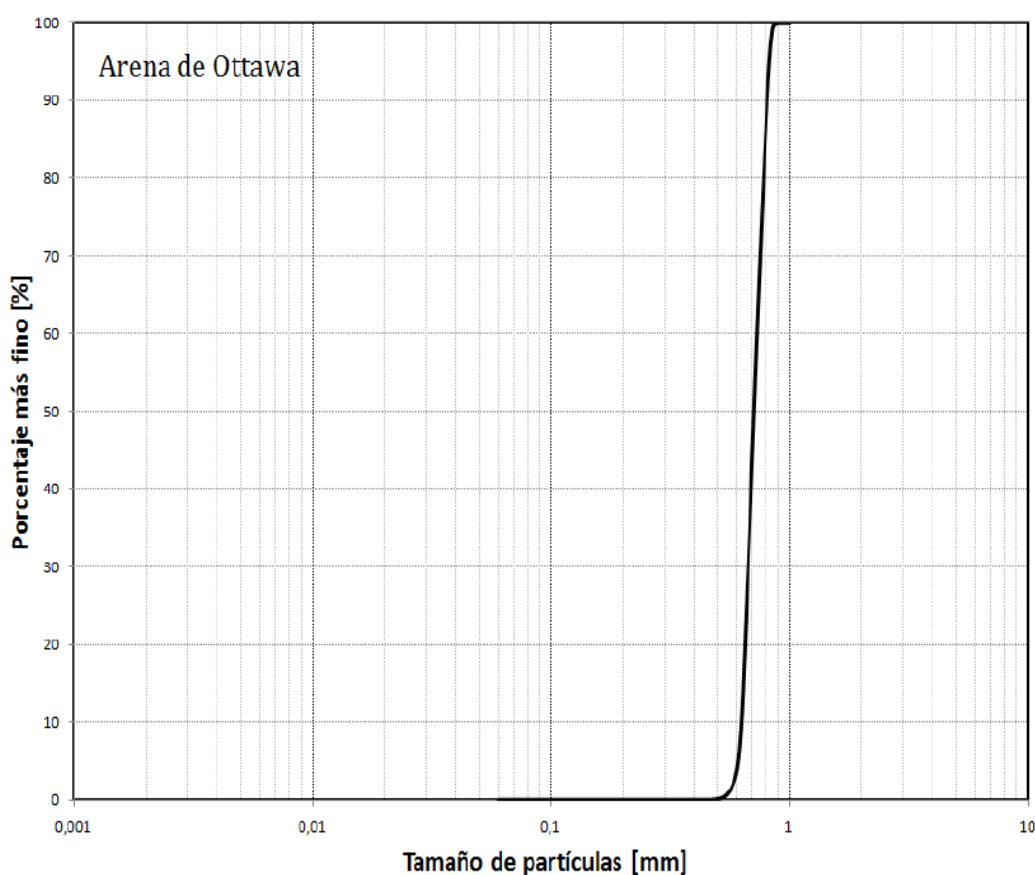


Figura 11. Curva granulométrica de la arena de Ottawa. (Maureira, 2012)

La arena de Ottawa de acuerdo a su clasificación USCS, corresponde a una arena SP (pobrementemente graduada). En la siguiente tabla 18 se muestra las densidades máximas y mínimas (Maureira, 2012).

Tabla 18. Caracterización granulométrica e índice de vacíos de la arena Ottawa. (Maureira, 2012)

Caracterización granulométrica	Tamaño máximo, d_{100} (mm)	0.93
	Tamaño medio, d_{50} (mm)	0.71
	Coefficiente de uniformidad, C_u	1.17
	Coefficiente de curvatura, C_c	0.99
	Contenido de finos, (%)	0.00
Índice de vacíos	Gravedad específica de los sólidos, G_s	2.65
	Índice de vacíos máximos, $e_{máx.}$	0.723
	Índice de vacíos mínimos, $e_{mín.}$	0.507

Para la elaboración de la investigación se partió en buscar un agregado que este más accesible y cerca al lugar de la investigación. Se empleó los agregados de la cantera HS del sector el Milagro. Se realizó tamizados hasta poder obtener la arena de Ottawa artificial siguiendo la NTP 334.051 donde nos indican los porcentajes necesarios para poder realizarlo, como se muestra en la tabla 19.

Tabla 19. Límites permisibles para preparar la arena de Ottawa. (NTP 334.051)

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (Kg)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que Pasa	Límites de % que pasa NTP 334.051
N°16	1.19	0	0	0	100	100
N°30	0.6	0.02	2	2	98	96 - 100
N°40	0.4	0.38	38	40	60	55 - 65
N°50	0.3	0.35	35	75	25	20 - 30
N°100	0.15	0.25	25	100	0	0 - 4
Fondo	0	0	0	0	0	0
Peso tamizado (Kg) =		1	100			
Módulo de Finura =		2.17				

2.3.1.3. Agua destilada

El agua que se utilizó para la preparación de pastas y morteros fue agua destilada, controlada a una temperatura de $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, ya que mediante el proceso de destilación se han eliminado impurezas y sales disueltas, quedando un líquido transparente, incoloro, inoloro y miscible, por lo que esta agua no presenta riesgos físicos ni químicos. Entre sus especificaciones (ver Anexo 8), podemos encontrar un pH de 5.4 (Fernández, 2011).

2.3.1.4. Mármol

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

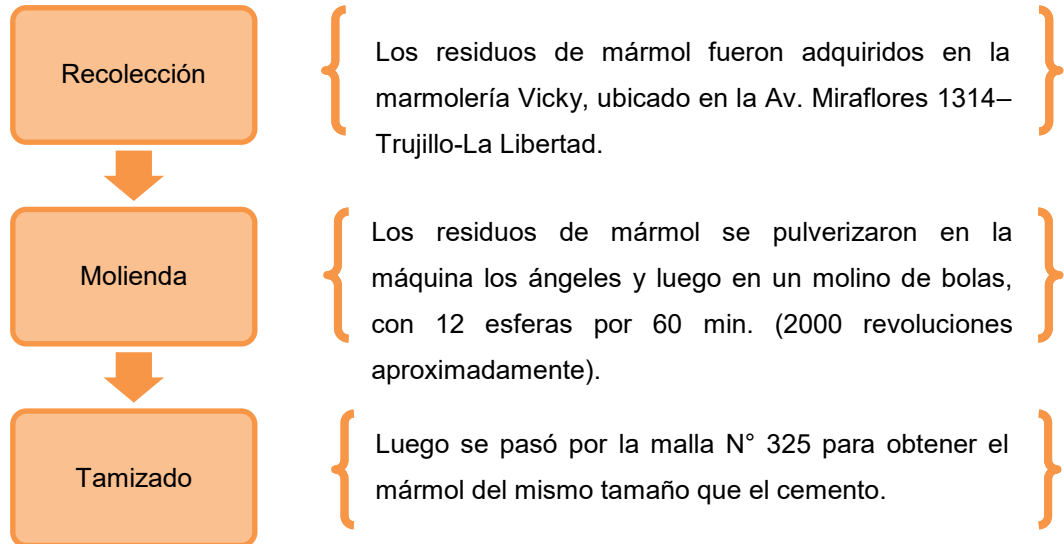


Figura 12. Proceso de obtención del mármol.

La utilización de un material reciclado que reemplace al cemento Portland Tipo I obtiene como resultado un menor costo de producción y al ser mármol el material reciclado obtiene una mayor resistencia a compresión.

2.3.2. Caracterización física y química

2.3.2.1. Caracterización física

A. Granulometría (NTP 400.012)

- Se tomó tres muestras por cada tipo de agregado de 1 Kg 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 5 min.
- Al finalizar el tiempo se pesó cada tamiz con la muestra retenida en una balanza analítica de 0.1 g con capacidad de 2 Kg, 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 fórmula:

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

Dónde:

MF: Módulo de finura

Tabla 20. 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 21.

Tabla 21. 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. Humedad (NTP 339.185)

- 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 g con capacidad de 1 Kg (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:

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

Dónde:

Ph: Peso natural del material

Ps: Peso seco del material

W%: Porcentaje de humedad

Tabla 22. Contenido de humedad.

Cód.	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)	W
M 1						
M 2						
M 3						
				Promedio		

C. Peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017)

- 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:

$$\text{Volumen del recipiente} = \frac{\text{Peso del agua contenida en el recipiente}}{\text{Factor del agua a } 20.7^{\circ}\text{C} \left(998.06 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)}$$

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

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)

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

Dónde:

G_c: 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 23. 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 20.7°C (kg/m ³)	Volumen del molde (m ³)
Volumen del agua	M1					
	M2					
	M3					
Promedio						

Tabla 24. 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								

D. Gravedad específica y absorción (NTP 400.021)

- Se seleccionó 1.5 Kg 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 g 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.

$$D_s = \frac{A}{B - C}$$

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

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

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

Donde:

A: Peso de la muestra seca. (g)

B: Peso de la muestra saturada. (g)

C: Peso de la muestra suspendida. (g)

D_s: Densidad seca. (Kg/m³)

D_{sss}: Densidad saturada superficialmente seca. (Kg/m³)

D_a: Densidad aparente. (Kg/m³)

Abs: Porcentaje de absorción. (%)

Tabla 25. Gravedad específica y absorción del agregado.

Cód.	P muestra seca (g) A	P muestra (S.S.) (g) B	P muestra sumergida (g) C	Densidad seca (kg/m ³)	Densidad saturada superficialmente seca (kg/m ³)	Densidad aparente (kg/m ³)	Absorción (%)
E1							
E2							
E3							
Promedio							

E. Índice de actividad puzolánica (NTP 334.066)

Primero se pulverizó el mármol reciclado a un tamaño que el retenido del tamiz N°325 por vía húmeda sea menor al 20%, luego se secó la muestra a 110 °C +/-5 °C, hasta peso constante, para luego ser mezclada con el cemento.

Se calculó el índice de actividad puzolánica (IAP) usando la siguiente fórmula.

$$IAP = \frac{A}{B} \times 100$$

Dónde:

IAP: Índice de actividad puzolánica (%)

A: Resistencia promedio de mortero adicionado.

B: Resistencia promedio del mortero patrón.

Tabla 26. Actividad puzolánica del mármol.

	Índice de Días puzolanidad (%)
	3
IAP	7
	28

2.3.2.2. Caracterización química

A. 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 pírrex de 250 ml, uno con 50 g del agregado fino con agua destilada con el doble de volumen de la arena y el otro con 50 g 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 pírrex 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 6.5-8.5.

Tabla 27. Esquema de composición química de la arena de Ottawa y del mármol.

Sector	Conductividad (dS/cm)	pH
Agua con arena de Ottawa		
Agua con mármol		

B. Agua (NTP 339.088)

El agua de diseño tiene que cumplir los límites mostrados en la tabla 3 (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 6.5 y 8.5.

- 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		

2.3.3. Diseño de mezcla

Para la dosificación del mortero se tomó la relación de 1:2.75 como nos menciona la NTP 334.051; con una relación agua/cemento variable dependiendo del ensayo de fluidez cuyos valores estén alrededor del 110% con una variación de 5%; se utilizó arena de Ottawa artificial; a su vez se fue reemplazando el cemento portland tipo I por el polvo de mármol reciclado (marfil) en porcentajes de peso en función del cemento de 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20%.

La dosificación con el reemplazo del cemento por el mármol reciclado, fueron diseñadas para 1575 g en función de los materiales sólidos del mortero para 5 cubos de 5 cm x 5 cm x 5 cm con material sobrante, están especificadas en las siguientes tablas 29 al 35:

Tabla 29. Dosificación 1:2.75 con 0% de polvo de mármol, para 1575g.

Mármol		0%			Total cemento, mármol y arena
Material	Cemento	Mármol	Arena de Ottawa	Agua Potable	
Características	Tipo I	Natural	Artificial		
Proporciones de sólidos en volumen	1		2.75	a/c	3.75
	1	0		0.72	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	26.67		73.33	0	100
	26.67	0.00			
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (g)	420	0	1155	302.40	1575
Cantidad total del material en gramos (gr)					1877.40

Tabla 30. Dosificación 1:2.75 con 3% de polvo de mármol, para 1575g.

Mármol		3%			Total cemento, mármol y arena
Material	Cemento	Mármol	Arena de Ottawa	Agua Potable	
Características	Tipo I	Natural	Artificial		
Proporciones de sólidos en volumen	1		2.75	a/c	3.75
	0.97	0.03		0.72	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	26.67		73.33	0	100
	25.87	0.80			
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (g)	407.4	12.6	1155	302.40	1575
Cantidad total del material en gramos (gr)					1877.40

Tabla 31. Dosificación 1:2.75 con 6% de polvo de mármol, para 1575g.

Mármol		6%			Total cemento, mármol y arena
Material	Cemento	Mármol	Arena de Ottawa	Agua Potable	
Características	Tipo I	Natural	Artificial		
Proporciones de sólidos en volumen	1		2.75	a/c	3.75
	0.94	0.06		0.70	
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	26.67		73.33	0	100
	25.07	1.60			
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (g)	394.8	25.2	1155	294.00	1575
Cantidad total del material en gramos (gr)					1869.00

Tabla 32. Dosificación 1:2.75 con 9% de polvo de mármol, para 1575g.

Material	Mármol		9%		Agua Potable	Total cemento, mármol y arena
	Cemento	Mármol	Arena de Ottawa			
Características	Tipo I	Natural	Artificial			
Proporciones de sólidos en volumen	1 0.91	0.09	2.75		a/c 0.70	3.75
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	26.67 24.27	2.40	73.33		0	100
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (g)	382.2	37.8	1155		294.00	1575
Cantidad total del material en gramos (gr)						1869.00

Tabla 33. Dosificación 1:2.75 con 12% de polvo de mármol, para 1575g.

Material	Mármol		12%		Agua Potable	Total cemento, mármol y arena
	Cemento	Mármol	Arena de Ottawa			
Características	Tipo I	Natural	Artificial			
Proporciones de sólidos en volumen	1 0.88	0.12	2.75		a/c 0.68	3.75
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	26.67 23.47	3.20	73.33		0	100
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (g)	369.6	50.4	1155		285.60	1575
Cantidad total del material en gramos (gr)						1860.60

Tabla 34. Dosificación 1:2.75 con 16% de polvo de mármol, para 1575g.

Material	Mármol		16%		Agua Potable	Total cemento, mármol y arena
	Cemento	Mármol	Arena de Ottawa			
Características	Tipo I	Natural	Artificial			
Proporciones de sólidos en volumen	1 0.84	0.16	2.75		a/c 0.68	3.75
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	26.67 22.40	4.27	73.33		0	100
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (g)	352.8	67.2	1155		285.60	1575
Cantidad total del material en gramos (gr)						1860.60

Tabla 35. Dosificación 1:2.75 con 20% de polvo de mármol, para 1575g.

Material	Mármol		20%		Total cemento, mármol y arena
	Cemento	Mármol	Arena de Ottawa	Agua Potable	
Características	Tipo I	Natural	Artificial		
Proporciones de sólidos en volumen	1	0.20	2.75	a/c 0.65	3.75
Proporciones de sólidos en porcentajes (%)	26.67 21.33	5.33	73.33	0	100
Peso de los materiales en gramos para la mezcla (g)	336	84	1155	273.00	1575
Cantidad total del material en gramos (gr)					1848.00

2.3.4. Mezcla, conformación, codificación y curado NTP 339.033

A. Mezcla del mortero

- Los materiales que se emplearon para realizar la mezcla de mortero fueron: arena de Ottawa, mármol reciclado, agua y cemento portland tipo I.
- Las herramientas usadas fueron: una balanza con una capacidad de 10 Kg 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 1575 g en función de los materiales sólidos.
- Para el desarrollo, se tomó los componentes sólidos como la arena de Ottawa, cemento y polvo de mármol 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 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.

B. Conformación de probetas

- Se realizó la elaboración de las probetas de mortero según el tipo de ensayo.
- Los materiales que se emplearon fueron: aceite (lubricar), 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 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.

C. 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.

D. 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 $23 \pm 2^\circ\text{C}$.

2.3.5. Ensayos para evaluar las propiedades del mortero

A. Ensayo de fluidez NTP 334.057

- 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 .
- Se midió el diámetro interno de la base del anillo de cono trunco con un vernier dándonos como medida de 99.4 mm, luego se limpió la plataforma de la mesa de flujo, para luego colocar el anillo de cono trunco en el centro.
- El mezclado se realizó de la siguiente manera: El cemento se combinó con el mármol reciclado, luego se adicionó la arena de Ottawa.
- Luego se empezó a agregar agua en relación al peso del cemento entre 0.485 - 0.80, hasta que nos dé una fluidez de $110\% \pm 5\%$ para cada diseño de mezcla (NTP 334.051).
- Después se colocó una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor en el molde y se compactó con 20 golpes con el apisonador. Seguidamente se llenó el molde con una segunda capa de mortero compactando con el apisonador como se especificó en el paso anterior. Prontamente se retiró el exceso de mortero con un pase de espátula o badilejo por la parte superior del molde.
- Seguidamente se quitó el molde con un movimiento vertical dejando solo el mortero e inmediatamente se dejó caer la mesa a una altura de 13 mm a 25 veces en 15 segundos. Una vez ya terminado el proceso y con la ayuda de un calibrador se

determinó la fluidez midiendo el diámetro del mortero deformado por los golpes teniendo de referencia las líneas marcadas en la mesa de flujo. Después se determinó la fluidez registrando y sumando las cuatro lecturas marcadas en el calibrador. También se verificó el cumplimiento de la desviación estándar de las muestras, ya que no deben exceder el 4% que se encuentra establecido en la NTP 334.057.

$$F = \frac{Lp - Dc}{Dc} \times 100$$

Donde:

Lp: Longitud promedio del diámetro del mortero deformado. (mm)

Dc: Diámetro interno de la base del anillo de cono trunco. (mm)

F: Fluidez. (%)

Tabla 36. *Ensayo de fluidez.*

Mármol (%)	Lectura 1 (mm)	Lectura 2 (mm)	Lectura 3 (mm)	Lectura 4 (mm)	Promedio (mm)	Fluidez (%)	Fluidez promedio (%)

B. Ensayo de reactividad NTP 334.110

- 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 mármol reciclado, luego se adicionó la arena de Ottawa.
- Seguidamente se conformaron 21 probetas de 28.5 cm x 2.5 cm x 2.5 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 (L. inicial), 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, la solución debe cubrir todas las probetas.
- Por último, el recipiente con la solución se dejó reposar por 16 días al horno a una temperatura de 80 °C, que posteriormente se volvió a tomar las medidas para obtener los datos finales.

$$\%Exp = \frac{Lf - Li}{285} \times 100$$

Donde:

Lf: Longitud final. (mm)

Li: Longitud inicial. (mm)

%Exp: Expansión. (%)

Tabla 37. Ensayo de reactividad.

Mármol (%)	Cód.	L. Inicial (mm)	L. Final (mm)	LF-LI (mm)	% Expansión	Promedio % Expansión

C. Ensayo de densidad NTP 339.187

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

- Luego de realizar el ensayo de fluidez, se tendrá la cantidad de agua que se le agregará a la mezcla en sus diferentes porcentajes de mármol.
- 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 mármol reciclado, luego se adicionó el agregado fino.
- 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 poza 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

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 NTP 339.037.
- 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 (Pm).
- Luego se secó superficialmente, para luego determinar su peso saturado seco (Psss).
- Luego se llevaron las probetas al horno y se dejaron por 72 horas, pasado ese tiempo se midió su masa seca (Ps).
- Finalmente se calculó la densidad seca y absorción.

$$D = \frac{(Ps)}{(Psss - Pm)}$$

Donde:

Ps: Peso seco de la muestra

Psss: Peso de la muestra saturada y superficialmente seca

Pm: Peso sumergido de la muestra

D: Densidad en estado endurecido

Tabla 38. Ensayo de densidad.

Mármol (%)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso seco (g)	Densidad (Kg/m ³)	Promedio densidad (Kg/m ³)

D. Ensayo de compresión NTP 334.051

- 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:

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

Dónde:

f_m : Resistencia a compresión. (MPa)

P: Carga máxima total. (N)

A: Superficie de carga. (mm²)

Tabla 39. *Ensayo de resistencia a compresión.*

Mármol (%)	Dimensiones			Área (mm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (MPa)
	L (mm)	A (mm)	H (mm)			

2.3.6. Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos

2.3.6.1. 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.

2.3.6.2. 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 la normalidad y el análisis de datos se usará el software Statistical package for the social sciences (SPSS).

