

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“POLVO DE MÁRMOL Y ADITIVO SUPERPLASTIFICANTE
PARA MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS
DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE”**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL
PRESENTADA POR

Bach. HUAMAN VARA, DAVID OWEN

Bach. MAZA SUAREZ, SERGIO JUNIOR

ASESORA: Mg. Ing. CHAVARRÍA REYES, LILIANA JANET

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a nuestras familias que, con su apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logremos culminar nuestra carrera profesional, a todas las personas especiales, como amigos y compañeros que nos acompañaron en esta etapa de formación y educación, tanto a nivel profesional como personal.

David Huaman y Sergio Maza

AGRADECIMIENTO

A nuestra universidad, gracias por habernos permitido formarnos en ella, gracias a todas las personas y profesores que nos ayudaron en este proceso, ya sea de manera directa o indirecta. Gracias a todos ustedes, que fueron los responsables de realizar su pequeño aporte durante este proceso. Gracias a nuestros padres que fueron nuestros mayores promotores en este proceso, Gracias a Dios, que fue nuestro principal apoyo y motivador para cada día continuar hasta llegar a la meta.

David Huaman y Sergio Maza

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	3
1.2. Formulación del problema	4
1.2.1.Problema general.....	4
1.2.2.Problemas específicos	4
1.3. Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1.Objetivo general	4
1.3.2.Objetivos específicos.....	4
1.4. Delimitación de la investigación	5
1.4.1.Geográfica	5
1.4.2.Temporal	5
1.4.3.Temática	5
1.4.4.Muestral.....	5
1.5. Justificación del estudio.....	5
1.5.1.Conveniencia.....	5
1.5.2.Relevancia social.....	5
1.5.3 Aplicaciones practicas	6
1.5.4.Utilidad metodológica.....	6
1.5.5.Valor teórico.....	6
1.6. Importancia del estudio.....	6
1.6.1.Nuevos conocimientos	6
1.6.2.Aportes	6
1.7. Limitaciones del estudio	7
1.7.1.Falta de estudios previos de investigación	7
1.7.2.Metodológicos o prácticos	7
1.7.3.Medidas para la recolección de datos.....	7
1.7.4.Obstáculos para la investigación	7
1.8. Alcance	7
1.9. Viabilidad del estudio	7

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	8
2.1. Marco histórico	8
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema	8
2.2.1. Investigaciones internacionales	8
2.2.2. Investigaciones nacionales	10
2.2.3. Artículos relacionados con el tema	12
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio	13
2.3.1. Componentes del concreto	13
2.3.2. Concreto Autocompactante	16
2.3.3. Propiedades del concreto autocompactante en estado fresco	17
2.3.4. Propiedades del concreto autocompactante en estado endurecido	18
2.3.5. Métodos de Ensayos del Concreto Autocompactante	19
2.3.6. Aditivos superplastificantes	23
2.3.7. Polvo de mármol	26
2.3.8. Normatividad	26
2.4. Definición de términos básicos	27
2.5. Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis	28
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS	29
3.1. Hipótesis	29
3.1.1. Hipótesis General	29
3.1.2. Hipótesis Específicas	29
3.2. Variables	29
3.2.1. Variable Independiente	29
3.2.2. Variable Dependiente	29
3.3. Sistema de Variables	29
3.3.1. Definición Conceptual	29
3.3.2. Definición Operacional	30
3.3.3. Operacionalización de las Variables	31
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA	32
4.1. Método de la investigación	32
4.2. Tipo de la investigación	32
4.3. Nivel de la investigación	33

4.4. Diseño de la investigación	33
4.5. Población y muestras	34
4.5.1. Población	34
4.5.2. Muestra	34
4.5.3. Unidad de análisis	35
4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	35
4.6.1. Instrumento de recolección de datos	35
4.6.2. Métodos y técnicas	35
4.7. Descripción de procedimientos de análisis	35
CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	36
5.1 . Análisis e interpretación de resultados.	42
5.2 . Contrastación de Resultados	59
5.2.1 Contrastación de la primera hipótesis	59
5.2.2 Contrastación de la segunda hipótesis.....	61
5.2.3 Contrastación de la tercera hipótesis	63
5.2.4 Contrastación de la cuarta hipótesis	65
DISCUSIONES	67
CONCLUSIONES	69
RECOMENDACIONES	71
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	84
Anexo 1: Matriz de consistencia.....	84
Anexo 2: Matriz de referencias bibliográficas.....	86
Anexo 3: Relación entre subtemas y objetivos.....	92
Anexo 4: Componentes de mezcla de autores citados	93
Anexo 5: Resultados en estado fresco de autores citados.....	95
Anexo 6: Resultados en estado endurecido de autores citados.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de Cementos Portland.....	14
Tabla 2: Módulo de finura según el tamaño de agregados	15
Tabla 3: Características según origen de los agregados	15
Tabla 4: Métodos de ensayo del concreto autocompactante.....	20
Tabla 5: Clasificación de aditivos según ASTM	24
Tabla 6: Clasificación de aditivos según EHE.....	24
Tabla 7: Operacionalización de variables	31
Tabla 8: Rango de aceptación del Ensayo de <i>Slump flow</i> - EFNARC	36
Tabla 9: Rango de aceptación del Ensayo de <i>Slump flow</i> - GPE.....	36
Tabla 10: Rango de aceptación del Ensayo Caja en L - EFNARC.....	37
Tabla 11: Rango de aceptación de Ensayo Caja en L - GPE.....	37
Tabla 12: Componentes de la mezcla del autor Vaidevi et al. (2020)	38
Tabla 13: Componentes de la mezcla del autor Anjaneyulu et al. (2018)	38
Tabla 14: Componentes de la mezcla del autor Boukhelkhal et al. (2016)	39
Tabla 15: Componentes de la mezcla del autor Mansoor et al. (2018)	39
Tabla 16: Componentes de la mezcla del autor Rakesh et al. (2020)	40
Tabla 17: Componentes de la mezcla del autor Dina et al. (2016)	40
Tabla 18: Componentes de la mezcla del autor Kishan et al. (2021)	41
Tabla 19: Resultados del ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Vaidevi et al. (2020).....	42
Tabla 20: Resultados del ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Boukhelkhal et al. (2016)....	43
Tabla 21: Resultados del ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Mansoor et al. (2018)	44
Tabla 22: Resultados del ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Dina et al. (2016).....	45
Tabla 23: Resultados del ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Kishan et al. (2021)	46
Tabla 24: Resultados del ensayo de caja en L del autor Vaidevi et al. (2020).....	47
Tabla 25: Resultados del ensayo de caja en L del autor Anjaneyulu et al. (2018)	48
Tabla 26: Resultados del ensayo de caja en L del autor Rakesh et al. (2020).....	49
Tabla 27: Resultados del ensayo de caja en L del autor Kishan et al. (2021)	50
Tabla 28: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del autor Vaidevi et al. (2020)	51
Tabla 29: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del autor Boukhelkhal et al. (2016)	52
Tabla 30: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del autor Rakesh et al. (2020)	53

Tabla 31: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del autor Kishan et al. (2021)	54
Tabla 32: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del autor Vaidevi et al. (2020)	55
Tabla 33: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del autor Boukhelkhal et al. (2016)	56
Tabla 34: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del autor Anjaneyulu et al. (2018)	57
Tabla 35: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del autor Mansoor et al. (2018)	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ensayo de extensión de flujo.....	21
Figura 2: Ensayo caja en L	21
Figura 3: Ensayo caja en V	22
Figura 4: Ensayo Anillo en J.....	23
Figura 5: Tipos de aditivos superplastificantes y su % de reducción de agua.....	25
Figura 6: Diagrama para la afirmación de la hipótesis general.	28
Figura 7: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Vaidevi et al. (2020)	42
Figura 8: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Boukhelkhal et al. (2016)	43
Figura 9: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Mansoor et al. (2018)	44
Figura 10: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Dina et al. (2016).....	45
Figura 11: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de <i>Slump flow</i> del autor Kishan et al. (2021)	46
Figura 12: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de caja en L del autor Vaidevi et al. (2020)	47
Figura 13: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de caja en L del autor Anjaneyulu et al. (2018).....	48
Figura 14: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de caja en L del autor Rakesh et al. (2020)	49
Figura 15: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de caja en L del autor Kishan et al. (2021)	50
Figura 16: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la compresión del autor Vaidevi et al. (2020).....	51
Figura 17: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la compresión del autor Boukhelkhal et al. (2016).....	52
Figura 18: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la compresión del autor Rakesh et al. (2020).....	53
Figura 19: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la compresión del autor Kishan et al. (2021).....	54

Figura 20: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la tracción del autor Vaidevi et al. (2020).....	55
Figura 21: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la tracción del autor Boukhelkhal (2016).....	56
Figura 22: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la tracción del autor Anjaneyulu et al. (2018).....	57
Figura 23: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la tracción del autor Mansoor et al. (2018)	58
Figura 24: Resultados de <i>Slump flow</i> para óptimos porcentajes de polvo de mármol de distintos autores	60
Figura 25: Resultados de caja en L para óptimos porcentajes de polvo de mármol de distintos autores	62
Figura 26: Resultados de resistencia a la compresión para óptimos porcentajes de polvo de mármol de distintos autores	64
Figura 27: Resultados de resistencia a la tracción para óptimos porcentajes de polvo de mármol de distintos autores	66

RESUMEN

La presente tesis es “Polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante”, cuyo objetivo fue determinar el porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante que mejoran las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante. Se analizaron los distintos resultados de ensayos en estado fresco y endurecido de concretos autocompactantes provenientes de tesis y artículos nacionales e internacionales. La presente investigación fue un estudio documental, bibliográfica y descriptiva. Fue documental/bibliográfica porque se apoyó en un marco teórico-técnico a partir de artículos científicos e investigaciones. De los resultados obtenidos de la bibliografía consultada, la capacidad de relleno mejora en 2.9% para las mezclas con 15% de polvo de mármol y 1.6 % de aditivo superplastificante. Para adiciones del 20% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante, se observó que la capacidad de paso mejora en 12% respecto a las mezclas control. Del mismo modo para las propiedades mecánicas, se observó un aumento del 19% en los resultados de resistencia a la compresión para la adición del 10% de polvo de mármol y un aumento del 8% para los resultados de resistencia a la tracción para las mezclas con adición del 10% de polvo de mármol; obteniendo valores máximos de 791 kg/cm² y 70 kg/cm² respectivamente a los 28 días de curado. Finalmente, para esta investigación se concluye que la adición de polvo de mármol y aditivo superplastificante en porcentajes adecuados, mejoran las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante.

Palabras claves: Concretos autocompactantes, polvo de mármol, aditivo superplastificante, capacidad de relleno, capacidad de paso.

ABSTRACT

The present thesis is "Marble powder and superplasticizer additive to improve the physical and mechanical properties of a self-compacting concrete", whose objective was to determine the marble powder and superplasticizer additive to improve the physical and mechanical properties of a self-compacting concrete. Different results of tests in fresh and hardened state of self-compacting concretes from national and international theses and articles were analyzed. The present investigation was a documentary, bibliographic and descriptive study. It was documentary / bibliographic because it relied on a theoretical-technical framework based on scientific articles and research. From the results obtained from the consulted bibliography, the filling capacity improves by 2.9% for mixtures with 15% marble dust and 1.6% superplasticizer additive. For additions of 20% of marble dust and 1% of superplasticizer additive, it was observed that the passing capacity improves by 12% with respect to the control mixtures. Similarly, for the mechanical properties, a 19% increase in the compressive strength results was observed for the addition of 10% marble dust and an 8% increase for the tensile strength results for the mixtures. with the addition of 10% of marble dust; obtaining maximum values of 791 kg/cm² and 70 kg/cm² respectively at 28 days of curing. Finally, for this research it is concluded that the addition of marble dust and superplasticizer additive in adequate percentages improves the physical and mechanical properties of a self-compacting concrete.

Keywords: Self-compacting concrete, marble powder, superplasticizer additive, filling capacity, passing capacity.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso del concreto como material de construcción se ha vuelto indispensable, debido a sus amplias propiedades y características que permiten su utilización en todo tipo de obras civiles; sin embargo, debido a las exigencias actuales y con la finalidad de mejorar estas propiedades, el uso de adiciones y modificadores se vuelve vital para un correcto comportamiento y desempeño del concreto.

El concreto autocompactante surge como respuesta a la necesidad de obtener un concreto más fluido, trabajable y duradero que pueda ser usado en estructuras con singulares características, así como facilitar su colocación y compactación, ya que este tipo de concreto fluye por acción del peso propio y no necesita ayuda de agentes externos para su compactación.

Al incluir el polvo de mármol en un concreto autocompactante para obtener un nuevo diseño de mezcla, se busca reutilizar este material proveniente del corte y extracción del mismo, contribuyendo a una menor contaminación ambiental de la zona. Esta adición tiene como finalidad mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante, cumpliendo con criterios y valores establecidos para ser posible su aplicación en estructuras geoméricamente complejas y de alta densidad en armaduras.

En la presente tesis se busca concientizar a las grandes constructoras dando a conocer las características y beneficios de este agregado residual al incluirlas en un concreto autocompactante, de modo que al usarlas ayuden a la sostenibilidad medio ambiental. De esta forma se busca que se incluyan materiales reutilizables para que sea más frecuente su aplicación en todo tipo de obras de construcción civil.

Se tiene como objetivo determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante según la normativa de la bibliografía consultada donde analizan la influencia que tienen estas adiciones en las propiedades del concreto autocompactante, ya sean físicas como la capacidad de relleno y la capacidad de paso, o mecánicas como la resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción; a su vez estas investigaciones consideran características de las mezclas como la relación agua/cemento, los tipos de aditivos superplastificantes usados y las características de los agregados.

Esta investigación contiene 5 capítulos; el primer capítulo es donde se describe el planteamiento del problema y la formulación de estos, los objetivos trazados, la delimitación, justificación, importancia, limitaciones, alcance y viabilidad de la investigación; en el segundo capítulo se desarrolla el marco teórico de la investigación, donde presentan antecedentes nacionales e internacionales, y a su vez se plasman conceptos de distintos autores que ayudan al entendimiento del presente tema de estudio. Para poder responder a los objetivos de la investigación, en el tercer capítulo se plantea el sistema de hipótesis y la identificación de las variables de la investigación; siguiendo con el cuarto capítulo donde se indica la metodología de la investigación. En el quinto capítulo se analizan e interpretan los resultados de las bibliografías consultadas, así como la contrastación de los mismos, para posteriormente terminar con las discusiones, conclusiones y recomendación logradas en esta investigación.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

El concreto tradicional ha carecido de trabajabilidad idónea para determinados tipos de estructuras, para solucionar esto se ha tenido que variar la relación a/c trayendo aumentos de porosidad y con esto reduciendo la resistencia del concreto. Sánchez (2014)

La utilización del concreto autocompactante ha traído una solución para elaboración de un concreto duradero debido que es capaz de rellenar todos los rincones del encofrado, pues se compacta bajo su propio peso sin necesidad de herramientas externas, esta característica de su trabajabilidad permite reducir tiempo y costo de la vibración o compactación mecánica. Okamura (2003)

Los aditivos superplastificantes han abierto una serie de nuevas posibilidades para la utilización y puesta en obra del Concreto. Se consigue un incremento de la resistencia mecánica, mayor trabajabilidad, mejora del transporte, así como la posibilidad de mejorar la puesta en obra en zonas de difícil acceso, mejor recubrimiento de armaduras, etc. El empleo de aditivos superplastificantes ha permitido, por lo tanto, un cambio radical en las prácticas constructivas, de modo que en ausencia de superplastificantes ciertas construcciones altamente reforzadas no hubieran sido posibles. Además, se pueden optimizar los contenidos en cemento y agua, por lo que es posible conseguir concretos más económicos. Alonso (2011)

En el campo de la construcción las exigencias de trabajo son constantes, por lo que se busca la inclusión de nuevos agregados que hagan de la construcción una industria amigable ambientalmente, por ello se viene tomando en cuenta materiales reciclados que generen nuevas y mejores alternativas de diseño de mezcla. Valdez (2011)

La gran cantidad de residuos generados de la extracción del mármol se puede reutilizar en forma de polvo, como agregado en el concreto autocompactante, del mismo modo el uso de aditivo superplastificante como reductor de porcentaje de agua en la mezcla, mejoran la trabajabilidad del concreto, para ello la presente investigación evaluará y comparará el porcentaje óptimo de este agregado, así como del aditivo superplastificante para la fabricación de un concreto autocompactante.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera el polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante?

1.2.2. Problemas específicos

- a) ¿De qué manera el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en la capacidad de relleno de un concreto autocompactante?
- b) ¿De qué manera el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en la capacidad de paso de un concreto autocompactante?
- c) ¿De qué manera el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante?
- d) ¿De qué manera el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar el porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante según la normativa de la bibliografía consultada.

1.3.2. Objetivos específicos

- a) Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.
- b) Determinar el óptimo porcentaje del polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar la capacidad de paso de un concreto autocompactante.

- c) Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para aumentar la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.
- d) Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para aumentar la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.

1.4. Delimitación de la investigación

1.4.1. Geográfica

La investigación se desarrolla en condiciones climáticas mencionadas en las bibliografías citadas.

1.4.2. Temporal

El estudio se desarrolla durante los meses de mayo y noviembre del presente año.

1.4.3. Temática

El tema de la presente investigación se aplica para concretos autocompactantes.

1.4.4. Muestral

Esta investigación estudia diferentes resultados de mezclas de concretos autocompactantes con adiciones de polvo de mármol y aditivo superplastificante.

1.5. Justificación del estudio

1.5.1. Conveniencia

La presente investigación sirve para determinar un diseño que mejore propiedades de un concreto autocompactante, obtener mejores resultados y un mejor comportamiento estructural dentro del campo de la construcción.

1.5.2. Relevancia social

La población aledaña a las canteras de mármol es beneficiada debido a la reutilización de los residuos del mármol lo cual disminuye la contaminación ambiental de la zona y mejora el aspecto paisajístico.

Disminución de la contaminación sonora al no ser necesario el uso de vibradores o compactadores mecánicos en la colocación de concreto

1.5.3 Aplicaciones prácticas

La obtención de un diseño de mezcla que mejore propiedades como la capacidad de relleno y la capacidad de paso de un concreto autocompactante en estado fresco, así como la resistencia a la compresión y tracción del mismo concreto en estado endurecido, mediante una óptima dosificación de polvo de mármol y aditivos superplastificantes en la mezcla, que sirve para estructuras geométricamente complejas y de alta densidad en armaduras.

1.5.4. Utilidad metodológica

La presente investigación se selecciona documentos, artículos y tesis relacionadas al tema, para analizar el desarrollo experimental de dichas investigaciones, así como la comparación de estos resultados para corroborar los objetivos.

1.5.5. Valor teórico

Dar conocimiento sobre diferentes inclusiones de agregados reciclados y el desempeño que tienen en un concreto autocompactante. Los resultados obtenidos pueden ser utilizados en climas y temperaturas similares a las mencionadas en la bibliografía consultada.

1.6. Importancia del estudio

1.6.1. Nuevos conocimientos

La presente investigación tiene como finalidad dar a conocer la posibilidad de incluir un nuevo agregado reciclado como lo es el polvo de mármol, exponer la influencia que tienen sobre un concreto autocompactante y obtener un mejor criterio para su posible uso en el campo de la construcción.

1.6.2. Aportes

El aporte de la presente investigación es obtener un nuevo y óptimo diseño de mezcla de un concreto autocompactante para mejorar sus propiedades tanto físicas como mecánicas y que sea factible su uso en la construcción.

1.7. Limitaciones del estudio

1.7.1. Falta de estudios previos de investigación

Se encuentra la suficiente data de investigación nacional como internacional previa para realizar el presente estudio.

1.7.2. Metodológicos o prácticos

No se existe normatividad que regule específicamente el polvo de mármol como un agregado, así como la carencia de estandarización en los objetos de estudio de las bibliográficas consultadas.

1.7.3. Medidas para la recolección de datos

Al no poder realizar ensayos de laboratorio debido a la coyuntura actual, la toma de datos se ha visto limitada a la recopilación y comparación de resultados y conclusiones anteriores.

1.7.4. Obstáculos para la investigación

El principal obstáculo de la presente investigación, es el no poder realizar nuestros propios ensayos de laboratorio debido a la pandemia del Covid 19 que aqueja a nuestro país, por lo que esta investigación es netamente documental y bibliográfica,

1.8. Alcance

El alcance de la investigación es determinar un adecuado diseño de mezcla, incluyendo el polvo de mármol y aditivo superplastificante en un concreto autocompactante que mejore las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla.

1.9. Viabilidad del estudio

Al contar con diferentes fuentes bibliográficas, artículos científicos e investigaciones aprobadas, relacionados a nuestro tema, que han sido experimentales y que cuentan con resultados fidedignos; hacen que el presente estudio sea viable.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

El estudio sobre el concreto autocompactante se inició en Japón a finales de la década de los años ochenta, realizado por el profesor Okamura. Este estudio fue planteado como solución para aumentar la durabilidad de las estructuras de concreto. Debido a que estas deficiencias están relacionadas a la mano de obra calificada, se buscó obtener un concreto que sea capaz de fluir en el interior de los encofrados, consolidándose por la acción de su propio peso, sin la necesidad de una compactación externa o interna. Muñoz (2018)

En las últimas décadas la creciente demanda de consumo de cemento ha ido aumentando considerablemente, por lo que la idea de añadir productos o residuos industriales en una mezcla de concreto que reemplacen al cemento o agregados, ha ido tomando fuerza debido al positivo impacto ambiental que genera su reutilización. Valdez (2011)

En la actualidad se ha tenido la necesidad de realizar avances tecnológicos para el desarrollo de concretos que apoyen la sostenibilidad medioambiental. Para lograr esto se ha tenido en cuenta la posibilidad de utilizar sub productos y/o residuos industriales tales como el polvo de mármol. Muñoz (2018)

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Investigaciones internacionales

Gálvez (2015), explica las deficiencias de un concreto autocompactable y como corregir esos errores mediante la incorporación de adiciones o agregados microfinos sin modificar las características en estado fresco y endurecido, desarrolló el ensayo de flujo de revenimiento obteniendo 720mm y 0% de segregación mediante el uso de ceniza volante y caliza triturada, además estudio la dosificación de mezcla, aditivos y la granulometría del agregado fino mediante los ensayos de VSI, anillo J, embudo V y resistencia a la compresión. Concluyó que los resultados obtenidos determino que el concreto autocompactable del tipo polvo es más sensible a los cambios en la granulometría de la arena y el agua de mezcla que a las variaciones de aditivos superfluidificante.

Danish (2020), presentan los estudios sobre el uso de Metakaolin (MK) y Fly ash o cenizas volantes (FA) como sustitución de cemento (Parcial) y Residuos de polvo de mármol (WMP) como reemplazo de agregado fino (Parcial) en Concreto autocompactantes (SCC). Las muestras se probaron en estado endurecido a diferentes edades para evaluar las propiedades mecánicas del SCC. La adición de MK y FA demuestra ser beneficiosa para reduciendo la absorción de agua y la porosidad de SCC. La absorción de agua de SCC que contiene 15% MK (M5) fue 2.02% y 1.60% a 28 y 90 días respectivamente, que fue el mínimo entre todos el SCC se mezcla. Del mismo modo, una porosidad mínima de 3,45% y 2,93% se alcanzó a los 28 y 90 días respectivamente.

Soberón (2015), se centró en diseñar una mezcla de concreto autocompactante de resistencias $f'c=300 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ utilizando agregados de minas locales. Se concluye que el efecto que tuvo la adición de aditivo superplastificante en porcentajes de 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.5%, 0.6% demuestran que el concreto aumenta su resistencia respecto al concreto convencional, además se concluye que el concreto autocompactante tiene una elevación del 93% del costo con respecto al concreto convencional.

Elahi (2017), investigaron el impacto de agregar las fibras del polipropileno (PP) en el funcionamiento del concreto autocompactante (SCC) que contenía el polvo de mármol en propiedades de estado fresco y endurecido (Compresión y tracción). Realizaron pruebas de tiempo de flujo de caída (T500), diámetro de flujo de caída, embudo en V y L-box. La resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción. Los resultados indicaron que la viabilidad del SCC se deterioró con el aumento del contenido de fibra de PP y la propiedad de permeabilidad al agua de las mezclas de hormigón no se vieron influenciadas significativamente por la adición de fibras de PP.

Abad (2016), tiene por objetivo incorporar fibras plásticas, recicladas y normalizadas, a concretos autocompactantes (CAC) para evaluar y comparar sus propiedades físicas y mecánicas, en estado fresco y endurecido, enfocados a la obtención de la dosificación que de mejor comportamiento en función de las propiedades analizadas. Las propiedades mecánicas analizadas en los CAC fueron las siguientes: resistencia a compresión simple, módulo de elasticidad,

relación de Poisson, asentamiento, velocidad de propagación de onda y módulo de ruptura. De los ensayos a resistencia de compresión simple de las probetas cilíndricas, se observó un aumento de hasta un 15% con respecto al concreto base sin fibras, sin embargo, se obtuvo en un único tratamiento (2.25 kg Fibra Normalizada – 4.50 kg Fibra Reciclada) resistencia menor en 2% al concreto base.

2.2.2. Investigaciones nacionales

Bustamante (2018), analizó las propiedades mecánicas del concreto con adición del aditivo Glenium C 313 para un $f'_c=300 \text{ kg/cm}^2$, para ello elaboraron 225 especímenes de concreto, 150 cilíndricas y 75 prismáticos. Con diferentes porcentajes de aditivo en función al peso del cemento (0.5%, 1%, 1.5% y 2%), ensayados a 7, 14 y 28 días a compresión y flexión. Los resultados obtenidos indican que el mayor incremento de la resistencia a compresión fue de 17.55% en función al concreto patrón y se obtuvo con la adición de 1% de del aditivo de peso del cemento, los resultados también indican que a medida que se incrementa el porcentaje del aditivo la resistencia del concreto disminuye en 11.02% a compresión y 17.42% a flexión, respecto al concreto patrón, con la adición de 2% del aditivo de peso del cemento. El porcentaje óptimo fue de aditivo 1% en peso del cemento, el cual produce un incremento de resistencia mecánica en más de 10%.