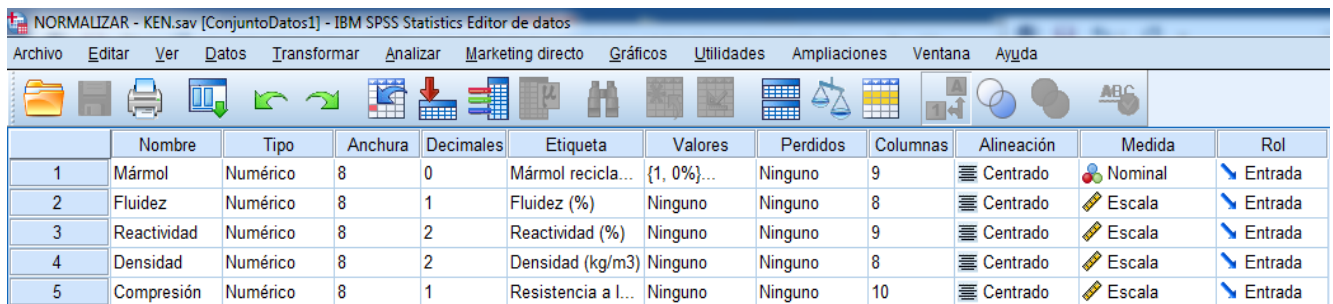
Para la prueba se considerarán como hipótesis:

- **Hipótesis nula (H₀):** Es una afirmación tentativa que se realiza acerca del valor de un parámetro poblacional.
- **Hipótesis alterna (H₁):** Es una afirmación contraria a la presentada en la hipótesis nula.

2.3.6.3. Prueba de normalidad

Para la prueba de normalidad es necesario identificar las variables dependientes e independientes para realizar el siguiente procedimiento:

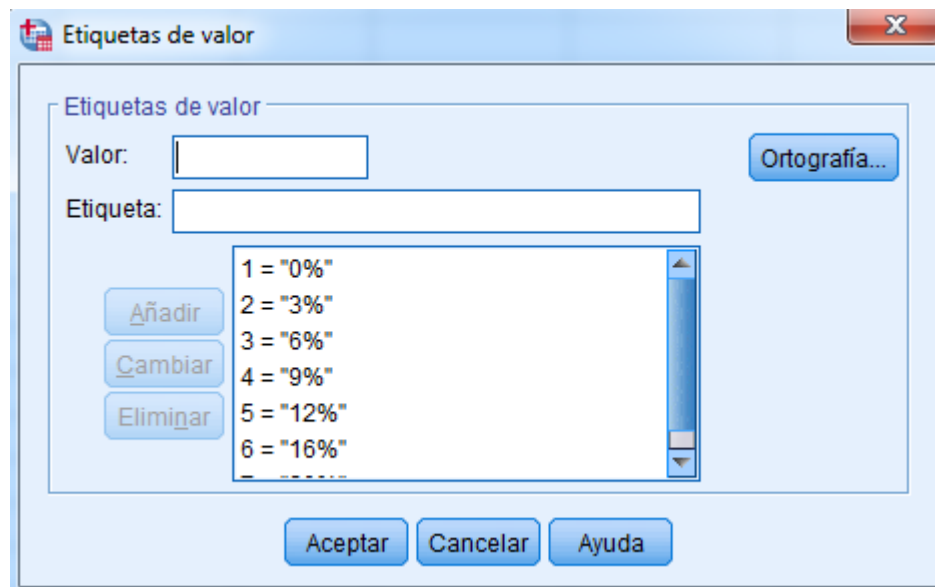
Primero se ingresarán los datos de las variables identificadas en el programa especificando el nombre, decimales, etiqueta, valores y medida. Para la variable independiente se colocará Nominal en la medida y para las variables dependientes se colocará Escala.



	Nombre	Tipo	Anchura	Decimales	Etiqueta	Valores	Perdidos	Columnas	Alineación	Medida	Rol
1	Mármol	Numérico	8	0	Mármol recicla...	{1, 0%}...	Ninguno	9	Centrado	Nominal	Entrada
2	Fluidez	Numérico	8	1	Fluidez (%)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
3	Reactividad	Numérico	8	2	Reactividad (%)	Ninguno	Ninguno	9	Centrado	Escala	Entrada
4	Densidad	Numérico	8	2	Densidad (kg/m3)	Ninguno	Ninguno	8	Centrado	Escala	Entrada
5	Compresión	Numérico	8	1	Resistencia a l...	Ninguno	Ninguno	10	Centrado	Escala	Entrada

Figura 13. Ingreso de datos en programa SPSS.

En la variable independiente se colocará los valores, una serie de códigos para cada porcentaje de mármol.



Etiquetas de valor

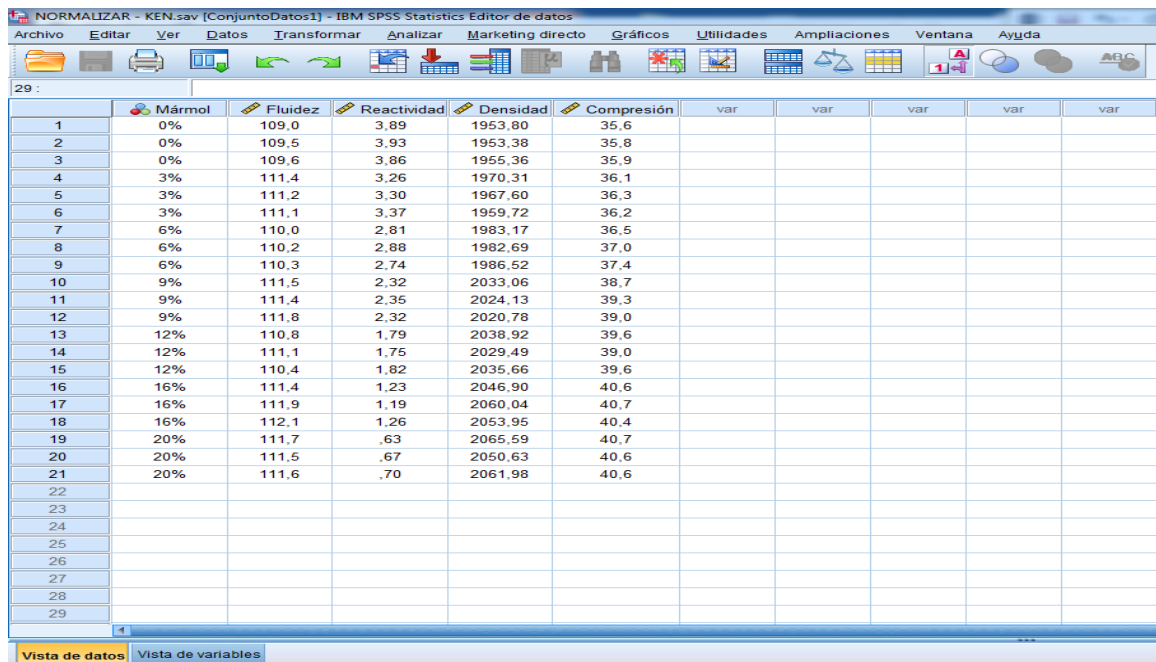
Valor:

Etiqueta:

- 1 = "0%"
- 2 = "3%"
- 3 = "6%"
- 4 = "9%"
- 5 = "12%"
- 6 = "16%"
-

Figura 14. Ingreso de valores para cada porcentaje de mármol.

Se cambia de la vista de variables a la vista de datos, donde se ingresarán los resultados obtenidos de cada ensayo realizado para cada porcentaje de mármol.



	Mármol	Fluidez	Reactividad	Densidad	Compresión	var	var	var	var	var
1	0%	109,0	3,89	1953,80	35,6					
2	0%	109,5	3,93	1953,38	35,8					
3	0%	109,6	3,86	1955,36	35,9					
4	3%	111,4	3,26	1970,31	36,1					
5	3%	111,2	3,30	1967,60	36,3					
6	3%	111,1	3,37	1959,72	36,2					
7	6%	110,0	2,81	1983,17	36,5					
8	6%	110,2	2,88	1982,69	37,0					
9	6%	110,3	2,74	1986,52	37,4					
10	9%	111,5	2,32	2033,06	38,7					
11	9%	111,4	2,35	2024,13	39,3					
12	9%	111,8	2,32	2020,78	39,0					
13	12%	110,8	1,79	2038,92	39,6					
14	12%	111,1	1,75	2029,49	39,0					
15	12%	110,4	1,82	2035,66	39,6					
16	16%	111,4	1,23	2046,90	40,6					
17	16%	111,9	1,19	2060,04	40,7					
18	16%	112,1	1,26	2053,95	40,4					
19	20%	111,7	,63	2065,59	40,7					
20	20%	111,5	,67	2050,63	40,6					
21	20%	111,6	,70	2061,98	40,6					
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										

Figura 15. Ingreso de resultados en la vista de datos.

Para poder ejecutar la prueba de normalidad de las variables, se siguen los siguientes pasos.

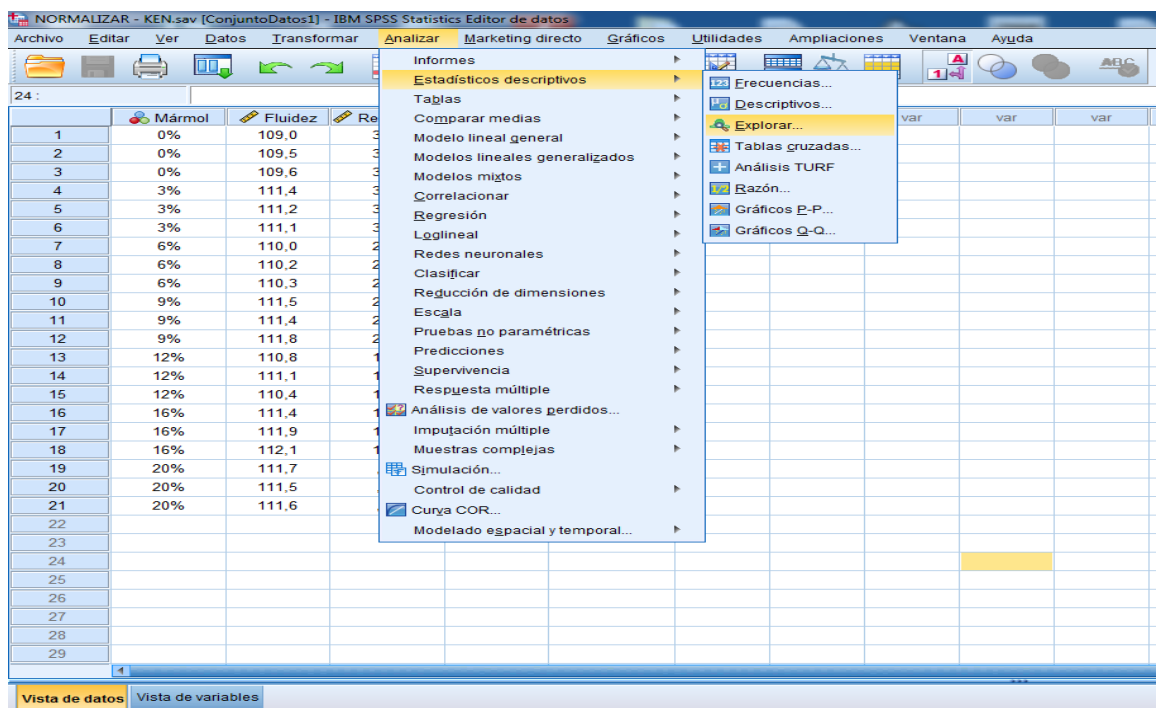


Figura 16. Pasos para ejecutar la prueba de normalidad.

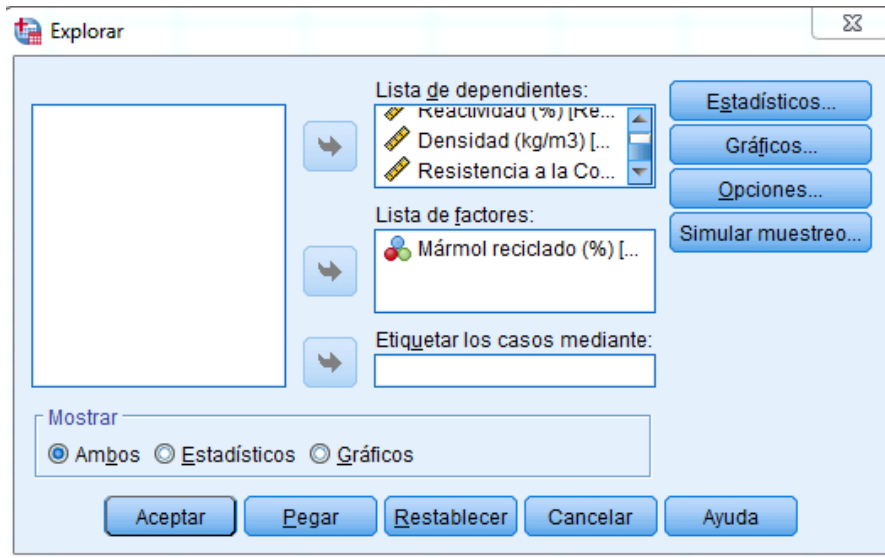


Figura 17. Proceso para analizar las variables.

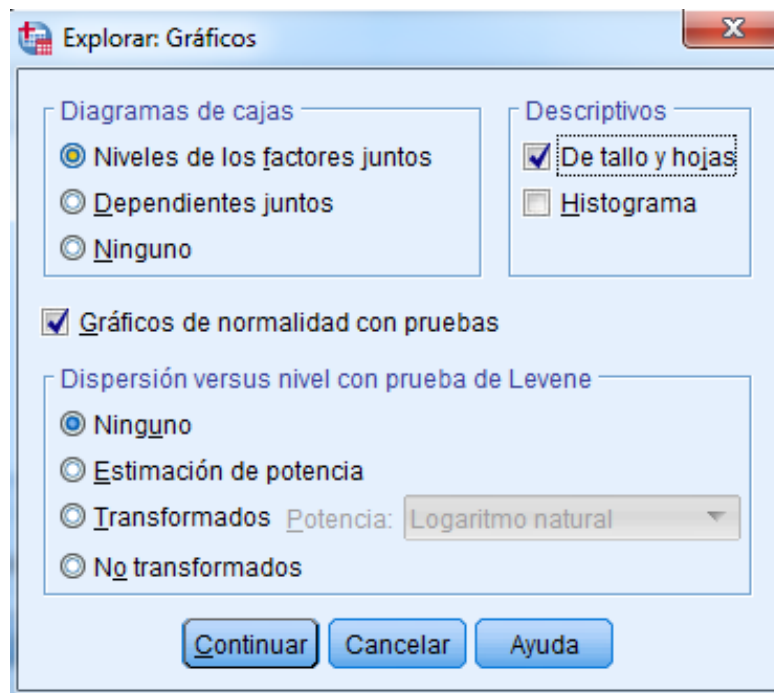


Figura 18. Selección de normalidad.

Finalmente para poder obtener la prueba de normalidad por el análisis de Shapiro Wilk, se consideró una significancia mayor a 0.05, concluyendo que la variable tiene un comportamiento normal.

2.3.6.4. Procedimiento de análisis de datos

A. Nivel de significancia

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

B. Criterio de rechazo

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

- F se obtiene experimentalmente.
- $F_{\alpha, (n-1), (nr-1)}$ se obtiene mediante tablas estadísticas.

Dónde:

n: número de niveles.

r: número de réplicas.

C. Cálculo de la suma de cuadrados.

$$SCE = \sum_{j=1}^r n_j (\bar{x}_j - \bar{x}_{..})^2$$

$$SCD = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^r n_j \bar{x}_j^2$$

$$SCT = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$$

Dónde:

SCE: Suma de cuadrados entre grupos

SCD: Suma de cuadrados dentro de grupos

SCT: Suma de cuadrados totales

D. Grados de libertad

$$GLE = r-1$$

$$GLD = n-r$$

$$GLT = n-1$$

Dónde:

GLE: Grado de libertad entre grupos

GLD: Grado de libertad dentro de grupos

GLT: Grado de libertad totales

E. Cálculo de cuadrados medios

$$CME = \frac{SCE}{GLE}$$

$$CMD = \frac{SCD}{GLD}$$

F. Estadístico de contraste F

$$F = \frac{CME}{CMD}$$

G. Cálculo de coeficiente de determinación

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT}$$

H. Tabla anova unifactorial

Tabla 40. Resumen de tabla anova unifactorial.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F – (exp)	F - teórico
Entre grupos	SCE	GLE	CME	F	P
Dentro grupos	SCD	GLD	CMD		
Total	SCT	GLT			

I. Medidas de tendencia central

I.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 formula siguiente:

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

Donde:

\bar{x} : Media aritmética.

Σ : Sumatoria.

X_i : Observación de la muestra.

n : Tamaño d la muestra.

I.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:

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

Donde:

σ^2 : Varianza

Σ : Sumatoria.

\bar{x} : Media aritmética.

x_i : Observación de la muestra.

n : Tamaño d la muestra.

I.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 formula siguiente para determinar la desviación estándar:

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

Dónde:

DS: Desviación estándar

σ^2 : Varianza

I.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:

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

Donde:

CV: Coeficiente de variación

DS = Desviación estándar

\bar{x} = Media Aritmética.

III. RESULTADOS

3.1. Caracterización de la materia prima

3.1.1. Arena de Ottawa

Tabla 41. Caracterización de la arena de Ottawa.

Ensayo	Resultado	Rango	Norma
Granulometría		Ver Tabla N° 19	NTP 334.051
Módulo de Finura	2.15	2.00 - 2.30	
Humedad	0.9	-	NTP 339.185/ ASTM C566
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1549	-	NTP 400.017 / ASTM C29
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1707	-	NTP 400.017 / ASTM C29
Peso específico (g/cm ³)	2.6	-	NTP 400.022 / ASTM C128
Absorción (%)	2.3	-	NTP 400.022 / ASTM C128
Requisitos Químicos			
pH	8.0	6,5 – 8,5	SUNASS
Conductividad (uS/cm)	477	< 1500	SUNASS

3.1.2. Agua

Tabla 42. Requisitos químicos del agua.

Ensayo	Resultado	Rango	Norma
pH	6,5	6,5 – 8,5	SUNASS
Conductividad (uS/cm)	1321	< 1500	SUNASS

3.1.3. Mármol

Tabla 43. Características del mármol.

Ensayo	Resultado
Humedad	0.3
Peso unitario suelto (kg/m ³)	949
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1088
Peso específico (g/cm ³)	2.7
Absorción (%)	1.2
Requisitos Químicos	
pH	8.2
Conductividad (uS/cm)	224

Análisis de difracción de rayos X (DRX)

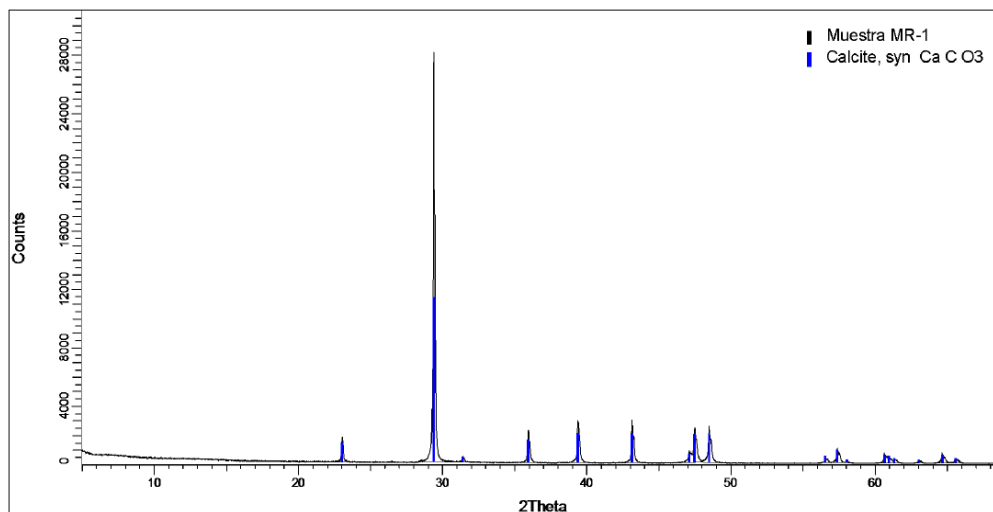


Figura 19. Análisis de difracción de rayos X (Bizalab, 2018)

- La composición del mármol, que está compuesto por 100% de Calcita o también llamado carbonato de calcio (CaCO₃) de alta pureza en el mercado local.

3.2. Ensayos realizados

3.2.1. Fluidez (334.057)

Tabla 44. Fluidez del mortero.

Mármol	Fluidez promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)	Ra/c
0%	109.4	0.10	0.31	0.72
3%	111.3	0.03	0.16	0.72
6%	110.2	0.02	0.14	0.70
9%	111.6	0.03	0.19	0.70
12%	110.7	0.13	0.37	0.68
16%	111.8	0.12	0.35	0.68
20%	111.6	0.02	0.14	0.65

3.2.2. Reactividad (334.110)

Tabla 45. Reactividad.

Mármol	Promedio Expansión (%)
0%	3.89
3%	3.31
6%	2.81
9%	2.33
12%	1.79
16%	1.23
20%	0.67

3.2.3. Densidad (339.187)

Tabla 46. Densidad en seco del mortero a 3 días, 7 días y 28 días.