Aquino (2021), concluyó que la resistencia de concretos autocompactante mejora significativamente utilizando agregados artificiales para $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$, $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$, $f'_c=315 \text{ kg/cm}^2$ de la región Puno. Se concluye que la incorporación de aditivo superplastificante (Sika Viscocrete 1110): En el concreto $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ mejora significativamente la resistencia a la compresión en un 13.74% utilizando una dosificación de 1% en comparación al concreto patrón, mejoró en un 24.86% utilizando una dosificación de 1.5% y finalmente un 1.43% con una dosificación de 2.5%. En el concreto $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ mejora significativamente la resistencia a la compresión en un 16.92 % utilizando una dosificación de 1% en comparación al concreto patrón, mejoró en un 32.26 % utilizando una dosificación de 1.5% y finalmente un 1.48 % con una dosificación de 2.5%. En el concreto $f'_c=315 \text{ kg/cm}^2$ mejora

significativamente la resistencia a la compresión en un 20.01 % utilizando una dosificación de 1% en comparación al concreto patrón, mejoro en un 35.24 % utilizando una dosificación de 1.5 % y finalmente un 0.28 % con una dosificación de 2.5%.

Muñoz (2018), se enfoca en el estudio del Concreto Autocompactante Fibroreforzado (CACFR). Concreto Autocompactante (CAC) que surgió como solución a problemas de mano de obra calificada, supliendo las deficiencias en la puesta de obra para mejoras en la durabilidad y calidad de las estructuras. Se comparó su comportamiento en los ensayos de estado fresco y endurecido seleccionando un CACFR óptimo en cuanto al desempeño y durabilidad del concreto con resistencias moderadas, aumentando la durabilidad de las mismas, brinde un mejor acabado.

Rabanal (2017), consideran como objetivo diseñar un concreto autocompactable para mejorar la calidad de las estructuras de concreto en grandes proyectos de edificación utilizando aditivos superplastificantes, se establecieron las relaciones de agua y cemento de baja proporción en un rango de 0.25 a 0.45, se comprobó que el concreto autocompactante varia en un 19% del concreto convencional con lo que respecta a su evaluación económica, el ensayo a resistencia a la compresión de testigos cilíndricos para una resistencia de $f'_c=500 \text{ kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días dio como resultado 719.72 kg/cm^2 , 736 kg/cm^2 , 771.57 kg/cm^2 .

Palomino (2017), para la elaboración de la tesis se planteó tres (03) diseños de mezclas de concreto autocompactante con diferentes porcentajes de aditivo superplastificante, con la finalidad de obtener el diseño que nos brinde mejor trabajabilidad en el concreto de las construcciones informales. Se realizaron los ensayos a los agregados finos y gruesos de las canteras tomadas para el estudio; las cuales no cumplieron la adecuada granulométrica entre otros. Se concluyó que con método ACI tiene la siguiente proporción 1: 2.8: 3.0/ 30.9 L. y con el método agregado global la proporción es: 1: 3.0: 1.0 / 30.4 L. podemos decir que el agregado global proporciona mayor trabajabilidad del concreto en comparación con el método de ACI.

2.2.3. Artículos relacionados con el tema

Rayed (2018), estos autores utilizan lodos residuales de polvo de mármol sobre el estado fresco y endurecido del concreto mediante diferentes muestras de pasta para mejorar la autocompactación y propiedades autonivelantes. Se realizaron la prueba de asentamiento, caja en L, embudo en V y resistencia a la compresión. Los resultados indican que el valor aumento de la resistencia a la compresión, también tuvo efectos significativos en extensión de flujo como la capacidad de paso.

Boukhelkhal (2018), los autores mencionados analizan el efecto de los residuos de polvo de mármol (WMP) como sustituto de cemento portland en la resistencia y durabilidad del hormigón autocompactante (SCC) con el fin de producir SCC con impacto ambiental reducido. Se realizó la sustitución de cemento portland por polvo de mármol en 5 diseños de mezclas con niveles de sustitución de 5, 10, 15, 20%. A partir de la sustitución de residuos de polvo de mármol estos resultados muestran una reducción en la resistencia a la compresión con el aumento del contenido de WMP (Residuos de polvo de mármol).

Dina (2016), investigan la posibilidad de utilizar diversos tipos de polvos de desecho, generados a partir de la industria del mármol y el granito, como aditivos minerales en el hormigón autocompactante (SCC). Para ello, se utilizaron tres tipos de polvos de desecho; polvo de mármol, polvo de granito y polvo mixto. Se realizaron pruebas de asentamiento, embudo en V y anillo en J para evaluar las propiedades de autocompactabilidad del concreto fresco, mientras que se realizaron pruebas de compresión, tracción por división, flexión, absorción de agua y ataque de sulfato. El SCC que incorpora polvo mixto mostró un desempeño superior seguido por las mezclas de polvo de granito, mientras que el polvo de mármol tiene un efecto marginal en el desempeño del concreto endurecido. Recomiendan que para mejorar las propiedades reológicas en estado fresco y endurecido del polvo de mármol se debería usar el humo de sílice.

Vaidevi (2020), evalúan los diferentes métodos de ensayo del hormigón fresco para comprobar la fluidez, la resistencia a la segregación y la capacidad de paso

del hormigón autocompactante para un grado de hormigón M60. Se realizaron ensayos del hormigón fresco para comprobar la fluidez, la resistencia a la segregación y la capacidad de paso, como el flujo de asentamiento, túnel en V, caja en L y caja en U para examinar el rendimiento del hormigón autocompactante (HAC), resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción y la flexión. Los autores concluyen que la mezcla SCCMP con 10% de polvo de mármol, obtiene buenos resultados entre todas las pruebas. El máximo de curado con hasta un 10% de sustitución del cemento por polvo de mármol puede realizarse en la práctica que satisface todos los criterios como la trabajabilidad, la fuerza, la durabilidad y la resistencia al ataque químico.

Anjaneyulu (2018), estudian las propiedades del concreto autocompactante (SCC) con polvo de mármol y polvo de granito. El asentamiento prueba de flujo de asentamiento, la prueba de caja L se reunieron para certificar la capacidad de autocompactación del hormigón. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, a la tracción y a la flexión. El uso de materiales puzolánicas en forma de granito polvo de granito (GP) y polvo de mármol (MP) como sustituto de la sustitución parcial del cemento en peso con combinaciones de igual proporción en diferentes niveles 0%, (En el que 0%GP & 0%MP), 10% (En el que 5%GP & 5%MP) y 20% (En el que 10%GP Y 10%MP). Concluyeron en que el valor del asentamiento del hormigón sustituido con 0%, 10% y 20% se incrementa en 660, 665 y 672 respectivamente. El valor de la caja L del hormigón sustituido al 0%, 10% y 20% disminuye en 0,83, 0,85 y 0,86 respectivamente.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Componentes del concreto

Se conoce al concreto como un “material estructural que se forma por medio de la mezcla homogénea de los agregados inertes finos o arena, agregados gruesos o grava, un ligante que es el cemento y agua, con o sin aditivos”. Segura (2011)

a) Cemento

“Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman

una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables”. Rivva (2014)

“Para un concreto autocompactante se puede utilizar cualquier tipo de cemento. Dependerá del uso, la disponibilidad en el mercado, su finura a emplearse, y la calidad del concreto que se desee, entiéndase esto último como durabilidad, resistencia, etc.”. Álvarez (2014)

Pero así mismo deberá cumplir con la NTP 334.009 o la Norma ASTM C150. Los cementos más empleados es el portland según la Norma ASTM C150 se indican en la tabla 1.

Tabla 1: Tipos de Cementos Portland.

Tipo	Características
Tipo I	Es el más común ya que no requiere características especiales.
Tipo II	Es resistente a sulfatos y moderado calor de hidratación, uso en estructuras en ambientes agresivos.
Tipo III	Desarrollo rápido y elevado calor de hidratación, uso en climas fríos.
Tipo IV	Es de bajo calor de hidratación, uso en concretos masivos.
Tipo V	Uso en ambientes agresivos por su resistencia a sulfatos.

Fuente: ASTM (2007)

b) Agregado Fino y Grueso

Una de las características del concreto autocompactante es que, por lo general, el contenido de agregado grueso es menor o similar que el del agregado fino. Siendo la relación árido fino/totalidad de áridos, de gran importancia en el hormigón autocompactante ya que sus propiedades reológicas mejoran al incrementarse esa relación. Por otro lado, si el contenido de árido grueso en el hormigón autocompactante excede de cierto límite, la mezcla se bloqueará independientemente de la viscosidad de ella. Okamura (2003)

Agregado Fino: Es llamado agregado fino a la arena o piedra finamente triturada que pasan por el tamiz 3/8” (9.51mm) y es retenido en el N°200 (0.074mm) más la bandeja de fondo; especificaciones normalizadas para

agregados en hormigón NTP 400.037. Las arenas provienen de la desintegración natural de las rocas; y que por agentes naturales como corrientes aéreas se acumulan en lugares determinados. Rodríguez (2019) En las tablas 2 y 3 se muestran el módulo de finura de los agregados y sus características según su origen respectivamente.

Tabla 2: Módulo de finura según el tamaño de agregados

Tamaño	Módulo de Finura
Arena Gruesa	2.3-3.1
Arena Media	1.5-2.3
Arena Fina	menor de 1.5

Fuentes: Rodríguez (2019)

Tabla 3: Características según origen de los agregados

Origen	Características
Arena Gruesa	limpias, uniformes y redondas
Arena Media	comúnmente heterogéneas
Arena Fina	presencia de cloruro

Fuentes: Rodríguez (2019)

Agregado Grueso, se define agregado grueso al material que es retenido en el tamiz normalizado N°4 (4.75mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca; especificaciones normalizadas para agregados en hormigón NTP 400.037. El agregado grueso puede estar formado por grava natural o triturada (Piedra chancada). Sus particulares serán limpias, de perfil preferentemente angular o semi angular, duras, compactas, resistentes y de textura rugosa; deberá estar libre de partículas escamosas, materia orgánica u otras sustancias dañinas. Rodríguez (2019)

Granulometría de los Agregados, el MTC (2016) afirma que: El análisis granulométrico es la representación numérica por tamaños de partículas, para ello se hace uso de una serie de mallas de la serie de Tyler para pesar el material retenido con respecto del peso total. La granulometría se aplica con la finalidad de determinar la gradación de material propuesto para usos como agregados o los que están siendo usados como tales. Los resultados

serán usados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de partículas con el requisito exigidos por la NTP 400.012.

Módulo de Finura de los Agregados, es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es fino, cuando es alto es grueso. El módulo de fineza no distingue las granulometrías, pero en caso de que estén dentro de los porcentajes especificados en las normas granulométricas, sirven para controlar la uniformidad. Rodríguez (2019)

Según la norma ASTM C136 la arena debe de estar en un módulo de fineza no menor de 2.3 ni mayor que 3.1. Las arenas que están comprendidas entre 2.2 y 2.8 producen concreto de buena trabajabilidad y bajo nivel de segregación; pero las que se encuentran entre 2.8 y 3.1 son las más favorables para los concretos de alta resistencia. NTP 400.012 / ASTM C136 (2001)

c) Agua

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá ser, de preferencia, potable. Según la norma E.060 se utilizará aguas no potables sólo si: a). Están limpias y libres de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser dañinas al concreto, acero de refuerzo o elementos embebidos. b). La selección de las proporciones de la mezcla de concreto se basa en ensayos en los que se ha utilizado agua de la fuente elegida. Norma Concreto Armado. E.060 (2016)

2.3.2 Concreto Autocompactante

El concreto autocompactante (CAC) es un concreto capaz de compactarse por acción de la gravedad que llena los encofrados y discurre entre las armaduras sin necesidad de aplicar medios de compactación internos o externos y manteniéndose, durante su puesta en obra, homogéneo y estable sin presentar segregaciones (Exudación o sangrado de la lechada ni bloqueo del árido grueso). La consistencia del concreto autocompactante presenta cierta viscosidad que le caracteriza y, a la vez, la diferencia de los hormigones convencionales de consistencia fluida. Burón (2006)

Como consecuencia del párrafo anterior, podemos definir la autocompactabilidad como la propiedad que presentan algunos concretos de consistencia fluida y viscosa de compactarse sin necesidad de aportación de energía (Vibración), rellenando los encofrados y discurriendo entre las armaduras sin que se produzca sangrado de la lechada ni bloqueo del árido grueso. Burón (2006)

2.3.3 Propiedades del concreto autocompactante en estado fresco

Las principales propiedades de un concreto autocompactable, son su deformabilidad, fluidez, viscosidad y cohesión. Estas propiedades equilibradas óptimamente conllevan a un correcto comportamiento de un concreto autocompactante.

“La fluidez alta proporciona la facilidad de colocación del concreto en el encofrado y el relleno del mismo, y la viscosidad y cohesión moderadas evitan la segregación de sus componentes garantizando una deformabilidad uniforme en el proceso de colocación. En este sentido, la facilidad para el relleno y el paso entre las armaduras son parámetros esenciales en la definición de las prestaciones de este tipo de concreto”. Bustamante (2018)

El CAC cuenta con las siguientes características:

a) Capacidad de relleno

Es la “capacidad para rellenar completamente todas las zonas del encofrado, así como recubrir y fluir a través de las armaduras, sin formación de vacíos (Perfecta compactación) y sin la necesidad de vibrado ni otros métodos de compactación externos”. Directrices Europeas para Hormigón Autocompactante (2006)

b) Viscosidad

“Se evalúa a partir del ensayo T500 (ASTM C 1611), además se estima por medio del tiempo de flujo del embudo en V. Un concreto de viscosidad tendrá más tiempo de flujo respecto a un con una viscosidad baja”. Directrices Europeas para Hormigón Autocompactante (2006)

c) Capacidad de paso

Es la capacidad que tiene el concreto de poder fluir a través de la armadura, evitando que se produzcan obstrucciones entre los agregados y el acero. Se evalúa a partir del ensayo de la caja en L para determinar la relación de altura y el ensayo de anillo J para determinar el escurrimiento.

d) Resistencia a la segregación

Es la capacidad de oponerse a la separación de componentes de la mezcla y perder homogeneidad. Debido a la alta fluidez de un concreto autocompactante, está más propenso a la segregación.

Para que la mezcla de concreto sea considerada autocompactable, debe tener la característica de fluir fácilmente y así llenar completamente los espacios dentro de las formas reforzadas por efecto de su propio peso, la mezcla deberá también tener una buena estabilidad para resistir la segregación. Molina (2014)

2.3.4 Propiedades del concreto autocompactante en estado endurecido

a) Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la medida más usada para evaluar el correcto diseño de la mezcla para diferentes estructura u obra civil, se calcula a partir de la carga de rotura dividida entre el área de sección resistente.

La resistencia en compresión de un concreto es la máxima carga para una unidad de área por una muestra, antes de fallar por compresión (Agrietamiento, rotura). Abanto (2005)

La resistencia a compresión de los especímenes se rige a la norma NTP 339.034 y ASTM C 39.

“El hormigón autocompactante con una relación agua / cemento similar a la de un hormigón vibrado convencional tiene normalmente un valor de resistencia a la compresión ligeramente superior, debido a que la falta de vibrado da una mayor interfase entre el árido y la pasta endurecida. El desarrollo de las resistencias es similar, por lo que un ensayo de evolución de resistencias será una forma efectiva de controlar este parámetro,

independientemente de que se usen sistemas de curado acelerado”.
Directrices Europeas para Hormigón Autocompactante (2006)

“Algunas de las propiedades del hormigón están relacionadas con la resistencia a la compresión del hormigón, que es la única propiedad estructural que se especifica y se ensaya de forma sistemática”. Directrices Europeas para Hormigón Autocompactante (2006)

b) Resistencia a la tracción

Debido a la homogeneidad, mayor densidad de la microestructura y menor porosidad en la zona de interfase entre agregado y pasta de un CAC, los valores de resistencia a la tracción también son mayores con respecto a los de un concreto convencional. Coppola (2000)

“El hormigón autocompactante debe ser suministrado con una resistencia a la compresión especificada. Para una clase y un curado del hormigón dados, puede asumirse con seguridad una resistencia a tracción con el mismo valor que la de un hormigón convencional, puesto que el volumen de la pasta (Cemento + finos + agua) no tienen un efecto significativo en el valor de la resistencia de tracción”. Directrices Europeas para Hormigón Autocompactante (2006)

c) Resistencia a la flexión

Esta medida es importante para la construcción de losas, vigas y carreteras de concreto. Se mide mediante la aplicación de cargas y se expresa como el módulo de rotura. La resistencia a la flexión es determinada mediante los métodos de ensayo NTP 339.079 y ASTM C78.

2.3.5 Métodos de Ensayos del Concreto Autocompactante

Hoy en día existen muchos métodos para medir y clasificar el concreto autocompactante, se recomienda realizar los ensayos mostrados en la tabla 4 para obtener un mejor resultado y tener una idea más clara de las propiedades del concreto autocompactante.

Tabla 4: Métodos de ensayo del concreto autocompactante.

Propiedades	Método de Ensayo	Valor medido
Capacidad de llenado	Ensayo de extensión de flujo	Extensión de flujo
	Índice visual de estabilidad	Visual
Viscosidad	T500	Tiempo de flujo
	Ensayo del embudo V	Tiempo de flujo
Capacidad de paso	Caja en L	Relación de paso
	Ensayo anillo J	Altura de paso
	Penetración	Profundidad
Resistencia a la segregación	Segregación por tamiz GTM	Porcentaje de segregación

Fuente: Rodríguez (2019)

a) Ensayo de Extensión de Flujo

El ensayo de extensión de flujo o escurrimiento en inglés *Slump flow* determina la fluidez o trabajabilidad mediante la prueba de flujo de asentamiento, para determinar las características de flujo libre del concreto autocompactante. Molina (2014)

Para realizar este ensayo, se pone el cono con la base coincidiendo con el círculo de 200 mm de la bandeja y mantiene en esta posición usando las piezas de la base (Usando el anillo pesado), asegurando que el hormigón no sale por debajo del cono. Llena el cono sin compactación alguna, y sacar el sobrante de la parte superior del cono. No dejar el cono lleno más de 30 s; durante este tiempo sacar el hormigón derramado, si lo hubiera, asegurarse de que está completamente húmeda, pero sin sobranes de agua.

Eleva verticalmente el cono de forma continua, sin interferir en el flujo del hormigón. Sin tocar la bandeja o el hormigón, medir el diámetro máximo de la extensión del flujo y registrar como dm con una precisión de 10 mm. Entonces mide el diámetro perpendicular al dm con una precisión de 10 mm como se muestra en la figura 1 y registrar como Dr. Comprueba si hay segregación en el borde perimetral del hormigón.

La pasta de cemento / mortero puede segregarse de los áridos gruesos, si se hace un anillo de pasta / mortero extendido unos milímetros más allá de los

áridos gruesos. Los áridos gruesos segregados se observarán en la zona central.

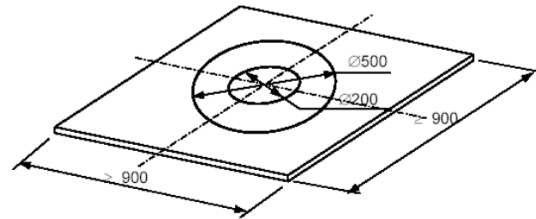


Figura 1: Ensayo de extensión de flujo.

Fuente: Directrices Europeas para Hormigón Autocompactante (2006)

b) Ensayo Caja en L

La prueba evalúa el flujo confinado de concreto autocompactante y la medida en que este sujeta a bloqueo, siendo la relación de altura mínima de 0.8, cuanto más se acerca a 1, el flujo de la mezcla de concreto autocompactante será mejor. Molina (2014)

Se precisan 14 litros de hormigón para realizar el ensayo y se coloque el aparato sobre terreno firme y uniforme, también se humedece las superficies interiores del aparato y elimina el agua sobrante. Se llena la sección vertical del aparato con la muestra de hormigón. Se deja reposar durante 1 minuto y se eleva la compuerta deslizante y que fluye el hormigón hacia la sección horizontal. De manera simultánea, se activa el cronómetro y se registra los tiempos que requiere el hormigón para alcanzar las marcas de 200 y de 400 mm como se indica en la figura 2. Cuando el hormigón deja de fluir, se mide las distancias “H1” y “H2”. Calcule $H2/H1$, la relación de bloqueo. Todo el ensayo ha de realizarse en menos de 5 minutos. EFNARC (2002)

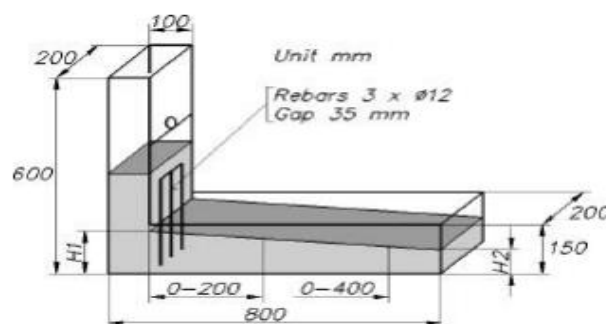


Figura 2: Ensayo caja en L

Fuente: EFNARC (2002)

c) Ensayo Embudo en V

El ensayo de embudo en v consiste en llenar el embudo con la muestra de concreto autocompactable sin compactar. Luego, se abre la compuerta y se comienza a tomar el tiempo que tarda en fluir. Se evalúa la habilidad de fluir del concreto, observando si existe segregación y bloqueo, mediante observación. Molina (2014)

Se limpia el embudo y la compuerta inferior, humedece toda la superficie interior incluyendo la compuerta. Se cierra la compuerta y se pone la muestra de hormigón en el embudo, sin compactación alguna, después enrasa la parte superior con la barra metálica, iguala la superficie del hormigón a la parte superior del embudo, ver figura 3. Se pone el recipiente debajo del embudo y se recoge el hormigón en su caída. Pasados 10 ± 2 s del llenado del embudo, se abre la compuerta y toman el tiempo t_v con una resolución de 0,1 s, desde el inicio de la apertura de la compuerta y hasta ver por primera vez verticalmente a través del embudo el interior del recipiente c. El tiempo de flujo del ensayo del embudo en V es t_v .

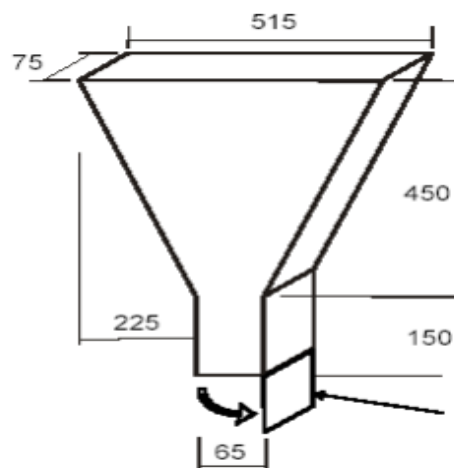


Figura 3: Ensayo caja en V

Fuente: Directrices Europeas para Hormigón Autocompactante (2006)

d) Ensayo Anillo J

El ensayo Anillo J o también conocido como anillo japonés, determina la habilidad de paso a través de la evaluación de la resistencia, esto debido cuando presenta refuerzos de acero, debe permanecer cohesiva y no deben

separarse los agregados del concreto fresco, es una característica cuando se usa armaduras altamente congestionadas. Molina (2014)

Se observa en la siguiente figura 4 el equipo del ensayo anillo en j y su correcta colocación para la ejecución de ensayo.



Figura 4: Ensayo Anillo en J

Fuente: Molina (2014)

2.3.6 Aditivos superplastificantes

Según el ACI 1R, los aditivos son materiales distintos del agua, agregados, cemento hidráulico, y adiciones que se utilizan como ingrediente del concreto y se añade a las mezclas inmediatamente antes o durante el mezclado, con el objeto de modificar sus propiedades, para que se adecuen mejor a las condiciones de trabajo, haciendo posible un adecuado transporte, comportamiento durante y después de colocado o para reducir los costos de producción. (ACI).

Según la Norma ITINTEC 339.086, sustancias añadidas a los componentes fundamentales del concreto, con el propósito de modificar algunas de sus propiedades.

Según la tabla 5, la norma NTP 334.088 Y ASTM C 494 reconoce a siete tipos de aditivos:

Tabla 5: Clasificación de aditivos según ASTM

Tipo de aditivos	Nombre de aditivo
A	Aditivos reductores de agua.
B	Aditivos retardadores de fragua.
C	Aditivos aceleradores de fraguado.
D	Aditivos reductores de agua y retardador.
E	Aditivos reductores de agua y acelerador.
F	Aditivos reductores de agua de alto rango.
G	Aditivos reductores de agua de alto rango y retardador.
S	Aditivos de comportamiento específico.

Fuente: ASTM C494 (2019)

Según la norma ASTM C 1017 reconoce:

- Tipo I: Superplastificante
- Tipo II: Superplastificante y Retardante

En la tabla 6, según la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) nos presenta la siguiente clasificación:

Tabla 6: Clasificación de aditivos según EHE

Tipo de aditivo	Función principal
Reductores de agua / Plastificantes	Disminuir el contenido de agua de un hormigón para una misma trabajabilidad o aumentar la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua.
La Reductores de agua de alta actividad / Superplastificante	Disminuir significativamente el contenido de agua de un hormigón sin modificar la trabajabilidad o aumentar significativamente la trabajabilidad sin modificar el contenido de agua
Modificadores de fraguado /Aceleradores, retardadores	Modificar el tiempo de fraguado de un hormigón.
Inclusores de agua	Producir en el hormigón un volumen controlado de finas burbujas de aire, uniformemente repartidas, para mejorar su comportamiento frente a las heladas.
Multifuncionales	Modificar más de una de las funciones principales definidas con anterioridad.

Fuente: EHE (2008)

Si bien se conoce la amplia gama y variedad de aditivos plastificantes y superplastificantes, la Norma Europea EN 934.2 los clasifica en función de la reducción de agua.

- Plastificantes / reductores de agua (Reducción de agua entre 5% - 12%), cuyo origen está dado por los lignosulfonatos modificados (LS) y ácidos hidrocarboxilicos (CH).
- Superplastificantes / reductores de agua de alta actividad (Reducción de agua mayor a 12%), cuyo origen está dado por sales de condensado de naftaleno sulfonado y formaldehído (SNF), sales de condensado de melamina sulfonada y formaldehído (SMF) y polímeros de síntesis vinílicos y/o poliésteres de policarboxilatos (PCE).

En la figura 5 se muestran los tipos de superplastificantes y el porcentaje de reducción de agua que puede llegar a alcanzar.

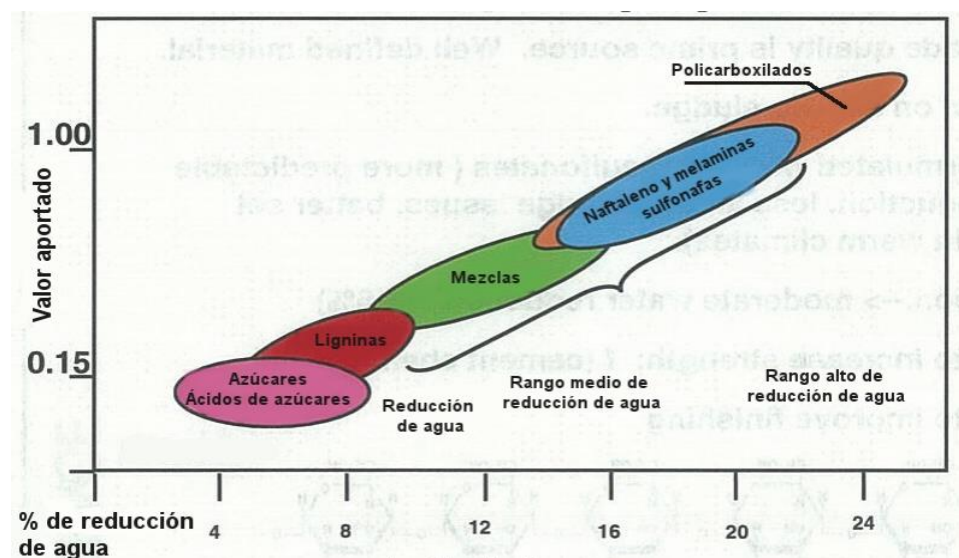


Figura 5: Tipos de aditivos superplastificantes y su % de reducción de agua
Fuente: ANFAH (2016)

Los superplastificantes o reductores de alta actividad son aditivos que tienen el fin de reducir el agua obteniendo una elevada trabajabilidad con baja relación agua/cemento. En un concreto autocompactante es necesario el uso de este tipo de aditivos ya que reducen el agua hasta en un 40%. “Los superplastificantes tipo policarboxilatos permiten conseguir una adecuada trabajabilidad y fluidez en el hormigón a pesar del alto contenido de finos

que poseen estos concretos, haciendo que la mezcla tenga una mayor viscosidad y requiera de un menor contenido de agua “. Sánchez (2014)

2.3.7 Polvo de mármol

El mármol es una roca caliza compacta y metamórfica que alcanza un mayor nivel de endurecimiento cuando son sometidas a altas temperaturas y presiones. Está compuesto principalmente de calcita (CaCO_3), siendo su volumen equivalente a un 90%. Los otros materiales (Arcilla, cuarzo, mica, pirita, óxido de hierro, etc.), que se consideran impurezas, le dan al mármol una gran diferencia de colores y que determinan las propiedades mecánicas. Betancourt (2015)

El mármol se encuentra en una condición más o menos cristalina o granular, es un material muy usado en esculturas para fines ornamentales y decorativos. Durante el corte, el moldeado y el pulido, los residuos representan aproximadamente el 25% del mármol tratado. Ulubeyli (2016)

El polvo de mármol es obtenido del corte y tratamiento de placas del mismo, el proceso de producción es simple, el corte principal se realiza para dividir el bloque en láminas que permiten un mejor manejo, para crear cortes adicionales cuando sea necesario se emplean sierras manuales. Posteriormente, se realiza los pulidos y acabados. Se calcula que, por cada metro cúbico producido, se genera hasta un 30% de residuos en comparación con el obtenido del banco. Betancourt (2015)

2.3.8 Normatividad

a) Normas Concreto Armado. E.060

- Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. NTP 339.034 / ASTM C39 (2008)
- Cementos. Aditivos químicos en pastas, morteros y hormigón (Concreto). Especificaciones contenido: métodos de ensayo. NTP 334.088 (2006)
- Agregados. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (Concretos). NTP 400.011 (2008)

- Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. NTP 400.012 / ASTM C136 (2001)
- Agregados. NTP 400.019 (2002)

b) American Society for Testing and Materials (ASTM)

- Método de prueba estándar para el flujo de asentamiento de concreto autocompactante. ASTM C1611 / C1611M (2018)
- Especificación normalizada para aditivos químicos para uso en la producción de concreto fluido. ASTM C1017 / C1017M (2007)
- Especificación de estándar para cemento Portland. ASTM C150 / C150M (2019)
- Mesa de flujo para uso en ensayos de cemento hidráulico. ASTM C230 / C230M (2013)

2.4 Definición de términos básicos

- Agregado del concreto: Los agregados son el conjunto de partículas inorgánicas, de origen natural y artificial y cuyas dimensiones están comprendidas en los límites fijados por la norma. NTP 400.011 (2008)
- Relación agua-cemento(a/c): Es el cociente entre las cantidades de agua y de cemento respectivamente que se usan en el diseño de mezcla de concreto fresco.
- Polvo de mármol: Es un residuo industrial proveniente del corte y tratamiento superficial del mismo; se utiliza como adición y reemplazo parcial de agregado en la mezcla lo cual modifica las propiedades del concreto; tanto en su estado fresco como endurecido.
- Aditivos Superplastificantes: El aditivo superplastificante proporciona al concreto excelentes cualidades de trabajabilidad con menos cantidad de agua, haciendo que concreto obtenga mejores características. ICH (2013)
- Concreto autocompactante: “Es aquel concreto que tiene la propiedad de consolidarse bajo su propio peso sin necesidad de vibrado, aún en elementos estrechos y densamente armados”. Chután (2004)
- Capacidad de relleno de un concreto autocompactante: Es la capacidad de rellenar los espacios de un encofrado solamente por la acción de su propio peso, sin la necesidad de compactación por vibrado. Bustamante (2018)

- Capacidad de paso de un concreto autocompactante: Es la capacidad de fluir a través de las barras del refuerzo del elemento estructural sin que se presente ningún tipo de bloqueo entre agregado –agregado y agregado – refuerzo. Bustamante (2018)
- Resistencia a la compresión del concreto: Resistencia máxima que una probeta de concreto o mortero puede resistir cuando es cargada axialmente en compresión en una máquina de ensayo a una velocidad especificada. NTP 339.034 (2008)
- Resistencia a la tracción del concreto: Es el esfuerzo a que está sometido un elemento estructural por aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo o deformarlo.
- Trabajabilidad del concreto: Es la propiedad del concreto o mortero, que define sus características de trabajo, es decir, la facilidad para su mezclado, colocación, moldeo y acabado. NTP 339.047 (2006)
- Durabilidad del concreto: Es la capacidad de resistir la acción del medio ambiente circundante, el ataque químico o cualquier otro proceso de deterioro; sin alterar sus propiedades iniciales. ACI 318 (2019)
- Consistencia del concreto: se refiere a la movilidad relativa de un de cemento o mortero recién mezclado o bien a su capacidad de fluir. ASTM C230 (2013)

2.5 Fundamentos teóricos que sustentan las hipótesis

Para sustentar la hipótesis esta investigación se basa en resultados obtenidos de la bibliografía consultada, partiendo desde los componentes de mezcla que fueron utilizados para cada ensayo, hasta la contrastación de resultados como se indica en la figura 6.

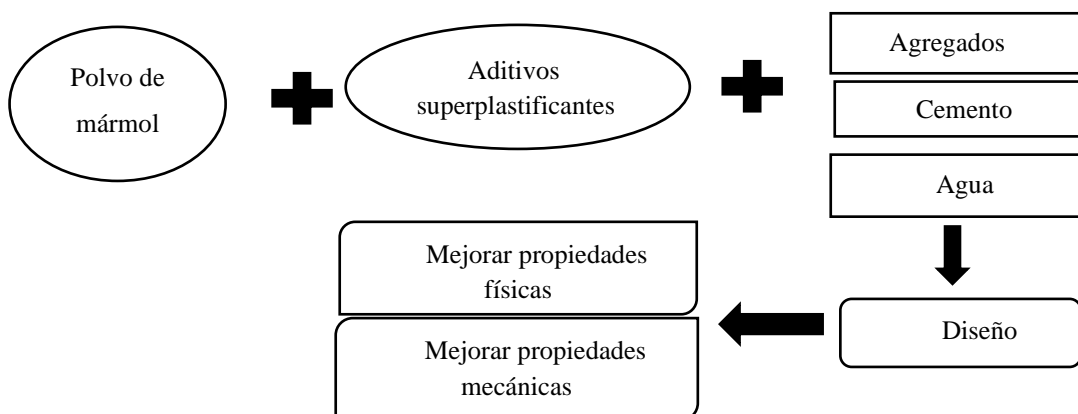


Figura 6: Diagrama para la afirmación de la hipótesis general.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

3.1 Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

Al determinar el porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante se mejoran las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante.

3.1.2. Hipótesis Específicas

- a) Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante se mejora la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.
- b) Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de mármol y aditivo superplastificante se mejora la capacidad de paso de un concreto autocompactante.
- c) Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.
- d) Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.

3.2. Variables

3.2.1. Variable Independiente

Porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante

3.2.2. Variable Dependiente

Propiedades físicas y mecánicas

3.3. Sistema de Variables

3.3.1. Definición Conceptual

El polvo de mármol y los aditivos superplastificantes son residuos industriales y compuestos químicos, respectivamente, que se agregan a la mezcla de concreto para modificar sus propiedades físicas y mecánicas, permitiendo un mejor comportamiento del mismo.

3.3.2. Definición Operacional

El polvo de mármol es un residuo industrial proveniente del corte y tratamiento superficial del mismo; sirve como reemplazo del cemento lo cual modifica las propiedades del concreto; tanto en su estado fresco como endurecido.

Los aditivos superplastificantes son químicos que se agregan a la mezcla de concreto y permiten reducir la cantidad de agua de la misma, optimizando el contenido de cemento, sin afectar la resistencia de la mezcla.

3.3.3. Operacionalización de las Variables

En la presentación de la tabla 7, se define dimensiones, indicadores e índices para realizar la recolección de la información para medir las variables en estudio.

Tabla 7: Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Parámetros	Instrumentos
Porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante	El polvo de mármol y los aditivos superplastificantes son residuos industriales y compuestos químicos, respectivamente, que se agregan a la mezcla de concreto para modificar sus propiedades físicas y mecánicas, permitiendo un mejor comportamiento del mismo.	El polvo de mármol es un residuo industrial proveniente del corte y tratamiento superficial del mismo; sirve como reemplazo del cemento lo cual modifica las propiedades del concreto; tanto en su estado fresco como endurecido. Betancourt (2015) Los aditivos superplastificantes son químicos que se agregan a la mezcla de concreto que, sin modificar la consistencia, permite reducir fuertemente el contenido en agua; mejorando sus propiedades. ANFAH (2016)	Dosificación de la mezcla	Óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante	Diseños de mezcla	%	Normas nacionales e internacionales, tesis de grado, artículos, investigaciones, entre otros.
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Índices	Parámetros	Instrumentos
Propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante	Estas propiedades están determinadas fundamentalmente por las características y dosificación de los elementos que conforman el concreto, la variación de cantidad y calidad de estos elementos influyen directamente en el comportamiento físico y mecánico de un concreto autocompactante	El concreto autocompactante es aquel concreto que por la acción de su propio peso y sin necesidad de compactación externa o vibración, es capaz de fluir y rellenar perfectamente el encofrado aun en el caso de altas densidades de armadura. Bustamante (2018) Este concreto endurecido es denso, homogéneo y tiene las mismas propiedades estructurales y una vida útil igual a la de un concreto convencional compactado por vibración. GPE (2006)	Fresco Endurecido	Capacidad de relleno Capacidad de paso Resistencia del concreto	Ensayo Slump flow Ensayo Caja en L Compresión Tracción	Diámetro final (mm) Coeficiente de bloqueo (h2/h1) kg/cm2 kg/cm2	Normas nacionales e internacionales, tesis de grado, artículos, investigaciones, entre otros.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA

La presente investigación es un estudio documental, bibliográfica y descriptiva. Es documental/bibliográfica porque se apoya en un marco teórico-técnico a partir de artículos científicos, investigaciones que involucran las variables en estudio, especificaciones técnicas, entre otros; basados en distintas normas utilizadas por los especialistas e investigadores acerca del comportamiento del hormigón con aditivos y/o adiciones en el estado fresco y/o endurecido, obteniendo información relevante y fidedigna.

En el estudio efectuado por Chavarry, Chavarría, Valencia, Pereyra, Arieta y Rengifo (2020), reforzaron un hormigón mediante la incorporación de vidrio molido para controlar la contracción plástica. El método empleado fue el deductivo, orientación aplicada, enfoque cuantitativo y como instrumento de recolección de datos retrolectivo, de tipo de investigación descriptivo, correlacional y explicativo. Utilizaron un diseño experimental, longitudinal, prospectivo y es una investigación causal dado que estudia la relación entre la variable independiente incorporación de vidrio molido (Causa) y variable la variable dependiente la contracción plástica (Efecto). Su objetivo es conocer el efecto positivo o negativo que puede producir un cambio inesperado entre las variables.

4.1 Método de la investigación

El método de la investigación es deductivo de orientación aplicada, de enfoque cuantitativo y de recolección de datos retrolectivo. Es aplicada ya que nos ayuda a determinar la influencia de la adición de polvo de mármol y aditivos superplastificantes en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante. Es cuantitativo porque contamos con una base de datos que se utilizó para obtener resultados numéricos y responder a nuestra problemática. Es retrolectiva ya que se utiliza formatos ya elaborados anteriormente en la bibliografía consultada.

4.2. Tipo de la investigación

Soberón (2015). El tipo de esta investigación fue exploratorio ya que se considera el uso de agregados de minas locales que han sido poco analizados, pero realizando las dosificaciones y probándolas en el laboratorio se determinará la influencia que habrá sobre las propiedades mecánicas de un concreto autocompactante.

Bustamante (2018). Esta investigación es del tipo correlacional, ya que se busca obtener información del comportamiento de un concreto tradicional y un concreto autocompactante con la adición del aditivo Glenium C313.

Palomino (2017). El tipo de este estudio es descriptivo porque busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

De las investigaciones anteriormente mencionadas, el tipo de investigación fue exploratorio, correlacional y descriptiva, ya que en los tres casos se busca mejorar alguna propiedad del concreto, con la adición o reemplazo parcial de algún agregado de la mezcla.

4.3. Nivel de la investigación

Soberón (2015). El nivel fue descriptivo porque al final de la investigación se contará con los parámetros para que en futuros proyectos que utilicen hormigones autocompactantes tengan la calidad necesaria para construir estructuras confiables y seguras.

Bustamante (2018). El nivel de esta investigación de tesis fue nivel aplicativo, ya que con la adición del aditivo Glenium C313 se busca mejorar la resistencia a la compresión y flexión en estructuras de concreto.

Rabanal (2017). El nivel de investigación corresponde a una investigación descriptiva debido a que se refiere sobre las características, cualidades internas y externas, propiedades y rasgos esenciales de los hechos y fenómenos de la realidad, en un momento y tiempo determinado.

De estas investigaciones mencionadas, el nivel es descriptivo y aplicativo ya que se busca la inserción de nuevas tecnologías de diseño para obtener mejores características y resultados en obras de construcción civil.

4.4. Diseño de la investigación

Bustamante (2018). Por la naturaleza de las variables fue una investigación de diseño experimental, con un solo factor de control modificable, el cual fue la adición del aditivo Glenium C313.

Palomino (2017). Esta investigación tiene un diseño de investigación pre – experimental; debido a que en esta investigación se realizó la modificación de una

variable que es la incorporación de aditivo en el concreto, donde finalmente se realizó la comparación con dos tipos de concreto.

Rabanal (2017). El diseño de esta investigación es experimental ya que se busca obtener un concreto autocompactable capaz de cumplir con todos los objetivos propuestos para su uso en construcción civil.

Las investigaciones mencionadas tienen un propósito de diseño experimental ya que mediante ensayos buscan obtener un concreto con mejores características para así poder responder a sus objetivos e hipótesis.

4.5. Población y muestras

4.5.1. Población

Bustamante (2018). La población está determinada por concreto autocompactable con adición de aditivo Glenium C313.

Palomino (2017). Para brindar confiabilidad en los resultados de esta investigación, la población que se consideró fueron las viviendas que son construidas de manera informal (Autoconstrucciones de la ciudad de Abancay).

Rabanal (2017). Para esta investigación la población son todas aquellas mezclas de concreto que se han realizado variando la cantidad de componentes de la misma.

La población de estas investigaciones está dada por mezclas de concretos que fueron utilizadas para contrastar sus resultados, provenientes de los resultados de la bibliografía consultada.

4.5.2. Muestra

Bustamante (2018). Se tomó como muestra 225 especímenes de concreto, distribuidos de la siguiente manera: 150 especímenes cilíndricos que fueron sometidos a resistencia mecánica a la compresión y 75 especímenes prismáticos que fueron sometidos a la resistencia mecánica a la flexión.

Palomino (2017). En la presente investigación de tesis se escogieron 3 viviendas como muestra que fueron construidas por maestros de obra de la zona.

Rabanal (2017). Para esta investigación la muestra que se utilizó estas dadas por los ensayos establecidos y normados de concreto que se realizaron.

Las muestras de estas investigaciones se rigen de acuerdo a las normativas que señalan en sus respectivas investigaciones, de manera que generan mayor confianza y credibilidad en los resultados obtenidos de cada investigación.

4.5.3. Unidad de análisis

Bustamante (2018). La unidad de análisis son las probetas prismáticas y cilíndricas, de concreto simple y con aditivo Glenium C 313.

Palomino (2017). Para esta investigación la unidad de análisis son las briquetas que se realizaron en la presentación de un diseño de mezcla realizado por el método de agregado global, y posteriormente se realizaron la rotura de las mismas.

Rabanal (2017). Estos autores utilizaron como unidad de análisis, probetas para sus ensayos de concreto en estado endurecido con adición de aditivo superplastificante Sika Viscocrete – 1110 PE y Micro sílice Sika en su mezcla.

4.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.6.1. Instrumento de recolección de datos

Para la recolección de datos se ha usado libros, artículos, bibliotecas virtuales y tesis de investigación pasada que permite recopilar y obtener datos importantes para el desarrollo de nuestra investigación.

4.6.2. Métodos y técnicas

Los métodos y técnicas para desarrollar la presente investigación es el análisis de resultados obtenidos en la bibliografía consultada, estos datos obtenidos permiten evaluar y comparar mediante tablas los diferentes diseños de mezcla para resolver nuestras hipótesis.

4.7. Descripción de procedimientos de análisis

Para realizar el procedimiento del análisis de datos, se clasifica y compara los resultados obtenidos en ensayos experimentales de cada autor, revista o artículo. El software utilizado fue el de Microsoft Excel 2019 para la elaboración de los gráficos y tablas que nos muestran la relación entre nuestras variables y sus respectivos indicadores. Finalmente, se adjuntó la matriz de consistencia (Anexo 1) y el cuadro de relación de subtemas y objetivos (Anexo 3)

CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis y contrastación de resultados de la presente tesis, que centra su investigación en la influencia del polvo de mármol y aditivo superplastificante en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante, se seleccionó 7 artículos (Anexos 4, 5 y 6) de los 46 investigados (Anexos 2), ya que estos artículos abarcan dentro de su investigación indicadores presentados y relacionados en esta tesis.

Los resultados de los artículos seleccionados usaron como guía los criterios para concretos autocompactantes de la EFNARC y GPE, en las tablas 8 y 9 se muestran valores y márgenes de aceptación para el ensayo de *Slump flow*, que determina la capacidad de relleno, y en las tablas 10 y 11, se muestran los rangos aceptados para el ensayo de caja en L, que determina la capacidad de paso; ambas propiedades características importantes de un concreto autocompactante en estado fresco.

Tabla 8: Rango de aceptación del Ensayo de *Slump flow* - EFNARC

Criterios de aceptación para un concreto autocompactante - EFNARC 2002 (European Federation of National Associations Representing for Concrete)				
Ensayo	Propiedad	Unidad	Margen habitual de valores	
			Min.	Max.
<i>Slump flow</i>	Capacidad de relleno	mm	650	800

Fuente: EFNARC (2002)

Tabla 9: Rango de aceptación del Ensayo de *Slump flow* - GPE

Rango de resultados y campo de aplicación - GPE 2006 (Directrices europeas para el hormigón autocompactante)				
Ensayo	Propiedad	Unidad	Margen habitual de valores	
			Min.	Max.
<i>Slump flow</i>	Capacidad de relleno	mm	550	850

SF 1 (550 – 650 mm), es apropiado para: estructuras en masa o poca densidad de armaduras que sean llenadas desde la parte superior con desplazamiento libre desde el punto de entrega (P.e. losas de cimentación o pavimentos), hormigones de relleno por bombeo (P.e. encofrados de túneles), elementos suficientemente pequeños que no precisen largos flujos horizontales (P.e. pilares y algunas cimentaciones profundas).

SF2 (660 – 750 mm) es adecuado para muchas aplicaciones normales (P.e. muros, pilares)

SF3 (760 – 850 mm) se elabora normalmente con una limitación del tamaño máximo de los áridos (Menor de 16 mm) y se usa para aplicaciones verticales en estructuras muy armadas, estructuras de formas complejas, o rellenos bajo los encofrados. El SF3 da normalmente un mejor acabado superficial que el SF2 para aplicaciones verticales pero la segregación es más difícil de controlar.

Fuente: GPE (2006)

Tabla 10: Rango de aceptación del Ensayo Caja en L - EFNARC

Criterios de aceptación para un concreto autocompactante - EFNARC 2002 (European Federation of National Associations Representing for Concrete)				
Ensayo	Propiedad	Unidad	Margen habitual de valores	
			Min.	Max.
Caja en L	Capacidad de paso	(h2/h1) - adimensional	0.8	1

Fuente: EFNARC (2002)

Tabla 11: Rango de aceptación de Ensayo Caja en L - GPE

Rango de resultados y campo de aplicación - GPE 2006 (Directrices europeas para el hormigón autocompactante)				
Ensayo	Propiedad	Unidad	Margen habitual de valores	
			Min.	Max.
Caja en L	Capacidad de paso	(h2/h1) - adimensional	0.8	1
PA1 estructuras con huecos de 80 mm a 100 mm (P.e. edificación, estructuras verticales)				
PA2 estructuras con huecos de 60 mm a 80 mm (P.e. estructuras de obra civil)				

Fuente: GPE (2006)

Para lo que respecta a las propiedades en estado endurecido como la resistencia a la compresión para concretos autocompactantes, la GPE 2006 (Directrices europeas para el hormigón autocompactante) indica que “El hormigón autocompactante con una relación agua/cemento similar a la de un hormigón vibrado convencional tendrá normalmente un valor de resistencia a la compresión ligeramente superior, debido a que la falta de vibrado da una mayor interfase entre el árido y la pasta endurecida. El desarrollo de la resistencia será similar, por lo que un ensayo de evolución de resistencia será una forma efectiva de controlar este parámetro, independientemente de que se use un sistema de curado acelerado”. GPE (2006)

En cuanto a la resistencia a la tracción para concretos autocompactantes, la GPE 2006 menciona que “Para una clase y un curado del hormigón dado, se puede asumir con seguridad una resistencia a la tracción con el mismo valor que la de un hormigón convencional, puesto que el volumen de la pasta (Cemento + finos + agua) no tienen un efecto significativo en el valor de la resistencia de tracción”. GPE (2006)

Para el desarrollo de la investigación se realizó un resumen con las características más importantes de la mezcla que realizó en cada investigación, en las tablas 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 se detallan los componentes de mezcla que usaron los siguientes 7 autores, Vaidevi.C, T. Felix Kala y A.R.R. Kalaiyarrasi (2020); Anjaneyulu, G y Alla, Suseela (2018); Boukhelkhal Aboubakeur, Lakhdar Azzouz, Salah Eddine y Benchaa Benabed (2016); Mansoor, Junaid, Syeed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq, y Hassam Ahmad (2018); Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta y Ravindra Nagar (2020); Dina M. Sadek, Mohamed M. El-Attar y Haitham A. Ali (2016) y Kishan.P Pala; Krunal J Dhandha y Paresh N. Nimodiya (2021).