Mármol	3 días	7 días	28 días
	Densidad promedio (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)	Densidad promedio (kg/m ³)
0%	1902	1939	1954
3%	1923	1955	1966
6%	1938	1973	1984
9%	1962	1989	2026
12%	1976	2019	2035
16%	1987	2031	2054
20%	1992	2039	2059

Tabla 47. Media, variación, desviación estándar para densidad en seco a 3, 7 y 28 días.

Días	Mármol	Densidad promedio (kg/m ³)	Varianza (kg/m ³) ²	Desviación estándar (kg/m ³)
3 Días	0%	1902	29.64	5.44
	3%	1923	66.01	8.12
	6%	1938	8.67	2.94
	9%	1962	29.27	5.41
	12%	1976	46.41	6.81
	16%	1987	5.55	2.36
	20%	1992	41.65	6.45
7 Días	0%	1939	4.69	2.17
	3%	1955	3.40	1.84
	6%	1973	62.73	7.92
	9%	1989	35.69	5.97
	12%	2019	60.22	7.76
	16%	2031	74.84	8.65
	20%	2039	62.61	7.91
28 Días	0%	1954	1.08	1.04
	3%	1966	30.28	5.50
	6%	1984	4.35	2.09
	9%	2026	40.29	6.35
	12%	2035	22.93	4.79
	16%	2054	43.22	6.57
	20%	2059	60.95	7.81

3.2.4. Compresión (NTP 334.051)

Tabla 48. *Compresión de morteros a 3 días, 7 días y 28 días.*

Mármol	3 días	7 días	28 días
	Promedio (Mpa)	Promedio (Mpa)	Promedio (Mpa)
0%	21.6	30.4	35.8
3%	22.1	31.0	36.2
6%	22.8	32.1	37.0
9%	24.4	33.2	39.0
12%	25.2	34.0	39.4
16%	26.1	34.7	40.5
20%	26.3	34.9	40.6

Tabla 49. *Desviación estándar, varianza, coeficiente de variación para compresión en seco a 3, 7 y 28 días.*

Días	Mármol	Media (Mpa)	Desviación Estándar (Mpa)	Varianza (Mpa) ²	Coeficiente de variación (%)	Rango máximo permisible NTP 334.051	Coeficiente de variación máxima NTP 334.051
3 Días	0%	21.6	0.44	0.20	2.1	8.7	
	3%	22.1	0.47	0.22	2.1		
	6%	22.8	0.49	0.24	2.1		
	9%	24.4	0.37	0.14	1.5		
	12%	25.2	0.25	0.06	1.0		
	16%	26.1	0.19	0.03	0.7		
	20%	26.3	0.36	0.13	1.4		
7 Días	0%	30.4	0.33	0.11	1.1	8.7	2.1
	3%	31.0	0.34	0.12	1.1		
	6%	32.1	0.22	0.05	0.7		
	9%	33.2	0.24	0.06	0.7		
	12%	34.0	0.26	0.07	0.8		
	16%	34.7	0.28	0.08	0.8		
	20%	34.9	0.25	0.06	0.7		
28 Días	0%	35.8	0.17	0.03	0.5	8.7	
	3%	36.2	0.13	0.02	0.3		
	6%	37.0	0.44	0.19	1.2		
	9%	39.0	0.31	0.09	0.8		
	12%	39.4	0.37	0.14	0.9		
	16%	40.5	0.18	0.03	0.4		
	20%	40.6	0.09	0.01	0.2		

3.3. Métodos estadísticos y procedimientos de análisis de datos

Tabla 50. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de fluidez.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	14.3236	6	2.38727	36.61	2.85
Dentro grupos	0.9130	14	0.06521		
Total	15.2366	20			

Tabla 51. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de reactividad.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	17.8451	6	2.97418	1537.31	2.85
Dentro grupos	0.0271	14	0.00193		
Total	17.8722	20			

Tabla 52. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de densidad.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	32797.6204	6	5466.27006	188.40	2.85
Dentro grupos	406.2045	14	29.01461		
Total	33203.8249	20			

Tabla 53. Resumen del análisis ANOVA del ensayo de compresión.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	73.9440	6	12.32400	169.35	2.85
Dentro grupos	1.0188	14	0.07277		
Total	74.9628	20			

Tabla 54. Resultados de la prueba de normalidad. (SPSS)

Pruebas de normalidad							
	Mármol reciclado (%)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fluidez (%)	0%	,328	3	.	,871	3	,298
	3%	,253	3	.	,964	3	,637
	6%	,253	3	.	,964	3	,637
	9%	,292	3	.	,923	3	,463
	12%	,204	3	.	,993	3	,843
	16%	,276	3	.	,942	3	,537
	20%	,175	3	.	1,000	3	1,000
Reactividad (%)	0%	,204	3	.	,993	3	,843
	3%	,238	3	.	,976	3	,702
	6%	,175	3	.	1,000	3	1,000
	9%	,253	3	.	,964	3	,637
	12%	,204	3	.	,993	3	,843
	16%	,204	3	.	,993	3	,843
	20%	,204	3	.	,993	3	,843
Densidad (kg/m3)	0%	,309	3	.	,900	3	,387
	3%	,290	3	.	,926	3	,475
	6%	,343	3	.	,842	3	,220
	9%	,282	3	.	,936	3	,510
	12%	,247	3	.	,969	3	,663
	16%	,186	3	.	,998	3	,919
	20%	,296	3	.	,918	3	,446
Resistencia a la Compresión (Mpa)	0%	,253	3	.	,964	3	,637
	3%	,175	3	.	1,000	3	1,000
	6%	,196	3	.	,996	3	,878
	9%	,175	3	.	1,000	3	1,000
	12%	,253	3	.	,964	3	,637
	16%	,253	3	.	,964	3	,637
	20%	,253	3	.	,964	3	,637

Los resultados deben superar el nivel de confianza ($\alpha = 0.05$) para que las hipótesis alterna sea considerada aceptada debido a que es un nivel de confianza habitual, en investigaciones experimentales, y es indispensable formular premisas con la probabilidad de acertar.

Se cuenta con 21 muestras para ensayo y al no superar las 30 muestras se toma los valores de Shapiro-Wilk, caso contrario de tener más a 30 se optaría por Kolmogorov-Smirnov^a.

3.4. Evaluación económica

Tabla 55. Costo unitario para un m³ de mortero.

	Elemento	Dosificación	Und.	Cantidad	Precio (S/.)	Costo por m ³
Mortero con mármol reciclado	Cemento tipo I	3%	Bls	10.43	26.50	276.37
		6%		10.19	26.50	270.12
		9%		9.86	26.50	261.30
		12%		9.62	26.50	254.87
		16%		9.17	26.50	243.04
		20%		8.85	26.50	234.54
	Mármol	3%	m3	0.01	38.85	0.35
		6%		0.02	38.85	0.72
		9%		0.03	38.85	1.07
		12%		0.04	38.85	1.44
		16%		0.05	38.85	1.92
		20%		0.06	38.85	2.43
Mortero patrón	Arena		m3	0.84	29.90	25.12
	Agua		m3	0.33	5	1.65
	Cemento tipo I		Bls	10.76	26.50	285.12
Mortero patrón	Arena		m3	0.84	29.90	25.05
	Agua		m3	0.33	5.00	1.65

Tabla 56. Costo total para cada diseño.

	Dosificación	Costo total (S/.)
Mortero con mármol reciclado	3%	303.49
	6%	297.60
	9%	289.14
	12%	283.08
	16%	271.73
	20%	263.74
Mortero patrón		311.82

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

El propósito de la investigación es determinar la influencia que tiene el mármol reciclado extraído a partir de los residuos de las marmoleras sobre el cemento portland tipo I y en las propiedades en estado fresco-endurecido del mortero. Para ello, fue necesario realizar primero ensayos físicos, químicos y mecánicos de la materia prima en este caso los agregados (arena de Ottawa), agua destilada y el mármol reciclado. Cada uno de los ensayos realizados, fue realizado y evaluado de acuerdo a los lineamientos que establecen las normas técnicas peruanas (NTP), las cuales están basadas en las normas de la sociedad americana de prueba de materiales (ASTM).

4.1.1. Arena de Ottawa

Las principales propiedades físicas de la arena de Ottawa, tenemos al análisis granulométrico, módulo de finura, peso unitario suelto y compactado, peso específico y absorción, las cuales son importantes para el diseño de mezcla. Los resultados obtenidos de la caracterización fueron evaluados según los rangos establecidos por la NTP 400.037 y la NTP 334.051, para verificar si cumple con la calidad para ser considerado como agregado, como se muestra en la figura 26 (ANEXO 1).

El análisis granulométrico es uno de los ensayos de caracterización más importantes de los agregados, mostrándonos la graduación y los diferentes tamaños de las partículas que presenta la muestra, si estas presentan mismos tamaños, no habría un correcto acomodo entre las partículas ocasionando un aumento de la porosidad y con ello una disminución de la resistencia a la compresión.

Por ello es necesario que los agregados cumplan con las especificaciones señaladas por la norma como una buena distribución de tamaños. En la figura 26 se muestra el análisis granulométrico de la arena de Ottawa, donde se aprecia una buena distribución de sus partículas, y se puede observar en las tablas de la 58 a la 60 que está dentro de los parámetros establecidos por la NTP 334.051 que se puede observar en la tabla 18.

El módulo de finura representa el tamaño medio del árido, mientras más pequeña 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. Para este agregado el módulo de finura fue de 2.15, ubicándose dentro de los parámetros establecidos por la NTP 334.051 y según la clasificación de arenas es una arena media (Módulo de finura entre 1.6 – 2.5).

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 (75 μm); siendo para este agregado fino 0%. Es por ello, que el agregado utilizado en esta investigación es adecuado para la mezcla de mortero.

El contacto del árido con el medio ambiente le proporciona cierto grado humedad al árido, el cual influye en la relación agua/cemento. Si bien es cierto 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 contenido de humedad de la arena de Ottawa es baja, en la tabla 54 se puede observar que fue de 0.9%, un valor menor a la de absorción que fue de 2.3%, con ello se puede apreciar que tanto el contenido de humedad y la absorción cumplen con las recomendaciones de las normas.

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. El peso unitario suelto del agregado fue de 1549 kg/m^3 y su peso unitario compactado fue de 1707 kg/m^3 .

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 de la arena de Ottawa fue de 2.6 g/cm^3 , estando cerca de 2.65 g/cm^3 como nos menciona (Maureira, 2012) en la tabla 18, siendo apta para la utilización.

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 de la arena de Ottawa y del mármol, se hizo en base a las propiedades del agua potable, obteniendo valores de 477 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 224 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la conductividad, respectivamente. SUNASS indica los límites máximos permisibles para el agua potable, los cuales se pueden utilizar para el agua de amasado, hidratación y curado, cuyos valores deben ser menor a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para la conductividad, en el caso del agua potable que se utilizó para la investigación presento un valor de 1321 $\mu\text{S}/\text{cm}$ cumpliendo con ello, también indica que el pH se debe de encontrar en el rango de 6.5 – 8.5, para la investigación el valor de la arena de Ottawa fue de 8.0 y del mármol 8.2, 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. 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.

4.1.2. 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 SUNASS (Superintendencia nacional de servicios de saneamiento) pH entre 6.5 – 8.5 y que tenga una conductividad menor a 1500 uS/cm, 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 6.5 para el pH encontrándose este valor dentro de los límites permisibles. Además, presenta una conductividad de 1321 uS/cm la cual es menor a lo proporcionado por la norma, tal como la indica la SUNASS 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.

4.1.3. Mármol

El mármol es un material prensado que presenta una mínima existencia de poros en su estructura, es por ello que proporcionará una menor cantidad de vacíos a la mezcla de mortero viéndose reflejada en las propiedades mecánicas.

Sus otras propiedades físicas tales como el peso específico pueden variar de acuerdo a su tipo. El mármol tiene un peso específico aproximado de 2.6 g/cm^3 - 2.9 g/cm^3 lo cual hace que tenga un peso específico similar a los parámetros mínimos que recomiendan diversos autores para el peso específico del agregado para sustituirlo por el cemento Portland Tipo I. El peso específico sirve como indicador de calidad, cuando presenta valores elevados disminuye la absorción y porosidad, dando como resultados materiales con mejores comportamientos. El peso específico del mármol fue de 2.7 g/cm^3 , cuyo valor se encuentra entre los parámetros aproximados que se ha mencionado anteriormente, el mármol al presentar un mayor peso específico puede influir en el cemento, para sus propiedades físicas como mecánicas. Otro factor importante es que tiene un bajo contenido de humedad y absorción (0.3% y 1.2%), por lo que se utilizará menor cantidad de agua en la mezcla, 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.

El mármol es una roca metamórfica compactada formada a base de materiales calizos su componente principal es el carbonato cálcico (CaCO_3) cuyo contenido debe ser mayor que el 90%. El 10% restante puede ser en diferentes composiciones tales como el

dolomita, cuarzo, micas, serpentinas, entre otros. 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 la compresión de entre 600 kg/cm^2 – 1000 kg/cm^2 . (Marmola, 2018).

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 19 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 cemento Portland Tipo I, 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.

El carbonato de calcio (CaCO_3) obtenido, al combinarse con el agua durante el proceso de hidratación del cemento, genera la cal hidratada, que debido a su fraguado con el agua se denomina cal hidráulica. En la figura 20, puede verse los límites de la composición cemento Portland y como se aproxima la cal hidráulica a los componentes del cemento. El cemento está constituido principalmente por CaO (58-67%), SiO_2 (16-26%), Al_2O_3 (4-8%) y Fe_2O_3 (2-5%), mientras que la cal hidráulica por CaO (70-80%), SiO_2 (10-20%), Al_2O_3 (1-2%) y Fe_2O_3 (2-3%). Por ello el mármol reciclado, presenta apariencia y propiedades físicas y químicas similares al cemento.

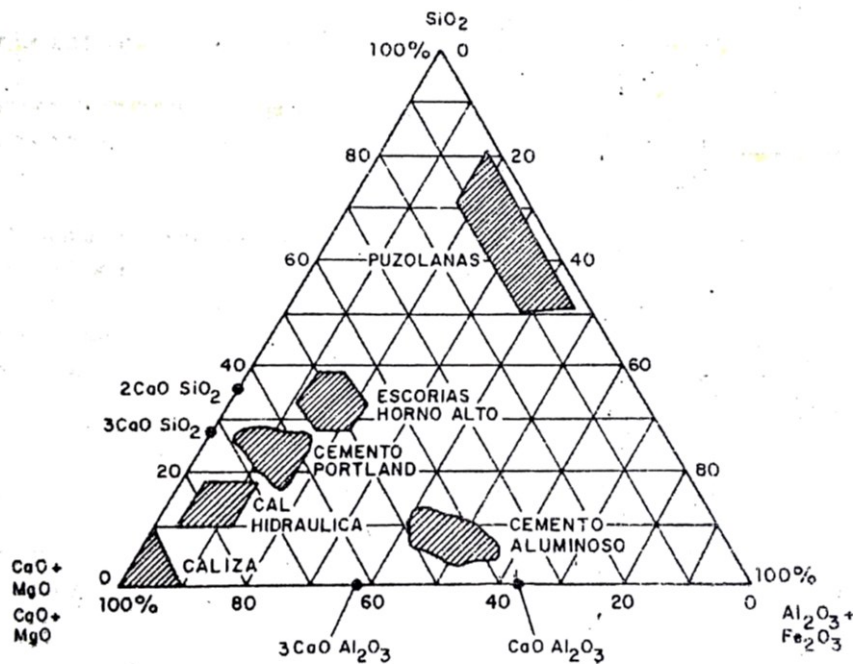


Figura 20. Diagrama Ternario C.A.S. (Fernández, 2011)

4.1.4. Índice de actividad puzolánica (NTP 334.066)

La actividad puzolánica se define como la capacidad del material para fijar la cal a temperatura de ambiente y formar compuestos que tengan propiedades hidráulicas. Entendiéndose por propiedades hidráulicas la capacidad de dicho producto para endurecer en presencia de agua.

El índice de actividad puzolánica es la relación entre la resistencia a la compresión de cubos de morteros hechos con puzolana y cemento y la resistencia a la compresión de cubos de mortero hechos con el mismo cemento.

El mármol al tener en su composición carbonato cálcico puro al 100% produce una elevación de la alcalinidad del medio y ayuda a la solubilidad de los aluminatos, lo que aumentará las resistencias iniciales. También se produce otro fenómeno llamada epitaxia, es la cristalización de un mineral sobre otro que tiene estructura análoga, esto produce una elevación considerable de las resistencias.

Las propiedades puzolánicas y cementicias, que gobiernan el desarrollo de esfuerzos y permeabilidad de las mezclas están controladas por las características mineralógicas y tamaño de partículas. Generalmente la actividad puzolánica es proporcional a la cantidad de partículas menores a 10 μm , donde las partículas mayores de 45 μm (N° 325) tienen muy poca o casi nula, es por ello que el mármol fue activado por finura, pasando la malla N° 325.

Tal como la establece la NTP 334.090, la caliza antes de ser ensayada debe tener como retenido máximo un 20% en la malla N°325 por vía húmeda, a una presión de 10 +/-1 Psi y un desarrollo de resistencia de la caliza mayor al 75% a los 28 días. Por lo cual el mármol reciclado tuvo un retenido por vía húmeda del 0.72% y un desarrollo del índice de actividad puzolánica de 114% a los 28 días, cumpliendo con los requisitos para poder evaluar el mármol en el cemento.

4.1.5. Diseño de mezcla

En la tabla 57 se tiene la dosificación con el reemplazo de cemento Portland Tipo I por carbonato de calcio (CaCO₃), fueron diseñadas para 1575 g en función de los materiales sólidos del mortero para 5 cubos de 5 cm x 5 cm x 5 cm con material sobrante, de los cuales para los resultados se tomó los 3 mejores cubos. Se diseñó para cada porcentaje de mármol su relación agua/cemento, debido a que cuando más agua se le agregaba a la mezcla, la pasta quedaba muy fluida, no era trabajable y no cumplía con el ensayo de fluidez.

Tabla 57. Diseño de mezcla para cada porcentaje.

Mármol (%)	Cemento (g)	Mármol (g)	Arena de Ottawa (g)	Relación a/c	Agua (g)
0	420.0	0.0	1155	0.72	302.4
3	407.4	12.6	1155	0.72	302.4
6	395.6	24.4	1155	0.70	294.0
9	384.4	35.6	1155	0.70	294.0
12	373.9	46.1	1155	0.68	285.6
16	360.2	59.8	1155	0.68	285.6
20	348.0	72.0	1155	0.65	273.0

Al sustituir 20% de mármol por cemento Portland Tipo I se redujo la cantidad de agua en un 9.72% con respecto a la patrón, esto quiere decir que al utilizar un material reciclado como es el mármol, aparte de poder conseguir aumentar su resistencia, también se puede ahorrar en el consumo de agua y se tiene una buena trabajabilidad en la mezcla.

4.1.6. Ensayos realizados

4.1.6.1. Fluidez (NTP 334.057)

Al entrar en contacto el cemento con el agua se produce la hidratación de los componentes principales del cemento. El primer componente que entra en reacción con el agua H es el silicato tricálcico C₃S generando silicato de calcio hidratado CSH e hidróxido de calcio Ca (OH)₂ hidratándose un 60% hasta los 28 días.



Luego silicato dicálcico C₂S con el agua H generan silicato de calcio hidratado CSH e hidróxido de calcio Ca (OH)₂ pero solo hasta un 20% a los 28 días.



Asimismo, el aluminato tricálcico C_3A debido a su alto poder de disolución y fraguado instantáneo se le agrega yeso $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ para poder regular su fraguado y al entrar en contacto con el agua H generan trisulfo aluminato tricálcico $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4$ o también conocido como ettringita. El ferrito aluminato tetracálcico C_4AF es el que se encarga de dar el color grisáceo del cemento y en conjunto con el C_3A son los encargados de aglutinar los materiales.

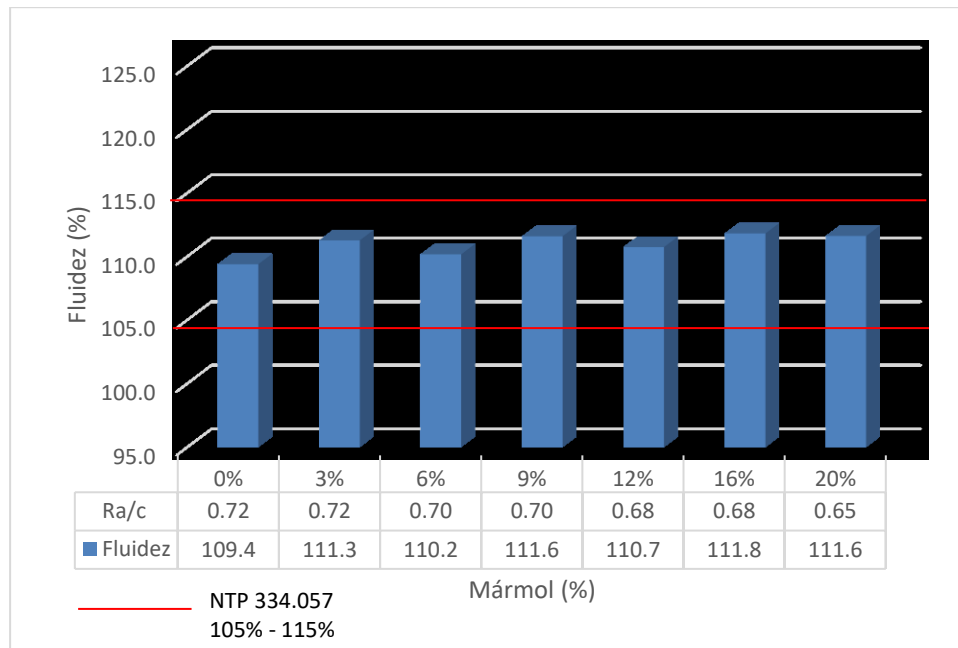
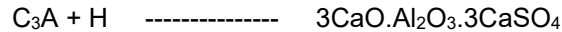


Figura 21. Fluidez y Ra/c del mortero con mármol.

En la figura 21 se puede observar que a medida que se sustituye el mármol por cemento, el mortero va necesitando menor cantidad de agua, como se verifica en la relación agua/cemento. Para el mortero patrón se añadió agua a una relación agua/cemento de 0.485 como nos indica la NTP 334.051, se le siguió añadiendo hasta tener una fluidez de 110+/-5% luego de 25 golpes en la mesa de flujo, dándonos una relación agua/cemento de 0.722 con una fluidez de 109% y con ello se utilizó 302.4 ml de agua en la mezcla.

Para el resto de los diseños se realizó lo mismo para tener una mezcla trabajable y con una buena resistencia a la compresión, obteniendo una reducción de agua en la sustitución del 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20% de mármol por cemento Portland Tipo I donde se obtuvo una relación agua/cemento de 0.72, 0.70, 0.70, 0.68, 0.68 y 0.65, con una fluidez de 111%, 110%, 112%, 111%, 112% y 112%, con ello se utilizó 302.4

ml, 294 ml, 294ml, 285.6 ml, 285.6 ml y 273 ml respectivamente, manteniéndose dentro de los parámetros aceptados por la NTP 334.057.

El mármol es un material comprimido de piedras calizas lo cual hace que casi no presenten poros en su estructura por ello al sustituir por el cemento no tiene mucha absorción de agua y favorece la hidratación del cemento (Santos, Villegas, & Betancourt, 2012). Es por esto que conforme se va adicionando mármol va disminuyendo la relación agua/cemento.

El uso de residuos de mármol (RM) no altera la hidratación final de las pastas compuestas de cemento portland, (Santos, Villegas, & Betancourt, 2012) enfatizan que este residuo puede ser económicamente utilizado. Se están desarrollando técnicas de construcción encaminadas a minimizar el impacto generado sobre el medio ambiente.

4.1.6.2. Reactividad (NTP 334.110)

Para el caso de países latinoamericanos que comparten la Cordillera de los Andes, existen en esta cadena montañosa una serie de minerales muy abundantes que podrían ocasionar la reacción álcali-agregado, por ello fue muy importante tomarlo en consideración este ensayo en la investigación.

La combinación del cemento con el agua en el seno del concreto o mortero genera un medio altamente alcalino ($\text{pH} = 12.5$) donde las partículas de los agregados se encuentran inmersas. En estas condiciones algunos agregados reaccionan químicamente con el medio de contacto dando lugar a la formación de 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 concreto o mortero 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, por lo tanto el concreto o mortero pierde su resistencia y disminuye su durabilidad.

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

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, llamado también como borde de reacción. 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 concreto o mortero.

La reacción álcali-silicato (ASSR) en algunos casos suele presentarse conjuntamente con la ASR. 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 pueda ocasionar una expansión y deterioración 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 y expansivos. Este fenómeno se presenta de preferencia cuando se está sometido a climas húmedos. Dicha expansión se origina debido a la transformación de la dolomita en calcita y brucita, tiene la apariencia de un 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 22.

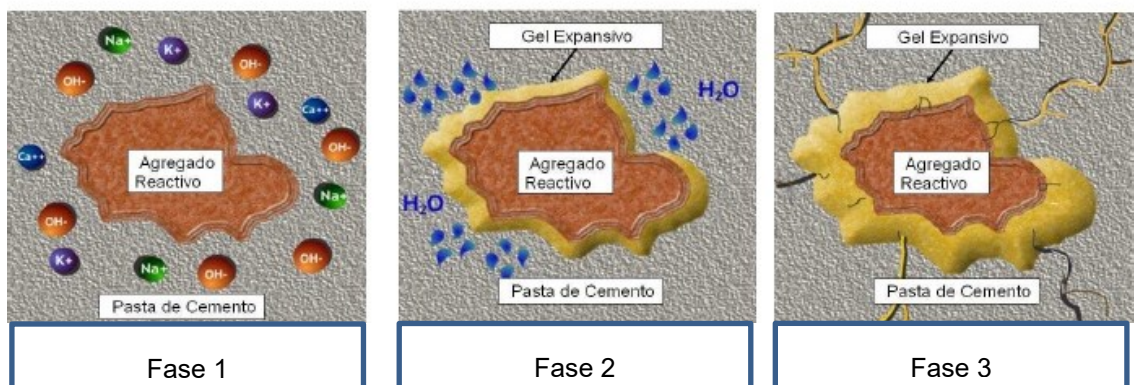


Figura 22. Fases del desarrollo de la reacción álcali-agregado. (Pasquel, 2012)

En donde en la fase 1 se presenta el agregado reactivo dentro de la pasta de cemento con álcalis (Na y K) y radicales OH. 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 el concreto o mortero.

Una de las formas para poder controlar el contenido de los álcalis es que se utilice menor cantidad de cemento en el concreto o mortero, siendo el cemento el que origina buena parte del problema, para lo cual se recurre a las adiciones de minerales tales como las puzolanas, cenizas volantes, escorias, microsílíce, calizas, etc. Que permitan reemplazos de cemento entre el 10% al 50%, reduciendo la permeabilidad y además tienen acción química neutralizante de la reacción (Pasquel, 2012).

El mortero elaborado sin porcentaje de reemplazo de mármol obtuvo una expansión del 3.89% 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 20% de mármol por cemento Portland Tipo I obteniendo una expansión del 0.67% 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, cuando se tiene una expansión de 10% a 20% se deben realizar otros ensayos para verificar si se puede utilizar dicho material, y en caso sea mayor a 20% el material no debe ser utilizado, porque produciría agrietamientos.

De este ensayo se demuestra que al reemplazar el mármol por el cemento Portland Tipo I 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. También porque al utilizar menor cantidad de cemento en la mezcla neutralizará la acción química de la reacción álcali-agregado.

4.1.6.3. Densidad (NTP 339.187)

La densidad es una de las propiedades importantes del mortero, que nos permitirá dar a conocer su comportamiento físico como químico, que determinará en parte la resistencia que presenta, es decir 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. De acuerdo a ello 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 la arena de Ottawa artificial deberá cumplir con estas características como lo menciona la NTP 334.051, donde nos da los porcentajes para cada tamaño del mismo. Una óptima densidad se obtendrá cuantos menos huecos posea el mortero.

Según la UNE-EN-998-2 un mortero es ligero si tiene una densidad menor o igual a 1300 kg/m^3 , un mortero de densidad normal tiene aproximado 2000 kg/m^3 , por ello se demuestra que el mortero convencional es un mortero normal con una densidad promedio de 1954 kg/m^3 .

En la figura 23 se puede apreciar la densidad para cada porcentaje de mármol a 3, 7 y 28 días. De la muestra patrón a 28 días se obtuvo una densidad de 1954 kg/m^3 , la cual al añadir un 20% de mármol como sustituto del cemento Portland Tipo I su densidad aumento en un 5.10%, dando como resultado 2059 kg/m^3 .

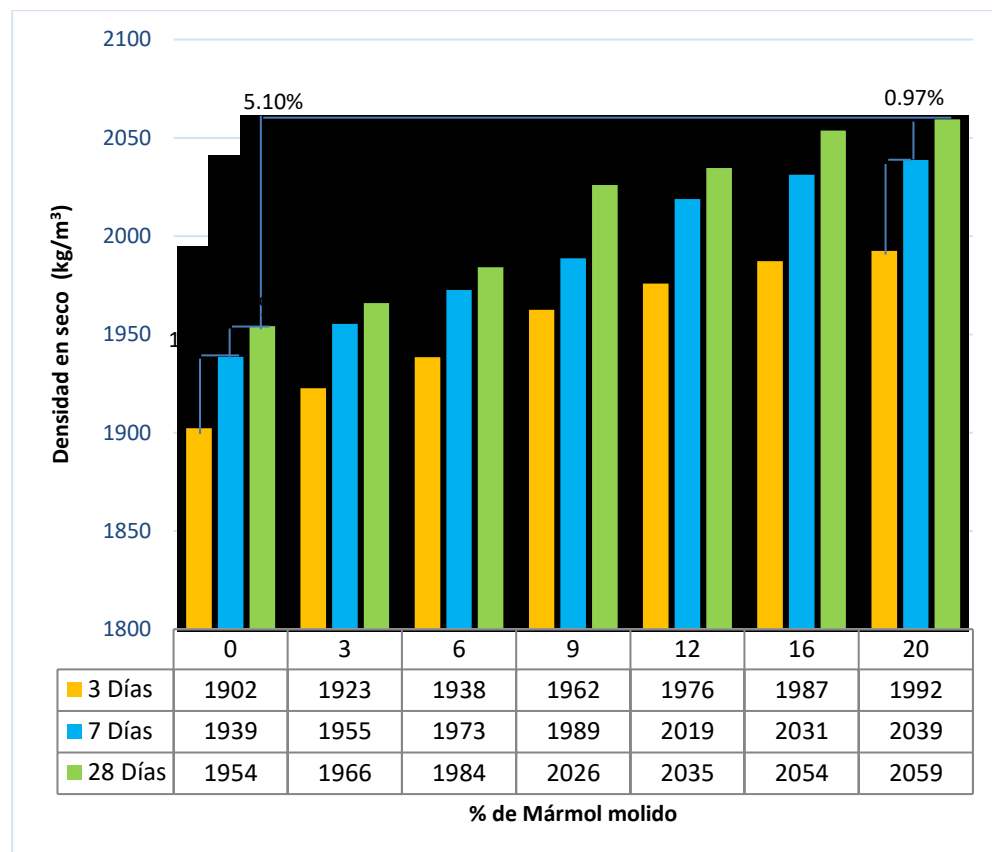


Figura 23. Densidad a los 3, 7 y 28 días.

La densidad se incrementa conforme se le adiciona mayor porcentaje de mármol, esto se debe a que el material llega a ocupar los espacios vacíos generados por el proceso de hidratación, disminuyendo la porosidad y otorgando al mortero 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 en el cemento, mejora la hidratación del cemento y también porque el material el cual tiene más densidad que la arena de Ottawa, por lo tanto proporcionará una mezcla más compacta y uniforme, lo cual producirá que se genere menos poros en el mortero endurecido.

En la Figura 23 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, en el caso de la patrón de 3 a 7 días hay un incremento de densidad del 1.91% y de 7 a 28 días un incremento del 0.77%, en el caso de sustituir al 20% el mármol por el cemento se puede observar que de 3 a 7 días hay un incremento del 2.31% y de 7 a 28 días un incremento del 0.97%. 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.

4.1.6.4. Resistencia a la compresión (NTP 334.051)

La resistencia a la compresión es la propiedad de 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 del 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, tamaño de las partículas, etc.,

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.

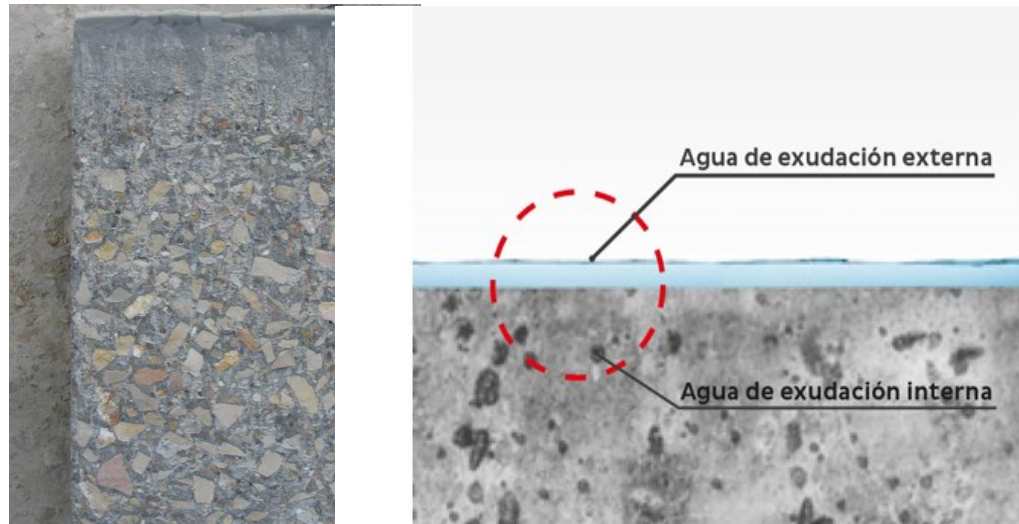


Figura 24. Segregación y exudación. (Aceros Arequipa, 2018)

Cuando mezclamos el agua con el cemento hacemos un fluido denso y comenzará a producirse la reacción química de hidratación, generando gran cantidad de calor (un aproximado de 33°C), para luego producir endurecimiento, la cual es progresiva ya que adquiere resistencia a lo largo del tiempo, este una vez fraguado está compuesto por silicatos cálcicos hidratados complejos denominados tobermorita ($\text{Si}_2\text{O}_7\text{H}_6$) o gel de hidratación. Generado por el proceso de disolución y cristalización, es responsable de la armazón interna de la pasta de cemento, de la adherencia de ésta con los áridos en los morteros y hormigones, y es el principal responsable de las resistencias del cemento (entre el 60% al 80%).

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 se utilizó siguiendo la NTP 334.051, en donde nos mencionó que el mortero debe tener una fluidez de $110\% \pm 5\%$, para que permita una mayor trabajabilidad del mortero, obteniendo para 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20% de mármol se obtuvo una relación agua/cemento de 0.72, 0.72, 0.70, 0.70, 0.68, 0.68 y 0.65 respectivamente.

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 del cemento 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 en el conformado de la mezcla, disminuyendo su porosidad y contribuyendo a formar una mezcla más homogénea.

Asimismo, el mármol al ser un material reciclable vamos a disminuir la contaminación que se genera por la producción del cemento, teniendo en cuenta que al sustituir el mármol por cemento aumenta su resistencia y ayuda en el proceso de hidratación, permitirá que el mortero sea más durable y resistente.

El mármol es un material que al sustituir por cemento disminuye o hace que no genere una reacción álcali-agregado, también disminuye el porcentaje de expansión, por ello, no producirá una reducción en la compresión del mortero diseñado.

En la Figura 25 en el eje de las abscisas se observa los porcentajes de reemplazo de mármol molido por cemento Portland Tipo I con respecto al mortero patrón, y en el eje de las ordenadas se observa los datos de las fuerzas en MPa evaluando el desarrollo de las resistencias a 3, 7 y 28 días. También se ve la influencia del tiempo de curado en el incremento de esta propiedad, en el caso de la patrón de 3 a 7 días hay un incremento de compresión del 28.95% y de 7 a 28 días un incremento del 15.08%, en el caso de sustituir al 20% el mármol por el cemento se puede observar que de 3 a 7 días hay un incremento del 24.64% y de 7 a 28 días un incremento del 14.04%. Como se observa a mayor tiempo de curado del mortero o tiempo de hidratación el mortero obtiene una mayor ganancia de su resistencia a la compresión siendo el tiempo de curado prescindible en esta propiedad.

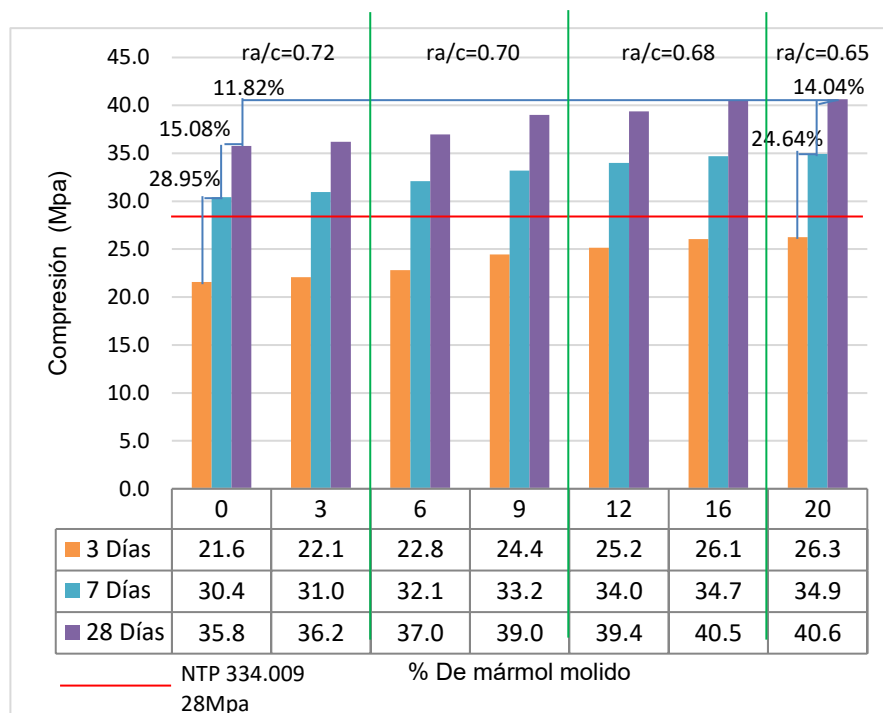


Figura 25. Resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días.

Se puede observar que conforme se le va añadiendo el mármol por el cemento va aumentando su resistencia, a los 3 días, 7 días y 28 días con 20% de mármol tienen una ganancia de 4.7 Mpa (17.84%), 4.5 Mpa (12.87%) y 4.8 Mpa (11.82%) respectivamente con la patrón, se debe a que el mármol al tener una composición de 100% de carbonato de calcio, el cual es el componente principal del cemento, ayuda en la hidratación del mortero. Otros motivos por la cual el mármol aumenta su resistencia, tenemos que la densidad va aumentando conforme se le agrega el mármol, hay un acomodo homogéneo en la mezcla, disminuyendo la porosidad conllevando a aumentar la resistencia a la compresión.

Asimismo, los resultados individuales de cada diseño de resistencia a la compresión a 28 días se analizaron en base a la desviación estándar y rango máximo permisible cumpliendo con ambos parámetros establecidos por la norma NTP 334.051. Estando todos los resultados dentro del coeficiente de variación de 2.1 y rango máximo permisible de 7.6 establecidos en la norma de referencia, por lo tanto se valida que las resistencias del diseño patrón hasta el 20% de sustitución son equivalente y mantienen una estabilidad de resistencias.

4.1.7. Evaluación económica

Tomando como referencia el costo del mármol de la investigación de (Reyna, 2018),

costando S/38.85 nuevos soles, con este dato se pudo hallar el costo de elaboración para 1m^3 de mortero, con la dosificación de 1:2.75 (cemento y arena), relación agua/cemento de 0.65 y con una sustitución del 20% de mármol por cemento, el cual fue la mejor resistencia a compresión, con un costo de S/264.00 nuevos soles. Mientras que el mortero patrón con un costo de S/312.00 nuevos soles, utilizando el 20% de mármol como sustituto del cemento se ahorra S/48.00 nuevos soles por m^3 de mortero.

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 un menor costo de producción.

4.1.8. Análisis estadístico

En el análisis estadístico se llegó a emplear para la comprobación de datos normales en el programa SPSS (Statistical package for the social sciences), esta evaluación se realizó para los datos de las variables dependientes (Fluidez, reactividad, densidad en estado endurecido y resistencia a compresión) según la variable independiente (porcentajes de mármol reciclado), donde se pudo comprobar mediante la prueba de Shapiro – Wilk (cuando el tamaño de muestra es ≤ 30) que los datos estaban dentro de una distribución normal, debido a que eran mayor que el porcentaje de error en ingeniería ($\alpha=0.05$), según la variable independiente es un estudio unifactorial porque se está analizando 1 variable independiente y 4 variables dependientes, es por esto que se utilizó el ANOVA para poder validar la hipótesis, donde F experimentales de cada variable dependiente fueron mayores al F teórico, por lo tanto, se aceptaron las hipótesis alternas. Como el **FEXPERIMENTAL > FTEORICO**

Se acepta: H1: El mármol reciclado mejora sobre la fluidez, reactividad, densidad y compresión, en morteros ecológicos, Trujillo 2018.