Tabla 12: Componentes de la mezcla del autor Vaidevi et al. (2020)

#	Autor(es)	Título	Tipo de cemento	Agregados		Adiciones	% Superplastificante y tipo	a/c
				Fino	Grueso			
37	Vaidevi.C, T. Felix Kala y A.R.R. Kalaiyarrasi	Study on Mechanical and Durability Properties of Self-Compacting with Marble Powder	Se utiliza cemento Portland ordinario (OPC) Grado	Se utiliza arena de río de tamaño inferior a 4,75 mm.	Se utiliza toda la piedra triturada natural (Tamaño- 12,5 mm).	Se utilizan cenizas volantes de clase C y gravedad específica de 2,15. Y polvo de mármol (MP) de color blanco utilizado para esta prueba y se obtiene directamente de piedra cantera	(1%) - Aditivo químico – Master Glenium SKY 8233 es una mezcla de una nueva generación basada en la modificación del superplastificante de éter policarboxílico,	0.28

Fuente: Vaidevi (2020)

Tabla 13: Componentes de la mezcla del autor Anjaneyulu et al. (2018)

#	Autor(es)	Título	Tipo de cemento	Agregados		Adiciones	% Superplastificante y tipo	a/c
				Fino	Grueso			
41	Anjaneyulu, G y Alla, Suseela	Experimental study on self-compacting concrete incorporating marble powder and granite powder	Cemento Portland ordinario (Grado 53) conforme a IS: 456-2000.	Agregado fino de tamaño 1,5 mm a 2 mm, conforme a IS: 456-2000 módulos de finura es 2,66.	Agregado grueso de tamaño que varía de 12,5 mm a 16 mm, conforme a IS: 456-2000 módulos de finura es 2,66.	Se usó polvo de granito y polvo de mármol de la localidad de gravedad específica 2.6 y 2.6 respectivamente.	(1.5%) - Plastol ultra 209 se utiliza como aditivo de densidad es 2.6.	0.35

Fuente: Anjaneyulu (2018)

Tabla 14: Componentes de la mezcla del autor Boukhelkhal et al. (2016)

#	Autor(es)	Título	Tipo de cemento	Agregados		Adiciones	% Superplastificante y tipo	a/c
				Fino	Grueso			
13	Boukhelkhal Aboubakeur, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaïdi y Benchaa Benabed	Effects of marble powder as a partial replacement of cement on some engineering properties of self-compacting concrete	Cemento Portland ordinario (CEMI, 42,5) se utilizó en todas las mezclas.	Como agregado fino se utilizó arena natural de río con un tamaño máximo de 5 mm.	Para el agregado grueso, se utilizaron dos clases de grava triturada 3/8 y 8/15.	Los resultados indicaron que el MP tiene un tamaño de partícula menor que 100 µm y alrededor del 40% de estas partículas son inferiores a 63 µm.	(0.9%) - El aditivo químico utilizado para producir varias mezclas es un reductor de agua de alto rango (HRWR) a base de polycarboxilatos.	0.4

Fuente: Boukhelkhal (2016)

Tabla 15: Componentes de la mezcla del autor Mansoor et al. (2018)

#	Autor(es)	Título	Tipo de cemento	Agregados		Adiciones	% Superplastificante y tipo	a/c
				Fino	Grueso			
35	Mansoor, Junaid, Syyed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq, y Hassam Ahmad	Analysis of Mechanical Properties of Self Compacted Concrete by Partial Replacement of Cement with Industrial Wastes under Elevated Temperature	Cemento Portland Ordinario Tipo I	Agregado normal	Agregado fino normal Agregado grueso normal	Humos de sílice, Escoria de alto horno granulada molida y polvo de mármol obtenido por el procesamiento de mármol sirve como un material de desecho.	(1.6%) - El plastificante utilizado en el trabajo es el "Super Plastificante de Ultra Chemicals" y es el "Condensado de naftalina sulfonada" preferido en la obra por su destacada acción dispersante sobre el cemento.	0.4

Fuente: Mansoor (2018)

Tabla 16: Componentes de la mezcla del autor Rakesh et al. (2020)

#	Autor(es)	Título	Tipo de cemento	Agregados		Adiciones	% Superplastificante y tipo	a/c
				Fino	Grueso			
40	Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta y Ravindra Nagar	Impact on fresh, mechanical, and microstructural properties of high strength self-compacting concrete by marble cutting slurry waste, fly ash, and silica fume	Cemento Portland Ordinario (OPC) de 53 Se utilizó la confirmación de grado a BIS 12269 (2013)	Agregado fino natural que pasa de 4.75 milímetros que confirmaban a la zona II según lo dado en ES 383 (1970).	Agregado grueso con gravedad específica 2.74.	Polvo de mármol, Cenizas volantes y humos de sílice fueron adquiridos de un distribuidor local en Jaipur (Rajasthan).	(1.4 %) - Un éter policarboxílico (PCE) basado en superplastificante (SP) nombre de producto Glanium Sky 8777 fabricado por BASF.	0.33

Fuente: Rakesh (2020)

Tabla 17: Componentes de la mezcla del autor Dina et al. (2016)

#	Autor(es)	Título	Tipo de cemento	Agregados		Adiciones	% Superplastificante y tipo	a/c
				Fino	Grueso			
12	Dina M. Sadek, Mohamed M. El-Attar y Haitham A. Ali	Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development	Cemento Portland CEM I 42.5 N conforme a la Normas europeas EN-197/1	El agregado fino era arena silícea con un módulo de finura de 2,67 y gravedad específica de 2,5.	Dolomita triturada con un tamaño máximo nominal de 14 mm.	Humos de sílice (SF), polvo de mármol, polvo de granito y polvo mixto de mármol y granito (MMGP) se utilizaron como aditivos minerales en la preparación de mezclas SCC.	Sika ViscoCrete 20HE, un superplastificante (SP) a base de policarboxilatos con una gravedad específica de Se utilizó 1,08 y un pH de 4,3.	0.45

Fuente: Dina (2016)

Tabla 18: Componentes de la mezcla del autor Kishan et al. (2021)

#	Autor(es)	Título	Tipo de cemento	Agregados		Adiciones	% Superplastificante y a/c tipo
				Fino	Grueso		
38	Kishan.P Krunal Dhandha Paresh Nimodiya	Pala; Use of Marble J Powder and Fly y Ash in Self N Compacting Concrete	Cemento Portland ordinario (Chettinad) de grado 53 conforme a IS 12269-1987.	La arena se tamizó a través de un tamiz de 4,75 mm para eliminar cualquier partícula superior a 4,75 mm. Los agregados finos se ajustarán a lo requerido por IS 383.	Agregado de piedra triturada que pasa a través de un tamiz de 16 mm.	Cenizas volantes de acuerdo con IS 3812 y polvo de mármol en el hormigón, como reposición parcial de cemento.	(1.0%) Súper plastificante (Reductores de agua de alta gama), utilizados con una reducción de agua superior al 20%.

Fuente: Kishan (2021)

5.1 Análisis e interpretación de resultados.

La inclusión del polvo de mármol y aditivo superplastificante varía el comportamiento y propiedades de un concreto autocompactante, ya sea por el aumento o disminución de estos elementos o por otros factores como la relación a/c, características de agregados o variaciones en la cantidad de aditivos.

- a) Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.

Para los autores Vaidevi C., T. Félix Kala y A.R.R. Kalaiyarrasi (2020); los resultados del Ensayo de *Slump flow* las 3 mezclas con adición de mármol están dentro del rango admitido para concretos autocompactantes, según la EFNARC como se indica en la tabla 19, notamos que la mezcla SCCMP 20%, con 20% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante, es la que presenta un mayor valor, por lo tanto, la que cuenta con una mejor capacidad de relleno. A la vez se observa que una mayor adición de polvo de mármol a partir del 20%, genera un decrecimiento de diámetro en los resultados del *Slump flow*. (Ver figura 7).

Tabla 19: Resultados del ensayo de *Slump flow* del autor Vaidevi et al. (2020)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo <i>Slump flow</i> (mm)
CONTROL SCC	0.00	1.00	710
SCCMP10%	10.00	1.00	690
SCCMP20%	20.00	1.00	695
SCCMP30%	30.00	1.00	670

Fuente: Vaidevi (2020)

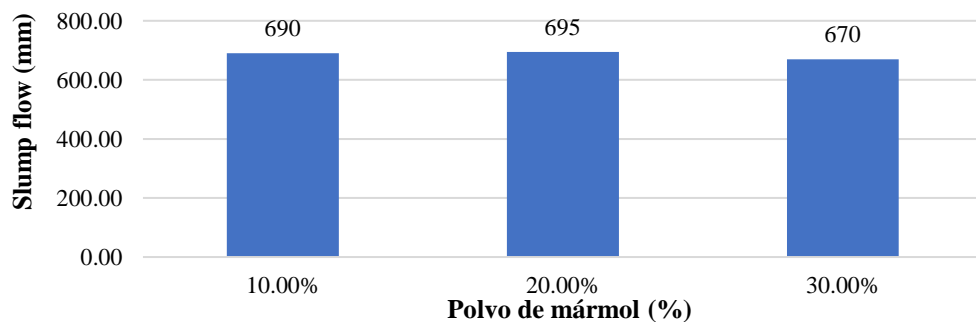


Figura 7: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de *Slump flow* del autor Vaidevi et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de los autores Boukhelkhal Aboubakeur, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaidi y Benchaa Benabed (2016), en este ensayo están dentro del Rango admisible según la EFNARC como se indica en la tabla 20, y observamos que la mezcla con un *Slump flow* más alta, es la que corresponde a la adición de 20% de polvo de mármol y 0.9% de aditivo superplastificante (20MP); por lo que indica que esta mezcla cuenta con una mejor capacidad de relleno. También observamos que, para estas mezclas a mayor adición de polvo de mármol, se obtiene mejores resultados del Ensayo de *Slump flow* (Ver figura 8), por lo que se recomienda realizar más ensayos con más adiciones hasta llegar a la optimización de porcentaje de polvo de mármol que se puede añadir.

Tabla 20: Resultados del ensayo de *Slump flow* del autor Boukhelkhal et al. (2016)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo <i>Slump flow</i> (mm)
0MP	0.00	0.90	705
5MP	5.00	0.90	710
10MP	10.00	0.90	728
15MP	15.00	0.90	730
20MP	20.00	0.90	735

Fuente: Boukhelkhal (2016)

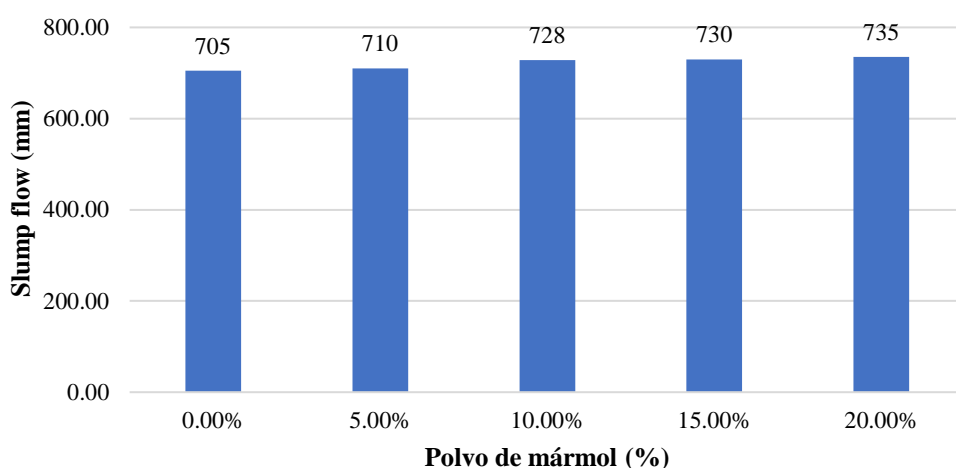


Figura 8: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de *Slump flow* del autor Boukhelkhal et al. (2016)

Fuente: Elaboración propia

Para los autores Mansoor, Junaid, Syeed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq y Hassam Ahmad (2018), los resultados de las 5 mezclas con adición de polvo de mármol mostradas en la tabla 21, se encuentran dentro del rango admisible según la EFNARC. De estos resultados notamos que el valor óptimo lo obtuvo la mezcla con 15% de polvo de mármol y 1.6% de aditivo superplastificante (MP15) con un diámetro final de 782 mm, ya que, para mayores adiciones del mismo, el valor del *Slump flow* decrece (Ver figura 9). Por lo tanto, para este autor, la mezcla MP15 es la que presenta mejor capacidad de relleno.

Tabla 21: Resultados del ensayo de *Slump flow* del autor Mansoor et al. (2018)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo <i>Slump flow</i> (mm)
CSSC	0.00	1.60	-
MP5	5.00	1.60	760
MP10	10.00	1.60	773
MP15	15.00	1.60	782
MP20	20.00	1.60	771
MP25	25.00	1.60	767

Fuente: Mansoor (2018)

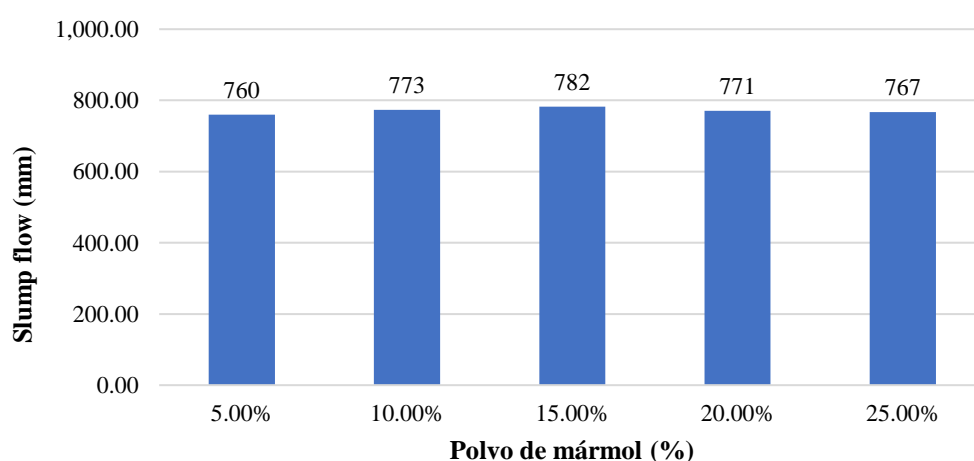


Figura 9: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de *Slump flow* del autor Mansoor et al. (2018)

Fuente: Elaboración propia

Para los autores Dina M. Sadek, Mohamed M. El-Attar y Haitham A. Ali (2016), de las 4 mezclas realizadas mostradas en la tabla 22, solo las mezclas con 20% y 30% de polvo de mármol son las que se encuentran dentro del Rango admisible según los criterios del EFNARC; siendo la mezcla con 20% de polvo de mármol y 2% de aditivo superplastificante (20%MP) la que cuenta con mayor diámetro en el ensayo de *Slump flow* y por ende una mejor capacidad de relleno. Al aumentar una mayor cantidad del 30% de polvo de mármol en la mezcla, los resultados del Ensayo *Slump flow*, decrecen considerablemente como se muestra en la figura 10.

Tabla 22: Resultados del ensayo de *Slump flow* del autor Dina et al. (2016)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo <i>Slump flow</i> (mm)
C-1	0.00	2.00	660
20%MP	20.00	2.00	670
30%MP	30.00	2.00	650
40%MP	40.00	2.00	640
50%MP	50.00	2.00	610

Fuente: Dina (2016)

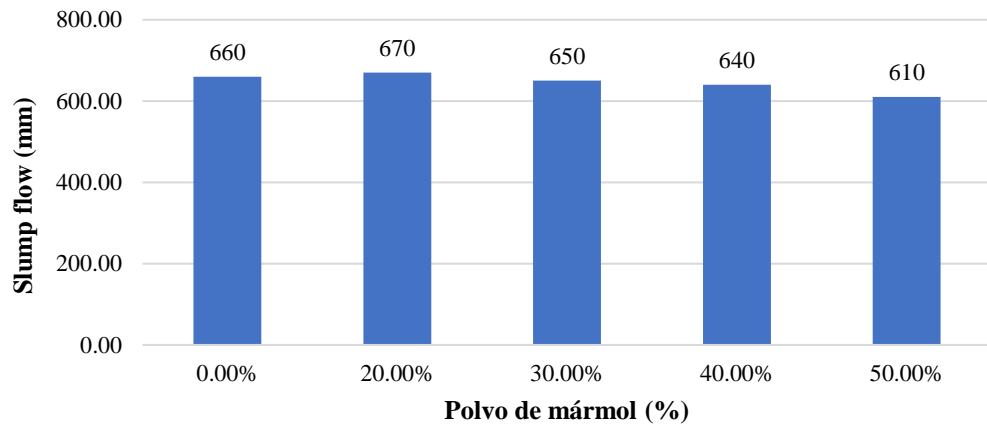


Figura 10: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de *Slump flow* del autor Dina et al. (2016)

Fuente: Elaboración propia

Notamos que todos los resultados de los autores Kishan.P Pala, Krunal J Dhandha y Paresh N. Nimodiya (2021) mostrados en la tabla 23, incluido la mezcla control, se encuentran dentro del rango admisible para concretos autocompactantes, según la EFNORAC. Del mismo modo se evidencia que para este autor el incremento de polvo de mármol, aumenta el diámetro final del ensayo *Slump flow*, por lo que se puede decir que, a mayor porcentaje de polvo de mármol, la capacidad de relleno es mejor (Ver figura 11). Para este autor la mezcla con adición del 25% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante, es la que presenta mejor capacidad de relleno.

Tabla 23: Resultados del ensayo de *Slump flow* del autor Kishan et al. (2021)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo <i>Slump flow</i> (mm)
Mix-1	0.00	1.00	655
Mix-2	5.00	1.00	660
Mix-3	10.00	1.00	675
Mix-4	15.00	1.00	695
Mix-5	20.00	1.00	702
Mix-6	25.00	1.00	705

Fuente: Kishan (2021)

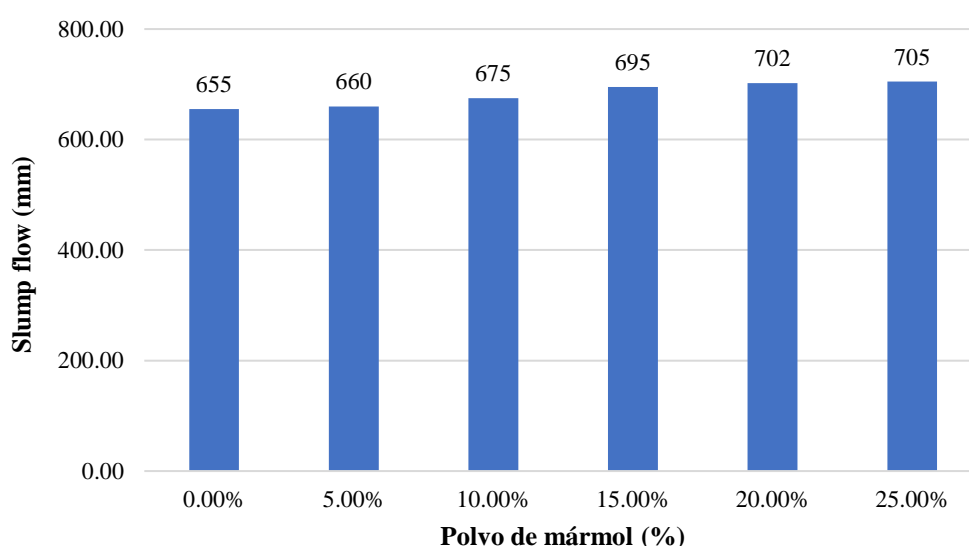


Figura 11: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de *Slump flow* del autor Kishan et al. (2021)

Fuente: Elaboración propia

- b) Determinar el óptimo porcentaje del polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar la capacidad de paso de un concreto autocompactante.

Los resultados obtenidos para los autores Vaidevi.C, T. Felix Kala y A.R.R. Kalaiyarrasi (2020) de este ensayo se muestran en la tabla 24 donde se aprecian que estos valores son admisibles según la EFNARC, pero a su vez notamos que mientras se aumenta la cantidad de polvo de mármol, los resultados del ensayo Caja en L, disminuyen; por lo que podemos decir que, a mayor cantidad de polvo de mármol en la mezcla, es menor la capacidad de paso (Ver figura 12). Para este autor la adición de 10% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante es la que presenta un mejor resultado en el ensayo de caja en L, por lo tanto, es la mezcla con mejor capacidad de paso.

Tabla 24: Resultados del ensayo de caja en L del autor Vaidevi et al. (2020)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo caja en L (h2/h1)
CONTROL SCC	0.00	1.00%	0.93
SCCMP10%	10.00	1.00%	0.90
SCCMP20%	20.00	1.00%	0.86
SCCMP30%	30.00	1.00%	0.83

Fuente: Vaidevi (2020)

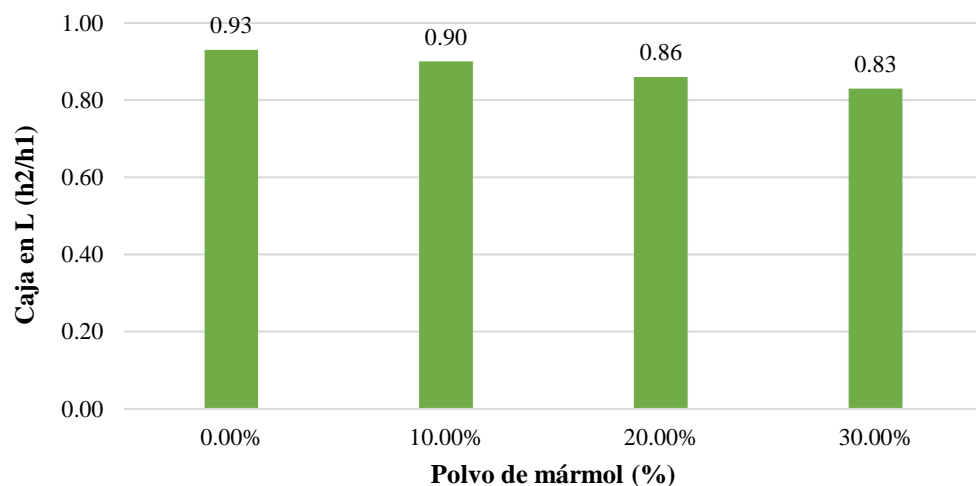


Figura 12: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de caja en L del autor Vaidevi et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia

Para los autores Anjaneyulu, G y Alla, Suseela (2018) notamos en la tabla 25 que las 3 mezclas están dentro de rango admisible del ensayo de caja en L para concretos autocompactantes; a su vez se observa que la mezcla con 10% de adición de polvo de mármol y 1.5% de aditivo superplastificante es la que presenta un mejor resultado en este ensayo, por lo que, para este autor, la mezcla MIX 3, es la que tiene una mejor capacidad de paso (Ver figura 13). Del mismo modo, notamos que, a mayor porcentaje de polvo de mármol, aumentan los resultados del ensayo.

Tabla 25: Resultados del ensayo de caja en L del autor Anjaneyulu et al. (2018)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo caja en L (h2/h1)
MIX 1	0.00	1.50	0.83
MIX 2	5.00	1.50	0.85
MIX 3	10.00	1.50	0.86

Fuente: Anjaneyulu (2018)

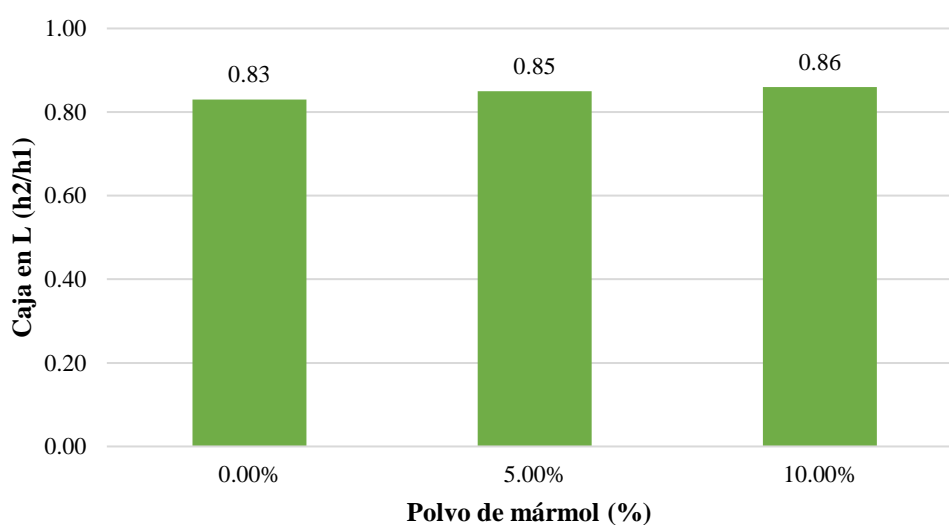


Figura 13: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de caja en L del autor Anjaneyulu et al. (2018)

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos para los autores Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta y Ravindra Nagar (2020), notamos en la tabla 26 que a medida que se incrementa la cantidad de polvo de mármol, el resultado del ensayo caja en L aumenta. Solo la mezcla con adición del 10% de polvo de mármol y 1.4% de aditivo superplastificante es la que presenta un resultado inferior a la de la mezcla control; de la misma manera notamos que la adición del 30% de polvo de mármol y 1.4% de aditivo superplastificante es la que mejor resultado obtiene (Ver figura 14), por lo que podemos decir que esta mezcla es la que presenta una mejor capacidad de paso.

Tabla 26: Resultados del ensayo de caja en L del autor Rakesh et al. (2020)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo caja en L (h2/h1)
C-1	0.00	1.40	0.97
10M	10.00	1.40	0.96
20M	20.00	1.40	0.98
30M	30.00	1.40	0.99

Fuente: Rakesh (2020)

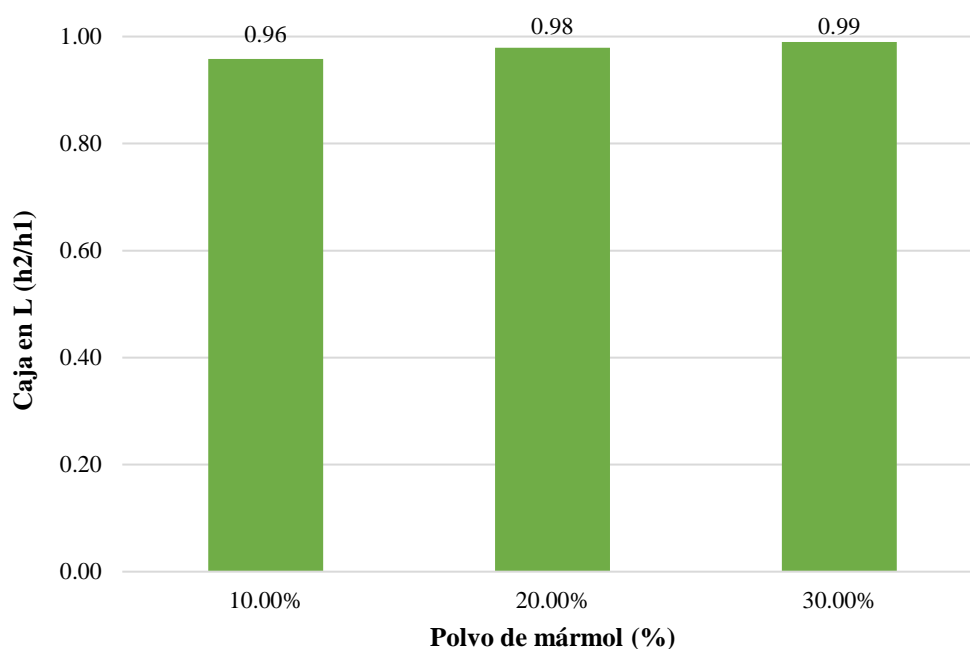


Figura 14: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de caja en L del autor Rakesh et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia

De las 5 mezclas realizadas por los autores Kishan.P Pala, Krunal J Dhandha y Pares N. Nimodiya (2021), con adición de polvo de mármol mostradas en la tabla 27, notamos que todas presenta un resultado dentro del rango admitido para concretos autocompactantes, según la EFNARC. A la vez se observa en la figura 15 que a medida que se aumenta la cantidad de polvo de mármol, aumenta el resultado del ensayo caja en L; sin embargo, para las mezclas con adiciones del 20% y 25%, los resultados son iguales, con lo que indica que una mayor adición a partir del 20%, no implica un mejor resultado del ensayo. Para este autor el resultado óptimo para este ensayo es la mezcla con adición del 20% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante, por lo que es la que presenta mejor capacidad de paso.