Y se rechaza H0: El mármol reciclado no mejora sobre la fluidez, reactividad, densidad y compresión, en morteros ecológicos, Trujillo 2018.

4.2. Conclusiones

- Se determinó la influencia del mármol reciclado en morteros ecológicos en 7 dosificaciones, al 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20%, en la fluidez, reactividad, densidad y compresión. Donde se comprueba la buena reacción del mármol con el cemento, en las propiedades físicas y mecánicas, permitiendo reducir un pasivo ambiental, tener un mortero resistente y una mejor durabilidad.

- Se realizó la caracterización de la arena de Ottawa y mármol molido para verificar que cumplan con los requisitos establecidos por las normas, para que puedan ser utilizados de manera correcta y para obtener datos previos del comportamiento del material, se realizó los ensayos de humedad donde se obtuvo 0.9% y 0.3%, peso específico con 2.6 g/cm^3 y 2.7 g/cm^3 , absorción con 2.3% y 1.2%, granulometría con un módulo de finura de 2.15, conductividad con 477 uS/cm y 244 uS/cm, y pH de 8.0 y 8.2 respectivamente.
- Se evaluó la fluidez del mortero para verificar la trabajabilidad y determinar la relación agua/cemento para cada diseño, verificando que la relación agua/cemento va disminuyendo conforme se le agrega el mármol, obteniendo como resultado para 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, 16% y 20%, una relación agua/cemento de 0.72, 0.72, 0.70, 0.70, 0.68, 0.68 y 0.65, con una fluidez de 109%, 111%, 110%, 112%, 111%, 112% y 112%. Se determina que el mejor resultado es al sustituir 20% de mármol por cemento, porque se ahorra 9.7% de agua con respecto a la patrón.
- Se realizó el ensayo de reactividad donde conforme se sustituye mármol reciclado por cemento el porcentaje de expansión disminuye, la patrón tuvo 3.89% de expansión mientras que al 20% de mármol por cemento con un 0.67% de expansión, concluyendo que los materiales utilizados son aptos para ser utilizados.
- Se determinó la densidad a 3, 7 y 28 días, donde se obtuvieron mejores resultados con un porcentaje de 20%, siendo los valores 1992 kg/m^3 , 2039 kg/m^3 y 2059 kg/m^3 , respectivamente. Al aumentar la densidad disminuye la porosidad entonces aumenta su resistencia a compresión, los mejores resultados se dieron con un porcentaje de 20% siendo los valores 26.3 Mpa, 34.9 Mpa y 40.6 Mpa, a 3, 7 y 28 días respectivamente.
- Se determinó el índice de actividad puzolánica, siendo el mejor al 20% de mármol de 114%.
- En base a los resultados se escogió el óptimo porcentaje de sustitución, para aprovechar el uso del mármol reciclado en el cemento y obtener un mortero ecológico, siendo de gran importancia para las empresas productoras de calizas a nivel mundial que buscan reducir su pasivo ambiental, es por ello que se propone su utilización hasta el 20% de sustitución de cemento, el cual es un porcentaje donde mejoran las propiedades físicas y mecánicas del material.
- Se logró evaluar económicamente para un 1m^3 de mortero, resultando ser la dosificación más favorable la del 20% de mármol reciclado, dando un costo de S/ 264.00 nuevos soles en comparación con el patrón con un costo de S/ 312.00 nuevos soles, se ahorra S/ 48.00 nuevos soles por m^3 de mortero.
- Se elaboró un análisis estadístico donde se verifica que las variables independientes influyen en las variables dependientes, es decir el mármol reciclado genera mejoras positivas en un mortero ecológico sobre la fluidez, reactividad, densidad y compresión, por ello que se acepta la hipótesis alterna.

REFERENCIAS

- Acevedo, H., & Guerra, R. (2005). *Factibilidad técnica y económica de la explotación de un yacimiento de Caliza en la Región Metropolitana*. Universidad de Chile, Santiago.
- Acosta, A., Cabrera, R., Rojas, R., & Villalba, J. (2010). *Determinación de reactividad potencial álcali-agregado por el método acelerado de las barras de mortero*. Obtenido de <http://www.ing.una.py/pdf/1er-congreso-nacional-ingcivil/02ho-ma02.pdf>
- Araujo, J. (2 de Mayo de 2011). *Revista Española de Cardiología*. Obtenido de <http://www.revespcardiol.org/es/las-particulas-ultrafinas-son-un/articulo/S0300893211004854/>
- Ascate, D., & Zavaleta, J. (2018). Influencia de la sustitución de escoria de zinc sobre la densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión, por cemento portland tipo I. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- ASOCEM. (2016). Panorama mundial de la industria del cemento.
- Asociación de Productores de Cemento. (Junio de 2018). *ASOCEM*. Obtenido de <http://www.asocem.org.pe/>
- Bakieva, M., González Such, J., & Jornet, J. (2012). *SPSS: Anova de un factor*. Valencia, España.
- Bernable, P. (2012). Características y comportamiento del concreto utilizando cemento portland con microfiller calizo. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Biondi, A. (2016). Los cementos adicionado. *Construyendo caminos & obras*, 50-53.
- Borrás, C. (27 de Noviembre de 2017). *Ecología verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/cemento-ecologico-que-contamina-menos-123.html>
- Chinguy, J. (2007). Análisis razón agua/cemento con mortero de cemento blanco. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Austral de Chile, Valdivia.
- Cinetíficas, C. S. (2011). *Materiales de Construcción*. Madrid: Formación Alcalá. Obtenido de <http://www.slideshare.net/jacc2209/agregados-12609474>
- Desarrollo Peruano*. (8 de Diciembre de 2007). Obtenido de <http://desarrolloperuano.blogspot.pe/2007/12/per-potencia-del-marmol-y-travertino.html>
- Dirección general de promoción minera. (Febrero de 2012). *Estudio de la cadena productiva del mármol*. Obtenido de

http://economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/cadena_productiva_marmol.pdf

- Durand, A. (2017). Influencia del óxido de calcio en la trabajabilidad, fraguado, compresión, densidad, porosidad y absorción del concreto para elementos estructurales. (*Tesis de Licenciatura*). Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Fernández, M. (2011). *Hormigón*. Madrid.
- Gestión. (2012). *Mármol travertino de Junín atrae a empresarios italianos*. Obtenido de <https://gestion.pe/economia/empresas/marmol-travertino-junin-atrae-empresarios-italianos-15851>
- Gestión. (2018). Sector construcción crecería más de 3% en el 2018 por mayor inversión minera y obra pública . *Gestión*.
- Godó, R. (2011). *Tensión y Compresión*. Guatemala.
- González de la Cotera, M. (2012). Estudio de un cemento portland ecológico. *ASECEM*. Perú.
- González, M. (Septiembre de 2013). Estudio de una arena normal equivalente a la de ottawa. *Investigaciones sobre la arena normal*. Lima, Perú.
- Hernández, U. (2011). Comportamiento mecánico y físico del mortero a base de cbca como árido en aplanados en muros. (*Título de Maestría*). Universidad Veracruzana, Veracruz.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *INEI*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/>
- JST-Tec de Monterrey. (2011). Alumnos del Campus Puebla crean el primer cemento ecológico. *Dicyt*.
- Kreiker, J., Carrizo, J., Ceppi, S., & Mutal, R. (2014). Caracterización de desechos industriales inorgánicos para ser usados como material suplementario en morteros cementicios. *ENTAC*. Brasil.
- Laínez, P., Martínez, M., & Velásquez, G. (2012). Influencia del uso de microsílíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concreto de alta resistencia. San Salvador.
- Laucata, J. (2013). Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo. (*Tesis de Licenciatura*). Pontificia Universidad católica del Perú, Lima.
- Manzuelas, A. (1992). Caracterización por difracción de rayos x de heteroestructuras de semiconductores III-V. aplicación al diseño de superredes tensadas para epitaxias de GaAs/Si. (*Tesis de Doctorado*). Universidad Computense de Madrid, Madrid.

- Marmola. (2018). *Propiedades del mármol*. Obtenido de <http://www.marmola.es/marmol/propiedades/>
- Maureira, S. (Marzo de 2012). *Respuesta cíclica de arena de relaves en un amplio rango de presiones*. Santiago de Chile, Chile.
- MINAM. (2017). *Decreto Legislativo N° 1278*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/>
- Narváez, M. (3 de Octubre de 2016). *CONACYT agencia informativa*. Obtenido de <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/materiales/10306-cementantes-ecologicos-para-construccion-sustentable>
- Navas, A., Reyes, R., & Galván, L. (2015). *Impactos ambientales asociados con el proceso de producción del concreto*. Guayaquil.
- NTP 339.088, N. (1998). *Calidad del Agua*. Lima.
- NTP334.009. (2013). *Cemento Portland. Requisitos*. Lima.
- NTP334.051. (2013). *Metodos de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado*. Lima.
- NTP334.057. (2011). *Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Portland*. Lima.
- NTP334.066. (2007). *Método de ensayo para determinar el índice de actividad puzolánica utilizando el cemento Portland*. Lima.
- NTP334.090. (2013). *Cemento Portland adicionados. Requisitos*. Lima.
- NTP400.12. (2001). *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima.
- Pasquel, E. (2012). *Reacción álcali-agregado : el VIH del concreto*. Obtenido de https://www.academia.edu/9332653/1_Reacci%C3%B3n_%C3%A1lcali-agregado
- Peruana, N. T. (2011). *Muestreo e inspección de cementos*. Lima: Indecopi.
- Revista de Arquitectura e Ingeniería. (2015). *Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción*. México.
- Reyna, A. (2018). *Influencia del mármol reciclado sobre la reactividad, densidad, compresión y resistencia a pilas en morteros. (Tesis de licenciatura)*. Universidad Privada del Norte, Trujillo.
- Rodriguez, A. (2013). *Fabricación del cemento portland*. Lima.

- Saez, E. (2013). Un cemento hidráulico ecológico. *Construcción*.
- Salamanca, R. (2001). *La tecnología de los mortero*. Bogotá.
- Santos, A., Villegas, N., & Betancourt, J. (2012). Residuos de mármol como insumo en la construcción civil . *Revista de la construcción* , 4.
- Solano. (2010). Residuos generados por etapa del proceso de la industria marmolera.
- Tecnalia. (2010). Un cemento ecológico reduce hasta un 100 % las emisiones de CO2. *Sinc*.
- Tobón, J., & Gómez, R. (2008). Desempeño del cemento portland adicionado con caliza de diferentes grados de pureza. *Dyna*, 177-184.
- Torres, J., Arley, E., & Ricardo, A. (2016). Evaluación de la actividad puzolánica de un residuo de la industria del petróleo. *Dyna*, 49-53.
- Universidad Privada del Norte. (2014). *Manual de estadística*. Lima.
- Universidad Privada del Norte. (2016). *Glosario de investigacion*. Lima.
- Universidad Privada del Norte. (2016). *Manual de redaccio académica*. Lima.
- Vicéns, J., Herrarte, A., & Medina, E. (2005). *Análisis de la varianza (ANOVA)*. Madrid.

ANEXOS

ANEXO N°1. Caracterización de los agregados.

Ensayo granulométrico de la arena de Ottawa

Tabla 58. Análisis granulométrico de la arena de Ottawa - muestra 1.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de Tamiz (g)	Peso de Tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que Pasa	Límites de % que pasa NTP 334.051
3/8"	9.5	335	335	0	0	0	100	100
N°4	4.75	332	332	0	0	0	100	100
N°8	2.36	171	171	0	0	0	100	100
N°16	1.18	127	127	0	0	0	100	100
N°30	0.6	127	145	18	1.8	1.8	98.2	96 - 100
N°40	0.4	125	508	383	38.3	40.1	59.9	55 - 65
N°50	0.3	123	468	345	34.5	74.6	25.4	20 - 30
N°100	0.15	114	353	239	23.9	98.5	1.5	0 - 4
N°200	0.075	246	255	9	0.9	99.4	0.6	0
Fondo	0	218	224	6	0.6	100	0	0
Total				1000	100			
Módulo de Finura				2.15				

Tabla 59. Análisis granulométrico de la arena de Ottawa - muestra 2.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de Tamiz (g)	Peso de Tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que Pasa	Límites de % que pasa NTP 334.051
3/8"	9.5	335	335	0	0	0	100	100
N°4	4.75	332	332	0	0	0	100	100
N°8	2.36	171	171	0	0	0	100	100
N°16	1.18	127	127	0	0	0	100	100
N°30	0.6	127	145	18	1.8	1.8	98.2	96 - 100
N°40	0.4	125	501	376	37.6	39.4	60.6	55 - 65
N°50	0.3	123	475	352	35.2	74.6	25.4	20 - 30
N°100	0.15	114	347	233	23.3	97.9	2.1	0 - 4
N°200	0.075	246	261	15	1.5	99.4	0.6	0
Fondo	0	218	224	6	0.6	100	0	
Total				1000	100			

Tabla 60. Análisis granulométrico de la arena de Ottawa - muestra 3.

Tamiz	Abertura (mm)	Peso de Tamiz (g)	Peso de Tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que Pasa	Límites de % que pasa NTP 334.051
3/8"	9.5	335	335	0	0	0	100	100
N°4	4.75	332	332	0	0	0	100	100
N°8	2.36	171	171	0	0	0	100	100
N°16	1.18	127	127	0	0	0	100	100
N°30	0.6	127	148	21	2.1	2.1	97.9	96 - 100
N°40	0.4	125	509	384	38.4	40.5	59.5	55 - 65
N°50	0.3	123	471	348	34.8	75.3	24.7	20 - 30
N°100	0.15	114	354	240	24	99.3	0.7	0 - 4
N°200	0.075	246	251	5	0.5	99.8	0.2	0
Fondo	0	218	220	2	0.2	100	0	
Total				1000	100			
Módulo de Finura				2.172				

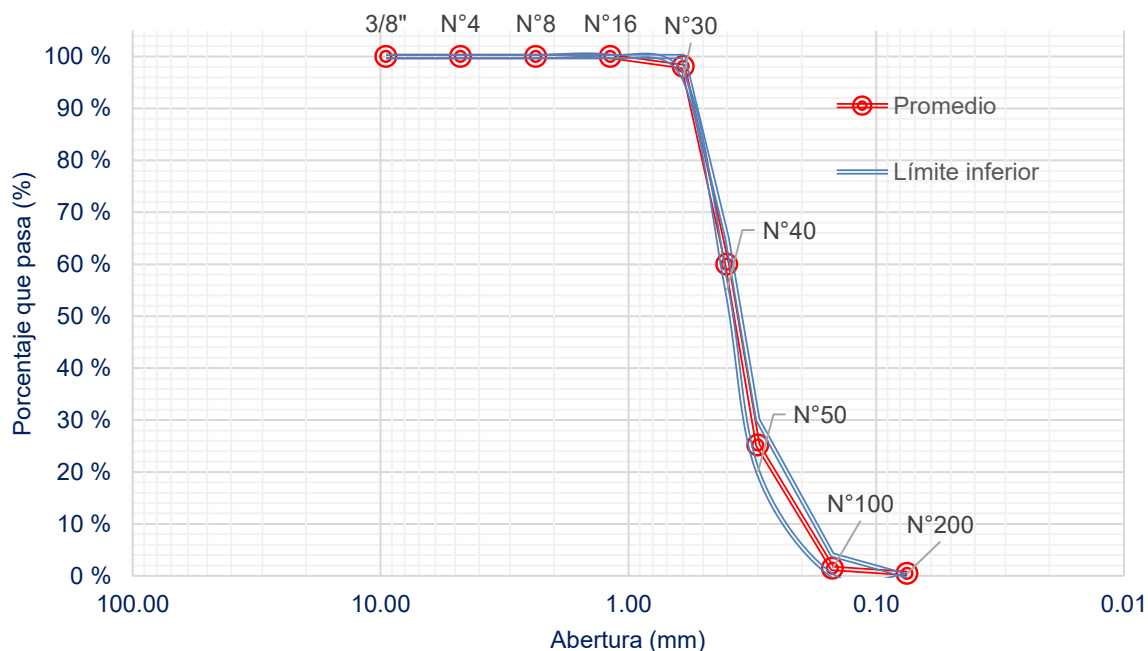


Figura 26. Curva granulométrica de la arena de Ottawa.

Humedad de los agregados

Tabla 61. *Ensayo de 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)	
Arena de Ottawa	A1	11.15	50.08	49.74	38.93	38.59	0.88
	A2	11.19	50.01	49.69	38.82	38.5	0.83
	A3	11.25	50.04	49.71	38.79	38.46	0.86
Promedio							0.86
Mármol	M1	11.19	30	29.95	18.81	18.76	0.27
	M2	11.18	30	29.94	18.82	18.76	0.32
	M3	11.15	30	29.94	18.85	18.79	0.32
Promedio							0.3

Tabla 62. *Media, varianza, desviación estándar para humedad de los agregados.*

Muestra	Humedad promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)	Desviación estándar (%) ASTM C566	Rango aceptable para tres resultados (%) ASTM C566
Arena de Ottawa	0.86	0.001	0.025	0.28	0.92
Mármol	0.30	0.001	0.029	-	-

Peso suelto y compactado

Tabla 63. *Peso suelto y compactado de los agregados.*

Muestra	Código	Peso del Molde (T) (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)
Arena de Ottawa	A-01	0.98	12.28	13.41	11.30	12.43	0.0073	1547.06	1701.77
	A-02	0.98	12.31	13.49	11.33	12.51		1551.17	1712.72
	A-03	0.98	12.29	13.45	11.31	12.47		1548.43	1707.24
Promedio								1548.89	1707.24
Mármol	M-01	0.98	7.93	8.95	6.95	7.97	0.0073	951.51	1091.16
	M-02	0.98	7.90	8.91	6.92	7.93		947.4	1085.68
	M-03	0.98	7.91	8.93	6.93	7.95		948.77	1088.42

Promedio

949.23 1088.42

Tabla 64. Volumen del molde.

Muestra	Código	Peso del molde (kg)	Peso del molde + agua (kg)	Peso del agua (kg)	Factor del agua a 20.7°C (kg/m ³)	Volumen del molde (m ³)
Volumen del agua	M1	0.98	8.27	7.29	998.06	0.0073
	M2	0.98	8.27	7.29		0.0073
	M3	0.98	8.27	7.29		0.0073
Promedio						0.0073

Tabla 65. Media, varianza, desviación estándar para peso suelto y compactado de los agregados.

Ensayos	Promedio	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
Peso unitario suelto	1548.89	4.38	2.09	14	46
	949.23	4.38	2.09		
Peso unitario compactado	1707.24	29.98	5.48	14	46
	1088.42	7.51	2.74		

Peso específico y absorción

Tabla 66. Peso específico y absorción de los agregados.

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 de Ottawa	O1	345.36	669.35	890.32	353.29	2610.04	2669.97	2610.04	2.30
	O2	347.65	676.87	898.09	356.18	2575.95	2639.15	2575.95	2.45
	O3	344.74	663.79	884.64	352.54	2617.81	2677.04	2617.81	2.26
Promedio						2601.27	2662.05	2601.27	2.34
Mármol	M1	49.45	685.15	716.16	50.00	2681.67	2632.96	2604.00	1.11
	M2	49.39	670.09	701.18	50.00	2698.91	2644.10	2611.85	1.24
	M3	49.41	665.12	696.43	50.00	2729.83	2675.23	2643.66	1.19

Promedio 2703.47 2650.76 2619.84 1.18

Tabla 67. Media, varianza, desviación estándar para peso específico y absorción de los agregados.

Muestra	Ensayos	Promedio	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
Arena de Ottawa	Densidad (s) (kg/m3)	2601.27	495.793	22.27	11	36
	Densidad (sss) (kg/m3)	2662.05	405.918	20.15	9.5	31
	Densidad aparente (kg/m3)	2601.27	495.793	22.27	9.5	31
	Absorción (%)	2.34	0.010	0.10	0.11	0.36
Mármol	Densidad (s) (kg/m3)	2703.47	595.442	24.40	11	36
	Densidad (sss) (kg/m3)	2650.76	479.988	21.91	9.5	31
	Densidad aparente (kg/m3)	2619.84	441.069	21.00	9.5	31
	Absorción (%)	1.18	0.004	0.07	0.11	0.36

ANEXO N°2. Ensayos realizados al mortero en estudio.

Fluidez

Tabla 68. Ensayo de fluidez.