Tabla 27: Resultados del ensayo de caja en L del autor Kishan et al. (2021)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Aditivo superplastificante (%)	Ensayo caja en L (h2/h1)
Mix-1	0.00	1.00	0.82
Mix-2	5.00	1.00	0.85
Mix-3	10.00	1.00	0.88
Mix-4	15.00	1.00	0.90
Mix-5	20.00	1.00	0.92
Mix-6	25.00	1.00	0.92

Fuente: Kishan (2021)

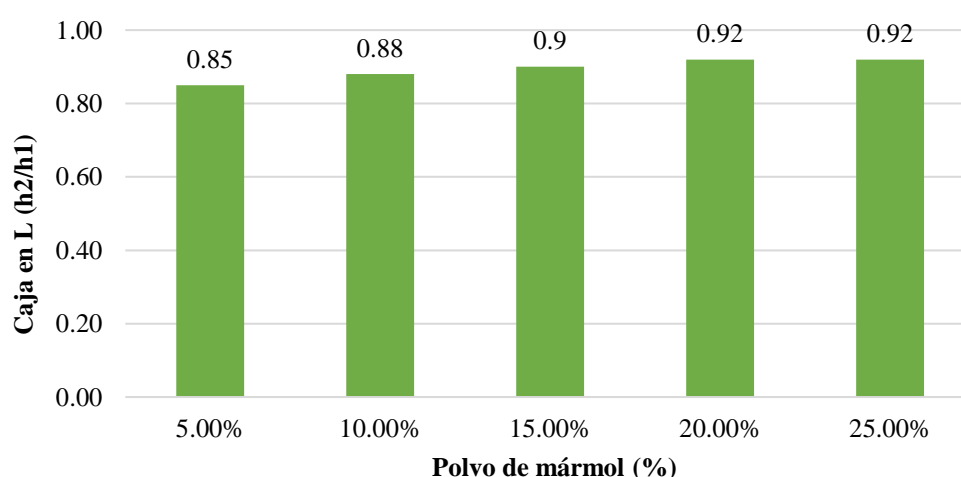


Figura 15: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de caja en L del autor Kishan et al. (2021)

Fuente: Elaboración propia

- c) Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para aumentar la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.

De los resultados obtenidos por los autores Vaidevi.C, T. Felix Kala y A.R.R. Kalaiyarrasi (2020), notamos que la mezcla con 10% de adición de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante es la que presenta una mayor resistencia a la compresión, con 791 kg/cm², a los 28 días de curado mostrado en la tabla 28; sin embargo, a medida que aumenta la cantidad de polvo de mármol, disminuye la resistencia a la compresión de las mezclas (Ver figura 16).

Tabla 28: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del autor Vaidevi et al. (2020)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Resultados en estado endurecido			Criterios del ensayo
		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			
		14 días	28 días	56 días	
CONTROL SCC	0	489	666	883	Para la resistencia a la compresión, la dimensión de la probeta para este ensayo fue un cubo (150X150X150 mm) y curado por 14, 28 y 56 días.
SCCMP10%	10	497	791	897	
SCCMP20%	20	310	526	576	
SCCMP30%	30	287	489	545	

Fuente: Vaidevi (2020)

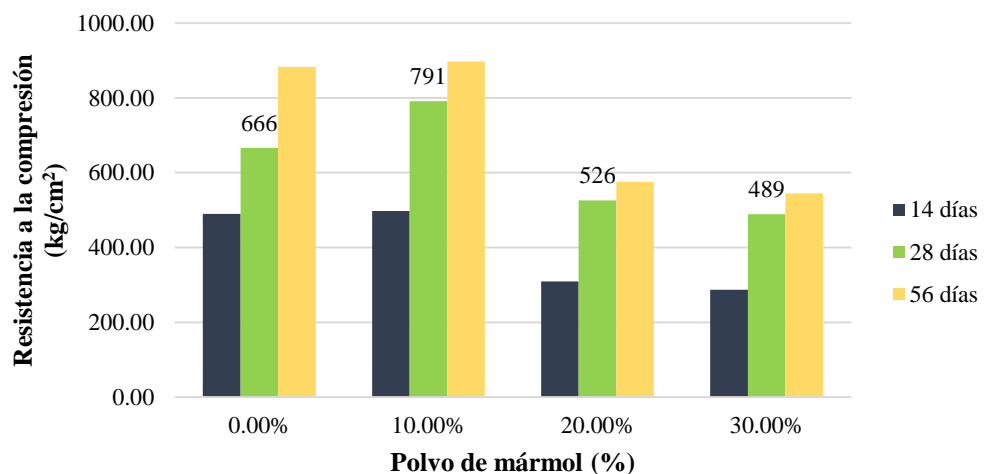


Figura 16: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la compresión del autor Vaidevi et al. (2020)

Fuente:Elaboración propia

Se observa que los resultados de los autores Boukhelkhal Aboubakeur, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaidi y Benchaa Benabed (2016), indicada en la tabla 29, se muestra un decrecimiento continuo en las mezclas, a medida que se aumenta la cantidad de polvo de mármol. De las mezclas con adiciones realizadas, la que contiene 5% de polvo de mármol y 0.9% de aditivo superplastificante es la que tiene una mayor resistencia a la compresión de 377 kg/cm² a los 28 días de curado, sin embargo, este resultado es menor que el resultado obtenido por la mezcla control. (Ver figura 17).

Tabla 29: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del autor Boukhelkhal et al. (2016)

ID Mezcla	Polvo de mármol (%)	Resultados en estado endurecido			Criterios del ensayo
		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			
		3 días	28 días	90 días	
0MP	0	214	388	490	Para la resistencia a la compresión, de cada mezcla de hormigón, se moldearon probetas prismáticas de tamaño 7 × 7 × 28 cm., con curado a los 3,28 y 90 días.
5MP	5	173	377	428	
10MP	10	153	357	408	
15MP	15	143	286	383	
20MP	20	133	265	377	

Fuente: Boukhelkhal (2016)

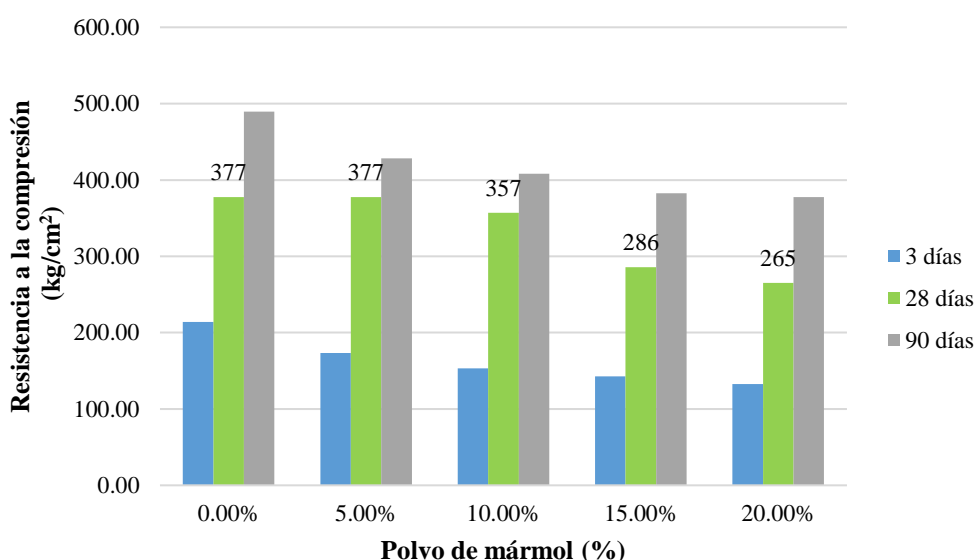


Figura 17: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la compresión del autor Boukhelkhal et al. (2016)

Fuente: Elaboración propia

De los autores Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta y Ravindra Nagar (2020), se muestra que solo la mezcla con adición del 10% tiene una mayor resistencia a la compresión respecto a la mezcla control (C-1) como se indica en la tabla 30. Si bien con la adición del 10% de polvo de mármol y 1.4% de aditivo superplastificante se logra una mejora en la resistencia a la compresión para los 28 días de curado, pero si se aumenta polvo de mármol en la mezcla, genera menores valores en el ensayo de resistencia a la compresión mostrada en la figura 18.

Tabla 30: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del autor Rakesh et al. (2020)

Resultados en estado endurecido					
ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			Criterios del ensayo
		7 días	28 días	90 días	
C-1	0	398	566	581	La evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas se realizó en términos de resistencia a la compresión según BIS 516 a los 7, 28 y 90 días de curado. Tres cubos de 100 mm de tamaño para cada edad fueron seleccionados.
10M	10	479	617	632	
20M	20	388	541	551	
30M	30	367	459	490	

Fuente: Rakesh (2020)

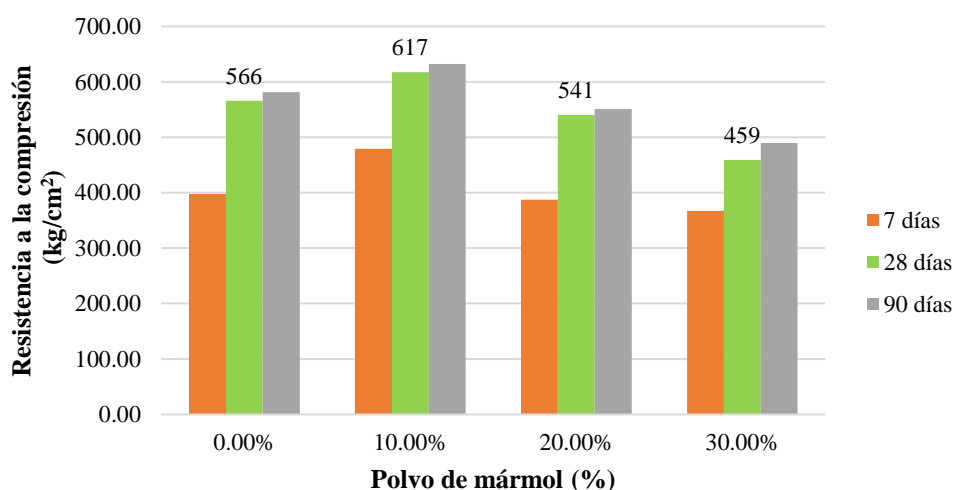


Figura 18: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la compresión del autor Rakesh et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia

Para los autores Kishan.P Pala, Krunal J Dhandha y Paresh N Nimodiya (2021), las 5 mezclas realizadas con adición de polvo de mármol, presentan menores resultados que la mezcla control para este ensayo de resistencia a la compresión, en los 7, 14 y 28 días de curado mostrada en la tabla 31. Por lo tanto, podemos mencionar que a medida que se incrementa la cantidad de polvo de mármol en la mezcla, los resultados del ensayo de resistencia a la compresión, disminuyen para los días de curado anteriormente mencionados (Ver figura 19). Para este autor la mezcla con 5% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante, es la mezcla que presenta mayor resistencia a la compresión a los 28 días de curado, en comparación a las demás mezclas con adiciones.

Tabla 31: Resultados del ensayo de resistencia a la compresión del autor Kishan et al. (2021)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Resultados en estado endurecido			Criterios del ensayo
		Resistencia a la compresión (kg/cm ²)			
		7 días	14 días	28 días	
Mix-1	0.00	293	363	447	Se usa tamaño de viga 10x10x50cm. Las muestras se curaron en agua durante 7, 14 y 28 días y luego se probaron.
Mix-2	5.00	278	343	422	
Mix-3	10.00	262	320	394	
Mix-4	15.00	242	294	370	
Mix-5	20.00	230	279	344	
Mix-6	25.00	210	261	318	

Fuente: Kishan (2021)

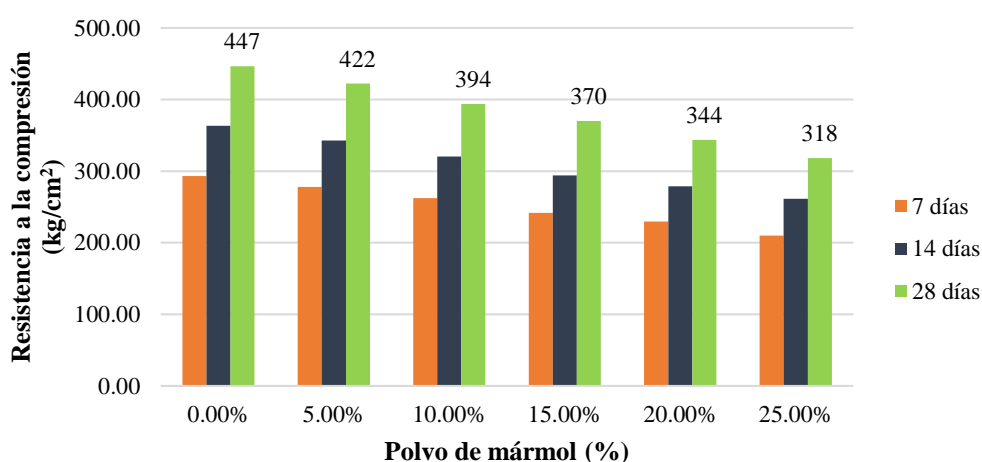


Figura 19: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la compresión del autor Kishan et al. (2021)

Fuente: Elaboración propia

d) Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para aumentar la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.

Notamos en los resultados de los autores Vaidevi.C, T. Felix Kala y A.R.R. Kalaiyarrasi (2020) mostrada en la tabla 32, que la mezcla con adición de 10% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante, es la que presenta mayor valor en el ensayo de resistencia a la tracción, para los 14, 28 y 56 días de curado. A la vez observamos que una adición mayor del 10%, genera menores resultados para este ensayo que se observa en la figura 20.

Tabla 32: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del autor Vaidevi et al. (2020)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Resultados en estado endurecido			Criterios del ensayo
		Resistencia a la tracción (kg/cm ²)			
		14 días	28 días	56 días	
CONTROL SCC	0	48	65	75	Para la resistencia a la tracción del hormigón se utilizó un cilindro de dimensión (150X70 mm) y curado durante 14, 28 y 56 días.
SCCMP10 %	10	52	70	88	
SCCMP20 %	20	27	34	39	
SCCMP30 %	30	23	29	32	

Fuente: Vaidevi (2020)

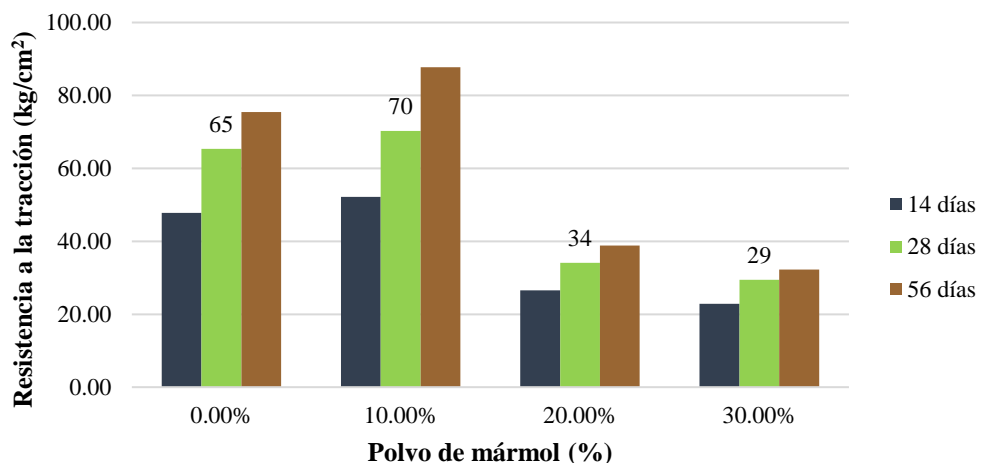


Figura 20: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la tracción del autor Vaidevi et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia

Se observa que los resultados de los autores Aboubakeur Boukhelkhal, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaïdi y Benchaa Benabed (2016) mostrada en la tabla 33, en la mezcla con 5% de inclusión de polvo de mármol y 0.9% de aditivo superplastificante es la que presenta mayor valor de resistencia a la tracción para los 3, 28 y 90 días de curado; una mayor adición de polvo de mármol genera un decrecimiento en el valor de este ensayo. (Ver figura 21). Por lo que podemos decir que, a mayor cantidad de polvo de mármol, se reduce la resistencia a la tracción.

Tabla 33: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del autor Boukhelkhal et al. (2016)

ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Resultados en estado endurecido			Criterios del ensayo
		Resistencia a la tracción (kg/cm ²)			
		3 días	28 días	90 días	
OMP	0	30	35	44	Para la resistencia a la tracción, de cada mezcla de hormigón, se moldearon probetas prismáticas de tamaño 7 × 7 × 28 cm., con curado a los 3,28 y 90 días.
5MP	5	28	33	39	
10MP	10	25	32	38	
15MP	15	23	32	35	
20MP	20	23	30	34	

Fuente: Boukhelkhal (2016)

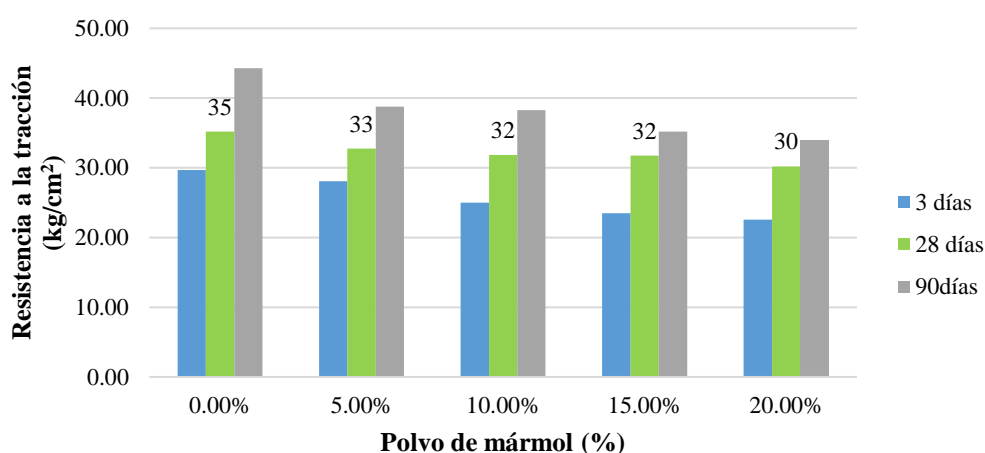


Figura 21: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la tracción del autor Boukhelkhal (2016)

Fuente: Elaboración propia

Para los autores Anjaneyulu, G y Alla, Suseela (2018), el mejor resultado de resistencia a la tracción lo obtiene la mezcla con 5% de inclusión de polvo de mármol y 1.5% de aditivo superplastificante mostrado en la tabla 34, para la mezcla con adición del 10%, el resultado del ensayo es incluso menor que para la mezcla control. Por lo que el óptimo porcentaje para este autor es la de la mezcla Mix 2, que supera a la mezcla control a los 7,14 y 28 días de curado. (Ver figura 22).

Tabla 34: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del autor Anjaneyulu et al. (2018)

Resultados en estado endurecido					
ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)			Criterios del ensayo
		7 días	14 días	28 días	
Mix 1	0	22	29	32	Para la resistencia a la tracción se usó: Tamaño del cilindro = 150x300 mm y curado por 7, 14 y 28 días.
Mix 2	5	23	31	36	
Mix 3	10	20	21	26	

Fuente: Anjaneyulu (2018)

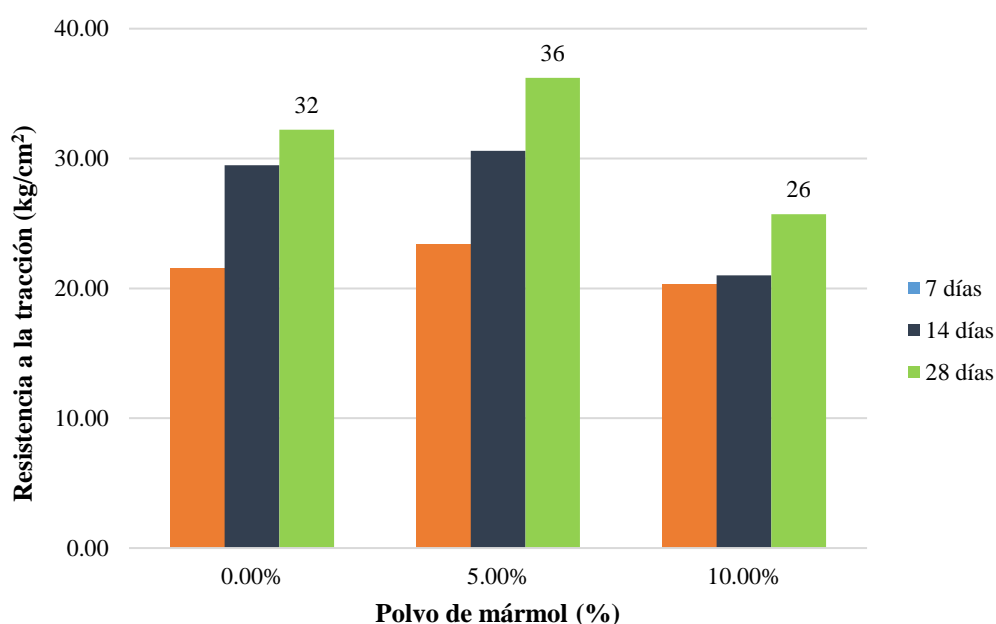


Figura 22: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la tracción del autor Anjaneyulu et al. (2018)

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos de los autores Mansoor, Junaid, Syeed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq y Hassam Ahmad (2018), se observa que las 5 mezclas con adición de polvo de mármol, obtienen un mejor resultado en el ensayo de resistencia a la tracción que la mezcla control mostrada en la tabla 35. Notamos en la figura 23 que, al aumentar porcentaje de polvo de mármol en la mezcla, se mejora esta propiedad. De los resultados obtenidos la mezcla con 25% de polvo de mármol y 1.6% de aditivo superplastificante es la que presenta mayor resistencia a la compresión para los 7, 14 y 28 días de curado.

Tabla 35: Resultados del ensayo de resistencia a la tracción del autor Mansoor et al. (2018)

Resultados en estado endurecido					
ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Resistencia a la tracción (kg/cm ²)			Criterios del ensayo
		7 días	14 días	28 días	
CSSC	0	4	7	10	Para evaluar la resistencia del hormigón, se desarrollan dos tipos de muestras: cubo (6" × 6" × 6") y cilindro (6" × 12"), con curado a los 7, 14 y 28 días.
MP5	5	7	10	11	
MP10	10	9	12	12	
MP15	15	9	12	18	
MP20	20	10	17	19	
MP25	25	11	18	20	

Fuente: Mansoor (2018)

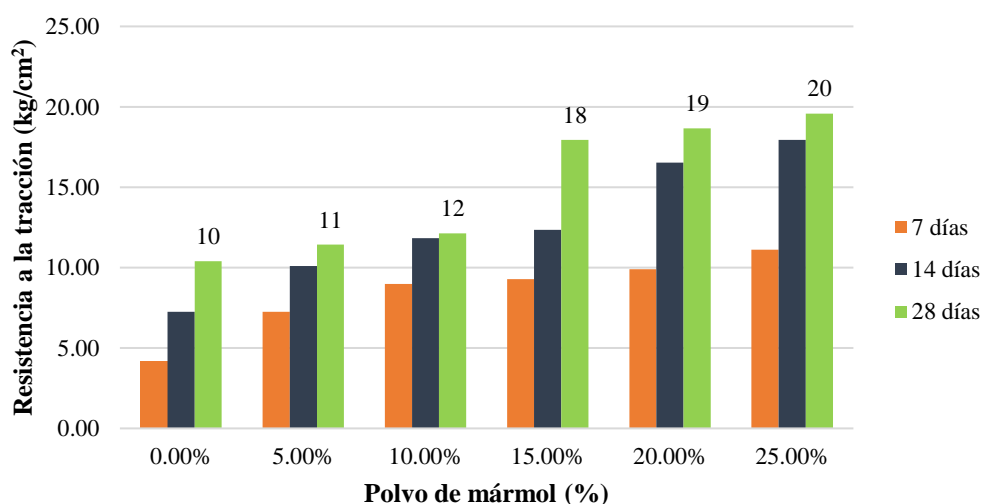


Figura 23: Porcentaje de polvo de mármol vs Ensayo de resistencia a la tracción del autor Mansoor et al. (2018)

Fuente: Elaboración propia

5.2 Contratación de Resultados

5.2.1 Contratación de la primera hipótesis

Hipótesis 1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante se mejora la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.

Para determinar la influencia del polvo de mármol y aditivo superplastificante en concretos autocompactantes y posteriormente verificar su capacidad de relleno, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante no se mejora la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.

H1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante si se mejora la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.

- Observaciones:

Según los autores "Vaidevi.C; T.Felix Kala y A.R.R.Kalaiyarrasi", con inclusión del 10%, 20% y 30% de polvo de mármol + 1% de aditivo superplastificante de alto rendimiento a base de PCE (Éter policarboxílico) + cenizas volantes como adición a la mezcla y relación agua/cemento de 0.28, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo "*Slump flow*" de 695 mm, cuyo valor indica una buena capacidad de relleno y se encuentra dentro del rango admisible según los criterios de la EFNARC, y uso adecuado para muro y pilares (SF2 - Según GPE); sin embargo este resultado es menor al obtenido por la mezcla control (710 mm).

Según los autores "Mansoor, Junaid; Syed A.R. Shah; Mudasser M. Khan; Abdullah N. Sadiq; Muhammad K. Anwar; Muhammad U. Siddiq y Hassam Ahmad ", con inclusión del 5%, 10%, 15%,20% y 25% de polvo de mármol + 1.6% de aditivo superplastificante (Condensado de naftalina sulfonada) reductor de agua de alto rango + humos de sílice como adición a la mezcla y relación agua/cemento de 0.4, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo

"Slump flow" de 782 mm, cuyo valor indica una buena capacidad de relleno y se encuentra dentro del rango admisible según los criterios de la EFNARC, así mismo el resultado es aplicable a estructuras verticales muy armadas y estructuras de formas complejas (SF3 - Según GPE).

Según los autores "Dina M. Sadek; Mohamed M. El-Attar y Haitham A. Ali ", con inclusión del 20%, 30%, 40% y 50% de polvo de mármol + 2% de aditivo superplastificante a base de policarboxilatos (Reductor de agua de alto rango) + humos de sílice y polvo de granito como adiciones a la mezcla y relación agua/cemento de 0.45, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo "Slump flow" de 670 mm, cuyo valor indica una buena capacidad de relleno y se encuentra dentro del rango admisible según los criterios de la EFNARC, y uso adecuado para estructuras como muros y pilares (SF2 - Según GPE); a su vez es mayor al resultado de la mezcla control (660 mm).

De los resultados de los distintos autores que se aprecia en la figura 24, las cantidades de 15% y 20% de polvo de mármol, obtienen los mayores diámetros finales en el ensayo de *Slump flow*, por lo que las mezclas con estos porcentajes son las que tienen una mejor capacidad de relleno.

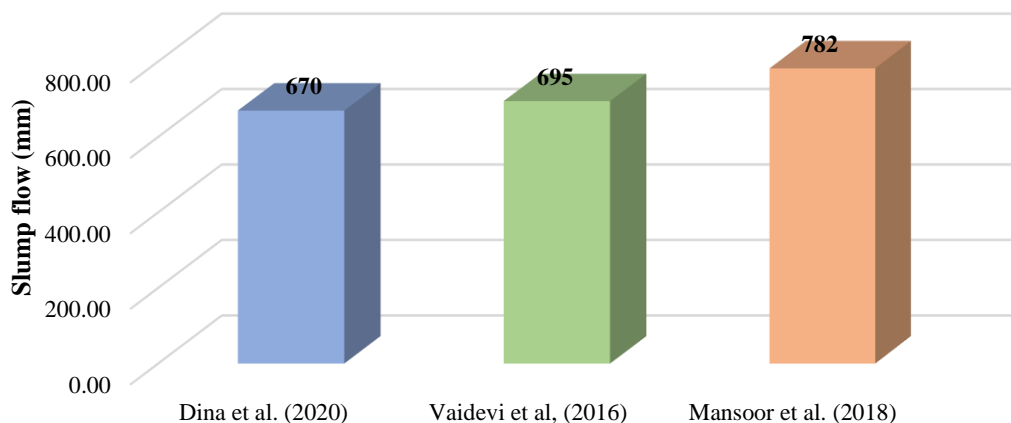


Figura 24: Resultados de *Slump flow* para óptimos porcentajes de polvo de mármol de distintos autores

Fuente: Elaboración propia

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que la inclusión de polvo de mármol y aditivo superplastificante mejora la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.

5.2.2 Contrastación de la segunda hipótesis

Hipótesis 2: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante se mejora la capacidad de paso de un concreto autocompactante.

Para determinar la influencia del polvo de mármol y aditivo superplastificante en concretos autocompactantes y posteriormente verificar su capacidad de paso, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante no se mejora la capacidad de paso de un concreto autocompactante.

H1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante si se mejora la capacidad de paso de un concreto autocompactante.

- Observaciones:

Según los autores " Anjaneyulu, G. y Alla, Suseela ", con inclusión del 5% y 10% de polvo de mármol + 1.5% de aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango a base de policarboxilatos + polvo de granito como adición a la mezcla y relación agua/cemento de 0.35, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de caja en L de 0.86 , cuyo valor indica una buena capacidad de paso y se encuentra dentro del rango admisible según el criterio de la EFNARC; a su vez es mayor al resultado de la mezcla control (0.83).

Según los autores "Rakesh Choudhary; Rajesh Gupta y Ravindra Nagar", con inclusión del 10%, 20% y 30% de polvo de mármol + 1.4% de aditivo superplastificante de alto rendimiento a base de PCE (Éter policarboxílico) + ceniza volante y humo de sílice como adición a la mezcla con relación

agua/cemento de 0.33, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de caja en L de 0.99 , cuyo valor indica una buena capacidad de paso que se encuentra dentro del rango admisible según el criterio de la EFNARC y es mayor al resultado de la mezcla control (0.97).

Según los autores "Kishan.P Pala; Krunal J Dhandha y Pares N Nimodiya", con inclusión del 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de polvo de mármol + 1.0% de aditivo superplastificante (Reductor de agua de alto rango) + ceniza volante como adición a la mezcla y relación agua/cemento de 0.36, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de caja en L de 0.92 , cuyo valor indica una buena capacidad de paso que se encuentra dentro del rango admisible según el criterio de la EFNARC y es mayor al resultado de la mezcla control (0.82).

De los resultados de los distintos autores que se aprecia en la figura 25, las cantidades de 10%, 20% y 30% de polvo de mármol, obtienen los mayores valores en el ensayo de caja en L, por lo que las mezclas con estos porcentajes son las que tienen una mejor capacidad de paso.

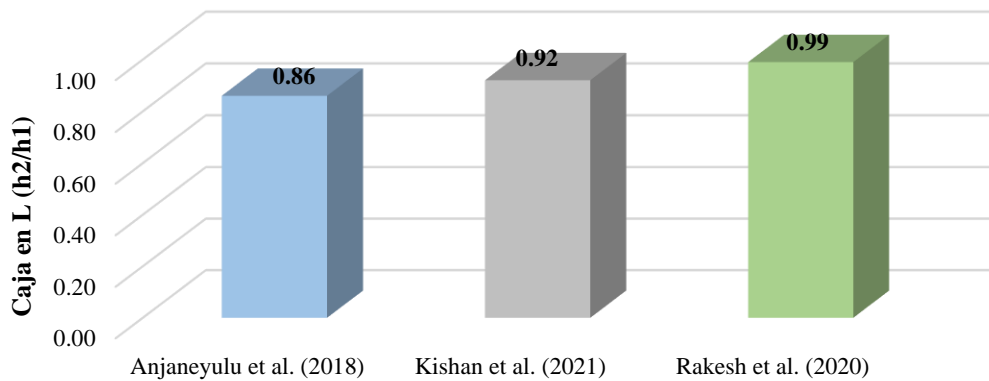


Figura 25: Resultados de caja en L para óptimos porcentajes de polvo de mármol de distintos autores

Fuente: Elaboración propia

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que la inclusión de polvo de mármol y aditivo superplastificante mejora la capacidad de paso de un concreto autocompactante.

5.2.3 Contrastación de la tercera hipótesis

Hipótesis 3: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.

Para determinar la influencia del polvo de mármol y aditivo superplastificante en concretos autocompactantes y posteriormente verificar su resistencia a la compresión, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante no aumenta la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.

H1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante si aumenta la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.

- Observaciones:

Según los autores "Vaidevi.C; T.Felix Kala y A.R.R.Kalaiyarrasi", con inclusión del 10%, 20% y 30% de polvo de mármol + 1% de aditivo superplastificante de alto rendimiento a base de PCE (Éter policarboxílico) + cenizas volantes como adición a la mezcla y relación agua/cemento de 0.28, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de resistencia a la compresión de 791 kg/cm² a los 28 días de curado, este resultado es mayor al obtenido por la mezcla control (666 kg/cm²) a los mismos días de curado.

Según los autores "Rakesh Choudhary; Rajesh Gupta y Ravindra Nagar", con inclusión del 10%, 20% y 30% de polvo de mármol + 1.4% de aditivo superplastificante de alto rendimiento a base de PCE (Éter policarboxílico) + ceniza volante y humo de sílice como adición a la mezcla con relación agua/cemento de 0.33, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de resistencia a la compresión de 617 kg/cm² a los 28 días de curado, este resultado es mayor al obtenido por la mezcla control (566 kg/cm²) a los mismos días de curado.

Según los autores "Boukhelkhal Aboubakeur; Azzouz Lakhdar; Benabed Benchaa y Belaidi Akram Salah Eddine.", con inclusión del 5%, 10%, 15% y 20% de polvo de mármol + 0.9% de aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango (HRWR) a base de policarboxilatos y relación agua/cemento de 0.4, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de resistencia a la compresión de 377 kg/cm² a los 28 días de curado, este resultado es menor al obtenido por la mezcla control (388 kg/cm²) a los mismos días de curado.

En los resultados obtenidos de los diferentes autores que se muestra en la figura 26, la cantidad de 5% y 10% de polvo de mármol, obtienen los mayores valores de resistencias a la compresión, por lo que las mezclas con este porcentaje son las que tienen una mejor resistencia a la compresión a los 28 días de curado.

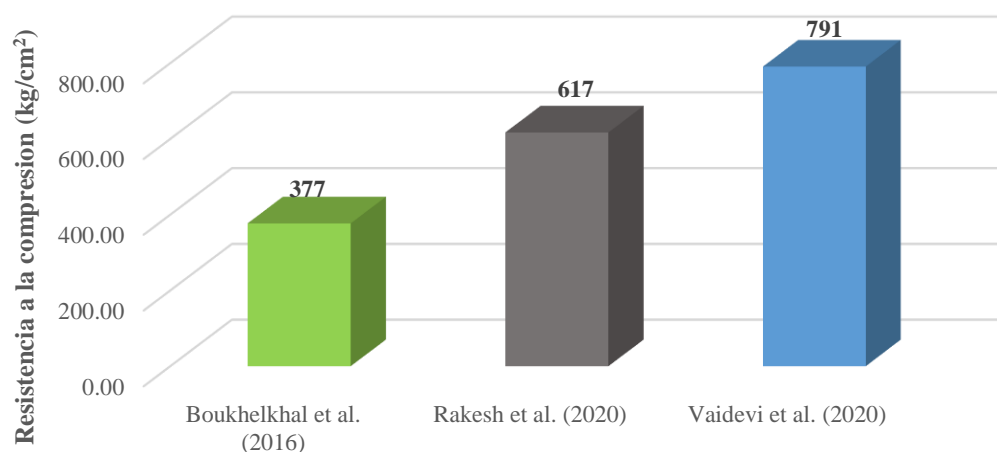


Figura 26: Resultados de resistencia a la compresión para óptimos porcentajes de polvo de mármol de distintos autores

Fuente: Elaboración propia

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que la inclusión de polvo de mármol y aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.

5.2.4 Contrastación de la cuarta hipótesis

Hipótesis 4: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.

Para determinar la influencia del polvo de mármol y aditivo superplastificante en concretos autocompactantes y posteriormente verificar su resistencia a la compresión, se requieren los resultados de ensayos de otras investigaciones.

- Hipótesis auxiliar

H0: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante no aumenta la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.

H1: Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante si aumenta la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.

- Observaciones:

Según los autores "Vaidevi.C; T. Felix Kala y A.R.R. Kalaiyarrasi", con inclusión del 10%, 20% y 30% de polvo de mármol + 1% de aditivo superplastificante de alto rendimiento a base de PCE (Éter policarboxílico) + cenizas volantes como adición a la mezcla y relación agua/cemento de 0.28, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de resistencia a la tracción de 70 kg/cm² a los 28 días de curado, este resultado es mayor al obtenido por la mezcla control (65 kg/cm²) a los mismos días de curado.

Según los autores "Anjaneyulu, G y Alla, Suseela", con inclusión del 5% y 10% de polvo de mármol + 1.5% de aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango a base de policarboxilatos + polvo de granito como adición a la mezcla y relación agua/cemento de 0.35, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de resistencia a la tracción de 36 kg/cm² a los 28 días de curado, este resultado es mayor al obtenido por la mezcla control (32 kg/cm²) a los mismos días de curado.

Según los autores "Mansoor, Junaid; Syeed A.R. Shah; Mudasser M. Khan; Abdullah N. Sadiq; Muhammad K. Anwar; Muhammad U. Siddiq y Hassam Ahmad ", con inclusión del 5%, 10%, 15%, 20% y 25% de polvo de mármol + 1.6% de aditivo superplastificante (Condensado de naftalina sulfonada) reductor de agua de alto rango + humo de sílice como adición a la mezcla y relación agua/cemento de 0.4, se obtiene un resultado óptimo en el Ensayo de resistencia a la tracción de 20 kg/cm² a los 28 días de curado, este resultado es mayor al obtenido por la mezcla control (10 kg/cm²) a los mismos días de curado.

En los resultados de los diferentes autores que se aprecia en la figura 27, las cantidades de 5%, 10% y 25% de polvo de mármol, obtienen los mayores valores de resistencias a la tracción, por lo que las mezclas con este porcentaje son las que tienen una mejor resistencia a la tracción a los 28 días de curado.

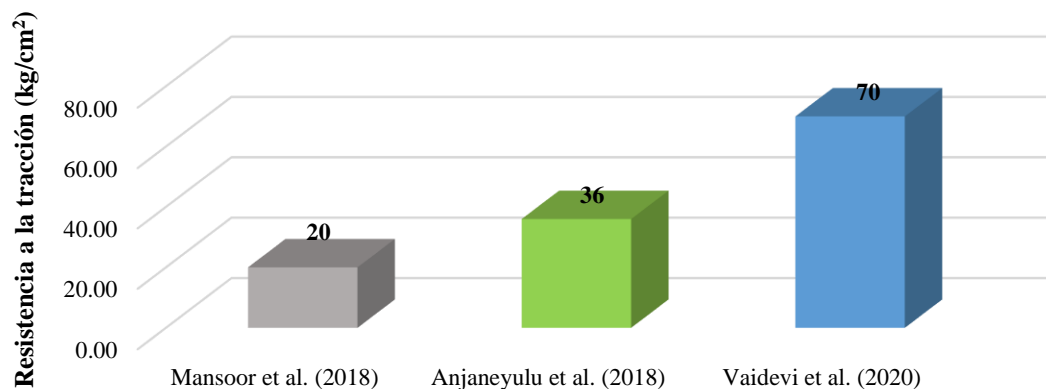


Figura 27: Resultados de resistencia a la tracción para óptimos porcentajes de polvo de mármol de distintos autores

Fuente: Elaboración propia

Se rechaza la hipótesis nula (H0) y se acepta la hipótesis alterna (H1) ya que se demuestra según las observaciones, que la inclusión de polvo de mármol y aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.

DISCUSIONES

Para el desarrollo de la presente investigación se analizan tesis y artículos relacionados al tema en cuestión, de los cuales fueron seleccionados 7 de los 46 estudiados. Siendo estos los siguientes: Vaidevi et al. (2020); Anjaneyulu et al. (2018); Boukhelkhal et al. (2016); Mansoor et al. (2018); Rakesh et al. (2020); Dina et al. (2016) y Kishan et al. (2021). Estas investigaciones abarcan indicadores y resultados los cuales sirven para responder a los objetivos planteados en esta investigación, así como estudios referidos a propiedades de un concreto autocompactante tanto en estado fresco como endurecido, con adición de polvo de mármol y aditivo superplastificante en el diseño de mezcla.

Según los resultados del ensayo de *Slump flow* que indican la capacidad de relleno de un concreto autocompactante, los autores Vaidevi et al. (2020) y Dina et al. (2016), obtienen un mejor resultado para un 20% de polvo de mármol, mientras que el autor Mansoor et al. (2018), obtiene como óptimo porcentaje el correspondiente al 15%, en todos los casos el tipo de aditivo es un superplastificante reductor de agua de alta gama. El autor Mansoor et al. (2018) obtiene un resultado mayor que los autores anteriormente mencionados (782 mm), ya que cuenta con relación $a/c=0.4$, así como 1.6% de aditivo superplastificante y humos de sílice. Si bien todos los autores adicionan humos de sílice o cenizas volantes en su mezcla, el autor Mansoor et al. (2018) usa como superplastificante un Condensado de naftalina sulfonada que reduce menos porcentaje de agua (De 12% a 24%) en comparación a la de los demás autores que usan superplastificantes a base de policarboxilatos (De 24% a 40%) lo que conlleva a que sus mezclas obtengan mejor fluidez. Cabe resaltar que el autor Mansoor et al. (2018), con adición de 15% de polvo de mármol, es quien obtiene mayor aumento en los resultados de este ensayo, aproximadamente un 2.9% en comparación a su mezcla con adición del 5%. También se observa que al exceder la cantidad de polvo mármol hace que los resultados del ensayo de *Slump flow* decrezcan.

Los resultados del ensayo caja en L que indican la capacidad de paso de un concreto autocompactante de los autores Anjaneyulu et al. (2018) y Kishan et al. (2021), obtienen mayores resultados en el ensayo con un óptimo porcentaje de 10% y 20% de polvo de mármol respectivamente, mientras que el autor Rakesh et al. (2020) obtiene un valor mayor con el 30% polvo de mármol como adición en la mezcla. En todas las mezclas el aditivo usado fue un superplastificante reductor de agua de alta gama. El mayor resultado

de este ensayo lo obtiene el autor Rakesh et al. (2020), con un resultado de 0.99, ya que en la dosificación del diseño de mezcla se consideró una relación $a/c=0.33$ y a su vez añade humos sílice, esto hace que aumente la cantidad de agua para mantener la relación a/c de diseño, por lo que este aumento la fluidez de la mezcla y se ve reflejada en el resultado del ensayo de caja en L. Cabe señalar que el autor Kishan et al. (2021) con adición de 20% de polvo de mármol obtiene el mayor aumento en el resultado de este ensayo que es del 12% aproximadamente en comparación a la mezcla control.

De acuerdo a los resultados para el ensayo de resistencia a la compresión de los autores Vaidevi et al. (2020) y Rakesh et al. (2020), indican un mayor resultado para la adición del 10% de polvo de mármol, 791 kg/cm^2 y 617 kg/cm^2 respectivamente a los 28 días de curado, mientras que para el autor Boukhelkhal et al. (2016) obtiene menores resultados en este ensayo a medida que incrementan la cantidad de polvo de mármol en sus mezclas, considerando que todos los autores mencionados usan aditivos superplastificantes reductores de agua de alta gama a base de policarboxilatos. Cabe resaltar que solo los autores Vaidevi et al. (2020) y Rakesh et al. (2020) obtienen mayores valores en comparación a sus mezclas control, con un incremento de resistencia a la compresión del 19% y 9% respectivamente; ya que cuentan con relaciones a/c de 0.28 y 0.33, que a su vez son menores respecto a la de los demás autores citados anteriormente.

Según los resultados del ensayo de resistencia a la tracción, el autor Vaidevi et al. (2020) tiene un valor óptimo de resistencia a la tracción de 70 kg/cm^2 con el 10% de polvo de mármol, mientras que el autor Anjaneyulu et al. (2018) obtiene un mayor valor de resistencia a la tracción de 36 kg/cm^2 para un 5% de polvo de mármol, y el autor Mansoor et al. (2018) obtiene un mayor valor de resistencia a la tracción para mezcla con 25% de polvo de mármol, todos los resultados para los 28 días de curado y con el uso de aditivos superplastificantes reductores de agua de alta gama a base de policarboxilatos. Se observa que el autor Mansoor et al. (2018), es quien obtienen un mayor incremento respecto a su mezcla control, sin embargo, sus valores (20 kg/cm^2) son menores en comparación a la de los demás autores. Cabe resaltar que el autor Vaidevi et al. (2020) tiene un valor mayor de resistencia a la tracción (70 kg/cm^2) en comparación a los demás autores, ya que cuenta con una menor relación a/c de 0.28, este valor de resistencia a la tracción aumenta en 8% aproximadamente en comparación a los resultados a la mezcla control.

CONCLUSIONES

1. Para esta investigación, de los resultados obtenidos se concluye que la capacidad de relleno mejora en 2.9% para las mezclas con 15% de polvo de mármol y 1.6 % de aditivo superplastificante. Para adiciones del 20% de polvo de mármol y 1% de aditivo superplastificante, se observó que la capacidad de paso mejora en 12% respecto a las mezclas control. Del mismo modo para las propiedades mecánicas, se observó un aumento del 19% en los resultados de resistencia a la compresión para la adición del 10% de polvo de mármol y un aumento del 8% para los resultados de resistencia a la tracción para las mezclas con adición del 10% de polvo de mármol; obteniendo valores máximos de 791 kg/cm² y 70 kg/cm² respectivamente a los 28 días de curado. De lo antes expuesto se concluye que el polvo de mármol y aditivo superplastificante mejoran las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante.
2. La adición de polvo de mármol y aditivo superplastificante en un concreto autocompactante, influyen en los resultados del ensayo *Slump flow*, ensayo que refleja la capacidad de relleno de estos concretos. Si bien las mejoras no fueron significativas para los resultados del ensayo *Slump Flow* se obtiene un máximo valor de 782 mm., al añadir 15% de polvo de mármol y 1.6% de aditivo superplastificante, lo que indica una excelente capacidad de relleno para esta mezcla y una categoría SF3, según GPE (2002), que indica que esta mezcla puede ser aplicada en estructuras verticales muy armadas y estructuras de formas complejas. Las mezclas que obtienen mayores resultados con estos óptimos porcentajes usan aditivos superplastificantes reductores de agua a base de policarboxilatos de alto rango lo que permite obtener un concreto muy fluido sin la necesidad de aumentar la relación agua/cemento, por lo que se concluye que las mezclas con óptimos porcentajes de polvo de mármol y aditivos superplastificantes mejoran la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.
3. Al agregar polvo de mármol y aditivo superplastificante en la dosificación de un concreto autocompactante, influyen en los resultados del ensayo de caja en L, la cual refleja la capacidad de paso de un concreto autocompactante. Para este ensayo el óptimo porcentaje es para la adición del 20% de polvo de mármol y cuenta con 1% de aditivo superplastificante reductor de agua a base de policarboxilatos de alto rango, se muestra un aumento del 12% en comparación a la mezcla control, con un valor de 0.92 en el ensayo de caja en L, que indica una buena capacidad de paso y puede ser usada

en estructuras densamente armadas, tanto horizontales como verticales. Se concluye que las mezclas con óptimas adiciones de polvo de mármol y aditivo superplastificante mejoran la capacidad de paso de un concreto autocompactante.

4. La incorporación del polvo de mármol y aditivo superplastificante aumentan significativamente en la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante, ya que, una correcta dosificación y adición de estos elementos permiten obtener hasta un incremento del 19% en la resistencia a la compresión con respecto a la muestra control, para adiciones del 10% de polvo de mármol. Se identifica resistencias máximas de 791 kg/cm^2 y 617 kg/cm^2 a los 28 días de curado para adiciones del 10% de polvo de mármol, éstas mezclas cuentan con una menor relación agua/cemento, 0.28 y 0.33 respectivamente, y en ambos casos el aditivo superplastificante usado es un reductor de agua de alta gama a base policarboxilatos, que permite obtener estas bajas relaciones agua/cemento sin afectar la resistencia del concreto, por lo que concluimos que al añadir el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante, aumentan la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.
5. La adición en la mezcla de polvo mármol y aditivo superplastificante influyen en la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante, el valor máximo de resistencia a la tracción (70 kg/cm^2) tiene un aumento de 8% con respecto a la mezcla control con una óptima adición del 10% de polvo de mármol y con el 1% aditivo superplastificante reductor de agua de alto rango para los 28 días de curado, esta dosificación tiene una menor relación agua/cemento que las demás dosificaciones, que permite tener un aumento en la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante. De lo antes expuesto, se concluye que el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante, aumentan la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.

RECOMENDACIONES

1. Al adicionar entre 15% y 20% de polvo de mármol, nos garantiza que la mezcla tenga valores mayores a 670 mm en el ensayo de *Slump Flow*, que indican una buena capacidad de relleno para concretos autocompactantes y a la vez pueden ser aplicadas en estructuras geoméricamente complejas, obteniendo un mejor acabado superficial de las mismas.
2. Usando adiciones de 10% - 30% de polvo de mármol y 1% - 1.5% de aditivo superplastificante en la mezcla de un concreto autocompactante, se obtienen resultados mayores de 0.86 en el ensayo de caja en L, que indican una buena capacidad de fluir a través de las armaduras, ideal para su aplicación en estructuras verticales densamente armadas y geometrías complejas.
3. El polvo de mármol en cantidades aproximadas al 10% del peso de cemento en la mezcla de un concreto autocompactante, aporta mayor resistencia a la misma, ya que se observan resultados hasta de 791 kg/cm² a los 28 días de curado, resistencias adecuadas para aplicarlas en edificaciones de grandes alturas y en la elaboración de estructuras prefabricadas.
4. Si bien un concreto convencional no aporta resistencia a la tracción para una determinada estructura, un concreto autocompactante con porcentaje del 10% de polvo de mármol y con adición del 1% de aditivo superplastificante obtiene hasta 70 kg/cm² en el ensayo de resistencia a la tracción a los 28 días de curado, mejorando esta propiedad mecánica.
5. Para próximas investigaciones relacionadas al tema de estudio de la presente tesis, enfocar su investigación a la viabilidad económica sobre el aditivo residual estudiado para poder evaluar su uso e incorporarlo en la industria de la construcción, así como ahondar en la influencia de estas adiciones a otra propiedad mecánica como la resistencia a la flexión para obtener un mejor panorama sobre el desempeño del polvo de mármol.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abad González, J. A. y Romero Loyola, J. M. (2016). "*Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas*". (Tesis de grado), Universidad de Cuenca – Ecuador. Recuperado de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/25836>.
- Abanto Castillo, F. (2005). *Tecnología Del Concreto (Teoría Y Problemas)*. Lima. Recuperado de: <https://www.udocz.com/pe/read/21543/tecnologia-del-concreto-teoria-y-problemas-ing-flavio-abanto-castillo>.
- ACI (American Concrete Institute) Committee 318-19.
- ACI 318 (2019). Requisitos de reglamento para concreto estructural.
- Alonso López, M. (2011). "*Comportamiento y compatibilidad de cementos y aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos. Efecto de la naturaleza de los cementos y estructura de los aditivos*". (Tesis Doctoral), Universidad Autónoma de Madrid - España. Recuperado de <https://docplayer.es/56832615-Maria-del-mar-alonso-lopez.html>.
- Álvarez Gonzáles, J. L. (2014). "*Hormigón autocompactante con nano adiciones y fibras*" (Tesis de maestría) Universidad Politécnica de Madrid. Madrid - España. Recuperado de http://oa.upm.es/35549/1/Tesis_master_Jose%20Luis_Alvarez_Gonzalez.pdf.
- ANFAH (2016). Asociación Nacional de Fabricantes de Aditivos para Hormigón y Mortero.
- Anjaneyulu, G y Alla, Suseela (2018). "*Experimental study on self compacting concrete incorporating marble powder and granite powder*". International Journal of Pure and Applied Mathematics. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/342491673_EXPERIMENTAL_STUDY_ON_SELF_COMPACTING_CONCRETE_INCORPORATING_MARBLE_POWDER_AND_GRANITE_POWDER.