Mármol	Lectura 1 (mm)	Lectura 2 (mm)	Lectura 3 (mm)	Lectura 4 (mm)	Promedio (mm)	Fluidez (%)	Fluidez promedio (%)
0%	205.3	208.1	210.4	207.3	207.8	109.0	109.4
	208.4	206.3	211.0	207.4	208.3	109.5	
	207.3	209.5	207.2	209.4	208.4	109.6	
3%	211.8	210.4	211.1	207.4	210.2	111.4	111.3
	210.6	209.2	209.8	210.3	210.0	111.2	
	210.3	208.9	209.5	210.7	209.9	111.1	
6%	209.4	209.6	207.4	208.7	208.8	110.0	110.2
	210.5	207.5	208.6	207.6	208.9	110.2	
	208.6	208.8	209.5	209.3	209.1	110.3	
9%	210.4	210.6	210.8	209.2	210.3	111.5	111.6
	210.3	209.6	211.5	209.3	210.2	111.4	
	210.5	210.8	210.1	210.7	210.5	111.8	
12%	211.7	208.3	210.1	207.9	209.5	110.8	110.7
	212.5	209.3	209.1	208.4	209.8	111.1	
	208.9	209.4	209.2	208.9	209.1	110.4	
16%	210.7	209.5	210.3	210.1	210.2	111.4	111.8
	211.4	209.7	211.2	210.3	210.7	111.9	
	212.3	209.9	210.6	210.5	210.8	112.1	
20%	211.2	210.7	209.4	210.6	210.5	111.7	111.6
	209.8	211.4	209.5	210.1	210.2	111.5	
	210.4	211.1	209.7	210.2	210.4	111.6	

Tabla 69. Media, varianza, desviación estándar para el ensayo de fluidez.

Mármol	Fluidez promedio (%)	Varianza (%)	Desviación estándar (%)	Ra/c
0%	109.4	0.10	0.31	0.72
3%	111.3	0.03	0.16	0.72
6%	110.2	0.02	0.14	0.70
9%	111.6	0.03	0.19	0.70
12%	110.7	0.13	0.37	0.68
16%	111.8	0.12	0.35	0.68
20%	111.6	0.02	0.14	0.65

Reactividad

Tabla 70. Ensayo de reactividad.

Mármol	Cód.	L. Inicial (mm)	L. Final (mm)	LF-LI (mm)	% Expansión	Promedio % Expansión
0%	R1	-0.572	-0.461	0.111	3.89	3.89
	R2	-1.526	-1.414	0.112	3.93	
	R3	-0.842	-0.732	0.110	3.86	
3%	R4	-0.535	-0.442	0.093	3.26	3.31
	R5	-0.236	-0.142	0.094	3.30	
	R6	-1.755	-1.659	0.096	3.37	
6%	R7	-0.506	-0.426	0.08	2.81	2.81
	R8	0.173	0.255	0.082	2.88	
	R9	0.103	0.181	0.078	2.74	
9%	R10	-0.315	-0.249	0.066	2.32	2.33
	R11	-1.512	-1.445	0.067	2.35	
	R12	-2.425	-2.359	0.066	2.32	
12%	R13	-0.318	-0.267	0.051	1.79	1.79
	R14	-2.185	-2.135	0.05	1.75	
	R15	-1.479	-1.427	0.052	1.82	
16%	R16	-1.055	-1.020	0.035	1.23	1.23
	R17	-2.174	-2.140	0.034	1.19	
	R18	-2.734	-2.698	0.036	1.26	
20%	R19	-2.874	-2.856	0.018	0.63	0.67
	R20	-2.273	-2.254	0.019	0.67	
	R21	-2.544	-2.524	0.02	0.70	

Densidad

Tabla 71. Ensayo de densidad en seco del mortero a 3 días.

Mármol	Código	Peso Saturado (g)	Peso Sumergido (g)	Peso Seco (g)	Densidad (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)
0%	D1	289.30	152.07	260.20	1896.09	1902
	D2	292.27	153.12	264.96	1904.13	
	D3	290.85	153.47	261.91	1906.46	
3%	D4	288.90	152.21	262.52	1920.55	1923
	D5	286.91	151.48	261.58	1931.48	
	D6	289.55	152.94	261.69	1915.60	
6%	D7	292.43	154.77	266.47	1935.71	1938
	D8	294.39	155.75	268.66	1937.82	
	D9	294.57	155.87	269.29	1941.53	
9%	D10	295.25	157.96	269.17	1960.59	1962
	D11	294.66	156.89	269.78	1958.19	
	D12	296.44	159.49	269.59	1968.53	
12%	D13	298.97	161.19	271.48	1970.39	1976
	D14	299.94	162.45	272.71	1983.49	
	D15	296.60	159.33	270.93	1973.70	
16%	D16	298.64	161.72	272.36	1989.19	1987
	D17	297.42	160.41	271.91	1984.60	
	D18	299.42	162.44	272.29	1987.81	
20%	D19	298.80	162.11	273.36	1999.85	1992
	D20	294.20	157.31	272.28	1989.04	
	D21	294.89	157.65	272.88	1988.34	

Tabla 72. Media, varianza, desviación estándar para densidad en seco a 3 días.

Mármol	Densidad seca (kg/m ³)	Varianza (kg/m ³) ²	Desviación estándar (kg/m ³)
0%	1902	29.64	5.44
3%	1923	66.01	8.12
6%	1938	8.67	2.94
9%	1962	29.27	5.41
12%	1976	46.41	6.81
16%	1987	5.55	2.36
20%	1992	41.65	6.45

Tabla 73. Ensayo de densidad en seco del mortero a 7 días.

Mármol	Código	Peso Saturado (g)	Peso Sumergido (g)	Peso Seco (g)	Densidad (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)
0%	D22	288.39	153.78	261.25	1940.79	1939
	D23	285.73	151.64	259.66	1936.46	
	D24	287.45	152.76	261.11	1938.60	
3%	D25	301.74	165.22	266.94	1955.32	1955
	D26	300.91	165.17	265.16	1953.44	
	D27	301.28	165.53	265.68	1957.13	
6%	D28	299.76	164.84	264.92	1963.53	1973
	D29	300.22	165.96	265.34	1976.31	
	D30	300.25	165.98	265.59	1978.03	
9%	D31	299.38	164.39	267.53	1981.85	1989
	D32	300.72	165.79	268.85	1992.51	
	D33	300.30	165.37	268.76	1991.85	
12%	D34	299.80	166.15	268.64	2010.03	2019
	D35	295.67	161.68	270.93	2022.02	
	D36	296.45	162.06	272.08	2024.56	
16%	D37	300.96	164.51	278.45	2040.67	2031
	D38	299.96	162.76	277.64	2023.62	
	D39	299.25	162.62	277.31	2029.64	
20%	D40	299.17	163.46	276.81	2039.72	2039
	D41	300.53	164.43	278.48	2046.14	
	D42	299.87	163.38	277.13	2030.41	

Tabla 74. Media, varianza, desviación estándar para densidad en seco a 7 días.

Mármol	Densidad seca (kg/m ³)	Varianza (kg/m ³) ²	Desviación estándar (kg/m ³)
0%	1939	4.69	2.17
3%	1955	3.40	1.84
6%	1973	62.73	7.92
9%	1989	35.69	5.97
12%	2019	60.22	7.76
16%	2031	74.84	8.65
20%	2039	62.61	7.91

Tabla 75. Ensayo de densidad en seco del mortero a 28 días.

Mármol	Código	Peso Saturado (g)	Peso Sumergido (g)	Peso Seco (g)	Densidad (kg/m ³)	Densidad seca (kg/m ³)
0%	D43	288.20	155.07	260.11	1953.80	1954
	D44	288.00	155.43	258.96	1953.38	
	D45	287.34	155.18	258.42	1955.36	
3%	D46	295.03	158.95	268.12	1970.31	1966
	D47	294.65	158.52	267.85	1967.60	
	D48	292.23	156.43	266.13	1959.72	
6%	D49	298.40	161.77	270.96	1983.17	1984
	D50	295.23	159.49	269.13	1982.69	
	D51	296.66	160.94	269.61	1986.52	
9%	D52	300.10	165.50	273.65	2033.06	2026
	D53	299.41	164.70	272.67	2024.13	
	D54	299.28	164.56	272.24	2020.78	
12%	D55	295.68	161.82	272.93	2038.92	2035
	D56	296.28	162.34	271.83	2029.49	
	D57	293.41	160.19	271.19	2035.66	
16%	D58	291.65	158.61	272.32	2046.90	2054
	D59	293.30	159.39	275.86	2060.04	
	D60	284.05	154.48	266.13	2053.95	
20%	D61	296.03	161.41	278.07	2065.59	2059
	D62	295.91	160.62	277.43	2050.63	
	D63	294.50	160.11	277.11	2061.98	

Tabla 76. Media, varianza, desviación estándar para densidad en seco a 28 días.

Mármol	Densidad seca (kg/m ³)	Varianza (kg/m ³) ²	Desviación estándar (kg/m ³)
0%	1954	1.08	1.04
3%	1966	30.28	5.50
6%	1984	4.35	2.09
9%	2026	40.29	6.35
12%	2035	22.93	4.79
16%	2054	43.22	6.57
20%	2059	60.95	7.81

Compresión

Tabla 77. Ensayo de resistencia a compresión a 3 días de curado.

Mármol	Probeta	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (Mpa)
0%	C1	4.98	4.99	5.01	24.85	53.8	21.52
	C2	4.97	4.99	4.99	24.80	52.9	21.16
	C3	4.99	5.00	4.98	24.95	55.1	22.04
Promedio (Mpa)							21.57
Desviación estándar (Mpa)							0.44
Coeficiente de variación (%)							2.05
3%	C4	4.98	4.99	5.00	24.85	56.6	22.63
	C5	5.01	4.98	4.99	24.95	54.8	21.89
	C6	4.99	5.00	4.98	24.95	54.4	21.76
Promedio (Mpa)							22.09
Desviación estándar (Mpa)							0.47
Coeficiente de variación (%)							2.12
6%	C7	4.98	4.99	5.01	24.85	56.8	22.71
	C8	4.97	4.99	4.99	24.80	55.9	22.36
	C9	4.99	5.00	4.98	24.95	58.3	23.32
Promedio (Mpa)							22.80
Desviación estándar (Mpa)							0.49
Coeficiente de variación (%)							2.13
9%	C10	4.98	4.99	5.01	24.85	62.2	24.85
	C11	4.97	4.99	4.99	24.80	60.4	24.14
	C12	4.99	5.00	4.98	24.95	60.9	24.33
Promedio (Mpa)							24.44
Desviación estándar (Mpa)							0.37
Coeficiente de variación (%)							1.50
12%	C13	4.98	4.99	5.01	24.85	62.3	24.92
	C14	4.97	4.99	4.99	24.80	62.9	25.14
	C15	4.99	5.00	4.98	24.95	63.6	25.41
Promedio (Mpa)							25.16

		Desviación estándar (Mpa)					0.25
		Coeficiente de variación (%)					0.98
16%	C16	4.98	4.99	5.01	24.85	65.1	26.03
	C17	4.97	4.99	4.99	24.80	64.7	25.88
	C18	4.99	5.00	4.98	24.95	65.7	26.25
		Promedio (Mpa)					26.05
		Desviación estándar (Mpa)					0.19
		Coeficiente de variación (%)					0.71
20%	C19	4.98	4.99	5.01	24.85	65.5	26.19
	C20	4.97	4.99	4.99	24.80	64.9	25.93
	C21	4.99	5.00	4.98	24.95	66.7	26.65
		Promedio (Mpa)					26.26
		Desviación estándar (Mpa)					0.36
		Coeficiente de variación (%)					1.39

Tabla 78. Ensayo de resistencia a compresión a 7 días de curado.

Mármol	Probeta	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (Mpa)
0%	C22	4.98	4.99	5.01	24.85	75.4	30.13
	C23	4.97	4.99	4.99	24.80	76.0	30.39
	C24	4.99	5.00	4.98	24.95	77.0	30.78
		Promedio (Mpa)					30.43
		Desviación estándar (Mpa)					0.33
		Coeficiente de variación (%)					1.08
3%	C25	4.98	4.99	5.01	24.85	76.5	30.59
	C26	4.97	4.99	4.99	24.80	78.1	31.24
	C27	4.99	5.00	4.98	24.95	77.8	31.10
		Promedio (Mpa)					30.98
		Desviación estándar (Mpa)					0.34
		Coeficiente de variación (%)					1.10
6%	C28	4.98	4.99	5.01	24.85	80.5	32.17
	C29	4.97	4.99	4.99	24.80	79.6	31.83
	C30	4.99	5.00	4.98	24.95	80.6	32.24
		Promedio (Mpa)					32.08
		Desviación estándar (Mpa)					0.22
		Coeficiente de variación (%)					0.68
9%	C31	4.98	4.99	5.01	24.85	83.6	33.41
	C32	4.97	4.99	4.99	24.80	82.4	32.93
	C33	4.99	5.00	4.98	24.95	83.2	33.25
		Promedio (Mpa)					33.20
		Desviación estándar (Mpa)					0.24
		Coeficiente de variación (%)					0.74
12%	C34	4.98	4.99	5.01	24.85	84.4	33.74
	C35	4.97	4.99	4.99	24.80	85.7	34.26
	C36	4.99	5.00	4.98	24.95	84.9	33.95
		Promedio (Mpa)					33.98

Desviación estándar (Mpa)							0.26
Coeficiente de variación (%)							0.77
16%	C37	4.98	4.99	5.01	24.85	86.9	34.75
	C38	4.97	4.99	4.99	24.80	86.1	34.41
	C39	4.99	5.00	4.98	24.95	87.5	34.97
Promedio (Mpa)							34.71
Desviación estándar (Mpa)							0.28
Coeficiente de variación (%)							0.81
20%	C40	4.98	4.99	5.01	24.85	87.2	34.85
	C41	4.97	4.99	4.99	24.80	86.8	34.72
	C42	4.99	5.00	4.98	24.95	88.1	35.21
Promedio (Mpa)							34.93
Desviación estándar (Mpa)							0.25
Coeficiente de variación (%)							0.73

Tabla 79. Ensayo de resistencia a compresión a 28 días de curado.

Mármol	Probeta	Largo (cm)	Ancho (cm)	Alto (cm)	Área (cm ²)	Fuerza (KN)	Resistencia (Mpa)
0%	C43	4.98	4.99	5.01	24.85	89.0	35.59
	C44	4.97	4.99	4.99	24.80	89.6	35.84
	C45	4.99	5.00	4.98	24.95	89.8	35.92
Promedio (Mpa)							35.78
Desviación estándar (Mpa)							0.17
Coeficiente de variación (%)							0.48
3%	C46	4.98	4.99	5.01	24.85	90.2	36.08
	C47	4.97	4.99	4.99	24.80	90.9	36.33
	C48	4.99	5.00	4.98	24.95	90.6	36.21
Promedio (Mpa)							36.21
Desviación estándar (Mpa)							0.13
Coeficiente de variación (%)							0.35
6%	C49	4.98	4.99	5.01	24.85	91.4	36.54
	C50	4.97	4.99	4.99	24.80	92.4	36.96
	C51	4.99	5.00	4.98	24.95	93.6	37.42
Promedio (Mpa)							36.97
Desviación estándar (Mpa)							0.44
Coeficiente de variación (%)							1.19
9%	C52	4.98	4.99	5.01	24.85	96.8	38.71
	C53	4.97	4.99	4.99	24.80	98.3	39.32
	C54	4.99	5.00	4.98	24.95	97.5	38.98
Promedio (Mpa)							39.00
Desviación estándar (Mpa)							0.31
Coeficiente de variación (%)							0.78
12%	C55	4.98	4.99	5.01	24.85	98.9	39.56
	C56	4.97	4.99	4.99	24.80	97.4	38.96
	C57	4.99	5.00	4.98	24.95	99.1	39.64

Promedio (Mpa)							39.39
Desviación estándar (Mpa)							0.37
Coeficiente de variación (%)							0.94
16%	C58	4.98	4.99	5.01	24.85	101.4	40.55
	C59	4.97	4.99	4.99	24.80	101.8	40.71
	C60	4.99	5.00	4.98	24.95	100.9	40.36
Promedio (Mpa)							40.54
Desviación estándar (Mpa)							0.18
Coeficiente de variación (%)							0.43
20%	C61	4.98	4.99	5.01	24.85	101.9	40.74
	C62	4.97	4.99	4.99	24.80	101.6	40.64
	C63	4.99	5.00	4.98	24.95	101.4	40.56
Promedio (Mpa)							40.65
Desviación estándar (Mpa)							0.09
Coeficiente de variación (%)							0.22

Tabla 80. Media, varianza, desviación estándar para resistencia a compresión de 3 días de curado.

Mármol	Media (Mpa)	Desviación Estándar (Mpa)	Varianza (Mpa) ²	Coeficiente de variación (%)	Rango máximo permisible NTP 334.051	Coeficiente de variación máxima NTP 334.051
0%	21.6	0.44	0.20	2.1		
3%	22.1	0.47	0.22	2.1		
6%	22.8	0.49	0.24	2.1		
9%	24.4	0.37	0.14	1.5	8.7	2.1
12%	25.2	0.25	0.06	1.0		
16%	26.1	0.19	0.03	0.7		
20%	26.3	0.36	0.13	1.4		

Tabla 81. Media, varianza, desviación estándar para resistencia a compresión de 7 días de curado.

Mármol	Media (Mpa)	Desviación Estándar (Mpa)	Varianza (Mpa) ²	Coeficiente de variación (%)	Rango máximo permisible NTP 334.051	Coeficiente de variación máxima NTP 334.051
0%	30.4	0.33	0.11	1.1		
3%	31.0	0.34	0.12	1.1		
6%	32.1	0.22	0.05	0.7		
9%	33.2	0.24	0.06	0.7	8.7	2.1
12%	34.0	0.26	0.07	0.8		
16%	34.7	0.28	0.08	0.8		

20%	34.9	0.25	0.06	0.7
-----	------	------	------	-----

Tabla 82. Media, varianza, desviación estándar para resistencia a compresión de 28 días de curado.

Mármol	Media (Mpa)	Desviación Estándar (Mpa)	Varianza (Mpa) ²	Coefficiente de variación (%)	Rango máximo permisible NTP 334.051	Coefficiente de variación máxima NTP 334.051
0%	35.8	0.17	0.03	0.5		
3%	36.2	0.13	0.02	0.3		
6%	37.0	0.44	0.19	1.2		
9%	39.0	0.31	0.09	0.8	8.7	2.1
12%	39.4	0.37	0.14	0.9		
16%	40.5	0.18	0.03	0.4		
20%	40.6	0.09	0.01	0.2		

Índice de actividad puzolánica

Tabla 83. Índice de actividad puzolánica a 3 días.

Mármol	Compresión (Mpa)	IAP (%)
0%	21.6	100.00
3%	22.1	102.41
6%	22.8	105.67
9%	24.4	113.29
12%	25.2	116.61
16%	26.1	120.77
20%	26.3	121.71

Tabla 84. Índice de actividad puzolánica a 7 días.

Mármol	Compresión (Mpa)	IAP (%)
0%	30.4	100.00
3%	31.0	101.79
6%	32.1	105.42
9%	33.2	109.09
12%	34.0	111.67
16%	34.7	114.06

20% 34.9 114.77

Tabla 85. Índice de actividad puzolánica a 28 días.

Mármol	Compresión (Mpa)	IAP (%)
0%	35.8	100.00
3%	36.2	101.18
6%	37.0	103.33
9%	39.0	109.00
12%	39.4	110.07
16%	40.5	113.29
20%	40.6	113.59

Análisis económico

Primero se determinó los pesos de la arena de Ottawa, mármol reciclado, cemento portland tipo I y agua, para un mortero de 1m³, con los distintos porcentajes de mármol para luego compararla con la muestra patrón y verificar que es rentable la sustitución del mármol reciclado por cemento.