- Aquino Carreón, Herbert Silvio (2021). “*Análisis de la resistencia de concretos autocompactantes con agregados artificiales para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=315 \text{ kg/cm}^2$ en puno 2018*”. (Tesis de grado), Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio institucional. Recuperado de <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/15449>.
- ASTM C494 (2019). Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto.
- ASTM C – 150 (2007). Especificación Normalizada para Cemento Portland.
- ASTM C – 136 (2005). Método de ensayo normalizado para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos.
- ASTM C – 39 (2008). Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.
- ASTM C – 78 (2002). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión del concreto (Utilizando viga simple con carga en los tercios del claro).
- ASTM C – 1017 (2007). Especificación Normalizada para Aditivos Químicos para Uso en la Producción de Concreto Fluido.
- ASTM C – 1611/C – 1611 M (2011). Método de prueba estándar para el flujo de asentamiento de concreto autoconsolidado.
- ASTM C – 230 (2013). Especificación estándar para la tabla de flujo para uso en pruebas de cemento hidráulico.
- Betancourt Chávez Julio Roberto (2015). “*Revisión sobre el uso de residuos de mármol, para elaborar materiales para la construcción*”. Revista de Arquitectura e Ingeniería. 2015; 9(3):1-12. [Fecha de Consulta 7 de septiembre de 2021]. ISSN. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193943013004>.
- Boukhelkhal Aboubakeur, Azzouz Lakhdar, Benabed Benchaa y Belaïdi Akram Salah Eddine (2018). “*Strength and durability of low-impact environmental self-compacting concrete incorporating waste marble powder*”. Journal of Building

Materials and Structures, 4(2), 31–41. Recuperado de <https://doi.org/10.5281/zenodo.1134146>.

Boukhelkhal Aboubakeur, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaïdi & Benchaa Benabed (2016). "*Effects of marble powder as a partial replacement of cement on some engineering properties of self-compacting concrete*". Journal of Adhesion Science and Technology, 30:22, 2405-2419. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/01694243.2016.1184402>.

Burgos, D., Guzmán, A., Hossain, K. M., & Delvasto, S. (2017). "*The use of a volcanic material as filler in self-compacting concrete production for lower strength applications*". Materiales De Construcción, 67(325), e111. Recuperado de <https://doi.org/10.3989/mc.2017.09315>.

Burón Manuel (2006). "*Hormigón autocompactante, criterios para su utilización*". ISSN: 0008-8919. PP.: 52-64 Recuperado de <https://www.ieca.es/wp-content/uploads/2017/10/Buron%20-%20Fernandez-Gomez%20-Garrido%20-%20autocompactante.pdf>.

Bustamante Tirado, Marisol (2018). "*Análisis de las propiedades mecánicas del concreto autocompactante, usando el aditivo superplastificante Glenium c 313*" (Tesis de grado), Universidad Nacional de Cajamarca. Recuperado de <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1836>.

Chavarry Vallejos, C. M., Chavarría Reyes, L. J., Valencia Gutiérrez, A. A., Pereyra Salardi, E., Arieta Padilla, J. P. y Rengifo Salazar, C. A. (2020). "*Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica*". Pro Sciences: Revista De Producción, Ciencias E Investigación, 4(31), 31–41. Recuperado de <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss31.2020pp31-41>.

Chután Muñoz, R. A. (2004). "*Concreto autocompactado experimentación en Guatemala*" (Tesis de grado), Universidad de San Carlos de Guatemala. Repositorio institucional. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2498_C.pdf.

- Coppola L. (2000). "*Self-Compacting Concrete, II Calcestruzzo Autocompattante. Proprietà ed Applicazioni*". Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/270587937_L_Coppola_Self-Compacting_Concrete_II_Calcestruzzo_Autocompattante_Proprieta_ed_Applicazioni.
- Danish, P., & Ganesh, M. G. (2020). "*Behaviour of self-compacting concrete using different mineral powders addition in ternary blends*". *Revista Romana De Materiale*, 50(2), 232-239. Recuperado de <http://aulavirtual.urp.edu.pe/bdacademicas/scholarly-journals/behaviour-self-compacting-concrete-using/docview/2418150030/se-2?accountid=45097>.
- Danish, P., & Ganesh, G. M. (2020). "*Durability properties of self-compacting concrete using different mineral powders additions in ternary blends*". *Revista Romana De Materiale*, 50(3), 369-378. Recuperado de <http://aulavirtual.urp.edu.pe/bdacademicas/scholarly-journals/durability-properties-self-compacting-concrete/docview/2445993784/se-2?accountid=45097>.
- Dina M. Sadek, Mohamed M. El-Attar, Haitham A. Ali (2016). "*Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development*". *Journal of Cleaner Production*, Volume 121, Pages 19-32, ISSN 0959-6526. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.02.044>.
- Directrices Europeas para Hormigón Autocompactante. (2006).
- EFNARC (2002). Federación Europea de Asociaciones Nacionales que Representan al Concreto.
- Elahi, A., & Ali, A. (2017). "*Experimental investigation of fibre reinforced self-compacting concrete containing marble powder*". *NED University Journal of Research*, 14(1), 27-35. Recuperado de <http://aulavirtual.urp.edu.pe/bdacademicas/scholarly-journals/experimental-investigation-fibre-reinforced-self/docview/1963393792/se-2?accountid=45097>.

- F. Fiol, C. Thomas, C. Muñoz, V. Ortega-López, J.M. Manso (2018). "*The influence of recycled aggregates from precast elements on the mechanical properties of structural self-compacting concrete*". Construction and Building Materials, Volume 182, Pages 309-323, ISSN 0950-0618. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.132>.
- Gálvez Moreno, D. (2015). "*Robustez de un concreto autocompactable producido con materiales disponibles en la región de Monterrey, Nuevo León*". (Tesis de maestría), Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/9526>.
- Ghrici, M., Choucha, S., Ghrici, M. and Omran, A. (2018). "*Influence of limestone dust and natural pozzolan on engineering properties of self-compacting repair mortars*". Frattura ed Integrità Strutturale, 12(45), pp. 135–146. Recuperado de <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.45.11>.
- ICH (2013). Instituto del cemento y del hormigón
- EHE (2008). Instrucción de hormigón estructural.
- Iqbal, S., Ali, A., Holschemacher, K., Ribakov, Y., Bier, T. A. (2017). "*Effect of Fly Ash on Properties of Self-Compacting High Strength Lightweight Concrete*". Periodica Polytechnica Civil Engineering, 61(1), pp. 81–87. Recuperado de <https://doi.org/10.3311/PPci.8171>.
- Itintec 339. 086. Hormigón (concreto). Aditivo para el hormigón. Requisitos.
- Kishan.P Pala, Krunal J Dhandha y Paresh N Nimodiya (2021). "*Use of Marble Powder and Fly Ash in Self Compacting Concrete*". (IJIRST/ Volume 1 / Issue 12 / 080). Recuperado de <http://www.ijirst.org/articles/IJIRSTV1I12133.pdf>.
- Kursat Esat Alyamac y Ehsan Ghafari, Ragip Ince (2017). "*Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method*". Journal of Cleaner Production, Volume 144, Pages 192-202. ISSN 0959-6526. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.156>.

- Manikandan.m, manikandan.m. (2016). "*Experimental study on properties of granite waste in self compacting concrete*". Research Scholar, Department of Civil Engineering, St. Peter's University, Chennai, India. Recuperado de <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.1705.1120>.
- Mansour Sabria Malika (2020). "*Behavior of self- compacting concrete incorporating calcined pyrophyllite as supplementary cementitious material*". J. Build. Mater. Struct. 7: 119-129. Recuperado de <https://doi.org/10.5281/zenodo.4005645>.
- Mansoor, Junaid, Syeed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq, and Hassam Ahmad (2018). "*Analysis of Mechanical Properties of Self Compacted Concrete by Partial Replacement of Cement with Industrial Wastes under Elevated Temperature*". Applied Sciences 8, no. 3: 364. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/app8030364>.
- Martínez-García, Rebeca, P. Jagadesh, Fernando J. Fraile-Fernández, Julia M. Morán-del Pozo, and Andrés Juan-Valdés (2020). "*Influence of Design Parameters on Fresh Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled Aggregate—A Review*". Materials 13, no. 24: 5749. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ma13245749>.
- Mego Zapata, Juan Carlos; Meza Caballero, Kevin Erwin (2018). "*Influencia de la ceniza de caña, aditivo superplastificante y tiempo de curado sobre la compresión, rigidez, capacidad de llenado - paso y fluidez de un concreto autocompactante*". (Tesis de grado), Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11113>.
- Mohsen Tennich, Abderrazek Kallel, Mongi Ben Ouezdou (2015). "*Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes*". Construction and Building Materials, Volume 91, Pages 65-70, ISSN 0950-0618. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.052>.
- Molina Segura, C. J. y Saldaña Pacheco, S. O. (2014). "*Influencia del aditivo hiperplastificante plastol 200 ext en las propiedades del concreto autocompactante en estado fresco y endurecido*". (Tesis de grado), Universidad

Privada Antenor Orrego. Repositorio institucional. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12759/633>.

Mucteba Uysal (2018). "*The Use of Waste Maroon Marble Powder and Iron Oxide Pigment in the Production of Coloured Self-Compacting Concrete*". *Advances in Civil Engineering*, vol. 2018, Article ID 8093576, 10 pages. Recuperado de <https://doi.org/10.1155/2018/8093576>.

Muñoz Ángela y Pacheco Doroffi (2018). "*Estudio para la optimización del diseño de un concreto autocompactante reforzado con fibras de acero*". (Tesis de grado), Universidad Nacional San Agustín. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4774>.

MTC – 2016. Manual de ensayos de materiales.

Nili, Mahmoud, Hossein Sasanipour, and Farhad Aslani (2019). "*The Effect of Fine and Coarse Recycled Aggregates on Fresh and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete*". *Materials* 12, no. 7: 1120. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/ma12071120>.

Norma Concreto Armado. E.060. (2016).

Norma española UNE-EN 934-2 (2010-2012).

NTP 339.034.2008 (2013). HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

NTP 339.047 (2006). *Hormigón (concreto). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados*. 2ª. Ed. R. 2006-crt-indecopi.

NTP 339.079 (2012). CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo. 3ª. Ed. R. 2012-CRT-INDECOPI

NTP 334.088 (2006). Cementos. Aditivos químicos en pastas, morteros y hormigón (concreto). Especificaciones contenido: métodos de ensayo.

- NTP 334.009 (2005). CEMENTOS. Cementos Pórtland. Requisitos.
- NTP 400.011.2008 (2013) AGREGADOS. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2ª. Ed. R. 2013-CRTINDECOPI.
- NTP 400.012 / ASTM C136. (2001). Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.
- NTP 400.037 (2014). AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto.
- NTP 400.019. (2002). Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto de la máquina de los Ángeles.
- Okamura, H; Ouchi Masahiro (2003). "*Self-Compacting Concrete*". Journal of Advanced Concrete technology 1 (1): 5-1 5. Recuperado de <https://doi.org/10.3151/jact.1.5>.
- Olatokunbo Ofuyatan, Olatokunbo Ofuyatan, Kayode-Thomas Enoch, Oluwafuminiyi Ogundeji y David Omole (2021). "*Marble waste and recycled concrete aggregates in self compacting concrete (SSC): an evaluation of fresh and hardened properties*". Australian Journal of Civil Engineering. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/14488353.2021.1921342>.
- Palomino Román, Julián Herbert (2017). "*Estudio comparativo en la autoconstrucción de edificaciones utilizando concreto autocompactante con la incorporación de aditivo superplastificante frente al concreto convencional realizados en la ciudad de Abancay*". (Tesis de grado), Universidad Tecnológica de los Andes. Recuperado de <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/101>.
- Quiliche, J. S. (2018). "*Influencia del polvo de mármol y superplastificante sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante, Trujillo 2018*". (Tesis de grado), Universidad Privada del Norte. Repositorio institucional. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/13200>.

- Rabanal Gonzales, D. C., y Su Chaquí, A. R. (2017). "*Diseño de un concreto autocompactable*". (Tesis de grado), Universidad Señor de Sipán. Repositorio institucional. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12802/2713>.
- Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta y Ravindra Nagar (2020). "*Impact on fresh, mechanical, and microstructural properties of high strength self-compacting concrete by marble cutting slurry waste, fly ash, and silica fume*". Construction and Building Materials. Volume 239, 117888, ISSN 0950-0618. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117888>.
- Rayed Alyousef, Mohamed Amine Khadimallah, Chokri Soussi, Omrane Benjeddou y Malek Jedidi (2018). "*Experimental and Theoretical Study of a New Technique for Mixing Self-Compacting Concrete with Marble Sludge Grout*". Advances in Civil Engineering, vol. 2018, Article ID 3283451, 11 pages. Recuperado de <https://doi.org/10.1155/2018/3283451>.
- Rayed Alyousef, Omrane Benjeddou, Mohamed Amine Khadimallah, Abdeliazim Mustafa Mohamed y Chokri Soussi (2018). "*Study of the Effects of Marble Powder Amount on the Self-Compacting Concretes Properties by Microstructure Analysis on Cement-Marble Powder Pastes*". Advances in Civil Engineering, vol. 2018, Article ID 6018613, 13 pages. Recuperado de <https://doi.org/10.1155/2018/6018613>.
- Rayed Alyousef, Chokri Soussi, Omrane Benjeddou, Mohamed Amine Khadimallah y Malek Jedidi (2018). "*New technique for mixing self-compacting concrete with marble sludge grout*". The 6th international colloquium E3D 2018 "Water, Waste and Sustainable Development" 22 to 25 March 2018, Hammamet, Tunisia. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/324115413>.
- Rayed Alyousef, Omrane Benjeddou, Chokri Soussi, Mohamed Amine Khadimallah y Abdeliazim Mustafa Mohamed (2019). "*Effects of Incorporation of Marble Powder Obtained by Recycling Waste Sludge and Limestone Powder on Rheology, Compressive Strength, and Durability of Self-Compacting Concrete*". Advances in Materials Science and Engineering, vol. 2019, Article ID 4609353, 15 pages. Recuperado de <https://doi.org/10.1155/2019/4609353>.

- Rivva López Enrique. (2014). "*Materiales para el Concreto. Instituto de la Construcción y Gerencia*".
- Robayo, Rafael A, Matthey, Pedro E, Silva, Yimmy F, y Delvasto, Silvio (2016). "*Obtención de un concreto autocompactante empleando adiciones de escoria de carbón finamente molida*". *Ingeniería y Desarrollo*, 34(1), 24-43. Recuperado de <https://doi.org/10.14482/inde.33.2.6368>.
- Rodríguez Méndez, B. J. (2019). "*Influencia de los superplastificante tipo F sobre sus propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante*". (Tesis de grado), Universidad Privada del Norte. Repositorio institucional. Recuperado de <http://hdl.handle.net/11537/23402>.
- Sánchez Hidalgo Leidy Ysis Yasodara (2014). "*Efecto del aditivo superplastificante Sika Viscocrete en la resistencia mecánica del concreto autocompactante*". (Tesis de grado), Universidad Nacional de Cajamarca. Repositorio institucional. Recuperado de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/393>.
- Segura Franco Jorge, I. (2011). "*Estructura de Concreto I (Vol. 7). Colombia: Ayala Ávila & Cia Ltda.*"
- Sharbatdar, M. K., Abbasi, M., Fakharian, P. (2020). "*Improving the Properties of Self-compacted Concrete with Using Combined Silica Fume and Metakaolin*". *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 64(2), pp. 535–544. Recuperado de <https://doi.org/10.3311/PPci.11463>.
- Silva, Yimmy, Robayo, Rafael, Matthey, Pedro, y Delvasto, Silvio (2015). "*Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición*". *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 35(1), 86-94. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000100012&lng=es&tlng=es..
- Silva Urrego, Y. F., Valencia Saavedra, W. G., y Delvasto Arjona, S. (2018). "*Concreto autocompactante con altos contenidos de subproductos de la combustión de carbón*". *Informador Técnico*, 82(2), 147–159. Recuperado de <https://doi.org/10.23850/22565035.1485>.

- Soberón López Iván, F. (2015). "*Diseño de mezclas de hormigón autocompactante utilizando agregados de minas locales y su influencia en las propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua*". Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/15910/1/Tesis%20938%20-%20Sober%20L%20Iv%20Fernando.pdf>.
- Szilagyi, Henriette (2017). "*Designing self-compacting fibre reinforced concrete compositions by optimal materials synthesis*". 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017. Recuperado de <https://doi.org/10.5593/sgem2017/62>.
- T. R. Danya, N. Sakthieswaran (2020). "*Effect of fly ash and metakaolin on the strength and stability characteristics of self compacting concrete*". Romanian Journal of Materials 2020, 50(4), 531 – 536. Recuperado de <https://solacolu.chim.upb.ro/pg531-536.pdf>.
- Ulubeyli, Gulden Cagin y Turhan Bilira, Recep (2016)."*Durability Properties of Concrete Produced by Marble Waste as Aggregate or Mineral Additives*". Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.08.689>.
- Vaidevi.C, T. Felix Kala, A.R.R. Kalaiyarrasi (2019). "*Mechanical and durability properties of self-compacting concrete with marble fine aggregate*". Materials Today: Proceedings. Volume 22, Part 3, Pages 829-835, ISSN 2214-7853. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.11.019>.
- Vaidevi.C, T. Felix Kala, A.R.R. Kalaiyarrasi (2020). "*Study on Mechanical and Durability Properties of Self-Compacting with Marble Powder*". International Journal of Advanced Science and Technology, 29(7), 2453-2462. Recuperado de <http://sersc.org/journals/index.php/IJAST/article/view/18000>.
- Valdez P., Barragán B., Girbes I., N. Shuttleworth y A. Cockburn (2011). "Uso de residuos de la industria del mármol como filler para la producción de hormigones autocompactantes". Materiales de construcción, ISSN 0465-2746,

Nº. 301, 2011, págs. 61-76. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3439849>

Xavier Beatriz, Verzegnassi Emerson, Bortolozo Ausdinir, Moreira Alves Samira, Lintz Rosa, Gachet, Luísa y Osório Wislei (2020). "*Fresh and Hardened States of Distinctive Self-Compacting Concrete with Marble- and Phyllite-Powder Aggregate Contents*". *Journal of Materials in Civil Engineering*. 32. 04020065. 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003103. Recuperado de [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0003103](http://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003103).

Yimmy Fernando Silva Urrego, William Gustavo Valencia Saavedra y Silvio Delvasto Arjona. (2018). "*Self-compacting concrete with high content of coal combustion sub-products*". *Informador Técnico*, 82(2), 147–159. Recuperado de <http://doi.org/10.23850/22565035.1485>.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia: “Polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DISEÑO DE MÉTODO
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	DISEÑO DE MÉTODO
¿De qué manera el polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante?	Determinar el porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante.	Al determinar el porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante se mejoran las propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante.	Porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante.	Óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante	El método es deductivo, debido a que se contrasta investigaciones pasadas para determinar un diseño óptimo a partir de la influencia del polvo de mármol y aditivo superplastificantes para mejorar las propiedades del concreto autocompactante
PROBLEMA ESPECÍFICO	OBJETIVO ESPECÍFICO	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADORES	
¿De qué manera el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en la capacidad de relleno de un concreto autocompactante?	Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.	Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante se mejora la capacidad de relleno de un concreto autocompactante.	Propiedades físicas y mecánicas de un concreto autocompactante	Capacidad de relleno	El enfoque es mixto ya que la investigación recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos de una serie de investigaciones para responder al planteamiento del problema.

¿De qué manera el óptimo porcentaje polvo mármol y aditivo superplastificante influyen en la capacidad de paso de un concreto autocompactante?	Determinar el óptimo porcentaje del polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar la capacidad de paso de un concreto autocompactante.	Al determinar el óptimo porcentaje del polvo de mármol y aditivo superplastificante se mejora la capacidad de paso de un concreto autocompactante.	Capacidad de paso	
¿De qué manera el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante?	Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para aumentar la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.	Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.	Resistencia a la compresión	
¿De qué manera el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante influyen en la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante?	Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para aumentar la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.	Al determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante aumenta la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.	Resistencia a la tracción	De orientación aplicada y fuente retrolectiva debido a que se recurre a fuentes de información existentes.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de referencias bibliográficas: Artículos y tesis de autores que sustentan la tesis.

#	Autor	Título	Cita Bibliográfica
1	Rayed Alyousef, Omrane Benjeddou, Mohamed Amine Khadimallah, Abdeliazim Mustafa Mohamed y Chokri Soussi	Study of the Effects of Marble Powder Amount on the Self-Compacting Concretes Properties by Microstructure Analysis on Cement-Marble Powder Pastes	Rayed Alyousef, Omrane Benjeddou, Mohamed Amine Khadimallah, Abdeliazim Mustafa Mohamed y Chokri Soussi (2018). "Study of the Effects of Marble Powder Amount on the Self-Compacting Concretes Properties by Microstructure Analysis on Cement-Marble Powder Pastes".
2	Boukhelkhal Aboubakeur, Azzouz Lakhdar, Benabed Benchaâ y Belaïdi Akram Salah Eddine.	Strength and durability of low-impact environmental self-compacting concrete incorporating waste marble powder	Boukhelkhal Aboubakeur, Azzouz Lakhdar, Benabed Benchaâ y Belaïdi Akram Salah Eddine (2018). "Strength and durability of low-impact environmental self-compacting concrete incorporating waste marble powder".
3	Yimmy Fernando Silva Urrego, William Gustavo Valencia Saavedra y Silvio Delvasto Arjona.	Self-compacting concrete with high content of coal combustion sub-products	Silva Urrego, Y. F., Valencia Saavedra, W. G., & Delvasto Arjona, S. (2018). "Self-compacting concrete with high content of coal combustion sub-products".
4	Daniel Gálvez Moreno	Robustez de un concreto autocompactable producido con materiales disponibles en la región de monterrey, Nuevo León	Daniel Gálvez Moreno (2015). "Robustez de un concreto autocompactable producido con materiales disponibles en la región de Monterrey, Nuevo León".
5	Marisol Bustamante Tirado	Análisis de las propiedades mecánicas del concreto autocompactante, usando el aditivo superplastificante glenium c 313	Marisol Bustamante Tirado (2018). "Análisis de las propiedades mecánicas del concreto autocompactante, usando el aditivo superplastificante glenium c 313".
6	Rayed Alyousef, Mohamed Amine Khadimallah, Chokri Soussi, Omrane Benjeddou, Malek Jedidi	Experimental and Theoretical Study of a New Technique for Mixing Self-Compacting Concrete with Marble Sludge Grout	Rayed Alyousef, Mohamed Amine Khadimallah, Chokri Soussi, Omrane Benjeddou, Malek Jedidi (2018). "Experimental and Theoretical Study of a New Technique for Mixing Self-Compacting Concrete with Marble Sludge Grout".
7	Sharbatdar, M. K., Abbasi, M., Fakharian, P.	Improving the Properties of Self-compacted Concrete with Using Combined Silica Fume and Metakaolin	Sharbatdar, M. K., Abbasi, M., Fakharian, P. (2020). "Improving the Properties of Self-compacted Concrete with Using Combined Silica Fume and Metakaolin".

8	Rayed Alyousef, Omrane Benjeddou, Chokri Soussi, Mohamed Amine Khadimallah, Abdeliazim Mustafa Mohamed	Effects of Incorporation of Marble Powder Obtained by Recycling Waste Sludge and Limestone Powder on Rheology, Compressive Strength, and Durability of Self-Compacting Concrete	Rayed Alyousef, Omrane Benjeddou, Chokri Soussi, Mohamed Amine Khadimallah, Abdeliazim Mustafa Mohamed (2019). "Effects of Incorporation of Marble Powder Obtained by Recycling Waste Sludge and Limestone Powder on Rheology, Compressive Strength, and Durability of Self-Compacting Concrete".
9	Danish, P., y Ganesh, M. G.	Behaviour of self-compacting concrete using different mineral powders addition in ternary blends	Danish, P., & Ganesh, M. G. (2020). "Behaviour of self-compacting concrete using different mineral powders addition in ternary blends".
10	Olatokunbo Ofuyatan, Olatokunbo Ofuyatan, Kayode-Thomas Enoch, Oluwafuminiyi Ogundeji & David Omole	Marble waste and recycled concrete aggregates in self-compacting concrete (SSC): an evaluation of fresh and hardened properties	Olatokunbo Ofuyatan, Olatokunbo Ofuyatan, Kayode-Thomas Enoch, Oluwafuminiyi Ogundeji & David Omole (2021). "Marble waste and recycled concrete aggregates in self compacting concrete (SSC): an evaluation of fresh and hardened properties".
11	Aquino Carreón, Herbert Silvio	Análisis de la resistencia de concretos autocompactantes con agregados artificiales para $f'c=210$ kg/cm ² , $f'c=280$ kg/cm ² , $f'c=315$ kg/cm ² en puno 2018	Aquino Carreón, Herbert Silvio (2021). "Análisis de la resistencia de concretos autocompactantes con agregados artificiales para $f'c=210$ kg/cm ² , $f'c=280$ kg/cm ² , $f'c=315$ kg/cm ² en puno 2018".
12	Dina M. Sadek, Mohamed M. El-Attar, Haitham A. Ali	Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development	Dina M. Sadek, Mohamed M. El-Attar, Haitham A. Ali (2016). "Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development".
13	Aboubakeur Boukhelkhal, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaïdi & Benchaa Benabed	Effects of marble powder as a partial replacement of cement on some engineering properties of self-compacting concrete	Aboubakeur Boukhelkhal, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaïdi & Benchaa Benabed (2016). "Effects of marble powder as a partial replacement of cement on some engineering properties of self-compacting concrete".
14	Soberón López Iván, F.	Diseño de mezclas de hormigón autocompactante utilizando agregados de minas locales y su influencia en las propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua	Soberón López Iván, F. (2015). "Diseño de mezclas de hormigón autocompactante utilizando agregados de minas locales y su influencia en las propiedades mecánicas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua".
15	Burgos, D., Guzmán, A., Hossain, K. M., & Delvasto, S.	The use of a volcanic material as filler in self-compacting concrete production for lower strength applications	Burgos, D., Guzmán, A., Hossain, K. M., & Delvasto, S. (2017). "The use of a volcanic material as filler in self-compacting concrete production for lower strength applications".