Partida:	Mortero 1:2.75	a/c = 0.72	mármol = 0%
Calculo del peso			
Cemento	1 p ³	42.5 kg	
Mármol	1 p ³	0.00 kg	
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	1600 kg/m ³ = 124.59 kg
Agua	42.5 kg x	0.72 =	30.6 kg
Rendimiento de mezcla			
Cemento	42.5 kg	/ 3150 kg/m ³ =	0.01349 m ³
Mármol	0 kg	/ 2700 kg/m ³ =	0.00000 m ³
Arena de Ottawa	124.59 kg	/ 2600 kg/m ³ =	0.04792 m ³
Agua	30.6 kg	/ 1000 kg/m ³ =	0.03060 m ³
		total	0.09201 m ³
Calculo de la cantidad de material			
% Aire incorporado 0.01			
F.C. =	(1 - 0.01) / 0.09201 =	10.76	
Cemento	1 p ³ =	10.76 =	10.76 bls
Mármol	1 p ³ =	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	0.00 = 0.00 m ³
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	10.76 = 0.84 m ³
Agua	30.6 kg x	10.76 =	329.24 lt / 1000 = 0.33 m ³

Partida:	MORTERO 1:2.75	a/c =	0.72	mármol =	3%
Calculo del peso					
Cemento	1 p ³		41.225 kg		
Mármol	1 p ³		1.28 kg		
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x		1600 kg/m ³ =	124.59 kg
Agua	42.5 kg x	0.72 =		30.6 kg	
Rendimiento de mezcla					
Cemento	41.225 kg	/ 3150 kg/m ³ =		0.01309 m ³	
Mármol	1.275 kg	/ 2700 kg/m ³ =		0.00047 m ³	
Arena de Ottawa	124.59 kg	/ 2600 kg/m ³ =		0.04792 m ³	
Agua	30.6 kg	/ 1000 kg/m ³ =		0.03060 m ³	
		total		0.09208 m ³	
Calculo de la cantidad de material					
% Aire incorporado 0.01					
F.C. =	(1 - 0.01) /	0.09208 =	10.75		
Cemento	1 p ³ =	10.43 =			10.43 bls
Mármol	1 p ³ =	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	0.32 =		0.01 m ³
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	10.75 =		0.84 m ³
Agua	30.6 kg x	10.75 =		329.00 lt /1000 =	0.33 m ³

Partida:	MORTERO 1:2.75	a/c =	0.70	mármol =	6%
Calculo del peso					
Cemento	1 p ³		39.95 kg		
Mármol	1 p ³		2.55 kg		
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x		1600 kg/m ³ =	124.59 kg
Agua	42.5 kg x	0.7 =		29.75 kg	
Rendimiento de mezcla					
Cemento	39.95 kg	/ 3150 kg/m ³ =		0.01268 m ³	
Mármol	2.55 kg	/ 2700 kg/m ³ =		0.00094 m ³	
Arena de Ottawa	124.59 kg	/ 2600 kg/m ³ =		0.04792 m ³	
Agua	29.75 kg	/ 1000 kg/m ³ =		0.02975 m ³	
		total		0.09130 m ³	
Calculo de la cantidad de material					
% Aire incorporado 0.01					
F.C. =	(1 - 0.01) /	0.09130 =	10.84		
Cemento	1 p ³ =	10.19 =			10.19 bls
Mármol	1 p ³ =	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	0.65 =		0.02 m ³
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	10.84 =		0.84 m ³
Agua	29.75 kg x	10.84 =		322.60 lt /1000 =	0.32 m ³

Partida:	MORTERO 1:2.75	a/c =	0.70	mármol =	9%
Calculo del peso					
Cemento	1 p ³		38.675 kg		
Mármol	1 p ³		3.83 kg		

Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	1600 kg/m ³ =	124.59 kg
Agua	42.5 kg x	0.7 =	29.75 kg	
Rendimiento de mezcla				
Cemento	38.675 kg	/ 3150 kg/m ³ =	0.01228 m ³	
Mármol	3.825 kg	/ 2700 kg/m ³ =	0.00142 m ³	
Arena de Ottawa	124.59 kg	/ 2600 kg/m ³ =	0.04792 m ³	
Agua	29.75 kg	/ 1000 kg/m ³ =	0.02975 m ³	
		total	0.09136 m ³	
Calculo de la cantidad de material				
% Aire incorporado 0.01				
F.C. =	(1 - 0.01) /	0.09136 =	10.84	
Cemento	1 p ³ =	9.86 =	9.86 bls	
Mármol	1 p ³ =	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	0.98 =	0.03 m ³
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	10.84 =	0.84 m ³
Agua	29.75 kg x	10.84 =	322.36 lt / 1000 =	0.32 m ³

Partida:	MORTERO 1:2.75	a/c =	0.68	mármol =	12%
Calculo del peso					
Cemento	1 p ³	37.4 kg			
Mármol	1 p ³	5.10 kg			
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	1600 kg/m ³ =	124.59 kg	
Agua	42.5 kg x	0.68 =	28.9 kg		
Rendimiento de mezcla					
Cemento	37.4 kg	/ 3150 kg/m ³ =	0.01187 m ³		
Mármol	5.1 kg	/ 2700 kg/m ³ =	0.00189 m ³		
Arena de Ottawa	124.59 kg	/ 2600 kg/m ³ =	0.04792 m ³		
Agua	28.9 kg	/ 1000 kg/m ³ =	0.02890 m ³		
		total	0.09058 m ³		
Calculo de la cantidad de material					
% Aire incorporado 0.01					
F.C. =	(1 - 0.01) /	0.09058 =	10.93		
Cemento	1 p ³ =	9.62 =	9.62 bls		
Mármol	1 p ³ =	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	1.31 =	0.04 m ³	
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	10.93 =	0.85 m ³	
Agua	28.9 kg x	10.93 =	315.86 lt / 1000 =	0.32 m ³	

Partida:	MORTERO 1:2.75	a/c =	0.68	mármol =	16%
----------	----------------	-------	------	----------	-----

Calculo del peso

Cemento	1 p ³	35.7 kg		
Mármol	1 p ³	6.80 kg		
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	1600 kg/m ³ =	124.59 kg
Agua	42.5 kg x	0.68 =	28.9 kg	

Rendimiento de mezcla

Cemento	35.7 kg	/ 3150 kg/m ³ =	0.01133 m ³
Mármol	6.8 kg	/ 2700 kg/m ³ =	0.00252 m ³
Arena de Ottawa	124.59 kg	/ 2600 kg/m ³ =	0.04792 m ³
Agua	28.9 kg	/ 1000 kg/m ³ =	0.02890 m ³
		total	0.09067 m ³

Calculo de la cantidad de material

% Aire incorporado	0.01			
F.C. =	(1 - 0.01) /	0.09067 =	10.92	
Cemento	1 p ³ =	9.17 =		9.17 bls
Mármol	1 p ³ =	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	1.75 =	0.05 m ³
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	10.92 =	0.85 m ³
Agua	28.9 kg x	10.92 =	315.54 lt / 1000 =	0.32 m ³

Partida:	MORTERO 1:2.75	a/c =	0.65	mármol =	20%
Calculo del peso					
Cemento	1 p ³	34 kg			
Mármol	1 p ³	8.50 kg			
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	1600 kg/m ³ =	124.59 kg	
Agua	42.5 kg x	0.65 =	27.625 kg		
Rendimiento de mezcla					
Cemento	34 kg	/ 3150 kg/m ³ =	0.01079 m ³		
Mármol	8.5 kg	/ 2700 kg/m ³ =	0.00315 m ³		
Arena de Ottawa	124.59 kg	/ 2600 kg/m ³ =	0.04792 m ³		
Agua	27.625 kg	/ 1000 kg/m ³ =	0.02763 m ³		
		total	0.08949 m ³		
Calculo de la cantidad de material					
% Aire incorporado	0.01				
F.C. =	(1 - 0.01) /	0.08949 =	11.06		
Cemento	1 p ³ =	8.85 =		8.85 bls	
Mármol	1 p ³ =	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	2.21 =	0.06 m ³	
Arena de Ottawa	2.75 p ³	x (1 m ³ / 35.315 p ³) x	11.06 =	0.86 m ³	
Agua	27.625 kg x	11.06 =	305.62 lt / 1000 =	0.31 m ³	

ANEXO N°3. Procedimiento estadístico de los datos por Anova.

Se utilizará el programa SPSS para corroborar la normalidad de los datos. La variable aleatoria es numérica estando dentro de pruebas paramétricas por lo tanto se realizara el método estadístico ANOVA unifactorial.

➤ **Fluidez, análisis estadístico.**

Hipótesis

H_1 : El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la fluidez, Trujillo 2018.

H_0 : El mármol reciclado en morteros ecológicos no aumenta la fluidez, Trujillo 2018.

Donde

H_1 : Hipótesis alternativa

H_0 : Hipótesis nula

SPSS – Shapiro Wilk

Fluidez = 1,000 > $\alpha = 0.05$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

Análisis de varianza

Tabla 86. Varianza de la fluidez del mortero con mármol reciclado.

	Fluidez (%)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	Xi	x-
0%	109.0	109.5	109.6	328.2	3	109.4	
3%	111.4	111.2	111.1	333.8	3	111.3	
6%	110.0	110.2	110.3	330.5	3	110.2	
9%	111.5	111.4	111.8	334.8	3	111.6	110.9
12%	110.8	111.1	110.4	332.2	3	110.7	
16%	111.4	111.9	112.1	335.4	3	111.8	
20%	111.7	111.5	111.6	334.8	3	111.6	

Cálculo de suma de cuadrados

- $$SCE = \sum_{j=1}^r n_j (\bar{x}_j - \bar{x}_{..})^2$$

$$SCE = 3(109.4-110.9)^2 + 3(111.3-110.9)^2 + 3(110.2-110.9)^2 + 3(111.6-110.9)^2 + 3(110.7-110.9)^2 + 3(111.8-110.9)^2 + 3(111.6-110.9)^2$$

$$SCE = 14.3236$$
- $$SCD = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^r n_j \bar{x}_j^2$$

$$SCD = (109.0^2 + 109.5^2 + 109.6^2 + 111.4^2 + 111.2^2 + 111.1^2 + 110.0^2 + 110.2^2 + 110.3^2 + 111.5^2 + 111.4^2 + 111.8^2 + 110.8^2 + 111.1^2 + 110.4^2 + 111.4^2 + 111.9^2 + 112.1^2 + 111.7^2 + 111.5^2 + 111.6^2) - (3 \times 109.4^2 + 3 \times 111.3^2 + 3 \times 110.2^2 + 3 \times 111.6^2 + 3 \times 110.7^2 + 3 \times 111.8^2 + 3 \times 111.6^2)$$

$$SCD = 0.9130$$
- $$SCT = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$$

$$SCT = SCE + SCD$$

$$SCT = 14.3236 + 0.9130 = 15.2366$$

Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) ----- 7-1 = 6
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) ----- 21-7 = 14
- Grados de libertad total (GLT) ----- 21-1 = 20

Cálculo de los cuadros medios

- Cuadrado medio entre grupos (CME)

$$\frac{SCE}{GLE} = \frac{14.3236}{6} = 2.38727$$

- Cuadrado medio dentro de grupos (CMD)

$$\frac{SCD}{GLD} = \frac{0.9130}{14} = 0.06521$$

Estadístico de contraste F

$$F = \frac{CME}{CMD} = \frac{2.38727}{0.06521} = 36.61$$

Cálculo de coeficiente de determinación

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{14.3236}{15.2366} \times 100 = 94.01\%$$

Tabla 87. Anova de la fluidez del mortero con mármol reciclado.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	14.3236	6	2.38727	36.61	2.85
Dentro grupos	0.9130	14	0.06521		
Total	15.2366	20			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

Se acepta: H₁: El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la fluidez, Trujillo 2018.

Se rechaza H₀: El mármol reciclado en morteros ecológicos no aumenta la fluidez, Trujillo 2018.

➤ Reactividad, análisis estadístico.

Hipótesis

H₁: El mármol reciclado en morteros ecológicos disminuye la expansión, Trujillo 2018.

H₀: El mármol reciclado en morteros ecológicos no disminuye la expansión, Trujillo 2018.

Donde

H₁: Hipótesis alternativa

H₀: Hipótesis nula

SPSS – Shapiro Wilk

$$\text{Reactividad} = 0,843 > \alpha = 0.05$$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

Análisis de varianza

Tabla 88. Varianza de la reactividad del mortero con mármol reciclado.

	Reactividad (%)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	Xi	x-
0%	3.89	3.93	3.86	11.68	3	3.89	
3%	3.51	3.47	3.54	10.53	3	3.51	
6%	2.84	2.88	2.91	8.63	3	2.88	
9%	2.53	2.49	2.56	7.58	3	2.53	2.5146
12%	2.11	2.04	2.00	6.14	3	2.05	
16%	1.54	1.65	1.61	4.81	3	1.60	
20%	1.16	1.19	1.09	3.44	3	1.15	

Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) ----- 7-1 = 6
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) ----- 21-7 = 14
- Grados de libertad total (GLT) ----- 21-1 = 20

Tabla 89. Anova de la reactividad del mortero con mármol reciclado.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	17.8451	6	2.97418	1537.31	2.85
Dentro grupos	0.0271	14	0.00193		
Total	17.8722	20			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

Se acepta: H₁: El mármol reciclado en morteros ecológicos disminuye la expansión, Trujillo 2018.

Se rechaza H₀: El mármol reciclado en morteros ecológicos no disminuye la expansión, Trujillo 2018.

➤ **Densidad, análisis estadístico.**

Hipótesis

H₁: El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la densidad, Trujillo 2018.

H₀: El mármol reciclado en morteros ecológicos no aumenta la densidad, Trujillo 2018.

Donde

H₁: Hipótesis alternativa

H₀: Hipótesis nula

SPSS – Shapiro Wilk

$$\text{Densidad} = 0,466 > \alpha = 0.05$$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

Análisis de varianza

Tabla 90. Varianza de la densidad del mortero con mármol reciclado.

	Densidad (kg/m ³)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	Xi	x-
0%	1953.80	1953.38	1955.36	5862.54	3	1954.18	2011.13
3%	1970.31	1967.60	1959.72	5897.64	3	1965.88	

6%	1983.17	1982.69	1986.52	5952.37	3	1984.12
9%	2033.06	2024.13	2020.78	6077.97	3	2025.99
12%	2038.92	2029.49	2035.66	6104.07	3	2034.69
16%	2046.90	2060.04	2053.95	6160.89	3	2053.63
20%	2065.59	2050.63	2061.98	6178.21	3	2059.40

Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) ----- $7-1 = 6$
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) ----- $21-7 = 14$
- Grados de libertad total (GLT) ----- $21-1 = 20$

Tabla 91. Anova de la densidad del mortero con mármol reciclado.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	32797.6204	6	5466.27006	188.40	2.85
Dentro grupos	406.2045	14	29.01461		
Total	33203.8249	20			

➤ Resistencia a la compresión, análisis estadístico.

Hipótesis

H_1 : El mármol reciclado en morteros ecológicos aumenta la resistencia a la compresión, Trujillo 2018.

H_0 : El mármol reciclado en morteros ecológicos no aumenta la resistencia a la compresión, Trujillo 2018.

Donde

H_1 : Hipótesis alternativa

H_0 : Hipótesis nula

SPSS – Shapiro Wilk

Resistencia a la compresión = 0,637 > $\alpha = 0.05$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

Análisis de varianza

Tabla 92. Varianza de la resistencia a la compresión del mortero con mármol reciclado.

	Compresión (Mpa)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	\bar{X}_i	\bar{x}
0%	35.59	35.84	35.92	107.35	3	35.78	38.36
3%	36.08	36.33	36.21	108.62	3	36.21	
6%	36.54	36.96	37.42	110.92	3	36.97	
9%	38.71	39.32	38.98	117.01	3	39.00	
12%	39.56	38.96	39.64	118.16	3	39.39	
16%	40.55	40.71	40.36	121.62	3	40.54	
20%	40.74	40.64	40.56	121.94	3	40.65	

Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) ----- $7-1 = 6$
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) ----- $21-7 = 14$
- Grados de libertad total (GLT) ----- $21-1 = 20$

Tabla 93. Anova de la resistencia a la compresión del mortero con mármol reciclado.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	73.9440	6	12.32400	169.35	2.85
Dentro grupos	1.0188	14	0.07277		
Total	74.9628	20			

V ₂ \ V ₁	Grados de libertad del numerador (V ₁)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46
4	10.73	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98
24	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96
25	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92
27	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90
28	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88
29	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85
40	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84
60	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74
120	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65
Inf.	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55
Inf.	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46

Figura 27. Puntos porcentuales de la distribución $F_{0.05, v_1, v_2}$.

ANEXO N°4. Costo aproximado del mármol molido para 1m³.

Tabla 94. Análisis de costos del mármol (Reyna, 2018).

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
Mano de Obra					

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 m ³	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

ANEXO N°5. Ficha técnica del cemento Portland tipo I.




Descripción: El Cuz proporciones. El clinal sílice, alúmina y hien Este tipo de cemento requieran propiedad

MgO
SO ₃
Pérdida por Ignición
Residuo insoluble
Contenido de Aire
Finura, Superficie l
Expansión en autoc
Resistencia a la Co
a) Resistencia co
b) Resistencia co
c) Resistencia co
d) Resistencia co
Tiempo de Fraguad
a) Fraguado Inici
b) Fraguado Fina
Peso unitario (Neto)
Peso promedio por lot
Generado por:
Ing. Analista de Ases

(*) Requisito interno in

Arena Sílica Natural Ottawa



Ventajas y Beneficios

- Compatible con todos los químicos de fracturación hidráulica
- Alta calidad en factores Krumbeln (redondez y esfericidad) asegurando la porosidad y permeabilidad óptima del fondo del pozo y por lo tanto la conductividad.
- Excelente clasificación de resistencia a la compresión o valor K
- Cumple o excede las especificaciones ISO 13503-2 y API RC 19C para distribución de partículas, redondez y esfericidad, turbidez, solubilidad ácida y resistencia a la compresión.

Aplicaciones

- Todas las formaciones areniscas y fracturadas de esquisto que requieren apuntalantes de alta resistencia alfa-cuarzo
- Recomendada para formaciones con presión de cierre hasta de 6.000 psi.

Distribución granulométrica típica

16/30		20/40		30/50		40/70		100m	
No. Malla	Retenido	No. Malla	Retenido	No. Malla	Retenido	No. Malla	Retenido	No. Malla	Retenido
US	Individual (%)	US	Individual (%)	US	Individual (%)	US	Individual (%)	US	Individual (%)
12	0.00	16	0	20	0.01	30	0.05	50	3.64
16	3.94	20	1.43	30	0.56	40	1.54	70	13.20
18	22.97	25	6.81	35	15.42	45	15.01	80	14.85
20	36.05	30	23.72	40	33.62	50	32.80	100	22.39
25	27.54	35	42.96	45	36.87	60	36.06	120	20.89
30	8.18	40	19.40	50	9.42	70	11.10	140	12.36
40	1.32	50	5.40	70	3.89	100	3.31	200	11.80
Pan	0.00	Pan	0.28	Pan	0.21	Pan	0.13	Pan	1.07

Propiedades físicas y químicas

Especificaciones ISO 13503-2 / API RC 19C

	16/30	20/40	30/50	40/70	100m
Esfericidad (Krumbeln)	0.7 - 0.8	0.7 - 0.8	0.7-0.8	0.7-0.8	0.7 - 0.8
Redondez (Krumbeln)	0.7 - 0.8	0.7-0.8	0.7-0.8	0.6-0.7	0.7 - 0.8
Turbidez (NTU)	≤ 250	≤ 250	≤ 250	≤ 250	≤ 250
Densidad aparente (lb/ft ³)	97.4	96.2	94.9	93.0	92.4
Densidad aparente (g/cm ³)	1.56	1.54	1.52	1.49	1.48
Gravedad específica	2.65	2.65	2.65	2.64	2.64
Solubilidad ácida (%)	≤ 2%	≤ 2%	≤ 2%	≤ 2%	≤ 2%
Clasificación de resistencia al crush (K)	4	6	7	7	10

ANEXO

Díaz Gutiérrez, L

N°6.

131

Especificaciones técnicas de la arena de Ottawa.

Resistencia al crush						
Presión de cierre (psf)	Grado	Valor K	4000	5000	6000	7000
Arena blanca	16/30	4	5.30%	-	-	-
Arena blanca	20/40	6	-	1.08%	5.17%	-
Arena blanca	30/50	7	-	-	3.45%	7.45%
Arena blanca	40/70	7	-	-	2.32%	5.67%

Conductividad (mD-ft) @ 2lb/ft², 150°F						
Presión de cierre (psf)	Grado	2000	4000	6000	8000	10000
Arena blanca	16/30	7536	4180	1983	847	-
Arena blanca	20/40	3745	2757	1508	608	334
Arena blanca	30/50	1884	1371	888	465	246
Arena blanca	40/70	1002	682	509	317	169

Permeabilidad (Darcy) @ 2lb/ft², 150°F						
Presión de cierre (psf)	Grado	2000	4000	6000	8000	10000
Arena blanca	16/30	426	253	104	52	-
Arena blanca	20/40	201	152	87	41	22
Arena blanca	30/50	100	74	48	28	15
Arena blanca	40/70	62	40	31	20	11

ANEXO N°7. Certificado de ensayo DRX.



RESULTADOS

Solicitado por: Sr. Kenji Díaz

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

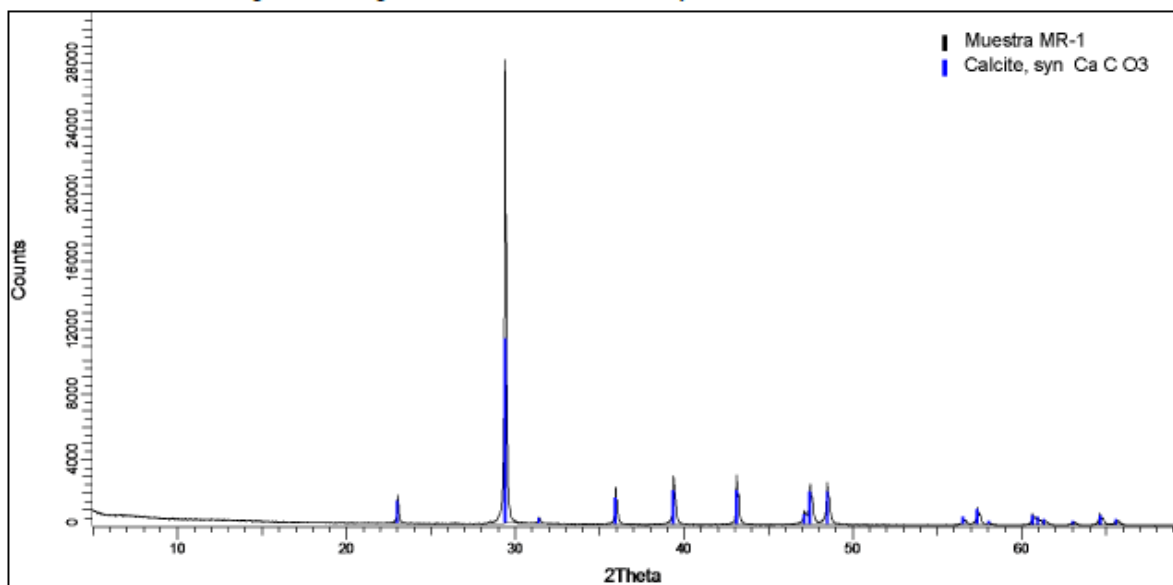
Rango de medida desde $2\theta = 5^\circ$ hasta $2\theta = 70^\circ$

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 N°8. Ficha técnica de agua destilada.

IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre del Producto: AGUA DESTILADA
 Fórmula química: H₂O

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

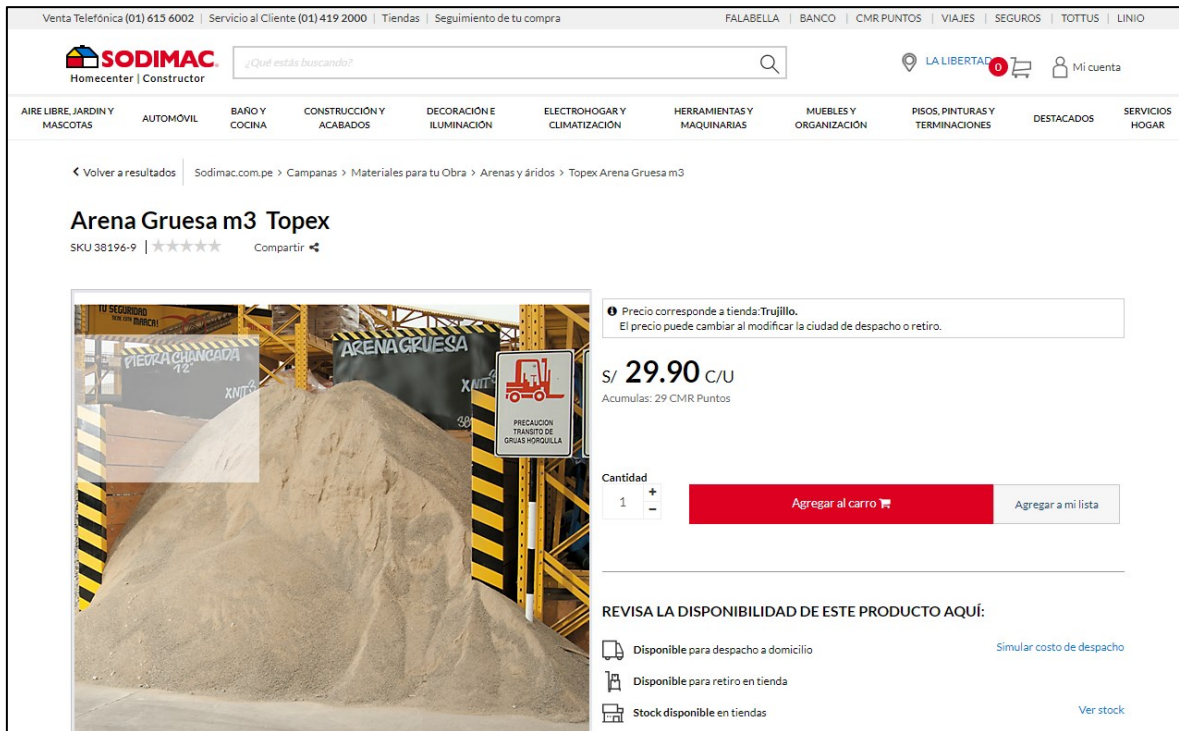
PROPIEDAD	VALOR ESPECIFICADO
pH:	5.4
Conductividad 20 °C	<10 µS/cm.
Nitratos	< 1 mg NO ₃ /l
Cloruros	2.5 mg Cl/l
Silice	1.1 mg SiO ₂ /l
Calcio	0.02 mg Ca/l
Magnesio	< 0.003 mg Mg/l
Sódio	0.22 mg Na/l
Potasio	< 0.03 mg K/l
Hierro	5 µg Fe/l
Zinc	< 0.5 µg Zn/l
Coniformes totales	0 ufc/100 ml.
Bacterias aerobias a 22°C	3 ufc/ml.
Bacterias aerobias a 37 °C	1 ufc/ml.

ANEXO N°9. Requisitos químicos para el agua (SUNASS).

Límites máximos permisibles referenciales de los parámetros de calidad del agua potable		
Parámetro	LMP ref.	Referencias
Coliformes totales, UFC/100 mL	0 (ausencia)	1
Coliformes termotolerantes, UFC/100 mL	0 (ausencia)	1
Bacterias heterotróficas, UFC/mL	500	1
pH	6,5-8,5	1
Turbiedad, UNT	5	1
Conductividad, 25 °C μ S/cm	1.500	3
Color, UCV-Pt-Co	20	2
Cloruros, mg/L	250	2
Sulfatos, mg/L	250	2
Dureza, mg/L	500	3
Nitratos, mg NO_3^- /L	50	1
Hierro, mg/L	0,3	0,3 (Fe + Mn = 0,5) 2
Manganeso, mg/L	0,2	0,2 (Fe + Mn = 0,5) 2
Aluminio, mg/L	0,2	1
Cobre, mg/L	3	2
Plomo, mg/L	0,1	2
Cadmio, mg/L	0,003	1
Arsénico, mg/L	0,1	2
Mercurio, mg/L	0,001	1
Cromo, mg/L	0,05	1
Flúor, mg/L	2	2
Selenio, mg/L	0,05	2

Fuente: SUNASS
Elaboración: SUNASS

ANEXO N°10. Arena gruesa (Sodimac).



Venta Telefónica (01) 615 6002 | Servicio al Cliente (01) 419 2000 | Tiendas | Seguimiento de tu compra

FALABELLA | BANCO | CMR PUNTOS | VIAJES | SEGUROS | TOTTUS | LINIO

SODIMAC
Homecenter | Constructor

¿Qué estás buscando?

LA LIBERTAD


Mi cuenta

AIRE LIBRE, JARDIN Y MASCOTAS | AUTOMÓVIL | BAÑO Y COCINA | CONSTRUCCIÓN Y ACABADOS | DECORACIÓN E ILUMINACIÓN | ELECTROHOGAR Y CLIMATIZACIÓN | HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS | MUEBLES Y ORGANIZACIÓN | PISOS, PINTURAS Y TERMINACIONES | DESTACADOS | SERVICIOS HOGAR

< Volver a resultados | Sodimac.com.pe > Campanas > Materiales para tu Obra > Arenas y áridos > Topex Arena Gruesa m3

Arena Gruesa m3 Topex

SKU 38196-9 | ★★★★★ | Compartir



Precio corresponde a tienda: Trujillo.
El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

S/ **29.90** C/U
Acumulas: 29 CMR Puntos

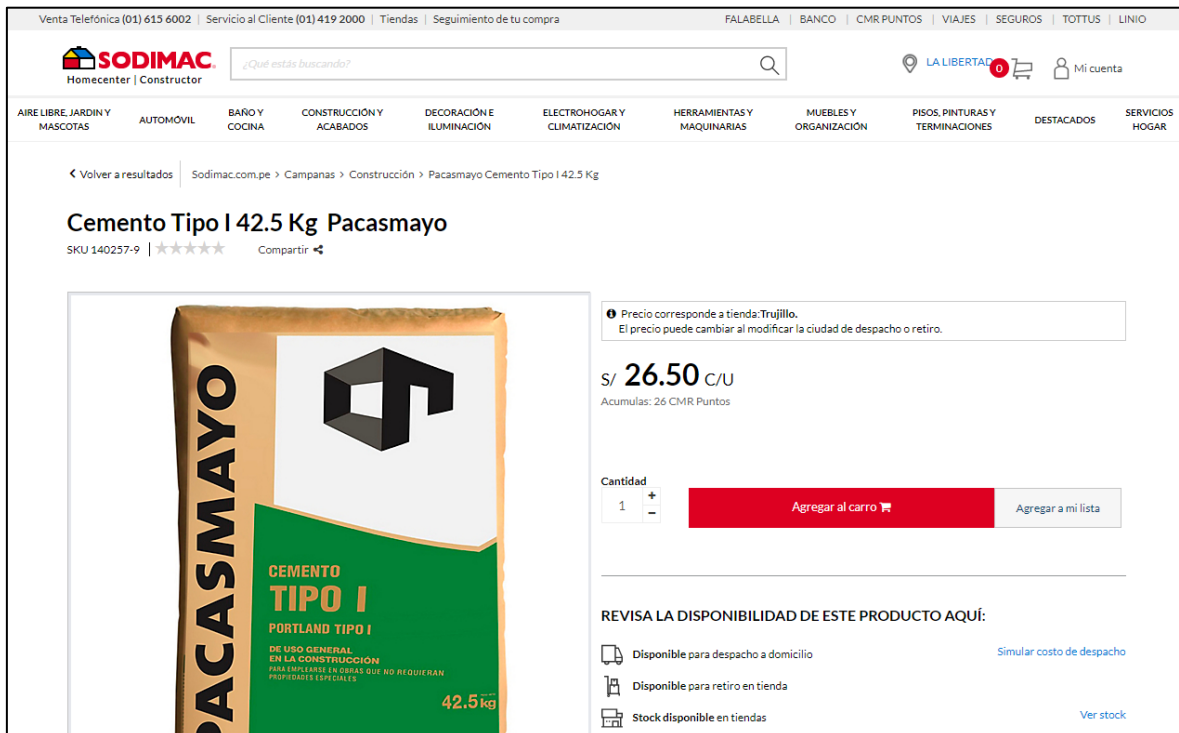
Cantidad: 1

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
- Stock disponible en tiendas [Ver stock](#)

ANEXO N°11. Cemento Portland Tipo I (Sodimac).



Venta Telefónica (01) 615 6002 | Servicio al Cliente (01) 419 2000 | Tiendas | Seguimiento de tu compra

FALABELLA | BANCO | CMR PUNTOS | VIAJES | SEGUROS | TOTTUS | LINIO

SODIMAC
Homecenter | Constructor

¿Qué estás buscando?

LA LIBERTAD


Mi cuenta

AIRE LIBRE, JARDIN Y MASCOTAS | AUTOMÓVIL | BAÑO Y COCINA | CONSTRUCCIÓN Y ACABADOS | DECORACIÓN E ILUMINACIÓN | ELECTROHOGAR Y CLIMATIZACIÓN | HERRAMIENTAS Y MAQUINARIAS | MUEBLES Y ORGANIZACIÓN | PISOS, PINTURAS Y TERMINACIONES | DESTACADOS | SERVICIOS HOGAR

< Volver a resultados | Sodimac.com.pe > Campanas > Construcción > Pacasmayo Cemento Tipo I 42.5 Kg

Cemento Tipo I 42.5 Kg Pacasmayo

SKU 140257-9 | ★★★★★ | Compartir



Precio corresponde a tienda: Trujillo.
El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

S/ **26.50** C/U
Acumulas: 26 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
- Stock disponible en tiendas [Ver stock](#)

ANEXO N°12. Panel fotográfico.



Figura 28. Trituración del mármol.
Laboratorio de concreto - UPN



Figura 29. Chancado del mármol en la máquina los Ángeles.
Laboratorio de concreto - UPN



Figura 30. Determinación de la granulometría de la arena de Ottawa y mármol.
Laboratorio de concreto – UPN



Figura 31. Determinación del contenido de humedad de la arena de Ottawa y mármol.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT

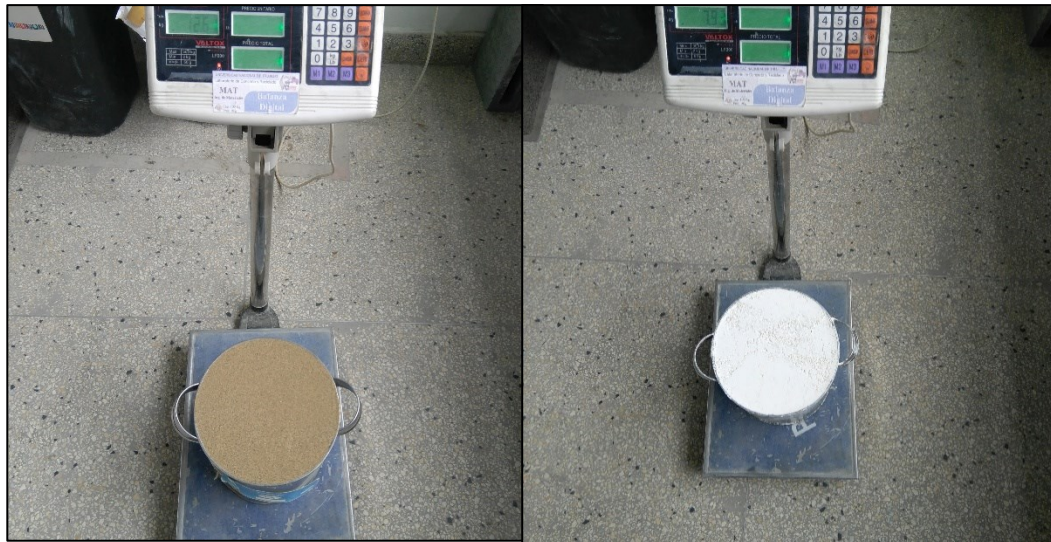


Figura 32. Determinación del peso unitario suelto y compactado de la arena de Ottawa y mármol.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT



Figura 33. Determinación del peso específico y absorción de la arena de Ottawa y mármol.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT



Figura 34. Ensayo de Conductividad de la arena de Ottawa y mármol.
Laboratorio de química – UNT



Figura 35. Conformación de probetas de mortero.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT



Figura 36. Probetas de mortero.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT



Figura 37. Ensayo de fluidez.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT



Figura 38. Moldes para el ensayo de reactividad.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT



Figura 39. Ensayo de reactividad.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT



Figura 40. Ensayo de densidad de probetas de mortero.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT




Figura 41. Ensayo de resistencia a compresión de probetas de mortero.
Laboratorio de concreto reciclado – UNT

ANEXO N°13. Guías de Observación de los ensayos.

Guía de observación para fluidez.


a. Datos generales		c. Fotografía
Nombre del investigador		
Fecha		
Ubicación del laboratorio		
Ensayo		
Espécimen		
b. Datos específicos		
Porcentaje de mármol		
Lectura 1 (mm)		
Lectura 2 (mm)		
Lectura 3 (mm)		
Lectura 4 (mm)		
Lectura promedio (mm)		
Fluidez (%)		



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


Guía de observación para reactividad.

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


 Iván E. Vázquez Alfaro
 ING. MATERIAS
 R. CIP 123509

Guía de observación para densidad.

a. Datos generales		c. Fotografía
Nombre del investigador		
Fecha		
Ubicación del laboratorio		
Ensayo		
Espécimen		
b. Datos específicos		
Porcentaje de mármol		
Peso saturado (g)		
Peso sumergido (g)		
Peso seco (g)		
Densidad (kg/m ³)		


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

Guía de observación para compresión.

a. Datos generales		c. Fotografía
Nombre del investigador		
Fecha		
Ubicación del laboratorio		
Ensayo		
Espécimen		
b. Datos específicos		
Porcentaje de mármol		
Largo (cm)		
Ancho (cm)		
Alto (cm)		
Área (cm ²)		
Fuerza (KN)		
Resistencia (Mpa)		


Iván E. Vásquez Añano
 ING. MATERIALES
 R. CIP 323509

NORMA TÉCNICA **NTP 400.012**
PERUANA **2001**

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

Lima, Perú

**AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado
fino, grueso y global**

AGGREGATES. Standard test method for sieve analysis of fine, coarse and global aggregates

2001-05-31
2ª Edición

R.0071-2001/INDECOPI-CRT. Publicada el 2001-06-17

Precio basado en 14 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptor: Agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis granulométrico

**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 136, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Peru

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 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

Descriptores: Absorción, agregado, agregado fino, peso específico

PARA USO EXCLUSIVO DE CONSTRUCTORES Y COMERCIO CANARIO, CURTISA S.A. SUCURSAL PERU

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

**NTP 339.088
2006**

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

Lima, Perú

HORMIGÓN (CONCRETO). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos

CONCRETE. Mixing water used in the production of Portland cement concrete. Requirements

**2006-02-16
2ª Edición**

R.0013-2006/INDECOPI-CRT. Publicada el 2006-03-06

Precio basado en 13 páginas

I.C.S.: 91.100.30

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Agua combinada, densidad, aditivos estabilizantes de hidratación, agua de mezcla, agua reciclada

**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**

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 334.057
2002

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

Lima, Perú

CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Portland

CEMENTS. Test method for determine the flow of Portland cement mortars

2002-11-14
1ª Edición

R.0124-2002-INDECOPI/CRT. Publicada el 2002-12-04

I.C.S.: 91.100.10

Descriptor: fluidez, cemento Portland, mortero

Precio basado en 05 páginas

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE



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 revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope^{*}

1.1 This test method 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 1989. 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 19428-2959, United States.

Copyright ASTM International
Provided by INE under license with ASTM
No reproduction or retransmission permitted without license from INE

Licensee: Purdue University 603200001
Not for Resale, 06/23/2009 12:48:51 EDT



Designation: C 642 – 06

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

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

1. Scope*

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

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

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

2. Significance and Use

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

3. Apparatus

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

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

4. Test Specimen

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

5. Procedure

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

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

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

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

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

6. Calculation

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

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

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

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

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

¹This 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.

**NORMA TÉCNICA
PERUANA**

**NTP 334.051
2013**

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI
Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145
Lima, Perú

**CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la
resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland
usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado**

**CEMENTS. Test Method for determining compressive strength of Portland Cement Mortars using 50 mm
cube specimens**

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C109/C109M-
2012 Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in (50 mm)
Cube Specimens), Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West
Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

**2013-12-26
5ª Edición**



R.0113-2013/CNB-INDECOPI. Publicada el 2014-01-16 Precio basado en 30 páginas

IC.S.91.100.10 **ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**

Descriptores: Resistencia a la compresión, mortero de Cemento Portland, resistencia del cemento,
resistencia del mortero, resistencia

© ASTM 2012 - © INDECOPI 2013

ANEXO N°15. 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°02/JUN19			
<u>CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIO</u>				
Solicitante / DNI: Luis Kenji Diaz Gutierrez/ 47056546				
Institución: Universidad Privada del Norte / Sede Trujillo				
Investigación: "Influencia del mármol reciclado sobre la fluidez, reactividad, densidad y compresión, en cementos ecológicos, Trujillo 2018"				
I. MUESTRA:				
Especímenes: Morteros con adiciones de mármol reciclado sobre el cemento, de 1 cemento: 2.75 arena de Ottawa, con una cantidad de 168 especímenes, de los cuales para el ensayo de densidad y compresión fueron de 5 cm x 5 cm x 5 cm de alto, ancho, y largo respectivamente, y para el ensayo de reactividad de 2.5 cm x 2.5 cm x 28 cm de alto, ancho, y largo respectivamente, realizados del 8 de Octubre al 21 de Diciembre del 2018.				
Muestreo: Realizado por testista.				
II. ENSAYOS A APLICAR				
<ul style="list-style-type: none"> • Ensayo de fluidez, NTP 334.057 • Ensayo de reactividad ósmo-agregado, NTP 334.110 • Ensayo de densidad en estado endurecido, NTP 339.187 • Ensayo de resistencia a la compresión, NTP 334.051 				
III. PARÁMETROS DEL EQUIPO: Se considera un error de $\pm 0.5\%$				
Compresión en estado endurecido y saturado				
Marca	Modo	Unidades	Velocidad de carga	Capacidad máxima
Ele Internacional	Modo I: Compresión	SI	0.05 KN/seg	2000 KN
Estufa de secado				
Marca	Modo	Unidades	Capacidad máxima	
General Electric	Modo I: Secado	SI	400 °C	
Balanza digital				
Marca	Modo	Unidades	Capacidad máxima	
Vahox	Modo I: Peso	SI	300 Kg	
Jefe de Laboratorio de concreto y reciclado:		Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro Trujillo, 14 de Junio del 2019		
				
		Iván E. Vásquez Alfaro ING. MATERIALES - R. CIP 123500		