16	Iqbal, S., Ali, A., Holschemacher, K., Ribakov, Y., Bier, T. A.	Effect of Fly Ash on Properties of Self-Compacting High Strength Lightweight Concrete	Iqbal, S., Ali, A., Holschemacher, K., Ribakov, Y., Bier, T. A. (2017). "Effect of Fly Ash on Properties of Self-Compacting High Strength Lightweight Concrete".
17	Muñoz Ángela y Pacheco Doroffi	Estudio para la optimización del diseño de un concreto autocompactante reforzado con fibras de acero	Muñoz Ángela y Pacheco Doroffi (2018). "Estudio para la optimización del diseño de un concreto autocompactante reforzado con fibras de acero".
18	Elahi, A., & Ali, A.	Experimental investigation of fibre reinforced self-compacting concrete containing marble powder	Elahi, A., & Ali, A. (2017). "Experimental investigation of fibre reinforced self-compacting concrete containing marble powder".
19	F. Fiol, C. Thomas, C. Muñoz, V. Ortega-López, J.M. Manso	The influence of recycled aggregates from precast elements on the mechanical properties of structural self-compacting concrete	F. Fiol, C. Thomas, C. Muñoz, V. Ortega-López, J.M. Manso (2018). "The influence of recycled aggregates from precast elements on the mechanical properties of structural self-compacting concrete".
20	Robayo, Rafael A, Matthey, Pedro E, Silva, Yimmy F, & Delvasto, Silvio.	Obtención de un concreto autocompactante empleando adiciones de escoria de carbón finamente molida	Robayo, Rafael A, Matthey, Pedro E, Silva, Yimmy F, & Delvasto, Silvio (2016). "Obtención de un concreto autocompactante empleando adiciones de escoria de carbón finamente molida".
21	Mego Zapata, Juan Carlos; Meza Caballero, Kevin Erwin	Influencia de la ceniza de caña, aditivo superplastificante y tiempo de curado sobre la compresión, rigidez, capacidad de llenado - paso y fluidez de un concreto autocompactante	Mego Zapata, Juan Carlos; Meza Caballero, Kevin Erwin (2018). "Influencia de la ceniza de caña, aditivo superplastificante y tiempo de curado sobre la compresión, rigidez, capacidad de llenado - paso y fluidez de un concreto autocompactante".
22	Ghrici, M., Choucha, S., Ghrici, M. and Omran, A.	Influence of limestone dust and natural pozzolan on engineering properties of self-compacting repair mortars	Ghrici, M., Choucha, S., Ghrici, M. and Omran, A. (2018). "Influence of limestone dust and natural pozzolan on engineering properties of self-compacting repair mortars".
23	T. R. Danya, N. Sakthieswaran	Effect of fly ash and metakaolin on the strength and stability characteristics of self-compacting concrete	T. R. Danya, N. Sakthieswaran (2020). "Effect of fly ash and metakaolin on the strength and stability characteristics of self compacting concrete".
24	Mucteba Uysal	The Use of Waste Maroon Marble Powder and Iron Oxide Pigment in the Production of Coloured Self-Compacting Concrete	Mucteba Uysal (2018). "The Use of Waste Maroon Marble Powder and Iron Oxide Pigment in the Production of Coloured Self-Compacting Concrete".

25	Abad González, J. A., y Romero Loyola, J. M.	Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas	Abad González, J. A., & Romero Loyola, J. M. (2016). "Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas".
26	Rabanal Gonzales, D. C., y Su Chaquí, A. R.	Diseño de un concreto autocompactable	Rabanal Gonzales, D. C., & Su Chaquí, A. R. (2017). "Diseño de un concreto autocompactable".
27	Martínez-García, Rebeca, P. Jagadesh, Fernando J. Fraile-Fernández, Julia M. Morán-del Pozo, and Andrés Juan-Valdés	Influence of Design Parameters on Fresh Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled Aggregate—A Review	Martínez-García, Rebeca, P. Jagadesh, Fernando J. Fraile-Fernández, Julia M. Morán-del Pozo, and Andrés Juan-Valdés (2020). "Influence of Design Parameters on Fresh Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled Aggregate—A Review".
28	Palomino Román, Julián Herbert	Estudio comparativo en la autoconstrucción de edificaciones utilizando concreto autocompactante con la incorporación de aditivo superplastificante frente al concreto convencional realizados en la ciudad de Abancay	Palomino Román, Julián Herbert (2017). "Estudio comparativo en la autoconstrucción de edificaciones utilizando concreto autocompactante con la incorporación de aditivo superplastificante frente al concreto convencional realizados en la ciudad de Abancay".
29	Manikandan.m, manikandan.m.	Experimental study on propeties of granite waste in self-compacting concrete	Manikandan.m, manikandan.m. (2016). "Experimental study on propeties of granite waste in self-compacting concrete".
30	Silva Urrego, Y. F., Valencia Saavedra, W. G., & Delvasto Arjona, S.	Concreto autocompactante con altos contenidos de subproductos de la combustión de carbón	Silva Urrego, Y. F., Valencia Saavedra, W. G., & Delvasto Arjona, S. (2018). "Concreto autocompactante con altos contenidos de subproductos de la combustión de carbón".
31	Nili, Mahmoud, Hossein Sasanipour, and Farhad Aslani	The Effect of Fine and Coarse Recycled Aggregates on Fresh and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete	Nili, Mahmoud, Hossein Sasanipour, and Farhad Aslani (2019). "The Effect of Fine and Coarse Recycled Aggregates on Fresh and Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete".
32	Szilagyi, Henriette	Designing self-compacting fibre reinforced concrete compositions by optimal materials synthesis	Szilagyi, Henriette (2017). "Designing self-compacting fibre reinforced concrete compositions by optimal materials synthesis".
33	Silva, Yimmy, Robayo, Rafael, Matthey, Pedro, & Delvasto, Silvio.	Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición	Silva, Yimmy, Robayo, Rafael, Matthey, Pedro, & Delvasto, Silvio (2015). "Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición".

34	Mansour Sabria Malika	Behavior of self- compacting concrete incorporating calcined pyrophyllite as supplementary cementitious material	Mansour Sabria Malika (2020). "Behavior of self- compacting concrete incorporating calcined pyrophyllite as supplementary cementitious material".
35	Mansoor, Junaid, Syeed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq, and Hassam Ahmad	Analysis of Mechanical Properties of Self Compacted Concrete by Partial Replacement of Cement with Industrial Wastes under Elevated Temperature	Mansoor, Junaid, Syeed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq, and Hassam Ahmad (2018). "Analysis of Mechanical Properties of Self Compacted Concrete by Partial Replacement of Cement with Industrial Wastes under Elevated Temperature".
36	Danish, P., & Ganesh, G. M.	Durability properties of self-compacting concrete using different mineral powders additions in ternary blends	Danish, P., & Ganesh, G. M. (2020). "Durability properties of self-compacting concrete using different mineral powders additions in ternary blends".
37	Vaidevi.C, T. Felix Kala, A.R.R. Kalaiyarrasi	Study on Mechanical and Durability Properties of Self-Compacting with Marble Powder	Vaidevi.C, T. Felix Kala, A.R.R. Kalaiyarrasi (2020). "Study on Mechanical and Durability Properties of Self-Compacting with Marble Powder".
38	Kishan.P Pala; Krunal J Dhandha; Paresh N Nimodiya	Use of Marble Powder and Fly Ash in Self Compacting Concrete	Kishan.P Pala; Krunal J Dhandha; Paresh N Nimodiya (2021). "Use of Marble Powder and Fly Ash in Self Compacting Concrete".
39	Mohsen Tennich, Abderrazek Kallel, Mongi Ben Ouezdou	Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes	Mohsen Tennich, Abderrazek Kallel, Mongi Ben Ouezdou (2015). "Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes".
40	Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta, Ravindra Nagar	Impact on fresh, mechanical, and microstructural properties of high strength self-compacting concrete by marble cutting slurry waste, fly ash, and silica fume	Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta, Ravindra Nagar (2020). "Impact on fresh, mechanical, and microstructural properties of high strength self-compacting concrete by marble cutting slurry waste, fly ash, and silica fume".
41	Anjaneyulu, G y Alla, Suseela	Experimental study on self-compacting concrete incorporating marble powder and granite powder	Anjaneyulu, G y Alla, Suseela (2018). "Experimental study on self-compacting concrete incorporating marble powder and granite powder".
42	Kursat Esat Alyamac, Ehsan Ghafari, Ragip Ince	Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method	Kursat Esat Alyamac, Ehsan Ghafari, Ragip Ince (2017). "Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method".

43	C. Vaidevi, T. Felix Kala, A.R.R. Kalaiyarrasi	Mechanical and durability properties of self-compacting concrete with marble fine aggregate	C. Vaidevi, T. Felix Kala, A.R.R. Kalaiyarrasi (2020). "Mechanical and durability properties of self-compacting concrete with marble fine aggregate".
44	Alyousef, Rayed & Soussi, Chokri & Benjeddou, Omrane & Khadimallah, Amine & Jedidi, Malek.	New technique for mixing self-compacting concrete with marble sludge grout	Alyousef, Rayed & Soussi, Chokri & Benjeddou, Omrane & Khadimallah, Amine & Jedidi, Malek (2018). "New technique for mixing self-compacting concrete with marble sludge grout".
45	Xavier, Beatriz & Verzegnassi, Emerson & Bortolozzo, Ausdinir & Moreira Alves, Samira & Lintz, Rosa & Gachet, Luísa & Osório, Wislei	Fresh and Hardened States of Distinctive Self-Compacting Concrete with Marble- and Phyllite-Powder Aggregate Contents	Xavier, Beatriz & Verzegnassi, Emerson & Bortolozzo, Ausdinir & Moreira Alves, Samira & Lintz, Rosa & Gachet, Luísa & Osório, Wislei (2020). "Fresh and Hardened States of Distinctive Self-Compacting Concrete with Marble- and Phyllite-Powder Aggregate Contents".
46	Quiliche, J. S.	Influencia del polvo de mármol y superplastificante sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante, Trujillo 2018.	Quiliche, J. S. (2018). "Influencia del polvo de mármol y superplastificante sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante, Trujillo 2018".

Fuente: Elaboración propia

Anexo 3: Relación entre subtemas y objetivos

SUBTEMAS (Indicadores)	Definición / Justificación del subtema/ delimitación temporal (si aplica)	Objetivo
Capacidad de relleno de un concreto autocompactante con polvo de mármol y aditivo superplastificante	La capacidad de relleno es la propiedad, que se refiere a la capacidad de un concreto autocompactante de rellenar los espacios de un encofrado solamente por la acción de su propio peso, sin la necesidad de compactación por vibrado; con la incorporación de polvo de mármol y aditivo superplastificante en la mezcla; y mediante el ensayo de extensión de flujo (<i>Slump flow</i>), se determinará si mejora esta propiedad.	Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar capacidad de relleno de un concreto autocompactante.
Capacidad de paso de un concreto autocompactante con polvo de mármol y aditivo superplastificante	La capacidad de paso es la propiedad que tiene el concreto de poder fluir a través de la armadura, evitando que se produzcan obstrucciones entre los agregados y el acero; con la incorporación de polvo de mármol y aditivo superplastificante en la mezcla; y mediante el ensayo de Caja en L. se determinará si mejora esta propiedad.	Determinar el óptimo porcentaje del polvo de mármol y aditivo superplastificante para mejorar la capacidad de paso de un concreto autocompactante.
Resistencia a la compresión de un concreto autocompactante con polvo de mármol y aditivo superplastificante	La resistencia a la compresión es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, con la incorporación de polvo de mármol y aditivo superplastificante en la mezcla, mediante el ensayo de compresión hasta la ruptura de especímenes representativos, se determinará si mejora esta propiedad.	Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para aumentar la resistencia a la compresión de un concreto autocompactante.
Resistencia a la tracción de un concreto autocompactante con polvo de mármol y aditivo superplastificante	La resistencia a la tracción es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, con la incorporación de polvo de mármol y aditivo superplastificante en la mezcla, mediante el ensayo a tracción indirecta hasta la ruptura de especímenes representativos, se determinará si mejora esta propiedad.	Determinar el óptimo porcentaje de polvo de mármol y aditivo superplastificante para aumentar la resistencia a la tracción de un concreto autocompactante.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 4: Componentes de mezcla de autores citados.

#	Autor(es)	Título	Componentes de la mezcla			
			Tipo de cemento	Agregados		Adiciones
				Fino	Grueso	
37	Vaidevi.C, T. Felix Kala, A.R.R. Kalaiyarrasi	Study on Mechanical and Durability Properties of Self-Compacting Marble Powder	Se utiliza cemento Portland ordinario (OPC) Grado 53 y sus propiedades son 3.15 específicas. Gravedad del cemento, tiempo de fraguado inicial 45 min, tiempo de fraguado final 360 min del cemento, 35% consistencia.	Se utiliza arena de río de tamaño inferior a 4,75 mm y las propiedades son 2,58 de gravedad específica de FA, 1.3% de absorción de agua, 2.14 módulo de finura (Zona - III).	Se utiliza toda la piedra triturada natural (tamaño-12,5 mm) y sus propiedades son 2,73 de gravedad específica de CA, 0,4% de absorción de agua, 1,25 módulo de finura. Se confirma que ambas pruebas agregadas siguen especificaciones estándar de la India IS: 383-1970.	Se utilizan cenizas volantes de clase C y gravedad específica de 2,15. Y polvo de mármol (MP) de color blanco utilizado para esta prueba y se obtiene directamente de piedra cantera. El tamaño de polvo de mármol menos de 250 micras. La gravedad específica de P.M. 2.30, y 1.4% absorción de agua.
41	Anjaneyulu, G & Alla, Suseela	Experimental study on self-compacting concrete incorporating marble powder and granite powder	Cemento Portland ordinario (grado 53) conforme a IS: 456-2000. La gravedad específica del cemento es 2,66. Polvo de granito de la zona disponible de gravedad específica 2.6.	Agregado fino de tamaño 1,5 mm a 2 mm, conforme a IS: 456-2000 módulos de finura es 2,66.	Agregado grueso de tamaño que varía de 12,5 mm a 16 mm, conforme a IS: 456-2000 módulos de finura es 2,66.	Se usó polvo de granito y polvo de mármol de la localidad de gravedad específica 2.6 y 2.6 respectivamente.
13	Aboubakeur Boukhelkhal, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaidi & Benchaa Benabed	Effects of marble powder as a partial replacement of cement on some engineering properties of self-compacting concrete	Cemento Portland ordinario (CEMI, 42,5) se utilizó en todas las mezclas.	Como agregado fino se utilizó arena natural de río con un tamaño máximo de 5 mm.	Para el agregado grueso, se utilizaron dos clases de grava triturada 3/8 y 8/15.	El polvo de mármol, que se utiliza como mezcla mineral, se obtuvo como subproducto del aserrado, la conformación y la lustración de piedra de mármol en la planta industrial. Los resultados indicaron que el MP tiene un tamaño de partícula menor que 100 µm y alrededor del 40% de estas partículas son inferiores a 63 µm.

35	Mansoor, Junaid, Syyed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq, and Hassam Ahmad	Analysis of Mechanical Properties of Self Compacted Concrete by Partial Replacement of Cement with Industrial Wastes under Elevated Temperature	Cemento Portland Ordinario Tipo I	Agregado fino normal	Agregado grueso normal	Humos de sílice, Escoria de alto horno granulada molida y polvo de mármol obtenido por el procesamiento de mármol sirve como un material de desecho.
40	Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta, Ravindra Nagar	Impact on fresh, mechanical, and microstructural properties of high strength self-compacting concrete by marble cutting slurry waste, fly ash, and silica fume	Cemento Portland Ordinario (OPC) de 53 Se utilizó la confirmación de grado a BIS 12269 (2013)	Agregado fino natural que pasa de 4.75 milímetros que confirmaban a la zona II según lo dado en ES 383 (1970).	Agregado grueso con gravedad específica 2.74.	Polvo de mármol se obtuvo de forma gratuita en condiciones de lodos húmedos a partir de una unidad de corte y conformación de mármol situada en el área industrial de Vishwakarma (VKI) Jaipur, India. Cenizas volantes y humos de sílice fueron adquiridos de un distribuidor local en Jaipur (Rajasthan).
12	Dina M. Sadek, Mohamed M. El-Attar, Haitham A. Ali	Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development	Cemento Portland CEM I 42.5 N conforme a la Normas europeas EN-197/1	El agregado fino era arena silíceas con un módulo de finura de 2,67 y gravedad específica de 2,5.	Dolomita triturada con un tamaño máximo nominal de 14 mm, la gravedad específica de la absorción de agua de 2,70 y 1,53% fue utilizada como agregado grueso.	Humos de sílice (SF), polvo de mármol, polvo de granito y polvo mixto de mármol y granito (MMGP) se utilizaron como aditivos minerales en la preparación de mezclas SCC.
38	Kishan P. Pala, Krunal J. Dhandha y Paresh N. Nimodiya	Use of Marble Powder and Fly Ash in Self Compacting Concrete	Cemento Portland ordinario (Chettinad) de grado 53 conforme a IS 12269-1987.	El agregado fino utilizado es arena limpia de río y conforme a la zona II. La arena se tamizó a través de un tamiz de 4,75 mm para eliminar cualquier partícula superior a 4,75 mm. Los agregados finos se ajustarán a lo requerido por IS 383.	Agregado de piedra triturada que pasa a través de un tamiz de 16 mm. El agregado ocupa el 70%-80% del volumen total de hormigón normal. El agregado grueso deberá cumplir con el requisito de IS 383.	Cenizas volantes de acuerdo con IS 3812 y polvo de mármol en el hormigón, como reposición parcial de cemento.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Resultados en estado fresco de autores citados.

#	Autor(es)	Componentes de la mezcla			Resultados de ensayos en estado fresco		
		ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Superplastificante	a/c	Ensayo <i>Slump flow</i> (mm)	Ensayo caja en L (h2/h1)
37	Vaidevi.C, T. Felix Kala, A.R.R. Kalaiyarrasi	CONTROL SCC	0.00	(1%) - Aditivo químico - MasterGlenium SKY 8233 es una mezcla de una nueva generación basada en la modificación del superplastificante de éter policarboxílico, se utiliza según el código EN 934-2.	0.28	710	0.93
		SCCMP10%	10.00			690	0.9
		SCCMP20%	20.00			695	0.86
		SCCMP30%	30.00			670	0.83
41	Anjaneyulu, G & Alla, Suseela	MIX 1	0.00	(1.5%) - Plastol ultra 209 se utiliza como aditivo de densidad es 2.6.	0.35	660	0.83
		MIX 2	5.00			665	0.85
		MIX 3	10.00			672	0.86
13	Aboubakeur Boukhelkhal, Lakhdar Azzouz, Akram Salah Eddine Belaïdi & Benchaa Benabed	OMP	0.00	(0.9%) - El aditivo químico utilizado para producir varias mezclas es un reductor de agua de alto rango (HRWR) a base de policarboxilatos. Tiene un específico gravedad y pH de 1.07 g / cm ³ y 8, respectivamente.	0.4	705	-
		5MP	5.00			710	-
		10MP	10.00			728	-
		15MP	15.00			730	-
		20MP	20.00			735	-
35	Mansoor, Junaid, Syeed A.R. Shah, Mudasser M. Khan, Abdullah N. Sadiq, Muhammad K. Anwar, Muhammad U. Siddiq, and Hassam Ahmad	CSSC	0.00	(1.6%) - El plastificante utilizado en el trabajo es el "Super Plastificante de Ultra Chemicals" y es el "Condensado de naftalina sulfonada condensado de naftalina" preferido en la obra por su destacada acción dispersante sobre el cemento.	0.4	-	-
		MP5	5.00			760	-
		MP10	10.00			773	-
		MP15	15.00			782	-
		MP20	20.00			771	-
		MP25	25.00			767	-

		C-1	0.00		710	0.97
40	Rakesh Choudhary, Rajesh Gupta, Ravindra Nagar	10M	10.00	(1.4 %) - Un éter policarboxílico (PCE) basado en superplasticizer (SP) nombre de producto Glanium Sky 8777 fabricado por BASF.	715	0.96
		20M	20.00		710	0.98
		30M	30.00		708	0.99
		C-1	0.00		660	-
12	Dina M. Sadek, Mohamed M. El-Attar, Haitham A. Ali	20%MP	20.00	(2%) - Sika ViscoCrete 20HE, un superplastificante (SP) a base de policarboxilato con una gravedad específica de 1,08 y un pH de 4,3.	670	-
		30%MP	30.00		650	-
		40%MP	40.00		640	-
		50%MP	50.00		610	-
		Mix-1	0.00		655	0.82
		Mix-2	5.00		660	0.85
38	Kishan P. Pala, Krunal J. Dhandha y Paresh N. Nimodiya	Mix-3	10.00	(1.0%) Súper plastificante (Reductores de agua de alta gama), utilizados con una reducción de agua superior al 20%. Mezcla conforme a IS 9103.	675	0.88
		Mix-4	15.00		695	0.90
		Mix-5	20.00		702	0.92
		Mix-6	25.00		705	0.92

Fuente: Elaboración propia

Anexo 6: Resultados en estado endurecido de autores citados.

Autores	Componentes de la mezcla				Resultados en ensayos en estado endurecido													
	ID Mezclas	Polvo de mármol (%)	Superplastificante	a/c	Ensayo resistencia a la compresión (kg/cm ²)						Ensayo resistencia a la tracción (kg/cm ²)						Criterios del ensayo	
					3d	7d	14d	28d	56d	90d	Criterios del ensayo	3d	7d	14d	28d	56d		90d
37	CONTROL SCC	0.00	(1%) - Aditivo químico - MasterGlenium SKY 8233 es una mezcla de una nueva generación basada en la modificación del superplastificante de éter policarboxílico, se utiliza según el código EN 934-2.	0.28	-	-	489	666	883	-	Para la resistencia a la compresión, la dimensión de la probeta para este ensayo fue un cubo (150X150X150 mm) y curado por 14, 28 y 56 días.	-	-	48	65	75	-	Para la resistencia a la tracción del hormigón se utilizó un cilindro de dimensión (150X70 mm) y curado durante 14, 28 y 56 días.
	SCCMP10%	10.00			-	-	497	791	897	-		-	-	52	70	88	-	
	SCCMP20%	20.00			-	-	310	526	576	-		-	-	27	34	39	-	
	SCCMP30%	30.00%			-	-	287	489	545	-		-	-	23	29	32	-	
41	MIX 1	0.00	(1.5%) - Plastol ultra 209 se utiliza como aditivo de densidad es 2.6.	0.35	-	292	354	436	-	Para la resistencia a la compresión se usó: dimensión de probeta para este ensayo fue un cubo (150X150X150 mm) y curado por 7, 14 y 28 días.	-	22	29	32	-	Para la resistencia a la tracción se usó: Tamaño del cilindro = 150x300 mm y curado por 7, 14 y 28 días.		
	MIX 2	5.00			-	306	363	440	-		-	-	23	31	36		-	
	MIX 3	10.00			-	251	312	383	-		-	-	20	21	26		-	
13	0MP	0.00	(0.9%) - El aditivo químico utilizado para producir varias mezclas es un reductor de agua de alto rango (HRWR) a base de policarboxilatos. Tiene un específico gravedad y pH de 1.07 g / cm ³ y 8, respectivamente.	0.4	214	-	-	377	-	490	Para la resistencia a la compresión, de cada mezcla de hormigón, se moldearon probetas prismáticas de tamaño 7 × 7 × 28 cm., con curado a los 3,28 y 90 días.	30	-	-	35	-	44	Para la resistencia a la tracción, de cada mezcla de hormigón, se moldearon probetas prismáticas de tamaño 7 × 7 × 28 cm., con curado a los 3,28 y 90 días.
	5MP	5.00			173	-	-	377	-	428		28	-	-	33	-	39	
	10MP	10.00			153	-	-	357	-	408		25	-	-	32	-	38	
	15MP	15.00			143	-	-	286	-	383		23	-	-	32	-	35	
	20MP	20.00			133	-	-	265	-	377		23	-	-	30	-	34	

35	CSSC	0.00	(1.6%) - El plastificante utilizado en el trabajo es el "Super Plastificante de Ultra Chemicals" y es el "Condensado de naftalina sulfonada condensado de naftalina" preferido en la obra por su destacada acción dispersante sobre el cemento.	0.4	-	141	145	160	-	-	-	4	7	10	-	-	Para evaluar la resistencia del hormigón, se desarrollan dos tipos de muestras: cubo (6" × 6" × 6") y cilindro (6" × 12"), con curado a los 7, 14 y 28 días.
	MP5	5.00			-	160	167	172	-	-	-	7	10	11	-	-	
	MP10	10.00			-	176	197	209	-	-	-	9	12	12	-	-	
	MP15	15.00			-	181	210	261	-	-	-	9	12	18	-	-	
	MP20	20.00			-	197	233	269	-	-	-	10	17	19	-	-	
	MP25	25.00			-	205	270	289	-	-	-	11	18	20	-	-	
40	C-1	0.00			-	398	-	566	-	581	La evaluación de las propiedades mecánicas de las mezclas HSSCC se realizó en términos de resistencia a la compresión según BIS 516 a los 7, 28 y 90 días de curado. Tres cubos de 100 mm de tamaño para cada edad fueron seleccionados.	-	-	-	-	-	-
	10M	10.00	(1.4 %) - Un éter policarboxílico (PCE) basado en superplasticizer (SP) nombre de producto Glanium Sky 8777 fabricado por BASF.	0.33	-	479	-	617	-	632		-	-	-	-	-	
	20M	20.00			-	388	-	541	-	551		-	-	-	-	-	
	30M	30.00			-	367	-	459	-	490		-	-	-	-	-	
12	C-1	0.00			-	211	-	312	-	-		-	-	-	26	-	-
	20%MP	20.00	(2%) - Sika ViscoCrete 20HE, un superplastificante (SP) a base de policarboxilatos con una gravedad específica de 1,08 y un pH de 4,3.	0.45	-	205	-	311	-	-	La prueba de resistencia a la compresión se llevó a cabo de acuerdo con EN 12390-3 / 2009.	-	-	-	-	-	La resistencia a la tracción por rotura se determinó como indica la norma ASTM C496 / C496M-04.
	30%MP	30.00			-	213	-	312	-	-		-	-	-	-	-	
	40%MP	40.00			-	306	-	313	-	-		-	-	-	-	-	
	50%MP	50.00			-	308	-	314	-	-		-	-	-	31	-	-

	Mix-1	0.00%	(1.0%)	Súper	-	293	363	447	-	-	-	-	-	-	-
	Mix-2	5.00%	plastificante		-	278	343	422	-	-	Se usa tamaño de	-	-	-	-
38	Mix-3	10.00%	(reductores de agua de alta gama), utilizados con una reducción de agua superior al 20%.	0.36	-	262	320	394	-	-	viga 10x10x50cm. Las muestras se	-	-	-	-
	Mix-4	15.00%	Mezcla conforme a IS 9103.		-	242	294	370	-	-	curaron en agua durante 7, 14 y 28 días	-	-	-	-
	Mix-5	20.00%			-	230	279	344	-	-	y luego se probaron.	-	-	-	-
	Mix-6	25.00%			-	210	261	318	-	-		-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia