



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DEL POLVO DE MÁRMOL Y SUPERPLASTIFICANTE SOBRE LA COMPRESIÓN, POROSIDAD, CAPACIDAD AL PASO Y RELLENO DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE, TRUJILLO 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Jharol Sthiward Quiliche Neira

Asesor:

Ing. Iván Vásquez Alfaro

Trujillo – Perú

2018

APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por el Bachiller **Jharol Sthiward Quiliche Neira**, denominada:

INFLUENCIA DEL POLVO DE MÁRMOL Y SUPERPLASTIFICANTE SOBRE LA RESISTENCIA, POROSIDAD, CAPACIDAD AL PASO Y RELLENO DE UN CONCRETO AUTOCOMPACTANTE, TRUJILLO 2018

Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro
ASESOR

Ing. Roxana Milagros Aguilar Villena
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Wiston Henry Azañedo Medina
JURADO

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz
JURADO

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la vida y guiarme
en todos estos años de estudio.

A mis amados padres Cesar Quiliche
y Pilar Neira, mi hermano Gary Quiliche
y en general a toda mi familia
por inculcarme valores como persona y
brindarme su apoyo incondicional
en cada decisión que he tomado.

A mis docentes por brindarme todo
el conocimiento que he adquirido hasta
ahora y así poder desarrollarme como
profesional.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y hermano por apoyarme en todos los proyectos que he realizado, por cuidarme y velar por mi salud, bienestar y por demostrarme el significado de la familia y estar presentes en los buenos y malos momentos siendo un soporte incondicional para poder realizar mis sueños.

A la Universidad Privada del Norte por haberme aceptado y ser parte de ella, así como también a mi director de carrera Ing. Wiston Azañedo Medina y los diferentes docentes por brindarme sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Mi agradecimiento a mi asesor Ing. Iván Vásquez Alfaro por haberme brindado la oportunidad de recorrer a su capacidad y conocimiento científico, así como también por brindarme su confianza, amistad y haber tenido paciencia para guiarme durante toda la ejecución de la tesis.

Y para finalizar, también agradezco a todos los que fueron mis compañeros de clase y se llegaron a convertir en grandes amigos y futuros colegas, puesto que gracias a su amistad y apoyo moral me motivaron para seguir superándome en mi carrera profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DE LA TESIS	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDOS	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XI
V	
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema	18
1.3. Justificación	19
1.4. Limitaciones.....	21
1.5. Objetivos.....	21
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes.....	22
2.2. Bases teóricas	27
2.2.1. Concreto autocompactante.....	27
2.2.1.1. Materiales y composición.....	27
2.2.1.2. Parámetros de la mezcla de concreto autocompactante.....	35
2.2.1.3. Propiedades del concreto autocompactante	35
2.2.1.4. Causas y efectos en las propiedades del concreto autocompactante.....	38
2.2.2. Mármol	40
2.2.2.1. Características	40
2.2.2.2. Composición del mármol,.....	41
2.2.2.3. Caracterización del residuo del mármol.	41
2.2.2.4. Estado actual de la utilización de los residuos de mármol.	42
2.3. Hipótesis	42
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	43
3.1. Operacionalización de variables.....	43
3.2. Diseño de investigación	44
3.3. Unidad de estudio	45
3.4. Población	45

3.5.	Muestra	45
3.6.	Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos.....	46
3.6.1.	Técnica e instrumentos de recolección de datos.	46
3.6.2.	Procedimiento de recolección de datos.	47
3.7.	Métodos y procedimientos de análisis de datos.	67
CAPÍTULO 4. RESULTADOS.....		70
4.1.	Caracterización de agregados.....	70
4.1.1.	Agregado grueso.....	70
4.1.1.1.	Propiedades físicas y químicas.	70
4.1.1.2.	Análisis granulométrico.	71
4.1.2.	Agregado fino.	71
4.1.2.1.	Propiedades físicas y químicas.	71
4.1.2.2.	Análisis granulométrico.	72
4.2.	Caracterización del mármol.....	73
4.2.1.	Propiedades físicas y químicas.	73
4.3.	Caracterización del agua.....	73
4.4.	Caracterización del superplastificante.	73
4.5.	Diseño de mezcla.....	74
4.6.	Ensayos del concreto en estado fresco.	76
4.6.1.	Capacidad de relleno por el método del cono de Abrams. (ASTM C1611)	77
4.6.2.	Capacidad al paso por el método anillo J. (ASTM C1621)	78
4.7.	Ensayos del concreto en estado endurecido.....	79
4.7.1.	Porosidad del concreto. (ASTM C642).....	79
4.7.2.	Resistencia a la compresión. (ASTM C39).....	80
4.8.	Análisis de costos del concreto autocompactante adicionado.	81
CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN		82
5.1.	Polvo de mármol, cemento portland y superplastificante.	82
5.2.	Propiedades en estado fresco.	86
5.3.	Propiedades en estado endurecido.....	99
5.4.	Análisis de costos del concreto autocompactante.	107
CONCLUSIONES.....		110
RECOMENDACIONES.....		112
REFERENCIAS.....		113
APÉNDICE.....		115
APÉNDICE N.º 1. Resultados de caracterización de materiales para el concreto.		115
APÉNDICE N.º 2. Diseño de mezcla método ACI 211 (American Concrete Institute)		120

APÉNDICE N.º 3. Criterios de aceptación del concreto autocompactante	124
APÉNDICE N.º 4. Resultados de ensayos del concreto en estado fresco y endurecido	125
APÉNDICE N.º 5. Análisis de costos del concreto autocompactante adicionado.	139
APÉNDICE N.º 6. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto.....	143
ANEXOS.....	154
ANEXO N.º 1. Informe de ensayos de laboratorio.	154
ANEXO N.º 2. Fichas técnicas de materiales.	155
ANEXO N.º 3. Panel fotográfico.	159
ANEXO N.º 4. Reporte de servicios externos.	164
ANEXO N.º 5. Ley general de residuos sólidos 27314.	165
ANEXO N.º 6. Normas empleadas en el procedimiento experimental.	166

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Comportamiento en estado fresco de los concretos elaborados.	22
Tabla N° 2. Componentes del concreto.	28
Tabla N° 3. Componentes principales del clinker portland.	28
Tabla N° 4. Composición química de los diferentes tipos de cemento.	30
Tabla N° 5. Limite permisible para la calidad de agua.	32
Tabla N° 6. Recomendaciones en la mezcla de concreto autocompactante.	35
Tabla N° 7. Propiedades de trabajabilidad del HAC y métodos de ensayo alternativos.	36
Tabla N° 8. Criterios del índice de estabilidad visual.	37
Tabla N° 9. Causas de resultados inferiores en parámetros del concreto autocompactante.	38
Tabla N° 10. Causas de resultados superiores en parámetros del concreto autocompactante.	39
Tabla N° 11. Medidas de corrección de causas en parámetros del concreto autocompactante.	39
Tabla N° 12. Composición química del mármol.	41
Tabla N° 13. Operacionalización de variables.	43
Tabla N° 14. Diseño de investigación.	44
Tabla N° 15. Niveles de las variables.	44
Tabla N° 16. Matriz de diseño.	45
Tabla N° 17. Análisis granulométrico del agregado fino.	49
Tabla N° 18. Análisis granulométrico del agregado grueso.	49
Tabla N° 19. Huso granulométrico de los agregados.	50
Tabla N° 20. Humedad de agregados.	51
Tabla N° 21. Peso unitario suelto y compactado seco de los agregados.	52
Tabla N° 22. Peso específico y absorción del agregado fino.	54
Tabla N° 23. Peso específico y absorción del agregado grueso.	55
Tabla N° 24. Peso específico, porosidad y absorción del mármol.	56
Tabla N° 25. pH y conductividad de agua potable.	57
Tabla N° 26. Viscosidad del superplastificante sobre la pasta de cemento.	58
Tabla N° 27. Factor de seguridad del concreto. (ACI, 2017)	59
Tabla N° 28. Relación Agua/Cemento. (ACI, 2017)	59
Tabla N° 29. Cantidad de agua en L/m ³ . (ACI, 2017)	59
Tabla N° 30. Factor de tamaño máximo nominal sobre módulo de finura. (ACI, 2017)	60
Tabla N° 31. Diseño de mezcla.	61
Tabla N° 32. Capacidad de relleno - Extensión de flujo.	62
Tabla N° 33. Capacidad al paso del concreto.	64

Tabla N° 34. Porosidad del concreto endurecido.	66
Tabla N° 35. Resistencia a la compresión del concreto.	66
Tabla N° 36. Resultados de caracterización del agregado grueso.	70
Tabla N° 37. Resultados de caracterización del agregado fino.	71
Tabla N° 38. Resultados de caracterización del mármol.	73
Tabla N° 39. Resultados de caracterización del agua potable.	73
Tabla N° 40. Viscosidad del superplastificante sobre la pasta de cemento.	73
Tabla N° 41. Diseño de mezcla de concreto autocompactante.	74
Tabla N° 42. Relación agua/cemento + adición.	75
Tabla N° 43. Relación agua/finos.	76
Tabla N° 44. Capacidad de relleno del concreto por cono de Abrams según ASTM C1611.	77
Tabla N° 45. Capacidad al paso del concreto por anillo J según ASTM C1621.	78
Tabla N° 46. Porosidad del concreto según ASTM C642.	79
Tabla N° 47. Resistencia a la compresión del concreto a 28 y 56 días de curado según ASTM C39.	80
Tabla N° 48. Costos de producción del concreto convencional y autocompactante.	81
Tabla N° 49. Resumen de resultados de los parámetros del concreto autocompactante.	110
Tabla N° 50. Recolección de datos de distribución granulométrica del agregado grueso.	115
Tabla N° 51. Recolección de datos de distribución granulométrica del agregado fino.	116
Tabla N° 52. Recolección de datos de humedad del agregado grueso (P) y fino (A).	116
Tabla N° 53. Recolección de datos de peso unitario del agregado grueso (P) y agregado fino (A).	117
Tabla N° 54. Recolección de datos de peso específico y absorción del agregado grueso.	117
Tabla N° 55. Recolección de datos de peso específico y absorción del agregado fino.	117
Tabla N° 56. Recolección de datos de caracterización del mármol de la empresa "Atenas".	118
Tabla N° 57. Recolección de datos de caracterización del mármol de la empresa "Virgen del Carmen".	118
Tabla N° 58. Recolección de datos de caracterización del mármol de la empresa "J. Pino".	118
Tabla N° 59. Recolección de datos de nivel de pH y conductividad del agua potable.	119
Tabla N° 60. Recolección de datos de viscosidad del superplastificante sobre la pasta de cemento.	119
Tabla N° 61. Volumen de materiales del concreto por 1m ³	122
Tabla N° 62. Dosificación del concreto por bolsa de cemento.	124
Tabla N° 63. Criterios de aceptación para el concreto autocompactante.	124
Tabla N° 64. Recolección de datos del parámetro de diámetro de extensión por cono de Abrams.	125
Tabla N° 65. Recolección de datos del parámetro T ₅₀₀ por cono de Abrams.	126
Tabla N° 66. Recolección de datos del parámetro VSI por cono de Abrams.	127
Tabla N° 67. Recolección de datos del parámetro diámetro de extensión por anillo J.	128
Tabla N° 68. Recolección de datos del parámetro altura de bloqueo por anillo J.	129
Tabla N° 69. Recolección de datos del parámetro coeficiente de bloqueo por anillo J.	131

Tabla N° 70. Recolección de datos de porosidad del concreto.	133
Tabla N° 71. Recolección de datos de resistencia a la compresión a 28 días de curado.....	135
Tabla N° 72. Recolección de datos de resistencia a la compresión a 56 días de curado.....	137
Tabla N° 73. Análisis de costos de concreto autocompactante adicionado con polvo de mármol.....	140
Tabla N° 74. Análisis de costos de concreto autocompactante adicionado con microsílíce.	141
Tabla N° 75. Análisis de costos de concreto convencional.....	142
Tabla N° 76. Desviación estándar del parámetro T_{500} por cono de Abrams.....	144
Tabla N° 77. Contrastación de hipótesis del parámetro T_{500}	144
Tabla N° 78. Desviación estándar del parámetro diámetro de extensión por cono de Abrams.	145
Tabla N° 79. Contrastación de hipótesis del parámetro diámetro de extensión.	145
Tabla N° 80. Desviación estándar del parámetro VSI por cono de Abrams.	146
Tabla N° 81. Contrastación de hipótesis del parámetro VSI.....	146
Tabla N° 82. Desviación estándar del parámetro diámetro de extensión por anillo J.	147
Tabla N° 83. Contrastación de hipótesis del parámetro diámetro de extensión.	147
Tabla N° 84. Desviación estándar del parámetro altura de bloqueo por anillo J.	148
Tabla N° 85. Contrastación de hipótesis del parámetro altura de bloqueo.	148
Tabla N° 86. Desviación estándar del parámetro coeficiente de bloqueo por anillo J.....	149
Tabla N° 87. Contrastación de hipótesis del parámetro coeficiente de bloqueo.....	149
Tabla N° 88. Desviación estándar del parámetro porosidad del concreto.....	150
Tabla N° 89. Contrastación de hipótesis del parámetro porosidad.....	151
Tabla N° 90. Desviación estándar del parámetro resistencia a la compresión a 28 días.	151
Tabla N° 91. Contrastación de hipótesis del parámetro resistencia a la compresión a 28 días.	152
Tabla N° 92. Desviación estándar del parámetro resistencia a la compresión a 56 días.	152
Tabla N° 93. Contrastación de hipótesis del parámetro resistencia a la compresión a 56 días.	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Esquema del Problema de Investigación.	19
Figura N° 2. Resistencia a la compresión de los concretos elaborados a los 28 días de curado.	25
Figura N° 3. Representación esquemática de la hidratación de la pasta.	29
Figura N° 4. Estados de humedad de los agregados.....	31
Figura N° 5. Estructura de los tipos de superplastificante.....	34
Figura N° 6. Residuos generados por etapa del proceso de la industria marmolera.	42
Figura N° 7. Dimensiones de probeta cilíndrica para ensayos en estado endurecido.	45
Figura N° 8. Diagrama del Proceso de Investigación.	47
Figura N° 9. Curva granulométrica del agregado grueso.....	71
Figura N° 10. Curva granulométrica del agregado fino.	72
Figura N° 11. Viscosidad por adición de superplastificante sobre la pasta de cemento.	74
Figura N° 12. Volumen de materiales de un concreto $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$	75
Figura N° 13. Relación agua/cemento por adición de polvo de mármol.....	75
Figura N° 14. Relación agua/finos por adición de polvo de mármol.	76
Figura N° 15. Acción plastificante del aditivo tipo G.	83
Figura N° 16. Acción reductora de agua del aditivo tipo G.....	83
Figura N° 17. Reacción del superplastificante en el cemento.	84
Figura N° 18. Viscosidad del porcentaje de superplastificante sobre la pasta de cemento.....	85
Figura N° 19. Fluidez de la pasta de concreto en función de la adición de superplastificante	86
Figura N° 20. Parámetro VSI por adición de superplastificante y polvo de mármol.	87
Figura N° 21. Parámetro T_{500} por adición de superplastificante y polvo de mármol.	88
Figura N° 22. Parámetro diámetro de extensión por adición de superplastificante y polvo de mármol	90
Figura N° 23. Parámetro diámetro de extensión por adición de superplastificante y polvo de mármol	92
Figura N° 24. Parámetro altura de bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol.....	94
Figura N° 25. Parámetro coeficiente de bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol	96
Figura N° 26. Parámetro relación al bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol	98
Figura N° 27. Porosidad del concreto por adición de superplastificante y polvo de mármol	100
Figura N° 28. Resistencia a la compresión a 28 días por adición de superplastificante y polvo de mármol .	103
Figura N° 29. Resistencia a la compresión a 56 días por adición de superplastificante y polvo de mármol .	104
Figura N° 30. Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia a la compresión del concreto.	105
Figura N° 31. Influencia del módulo granulométrico del árido en la resistencia a la compresión.	106
Figura N° 32. Costo de producción del concreto autocompactante y convencional $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$	107
Figura N° 33. Costo del concreto autocompactante $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ por tipo de recurso.....	108

Figura N° 34. Costo del concreto convencional $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ por tipo de recurso.....	109
Figura N° 35. Humedad de agregados.....	159
Figura N° 36. Peso unitario de agregados.....	159
Figura N° 37. Análisis granulométrico de agregados.....	159
Figura N° 38. Proceso de tamizado de muestra de mármol.....	160
Figura N° 39. Ensayo de conductividad y pH.....	160
Figura N° 40. Ensayo fluidez a través del cono de Marsh.....	160
Figura N° 41. Revenimiento de mezcla control con relación a/c 0.40.....	161
Figura N° 42. Capacidad de relleno del concreto autocompactante.....	161
Figura N° 43. Capacidad al paso del concreto autocompactante.....	162
Figura N° 44. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas 0.10 x 0.20 m.....	162
Figura N° 45. Porosidad de probetas cilíndricas 0.10 x 0.20 m.....	163

RESUMEN

El concreto es el material de construcción que con el transcurso del tiempo se ha convertido en el principal de proyectos civiles, teniendo una amplia aplicación en estructuras como puentes, represas, edificios y otros; el concreto a lo largo de su historia ha presentado avances tecnológicos importantes, siendo más notorio el desarrollo del concreto autocompactante; es por ello que la presente investigación resalta la importancia de emplear nuevas tecnologías constructivas como es el caso del concreto autocompactante y a la vez de revalorizar los residuos obtenidos de otras industrias como la marmolera y emplearlos en el concreto como un nuevo material capaz de mejorar las propiedades en estado fresco y endurecido.

El propósito de la investigación es determinar el porcentaje adecuado de polvo de mármol y superplastificante que se debe adicionar para la obtención de un concreto autocompactante que sea aplicado en estructuras medianamente reforzadas como el caso de columnas, placas y plateas de cimentación. Los niveles de polvo de mármol son de 0.50%, 1.00%, 1.50% y 2.00% respecto al peso del concreto en estado fresco, mientras los niveles de superplastificante son de 0.30%, 0.35%, 0.40% y 0.45% respecto al peso del cemento. El diseño de mezcla se realizó por medio del método ACI 211 para un concreto autocompactante de resistencia media de 350 Kg/cm², el diseño se realizó a partir de una consistencia seca con una relación agua/cemento de 0.43 en peso y una relación agua/finos de 0.40 en peso.

Se realizaron ensayos en estado fresco para evaluar las propiedades como la capacidad al paso y de relleno del concreto autocompactante mediante el anillo J y cono de Abrams respectivamente, también se realizaron ensayos en estado endurecido como la porosidad del concreto bajo la norma ASTM C642 y la resistencia a la compresión a 28 y 56 días de curado bajo la norma ASTM C39, en donde se ensayaron un total de 189 probetas cilíndricas de 0.10 x 0.20 m.

Los resultados obtenidos indican que a medida que se incrementa el porcentaje de superplastificante y polvo de mármol las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante mejoran, siendo así que al adicionar 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol al concreto se alcanzaron resultados en la resistencia a la compresión de 438 Kg/cm² a los 28 días y 519 Kg/cm² a los 56 días de curado, obteniendo un incremento del 17 % y 30 % a los 28 y 56 días de curado respectivamente. Además de presentar una mejoría en sus propiedades, al emplear el residuo del mármol en el concreto autocompactante hace que este disminuya su costo por metro cubico en un 2 % comparándolo con un concreto adicionado con microsílíce.

ABSTRACT

Concrete with the passage of time has become the main material of construction, having an application in different structures what made it advance technologically, being the most notorious advance the development of self-compacting concrete, that is why the present investigation highlights the importance of using new construction technologies such as self-compacting concrete and at the same time revaluing the waste obtained from other industries such as marble and using them in concrete as a new material capable of improving properties in a fresh and hardened state.

The purpose of the research is to determine the appropriate dose of marble powder and superplasticizer that must be added to obtain a self-compacting concrete that is applied in moderately reinforced structures such as columns and concrete plates. The levels of marble powder are 0.50 %, 1.00 %, 1.50 % and 2.00 % with respect to the weight of the fresh concrete, while the levels of superplasticizer are 0.30 %, 0.35 %, 0.40 % and 0.45 % with respect to the weight of the cement. The mixing design was carried out using the ACI 211 method for a self-compacting concrete with an average strength of 350 Kg/cm², the design was made from a dry consistency with a water/cement ratio of 0.43 in weight and a water/fine ratio of 0.40 in weight.

Fresh tests were carried out to evaluate the properties such as the capacity and self-compacting capacity of the concrete through the J-ring and Abrams cone, respectively. Tests were also carried out in a hardened state such as the porosity of the concrete under the ASTM C642 standard and the resistance to compression at 28 and 56 days of curing under ASTM C39 standard, where a total of 189 cylindrical test tubes of 0.10 x 0.20 m were tested.

The results obtained indicate that as the percentage of superplasticizer and marble powder increases the properties in fresh and hardened state of the self-compacting concrete improve, being that when adding 0.45 % of superplasticizer and 2.00 % of marble powder to the concrete they were reached results in the compressive strength of 438 Kg/cm² at 28 days and 519 Kg/cm² at 56 days of curing, obtaining an increase of 17% and 30% at 28 and 56 days of curing respectively. In addition to presenting an improvement in its properties, when using marble waste in self-compacting concrete, it reduces its cost per cubic meter by 2 % compared to a concrete added with microsilica.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El concreto con el transcurso del tiempo se ha convertido en el material principal de la construcción, teniendo una aplicación en diferentes estructuras lo que hizo que avance tecnológicamente, siendo el avance más notorio el desarrollo del concreto súperfluidificado o autocompactante que es un concreto capaz de fluir, consolidarse y compactarse por acción de su propio peso sin producir segregación, el cual se introdujo a inicios de los años 80 del siglo XX por el profesor Okamura, y desde ahí este concreto evolucionó empleándose por primera vez en los años 90 del siglo XX en estructuras como el puente colgante Akashi Kaikyo (1992) y el deposito GLN Osaka Gas (1997) ambos en Japón, aplicando la tecnología usada en la colocación del concreto bajo el agua en 1988. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2011)

En Francia, la industria del concreto premezclado empezó a producir concreto autocompactante empleando aditivos reductores de agua de alto rango para el concreto, debido a que este tipo de aditivo mejora las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, logrando una mezcla que se acomoda por su propio peso debido que tiene una mejor fluidez, mayor cohesión y ausencia de segregación, y a la vez reduce el ruido que genera la vibración del concreto, la mano de obra, entre otros. (Mehta, 2000) En México, durante años las principales propiedades que se evaluaban en el concreto autocompactante eran la resistencia a compresión y fluidez del concreto, siendo en la actualidad muy riguroso el control de calidad de este tipo de concreto, por lo que los requisitos mínimos en las propiedades en estado fresco a evaluar en el concreto autocompactante son la capacidad de relleno, capacidad al paso y segregación. (Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2011). Mientras en Argentina, se empleó por primera vez concreto autocompactante en el año 2001, utilizando material cementíceo compuesto por cemento y filler calcáreo, y como aditivo un súperfluidificante de última generación logrando que este tipo de concreto mejore sus propiedades en estado fresco obteniendo una mezcla de mayor trabajabilidad, gran fluidez y mejor capacidad de relleno. (Fomasier y Balzamo, 2011)

En Perú, el uso del concreto autocompactante en obras civiles como edificios de gran altura y condominios no se ha expandido en todos los sectores del país, debido a esto las Normas Técnicas Peruanas son insuficientes para el análisis y caracterización de las propiedades en estado fresco de este tipo de concreto, así como también en los parámetros para su elaboración de la mezcla. (Sánchez, 2014)

En el estudio realizado por Abad y Romero (2016), adicionaron fibras de plástico normalizadas y recicladas en la elaboración de concreto autocompactante variando la cantidad del porcentaje de fibras y relación agua/cemento para comparar las propiedades físicas y

mecánicas, donde encontraron que la mejor dosificación y comportamiento del concreto autocompactante fue la que se reemplaza con fibras normalizadas. (Silva, Burgos, Valencia, Delvasto & Álvarez, 2013) adicionaron lodo calcáreo; que se obtuvo de la industria papelera, al concreto autocompactante en dos proporciones con el fin de estudiar las propiedades de capacidad al paso y de relleno, y mecánicas, donde encontraron que el lodo calcáreo mejora las propiedades en estado fresco, pero no las propiedades de resistencia. Y en la investigación realizada por Robayo, Matthey, Silva y Delvasto (2014), utilizaron residuos de demolición como residuos de mampostería molida (residuos de ladrillos de arcilla unidos con mortero) en reemplazo de los agregados para evaluar el comportamiento en estado fresco y endurecido de un concreto autocompactante, donde encontraron que el residuo de demolición no afecta las propiedades en estado fresco pero si presenta una disminución en las propiedades en estado endurecido como la resistencia a compresión.

La empresa Muros & Techos S.A. con el apoyo de la empresa colombiana Argos emplearon concreto autocompactante para el vaciado de muros no estructurales en el nivel 17 de un edificio en Medellín, en el cual emplearon como tamaño máximo de agregado grueso de 3/8", además de aditivos retardantes y superplastificantes con el fin de obtener una mezcla fluida y trabajable por un tiempo prolongado. (Argos, 2016)

Es por ello que en los últimos años se ha dejado de emplear aditivos plastificantes en la elaboración de concreto autocompactante, dando paso a los superplastificantes basados en policarboxilatos siendo indispensable en concretos autocompactantes y de altas prestaciones, debido a que no solo modifica las propiedades reológicas de pastas, morteros y concretos sino que también genera un retraso en la hidratación del cemento con el fin de obtener mezclas dóciles sin necesidad de añadir agua, y que no se genere exudación y segregación en la mezcla. (Puertas, 2008)

El sector construcción a partir de junio del 2017 hasta fines de octubre del mismo año presentó un crecimiento a nivel nacional importante luego de varios meses de 14.25 %, todo esto fue posible por el incremento del avance físico de obras y al mayor consumo del cemento a nivel nacional por parte de una mayor inversión en obras del sector minero, de acceso a gas natural, obras de edificaciones y condominios (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017), lo que genera que exista un avance y aplicación de la tecnología del concreto según los requerimientos de las obras en la actualidad, y además que se adicionen nuevos materiales en la elaboración del concreto.

A media que la construcción civil presente un crecimiento, los residuos que se generan en este sector también aumentan; siendo con el sector de marmolería, los sectores que más residuos generan anualmente, en especial lo que se ocasiona por el corte y pulido en la fabricación de lapidas, puesto que por esta acción se generan 170 Kg/m³, siendo el polvo de mármol un material ideal para adicionar a la mezcla de concreto por lo que está compuesto

en pequeñas proporciones por dióxido de silicio, óxido de hierro, entre otros que son los componentes reactivos principales del cemento portland, y además está compuesto en gran parte por carbonato cálcico o calcita, que es la materia prima del cemento obtenido de las calizas. (Santos, Betancourt y Villegas, 2012)

Ante la problemática del aumento de residuos generados en distintas industrias, la nueva ley de Residuos Sólidos N° 27314 tiene como finalidad la recuperación y valorización de los residuos como material, presentando alternativas como el reciclaje y reutilización, siempre y cuando se garantice la protección de la salud y del medio ambiente (El Peruano, 2016), bajo esta premisa se emplea el residuo del mármol; que está clasificado dentro de residuos industriales inertes, en el concreto siguiendo un proceso de recolección, valorización, tratamiento y disposición final, puesto que no existe un plan de gestión del manejo de estos residuos que se pueda aplicar. El proceso de obtención del residuo de mármol no genera impactos negativos al ambiente, siendo la fuente de obtención del corte del mármol en forma de retal, obviando la actividad del pulido del mármol puesto que esta actividad puede conllevar a tener enfermedades respiratorias sino se cuenta con los implementos necesarios.

Siendo así, que la reutilización de residuos sólidos de distintas industrias ha logrado concebir nuevos materiales de adición para el concreto, que al añadirlos a este mejoren algunas de sus propiedades en estado fresco como endurecido, y así mantener el ritmo de la construcción en aumento y al mismo tiempo disminuir el impacto ambiental causado por las distintas industrias. (Santos, Betancourt y Villegas, 2012)

En Trujillo, la calidad del concreto aún no satisface las necesidades de los actuales proyectos, debido a que las principales constructoras de la ciudad aún no emplean la tecnología adecuada para la construcción de edificios de gran altura, condominios, entre otras estructuras donde la cuantía de acero es elevada, en cambio emplean concreto convencional el cual para lograr una mezcla fluida, causan que este concreto contenga agua en exceso generando que se presente el fenómeno de exudación, elevada segregación, resistencia baja y una muy tediosa colocación en obra. (Rabanal y Su, 2017)

Es por ello, que la poca trabajabilidad del concreto convencional, es la principal causa por la que en obra se añade demasiada agua a la mezcla de concreto con el fin de obtener una mezcla que sea trabajable, aumentando la relación agua/cemento, debido a que no se emplea la tecnología adecuada para la elaboración del concreto como el uso de aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos que son capaces de reducir hasta un 40 % del agua de amasado. (Sánchez, 2014)

Mientras que en obra, el factor trabajabilidad es uno de los ejes de vital importancia al momento de vaciar, las características del concreto como la porosidad y la resistencia a la compresión son importantes por los efectos que puede ocasionar en una construcción, estas propiedades dependen básicamente de la relación agua/cemento empleada lo que genera

que las características iniciales del concreto puedan ser alteradas a través del tiempo, siendo así que las mezclas en donde se emplea agua de amasado en exceso tienden a presentar una baja resistencia pero la porosidad del concreto también colabora en parte la cual se genera debido al tamaño de los áridos empleados. (López, 2004)

Con el presente proyecto se busca insertar la tecnología del concreto autocompactante en las obras de la ciudad Trujillo, como el uso de aditivos superplastificantes de última generación basados en policarboxilatos en las mezclas de concreto con el fin de evaluar las propiedades en estado fresco y endurecido de un concreto autocompactante, adicionando a la mezcla residuos naturales de la industria de la marmolería como el polvo de mármol, y así mejorar las propiedades del concreto en obra.

Al evaluar la influencia del polvo de mármol y superplastificante en el análisis de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante en Trujillo, se busca obtener un concreto de resistencias mejoradas, así como también una mezcla que sea fácil de colocar en obra y altamente fluida pero con el fin de que tenga una menor exudación, no exista segregación, mayor homogeneidad y arquitectónicamente presente una superficie acabada, además de reutilizar los desperdicios de mármol generando un impacto positivo ecológicamente, puesto que las regiones están en constante crecimiento respecto a infraestructura urbana es por ello que es importante desarrollar nuevos materiales de construcción y aplicar nuevas tecnologías constructivas que den el soporte al crecimiento actual, siendo este tipo de concreto autocompactante el idóneo ya que se acomodaría a las necesidades del tipo de construcciones de hoy en día en Trujillo como son el caso de edificios de gran altura, así como en estructuras de concreto de alta resistencia.

Es importante destacar que, de no ejecutarse esta investigación, se desconocerá la influencia del polvo de mármol como un material fino de adición en la mezcla para el análisis de las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante, así como también el comportamiento del porcentaje de aditivo superplastificante en una mezcla de concreto autocompactante.

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida la adición de polvo de mármol y superplastificante influyen sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante en Trujillo?

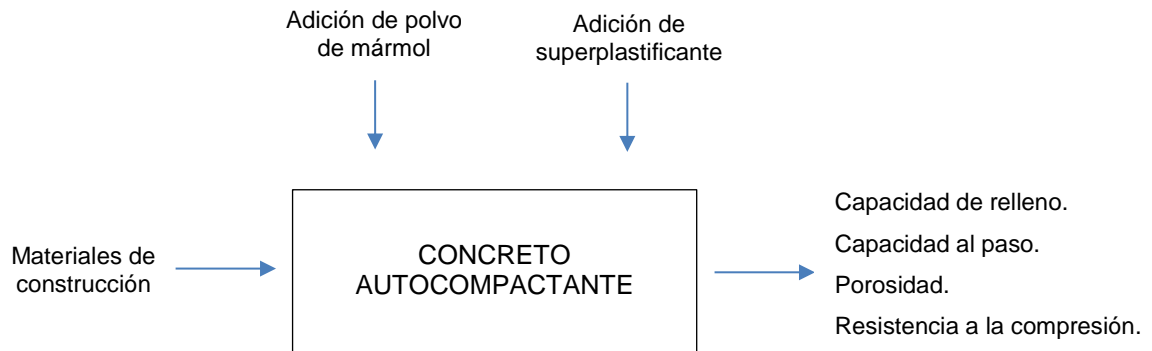


Figura N° 1. Esquema del Problema de Investigación.

1.3. Justificación

La presente investigación se justifica debido a que se ajusta a los lineamientos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Privada del Norte, siendo la línea de investigación: “Estudio y desarrollo de nuevas tecnologías constructivas y materiales de construcción”.

Según Sánchez H. (2014), resalta que en Perú el sector construcción ha presentado un crecimiento significativo en ejecución de proyectos, más no ha tenido un crecimiento tecnológico, debido a esto el uso del concreto autocompactante en obras civiles no se ha expandido en todos los sectores del país, es por ello que en la presente investigación al evaluar la influencia del porcentaje de polvo de mármol y superplastificante basados en policarboxilatos en las propiedades en estado fresco y endurecido de un concreto autocompactante en Trujillo, se busca beneficiar a las empresas y a las personas inmersas en el mundo de la construcción de una manera directa, puesto que brindaran un concreto con mayor resistencia y durabilidad, y también a los clientes de este sector ya que mejorarán la calidad de vida y seguridad al recibir un producto mejorado.

La investigación propuesta busca analizar las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante mediante la adición de diferentes porcentajes de polvo de mármol y superplastificante, debido a que este residuo está compuesto aproximadamente en un 95 % de carbonato cálcico o calcita, el cual se encuentra como materia prima en las calizas para la obtención del cemento, y el superplastificante basados en policarboxilatos debido a que brindan al concreto un mejor comportamiento reológico, una mejor trabajabilidad prolongada en estado fresco y con efectos de elevadas resistencias y baja porosidad del concreto en estado endurecido, lo que conlleva a que este concreto tenga una baja permeabilidad y sea durable, y así también aplicar el amplio conocimiento y el uso de normas internacionales enfocadas a nuestra realidad; y a la vez considerar diferentes criterios para llevar a cabo una adecuada ejecución en cuanto al diseño de un concreto autocompactante, logrando que este

concreto sea fluido y no genere segregación, y a la vez que presente un mejor acabado; contribuyendo a la obtención de soluciones constructivas técnico – económico, puesto que según Sánchez H. (2014), menciona que las normas técnicas peruanas son insuficientes para el análisis y caracterización de las propiedades en estado fresco de este tipo de concreto.

El uso de materiales del presente proyecto se justifican en normas y antecedentes previos a esta investigación, los agregados han sido extraídos de la cantera El Milagro, siendo así, el agregado grueso de tamaño máximo nominal (TMN) de 1/2", puesto que para la elaboración de concretos autocompactantes se emplean como tamaño máximo la piedra de 1/2" según las Especificaciones y directrices para el Hormigón Autocompactante - EFNARC (2012) y además que este agregado es altamente comercial, el cemento portland tipo I debido a que es un cemento sin adiciones de uso general según recomendaciones de Fernández C. (2011), el agregado fino de módulo de finura comprendido entre 2.30 y 3.10 según la Norma Técnica Peruana – NTP 400.037 (2014), el polvo de mármol (malla N° 325) puesto que es una adición, y al ser un filler el tamaño debe ser inferior a 0.063 o pasar la malla N° 200 según Fernández C. (2011).

La presente investigación se justifica por un tema de evaluar la influencia de diferentes porcentajes de polvo de mármol y superplastificante basado en policarboxilatos en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante, puesto que, el sector de marmolería es uno de los sectores que más desperdicio genera al año por la fabricación de lápidas, debido al corte y pulido de lápidas se generan 170 Kg/m³ según Scielo (2012), y es por ello que se aprovechará los desperdicios de mármol en conjunto con el superplastificante puesto que la realidad en el Perú muestra que no se aplica la tecnología de concreto adecuada en distintos tipos de construcciones presentando un tema de irregularidades en la estructura.

Es importante indicar el impacto económico - social - ambiental de no implementar una mejora en la tecnología del concreto con la inclusión de polvo de mármol y aditivo superplastificante para analizar las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante. Esto permitirá que se mantenga como objetivo constante la aplicación de nuevas tecnologías en el concreto como el uso de superplastificantes, y la revalorización de residuos de distintas industrias que permiten obtener una solución adecuada para el concreto, así como para los distintos procesos constructivos.

El presente proyecto ampliará los conocimientos en el área de concreto y reutilización de materiales de construcción y de otras industrias como la marmolera, además esta investigación se empleará como fuente de implementación y mejora continua a los estudiantes de Ingeniería Civil, así como a otras carreras afines. Es importante resaltar la reutilización de materiales o residuos que se pueden añadir al concreto, y así también resaltar los tipos de concreto en obra que nos permiten aminorar gastos en algunas partidas como la

vibración del concreto o disminuir la mano de obra, y mejorar la calidad del concreto que obtenemos con la inclusión de aditivos.

1.4. Limitaciones

- Limitado material bibliográfico nacional acerca de investigaciones de concreto autocompactante con adiciones naturales, por lo que se buscó investigaciones con adiciones a nivel internacional.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Evaluar la influencia de la adición de polvo de mármol y superplastificante sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante.

1.5.2. Objetivos específicos

- Evaluar la capacidad al paso y de relleno del concreto autocompactante en sus distintos niveles de polvo de mármol y superplastificante a través del método de anillo J y Cono de Abrams bajo la norma ASTM C1621 y C1611.
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto autocompactante en sus distintos niveles de polvo de mármol y superplastificante bajo la norma ASTM C39.
- Determinar la porosidad del concreto autocompactante en sus distintos niveles de polvo de mármol y superplastificante bajo la norma ASTM C642.
- Analizar el impacto económico del concreto autocompactante con adiciones de residuos del mármol en elementos estructurales.
- Realizar el diseño de mezcla de un concreto autocompactante de resistencia media bajo el método ACI 211.
- Evaluar la viscosidad del superplastificante a través del método del Cono de Marsh bajo la norma ASTM C939
- Caracterizar y analizar las propiedades físicas de los agregados y mármol a emplear en el concreto autocompactante bajo la norma NTP 400.037.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Robayo, R; Silva, Y; Delvasto, S; y Matthey, P. (2016) en su investigación “*Obtención de un concreto autocompactante empleando adiciones de escoria de carbón finamente molida*” utilizaron escoria de carbón finamente molida en proporciones de 10%, 20%, 30% y 50% como sustitución moderada del cemento con el objetivo de constatar la autocompactabilidad de las mezclas para lo cual se evaluó el desempeño de los valores óptimos para la capacidad de relleno y capacidad al paso del concreto mediante el empleo de la caja en L, cono de Abrams y embudo en V. El concreto sin tratamiento fue diseñado para una resistencia a la compresión de 350 Kg/cm² a los 28 días de curado, con una relación agua/cemento de 0.45, emplearon aditivo superplastificante en una proporción respecto al material cementante de 0.55 %, el tamaño máximo del agregado grueso fue de 1/2” y el módulo de finura del agregado fino de 2.55. Al finalizar los ensayos con adiciones al concreto estas presentaron una óptima trabajabilidad y alta cohesividad entre sus elementos que permiten un buen encofrado sin vibración y sin que presente segregación obteniendo un aumento de hasta el 13 % en el asentamiento en relación a la mezcla de control; también se presentó un aumento en la resistencia a la compresión de las mezclas adicionadas con el 10%, 20% y 30% de escoria en órdenes del 20%, 21% y 18%, secuencialmente respecto a la mezcla base de 350 kg/cm², llegando a la conclusión que la escoria de carbón permite reducir hasta un 30 % de cemento en la mezcla de concreto sin afectar sus propiedades como el asentamiento, segregación y la resistencia a la compresión.

Tabla N° 1. Comportamiento en estado fresco de los concretos elaborados.

Fuente: Robayo, Silva, Delvasto y Matthey (2016)

Característica	Control	M-10%	M-20%	M-30%	M-50%
Relación a/c	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
% Sp	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
Asentamiento (mm)	635	720	690	625	530
Embudo en V (s)	19.93	8.20	9.34	8.74	12.85
Caja en L (h2/h1)	0.98	0.79	0.78	0.77	0.76

- El aporte de la investigación sirvió para decidir la resistencia de diseño del concreto autocompactante, así también para concluir el uso del tamaño máximo de piedra de 1/2" en el concreto y además que el superplastificante se puede emplear en porcentajes bajos y obtener mezclas con propiedades de autocompactabilidad.

Abad G., y Romero L. (2016) en su investigación "*Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas*" incorporaron fibras plásticas, recicladas y normalizadas en ordenes de 50 % y 100 % del total de la mezcla a un concreto autocompactante para evaluar y comparar sus propiedades físicas y mecánicas, en estado fresco y endurecido como la resistencia a la segregación, viscosidad y resistencia a la compresión. El concreto fue diseñado para una resistencia a la compresión de 350 Kg/cm² a los 28 días de curado, con una relación agua/cemento de 0.45, emplearon aditivo superplastificante Viscocrete 2100 en una proporción respecto al cemento de 1.80 %, el tamaño máximo del agregado grueso fue de 3/8" y el módulo de finura del agregado fino de 2.82, en total se realizaron 9 tratamientos con las fibras normalizadas y recicladas. Al concluir los ensayos, la mezcla que presentó un mejor resultado a la resistencia a compresión fue la que se adicionó el 100 % de fibras de plástico normalizadas obteniendo un valor de 399.32 kg/cm² el cual superó en un 14 % a la resistencia base, mientras que al emplear fibras recicladas el mejor resultado a la compresión se obtuvo al 50 % de fibra añadida, obteniendo todas las mezclas una extensión de flujo entre 660 mm a 750 mm, con los resultados obtenidos se concluyó que las mezclas de concreto están dentro de los parámetros que establecen para que un concreto sea autocompactante, siendo las mezclas un tipo de concreto autocompactante SF2.

- El aporte de la investigación sirvió para concluir el uso de la arena gruesa con módulo de finura alto en concretos autocompactantes, el cual no influye que la arena tenga pocos finos en el concreto autocompactante.

Silva, Y.; Delvasto, S.; Matthey, P.; y Robayo, R. (2015) en su investigación "*Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición*" utilizaron residuos de demolición como residuos de mampostería molida (residuos de ladrillos de arcilla unidos con mortero) para mejorar la resistencia de un concreto autocompactable como reemplazo del cemento en proporciones del 10%, 20%, 30% y 50%. Las propiedades a evaluar fueron la resistencia a la compresión, absorción y volumen de poros permeables, en cuanto a las propiedades en estado fresco del concreto autocompactante se determinaron mediante el empleo de la caja en L, cono de Abrams y embudo en V. El concreto fue diseñado para una resistencia a la compresión de 350 Kg/cm² a los 28 días de curado, con una relación

agua/cemento de 0.45, emplearon aditivo superplastificante Sikaplast 326 en una proporción respecto al cemento de 0.55 %, el tamaño máximo del agregado grueso fue de 1/2" y el módulo de finura del agregado fino de 2.55. Al terminar los ensayos, los resultados fueron positivos en todos los niveles de sustitución en los ensayos en estado fresco, en cuanto a la resistencia a la compresión en proporciones del 10% y 20% de reemplazo los valores se mantienen comparando a la resistencia de diseño, aunque en proporciones más elevadas de sustitución como 30% y 50% las resistencias fueron inferiores a la resistencia de diseño de 350 kg/cm², concluyendo que a medida que se incrementa el porcentaje de reemplazo de residuos de demolición la resistencia a la compresión baja significativamente, el volumen de poros permeables y la absorción del concreto en estado endurecido aumentan respecto a las probetas de control.

- El aporte de la investigación sirvió para decidir la resistencia de diseño del concreto autocompactante, así también para concluir que el superplastificante se puede emplear en porcentajes bajos y obtener mezclas con propiedades de autocompactabilidad, además de emplear residuos como adición para mejorar las propiedades de capacidad al paso y de relleno del concreto autocompactante.

Robayo, R.; Matthey, P.; Silva, Y.; y Delvasto, S. (2014) en su investigación "*Comportamiento en estados fresco y endurecido de un concreto autocompactante, adicionado con escoria de carbón, y elaborado con agregado grueso de concreto reciclado*", evaluaron la sustitución por completo de los agregados naturales por reciclados en porcentajes de 25%, 50%, 75% y 100%, a partir de la trituración de residuos de las demolición de las construcciones sobre el comportamiento en estado fresco y endurecido de un concreto autocompactante. El concreto fue diseñado para una resistencia a la compresión de 350 Kg/cm² a los 28 días de curado, con una relación agua/cemento de 0.45, todos los tratamientos fueron reemplazados en un 30 % de escoria de carbón por cemento, además emplearon aditivo superplastificante Sikaplast 326 en una proporción respecto al cemento de 0.55 %, el tamaño máximo del agregado grueso natural y reciclado fue de 1/2" y el módulo de finura del agregado fino de 2.61. Al finalizar los ensayos, los resultados mostraron que la mezcla adicionada con escoria de carbón y sin reemplazo de agregado reciclado alcanza una resistencia de 400 Kg/cm², además la incorporación de estos agregados reciclados no afecta significativamente el comportamiento en estado fresco de las mezclas hasta un 75 % de reemplazo del agregado, pero en cambio sí presenta una influencia sobre el comportamiento en estado endurecido de los concretos, pues ocasiona una disminución de la resistencia a la compresión de entre el 15% y el 29 %, además de un aumento de la cantidad de poros permeables y el grado de absorción en función de la cantidad de agregado natural que fue sustituido por reciclado.

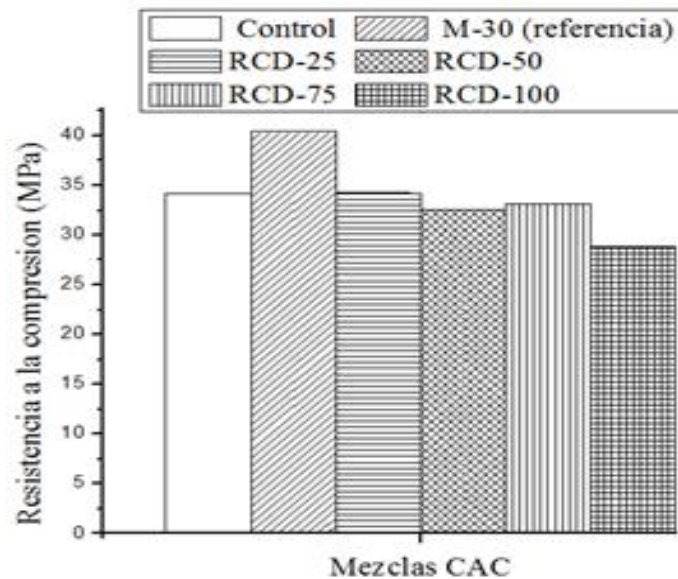


Figura N° 2. Resistencia a la compresión de los concretos elaborados a los 28 días de curado.

Fuente: Robayo, Silva y Matthey (2014)

- El aporte de la investigación sirvió para decidir la relación agua/cemento a emplear en el concreto, así también para concluir el uso del tamaño máximo de piedra de 1/2" y además que el superplastificante se puede emplear en porcentajes bajos y obtener mezclas con propiedades de autocompactabilidad.

Silva, Y.; Burgos, D.; Valencia, W.; Delvasto, S.; y Álvarez, J. (2013) en su investigación "Concretos autocompactantes a partir de lodo calcáreo de la industria papelera", analizaron las propiedades en estado fresco y endurecido de un concreto autocompactado añadiendo lodo calcáreo procedente de las industrias papeleras y caliza comercial en proporciones de un 35% y 50% respecto al cemento. Para determinar la trabajabilidad del concreto autocompactante se empleó el cono de Abrams, la caja L y el embudo en V. El concreto fue diseñado para una resistencia a la compresión de 350 Kg/cm² a los 28 días de curado, con una relación agua/cemento de 0.44 y 0.48 para las mezclas de concreto adicionadas con caliza comercial y lodo calcáreo respetivamente, además emplearon aditivo superplastificante Sika Viscocrete 2100 en una proporción respecto al cemento de 1.20 %, el tamaño máximo del agregado grueso fue de 1/2" y el módulo de finura del agregado fino de 2.70, el ensayo de resistencia a la compresión se realizó a 28 y 90 días de curado. Al concluir la prueba, los resultados demostraron que el lodo calcáreo como la caliza comercial funcionan de manera correcta en el concreto sin alterar las propiedades en estado fresco, la resistencia a la compresión a 28 días de curado el concreto autocompactante adicionado con 35% y 50 % de

la caliza comercial molida presento una resistencia a la compresión de 400 Kg/cm², la cual fue superior en un 16.4% en comparación con el concreto adicionado con lodo calcáreo, estos mismos porcentajes de caliza comercial presentaron una elevada resistencia a la compresión a edades mayores de 28 días, siendo la resistencia a la compresión de 470 Kg/cm² a 90 días de curado, concluyendo que la adición de caliza comercial al concreto presenta un mejor comportamiento que el lodo calcáreo sobre las propiedades del concreto en estado endurecido.

- El aporte de la investigación sirvió para decidir emplear el polvo de mármol como un fino en el concreto autocompactante, puesto que según Santos, Villegas y Betancourt (2012) el mármol al igual que las calizas está compuesto por carbonato cálcico.

Robayo, R.; Matthey, P.; y Delvasto, S. (2013) en su investigación "*Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (CCA) y reforzado con fibras de acero*", utilizaron la incorporación en proporciones bajas de fibras de acero en porcentajes de 0.30, 0.50 y 0.70 % para analizar la influencia de las incorporación de la fibra en las propiedades mecánicas de un concreto fluido adicionado con un 20 % de ceniza de cascarilla de arroz como reemplazo parcial del cemento. Las pruebas realizadas fueron Slump, resistencia a la compresión a 28 y 60 días de curado, resistencia a la tracción indirecta y de módulo de elasticidad a 28 días. El concreto fue diseñado para una resistencia a la compresión de 280 Kg/cm² a los 28 días de curado, con una relación agua/cemento de 0.45, emplearon aditivo superplastificante Sika Viscocrete 2100 en una proporción respecto al cemento de 0.40 %, las fibras de acero fueron las Sika Fiber CHO 65/35 NB, el tamaño máximo del agregado grueso fue de 3/4" y el módulo de finura del agregado fino de 2.53. Al finalizar los ensayos, los resultados mostraron que la cascarilla de arroz mantiene una excelente trabajabilidad y un Slump de 18 cm, y al adicionar fibras de acero el slump se mantiene constante que la mezcla de control, en cuanto a la resistencia a la compresión la cascarilla de arroz presenta un mayor efecto a edades prolongadas de curado obteniendo resistencias mayores a los 400 Kg/cm², la adición del 0,70 % de fibras de acero al concreto generó un incremento del 42% en la resistencia a la tracción y el 12% en el módulo de la elasticidad, concluyendo que la ceniza de cascarilla de arroz mejora las propiedades reologicas del concreto y las fibras de acero mejora las propiedades de resistencia a la tracción y rigidez del concreto.

- El aporte de la investigación sirvió para decidir emplear el superplastificante en porcentajes bajos o cercanos al 0.40 %, y para evaluar la resistencia del concreto a días de curado mayores a los 28, puesto que a los 56 días el concreto adicionado con la cascarilla de arroz sigue ganando resistencia.

González, V.; y Rodríguez, J. (2008) en su investigación “*Influencia del porcentaje de microsílíce sobre la trabajabilidad en estado fresco y la resistencia a la compresión en estado endurecido de un concreto autocompactante*”, tuvieron como propósito determinar la cantidad adecuada de microsílíce que se debe de agregar al diseño de mezcla de un concreto autocompactante. El diseño de mezcla se realizó para un concreto de 280 Kg/cm² a los 28 días de curado, los porcentajes de adición de microsílíce Rheomac SF100 fueron de 4, 8, 12 y 16 % respecto al peso del cemento, el cemento empleado fue el cemento tipo I de la empresa Pacasmayo, el aditivo empleado fue un superfluidificante de éter policarboxílico Glenium, el tamaño máximo nominal de la piedra empleada fue de 3/8”, la relación agua/finos 0.34 y relación agua/cemento 0.40, se elaboraron 30 probetas cilíndricas de 0.15 x 0.30 m para los ensayos de resistencia a la compresión los cuales se realizaron a 7 y 28 días de curado, los ensayos en estados fresco fueron el cono de Abrams, embudo en V, caja L, caja U y caja de relleno. Al concluir los ensayos, obtuvieron como resultado de mayor resistencia a los 28 días, las probetas que se adicionaron el 12 % de microsílíce con una resistencia de 422.88 kg/cm², siendo este porcentaje de microsílíce el que mejor desempeño mostró en los ensayos del concreto autocompactante, asimismo concluyeron que a medida que se aumenta el porcentaje de microsílíce las propiedades en estado fresco y endurecido obteniendo una mejor trabajabilidad, adherencia y resistencia aumentan, hasta alcanzar un máximo contenido en donde la segregación y exudación aumentan y la resistencia baja.

- El aporte de la investigación sirvió para decidir emplear una relación agua/cemento y agua/finos baja en la mezcla, concluyendo que mientras más finos presente la mezcla mejor comportamiento de autocompactabilidad tendrá la mezcla.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto autocompactante

Es un concreto convencional (agua, cemento, piedra y arena) al cual se añade aditivos del tipo superplastificantes, la diferencia con los concretos convencionales radica en que no necesita de vibración debido a que se acomoda por su propio peso, siendo ideal para emplear en zonas de difícil acceso; estas ventajas permiten que este concreto sea impermeable. (Fernández, M., 2011)

2.2.1.1. Materiales y composición.

Para este tipo de concreto se puede emplear cualquier tipo de cemento, en cuanto al agregado grueso su tamaño máximo es de 25 mm, aunque lo recomendable es de 12 a 20 mm. En cuanto al agua de amasado, se encuentran entre 150 L/m³ a 200 L/m³ cuyo fin es no tener concretos con segregación ni exudación.

El uso de aditivos es esencial, empleándose los de tipo superplastificantes en dosis de 1.0 % a 1.5 % en peso del cemento, también se pueden incluir otros tipos de aditivos como inclusores de aire, modificadores de fraguado. En cuanto a la dosificación del superplastificante esta se determina mediante el ensayo de fluidez partiendo de una relación a/c considerada. (Fernández, M., 2011)

Tabla N° 2. Componentes del concreto.

Material	Indicadores
a. Cemento	Composición, tipos, hidratación del cemento.
b. Agregados	Clasificación, características (densidad, absorción, humedad)
c. Agua	Amasado, límites de componentes dañinos al concreto.
d. Adiciones	Puzolanas, cenizas volantes, humo de sílice, filleres.
e. Aditivos	Plastificantes, superplastificantes, acelerantes, retardadores.

2.2.1.1.1. Cemento

Es un material que reacciona de forma instantánea con el agua, este material está conformado por clinker y yeso dihidrato. (Fernández, M., 2011)

a. Composición del cemento.

Tabla N° 3. Componentes principales del clinker portland.

Fuente: Fernández Cánovas (2011)

Nombre	Composición	Fórmula Abreviada	Nombre
Silicato Tricálcico	3CaO, SiO ₂	C ₃ S	Alita
Silicato Bicálcico	2CaO, SiO ₂	C ₂ S	Belita
Aluminato Tricálcico	3CaO, Al ₂ O ₃	C ₃ A	
Ferrito Aluminato Tetracálcico	4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	C ₄ AF	Celita

b. Hidratación del cemento.

La hidratación se produce mediante una reacción con el agua, en donde los silicatos y aluminatos se hidratan dando lugar a una masa rígida, durante el proceso de hidratación el volumen de la pasta se mantiene constante sin

embargo el de los sólidos incrementa lo cual reduce la porosidad del compuesto; y aumenta la resistencia mecánica de la pasta endurecida.

La importancia del uso de agua externa durante la hidratación (curado), a temperatura ambiente, da lugar a la capa de gel que genera que la pasta sea cada vez más impermeable y resistente. (Fernández, M., 2011)

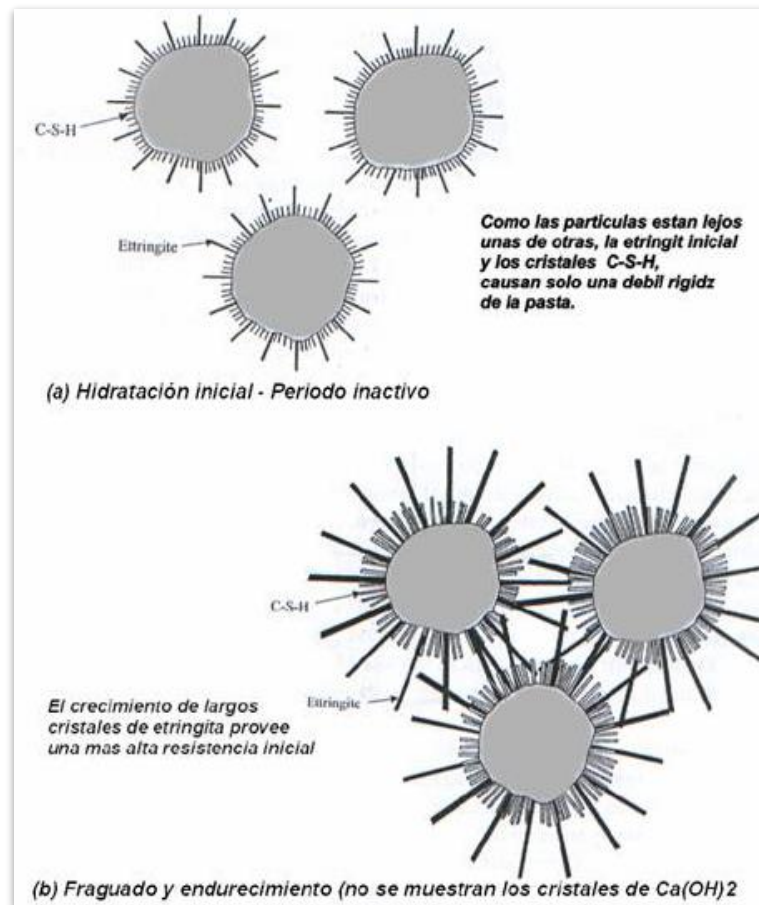


Figura N° 3. Representación esquemática de la hidratación de la pasta.

Fuente: Materiales para Construcción de Alto Desempeño

c. Tipos de cemento.

Según las normas NTP 334.009, y ASTM C150 se clasifican en:

- Tipo I: Uso general, no se requieren propiedades especiales.
- Tipo II: Uso cuando se desea resistencia moderada a los sulfatos.
- Tipo III: Uso cuando se desea alta resistencia inicial o temprana.
- Tipo IV: Uso cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Uso cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

Tabla N° 4. Composición química de los diferentes tipos de cemento.

Fuente: Sánchez de Guzmán (2001)

Cemento	C ₃ S (%)	C ₂ S (%)	C ₃ A (%)	C ₄ AF (%)
Tipo I	48	27	12	8
Tipo II	40	35	5	13
Tipo III	62	13	9	8
Tipo IV	25	50	5	12
Tipo V	38	37	4	9

El cemento portland tiene una relación directa con el efecto que produce el superplastificante en el concreto, es por ello que la pérdida de trabajabilidad del concreto con superplastificante depende mucho del porcentaje que contenga el cemento de aluminato tricálcico (C₃A). Según Fernández Cánovas (2011) en su libro Hormigón, un cemento con contenido de C₃A superior al 9 % hace que el concreto pierda con rapidez su trabajabilidad que aquellos que poseen una menor cantidad de C₃A.

2.2.1.1.2. Agregados

Son materiales granulares inertes, de origen natural y artificial, de tamaño comprendido entre 0 mm y 100 mm según la norma NTP 400.011.

Según Fernández Cánovas (2011), los agregados ocupan el 80 % del volumen del concreto, siendo el porcentaje restante ocupado por la pasta de cemento, estos contribuyen en la estabilidad y resistencia del concreto.

a. Clasificación.

a.1. Agregado fino.

Es el material que pasa por el tamiz N° 4 o que tiene diámetro menor a 4,75 mm. Según la ASTM C33, se clasifican:

- Arena Gruesa; tamaño entre 2 – 5 mm.
- Arena Media; tamaño entre 0.5 – 2 mm.
- Arena Fina; tamaño entre 0.05 – 0,5 mm.

a.2. Agregado grueso.

Es el material que tiene diámetro mayor a 4,75 mm.

b. Características.

- **Densidad.**

Se denomina a la propiedad que relaciona la masa de la muestra de los agregados con el volumen aparente de estos mismos, la densidad es vital en el diseño de mezcla, siendo los más frecuentes los que oscilan entre 2.4 gr/cm³ y 3.0 gr/cm³. (Fernández, M., 2011)

- **Absorción.**

La absorción es la propiedad que tienen los agregados para llenar de agua los vacíos permeables de su estructura interna, esta propiedad tiene una gran influencia en la resistencia a compresión del concreto puesto que tiene una relación directa en su adherencia con la pasta de cemento. Se recomienda que la absorción sea menor o igual al 5%. (Fernández, M., 2011)

- **Humedad.**

La humedad relaciona el peso del agua presente en una muestra y el peso seco de la misma, esta propiedad es importante porque tiene una gran repercusión en la relación agua/cemento que se emplea en el concreto. (Fernández, M., 2011)

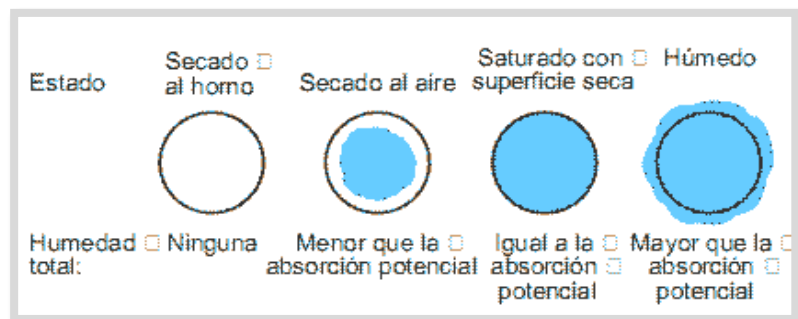


Figura N° 4. Estados de humedad de los agregados.

Fuente: Mayta (2014)

- **Granulometría.**

La granulometría de un agregado consiste en determinar la distribución por tamaños de partículas que lo conforman. En el agregado fino el parámetro que se determina es el módulo de finura, mientras que en el agregado grueso se determina el tamaño máximo y tamaño máximo nominal, estos parámetros de los agregados están relacionados con el diseño de mezcla del concreto (Fernández, M., 2011)

2.2.1.1.3. Agua

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

a. Agua de amasado.

El agua de amasado del concreto tiene como finalidad la hidratación de los componentes activos del cemento y de realizar que la masa sea más trabajable. El agua tiene que ser limpia y libre de impurezas tales como cloruros, sulfatos y otras sales. (Fernández, M., 2011)

b. Agua de curado.

El agua cumple las mismas condiciones que el de amasado.

La NTP 339.088 considera al agua para el amasado y/o curado de concretos las siguientes condiciones:

Tabla N° 5. Limite permisible para la calidad de agua.

Fuente: NTP. 339.088

Descripción	Limite Permisible
Sólidos en suspensión	< 50 000 ppm
Alcalinidad (NaHCO ₃)	< 600 ppm
Sulfatos (Ión SO ₄)	< 3000 ppm
Cloruros (Ión Cl ⁻)	< 1000 ppm

La NTP 339.088 permite emplear agua potable en la elaboración de la mezcla de concreto sin necesidad de ensayar para evaluar los límites que indica la norma.

Según la Organización Mundial de la Salud (1995), el agua potable presenta requisitos para ser considerada apta para su uso.

- pH: 6.5 – 8.5.
- Conductividad: < 1 500 uS/cm².

2.2.1.1.4. Adiciones

- **Puzolanas naturales:** Son materiales sólidos de naturaleza silíceo o sílico-aluminosa que puede combinarse con la cal hidráulica, están compuestos por SiO₂ y Al₂O₃.
- **Cenizas volantes:** Son un residuo sólido de naturaleza calcárea o silíceo, que pueden incrementar la resistencia a largo plazo.

- **Humo de sílice:** Se emplea en la obtención de concretos de alta resistencia, cumple dos funciones uno físico como plastificante y uno químico que produce el aumento de las resistencias del concreto.
- **Calizas:** Son materiales con un contenido de CaCO_3 mayor al 75 % en masa, cuando se emplea en proporción mayor al 5 % en masa cumple con características similares de los fílleres.
- **Fílleres:** Son materiales inorgánicos que mejoran las propiedades del concreto como la trabajabilidad o la retención de agua. Los fílleres pueden tener características ligeramente hidráulicas, hidráulicas latentes o puzolánicas. (Fernández, M., 2011)

2.2.1.1.5. Aditivos

Son materiales orgánicos o inorgánicos cuyo fin es producir una modificación determinada en alguna de las propiedades del concreto. La cantidad no debe superar el 5% del volumen del concreto. (Fernández, M., 2011)

Según la ASTM C494, los aditivos se clasifican en:

- Tipo A: Reductor de agua.
- Tipo B: Retardador de fraguado.
- Tipo C: Acelerador de fraguado.
- Tipo D: Reductor de agua y retardador.
- Tipo E: Reductor de agua y acelerador.
- Tipo F: Reductor de agua de alto efecto.
- Tipo G: Reductor de agua de alto efecto y retardador.

a. Plastificantes o reductor de agua.

Son materiales que al añadir a la mezcla aumentan la trabajabilidad del concreto; reducen el agua para el amasado.

b. Retardador de fraguado.

Actúan de dos maneras distintas una es donde retardan el fraguado y la otra el endurecimiento del concreto.

c. Acelerador de fraguado.

Los acelerantes es todo lo contrario a los retardadores, en otras palabras; acelera el fraguado que reduce a menos de la mitad de lo normal.

d. Superplastificantes o reductor de agua de alto efecto.

Los superplastificantes permiten conseguir mezclas dóciles, sin reducir su resistencia, para que la trabajabilidad aumente consiste en añadir un superplastificante con la misma cantidad de agua. (Fernández, M., 2011)

Los superplastificantes se clasifican en 4 grupos:

- Condensados de formaldehído melamina sulfonados (SMF): Forma una película lubricante sobre las partículas del cemento.
- Condensados de formaldehído naftaleno sulfonados (SNF): Reducción de la tensión superficial del agua de amasado.
- Lignosulfonatos modificados (MSL): Cargan electrostáticamente a las partículas del cemento que producen repulsión entre ellas.
- Derivados de éteres policarboxílicos: Mantienen su efectividad constante durante tiempos superiores a una hora.

Según Fernández Cánovas (2011), el principal efecto de los superplastificantes es provocar una dispersión entre las partículas de cemento hidratadas que se denomina fenómeno de adsorbancia. Los superplastificantes actúan de dos formas en el concreto, como acción plastificante y acción reductora de agua.

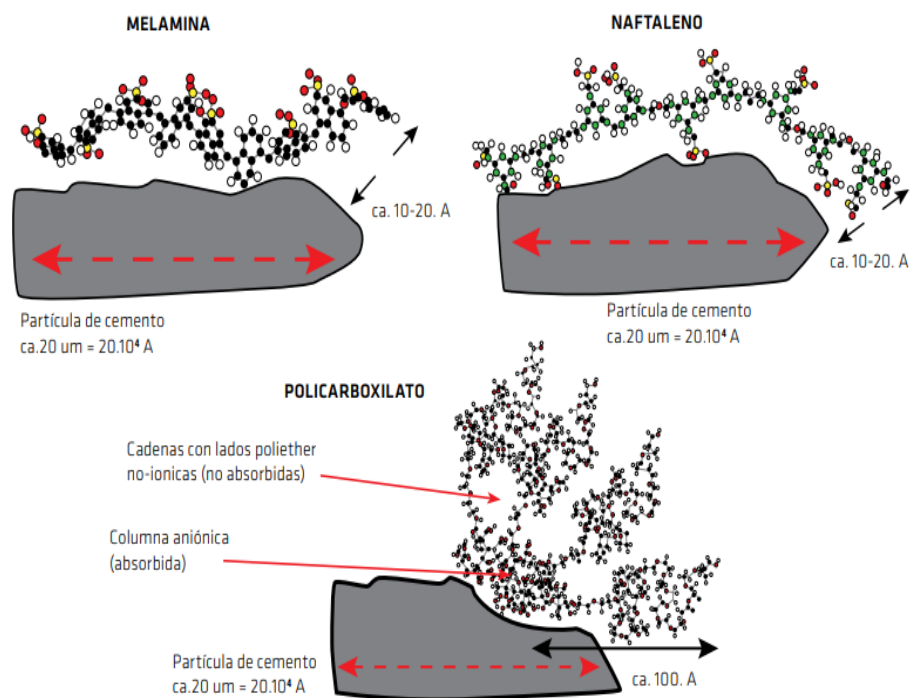


Figura N° 5. Estructura de los tipos de superplastificante.

Fuente: Sika (2016)

2.2.1.2. Parámetros de la mezcla de concreto autocompactante

Según Fernández Cánovas (2011), no existen métodos de dosificación en concretos autocompactantes, la mayoría de los parámetros de estas mezclas son obtenidas empíricamente con el fin de conseguir las características mecánicas y docilidad adecuada para este tipo de concreto.

Como recomendaciones generales para este tipo de concreto empleando cemento portland tipo I, se recomienda los siguientes parámetros desarrollado por el Laboratoire Central de Ponts y Chaussées (LCPC):

Tabla N° 6. Recomendaciones en la mezcla de concreto autocompactante.

Fuente: Fernández Cánovas (2011)

Descripción	Parámetro
Contenido de finos < 0.149	400 kg/m ³ a 600 Kg/m ³
Contenido de gruesos	Aprox. 28 % - 35 % volumen de la mezcla.
Contenido del cemento tipo I	Aprox. Entre 350 Kg/cm ³ a 500 Kg/m ³
Aditivo superplastificante	1% - 1.5% sobre peso de cemento
Coadyuvante AMV	0.15% sobre peso de cemento
Agua	Aprox. Contenido de agua 200 L/m ³ .
Relación agua/finos	Aprox. 0.8 – 1.0

2.2.1.3. Propiedades del concreto autocompactante

Este concreto se caracteriza por tener una óptima compactación y hacer fácil cualquier proceso de construcción, las propiedades de viscosidad, fluidez y cohesión del concreto en estado fresco son esenciales para la autocompactabilidad, la consistencia de este tipo de concreto es líquida y la docilidad tiene que ser muy alta, según Fernández Cánovas (2011). Es necesario evaluar los tres parámetros de trabajabilidad en el diseño de la mezcla, puesto que este concreto puede caracterizarse por las siguientes propiedades: (EFNARC, 2002)

- Capacidad de relleno.
- Capacidad de paso.
- Resistencia a la segregación.

Tabla N° 7. Propiedades de trabajabilidad del HAC y métodos de ensayo alternativos.

Fuente: EFNARC (2002)

Propiedad	Laboratorio (Mezcla)	Campo (Control de calidad)
Capacidad de relleno.	Flujo de asentamiento. Flujo de asentamiento T ₅₀ Embudo V.	Flujo de asentamiento. Flujo de asentamiento T ₅₀ Embudo V.
Capacidad de paso.	Caja en L. Caja en U.	Anillo J.
Resistencia a la segregación.	Embudo V a T5min. Ensayo GTM	Embudo V a T5min.

2.2.1.3.1. Capacidad de relleno.

Esta propiedad evalúa el flujo libre de obstrucciones en la mezcla del concreto autocompactante, es decir mide la capacidad del concreto de ocupar espacios por su propio peso al momento de realizar el vaciado.

El método que se emplea en obra es el cono de Abrams, el concreto autocompactante se clasifica de acuerdo al diámetro de extensión de flujo y al tiempo en que llega al diámetro 500 mm. (CEMEX, 2013)

De acuerdo al diámetro de extensión:

- SF1: 550 a 650 mm.
- SF2: 660 a 750 mm.
- SF3: 760 a 850 mm.

De acuerdo al tiempo T₅₀₀:

- VS1: ≤ 2 seg.
- VS2: > 2 seg.

2.2.1.3.2. Capacidad al paso.

Esta propiedad evalúa el flujo del concreto autocompactante a través de obstrucciones, es decir mide la capacidad del concreto de acomodarse través de las varillas de acero al momento de realizar el vaciado. (CEMEX, 2013)

El método que se emplea en obra es el anillo J, según CEMEX (2013) la relación al bloqueo del concreto autocompactante depende de la relación entre la diferencia de flujo por el método de cono de Abrams y anillo J.

- Bloqueo no visible: 0 - 25 mm.

- Bloqueo de mínimo a notable: > 25 mm - 50 mm.
- Bloqueo de notable a extremo: > 50 mm.

2.2.1.3.3. Resistencia a la segregación.

Esta propiedad del concreto autocompactante se define como el grado de segregación o estabilidad de todos los componentes del concreto como la piedra y la pasta de cemento, es decir mide el grado de separación entre los agregados y la pasta de cemento. (De la Cruz, C., 2009)

El método que se emplea en obra es el índice de estabilidad visual (VSI), según CEMEX (2013) este método mide la segregación de forma cualitativa.

Tabla N° 8. Criterios del índice de estabilidad visual.

Fuente: CEMEX (2013)

Valor de VSI	Criterio
0 = Altamente estable	No hay evidencia de sangrado ni segregación.
1 = Estable	No hay evidencia de segregación y se observa un brillo en la masa de concreto.
2 = Inestable	Presencia de un ligero halo de mortero \leq 10 mm y apilamiento de agregado en la mezcla.
3 = Altamente Inestable	Presencia de un halo de mortero $>$ 10 mm y apilamiento de agregado en el centro de la mezcla.

2.2.1.3.4. Porosidad.

Según López Orosco (2004) esta propiedad es una característica importante en el concreto, puesto que dependen otras propiedades como la resistencia y durabilidad del concreto.

El proceso de pasar del estado fresco al endurecido del concreto hace que se produzcan poros internos que están interconectados unos de otros formando capilares, a estos poros interconectados se denomina porosidad.

La porosidad está relacionada fuertemente con la permeabilidad y resistencia a la compresión, siendo así que la permeabilidad depende del tamaño y distribución de los poros en la estructura del concreto. Existen tres tipos que se forman en el concreto.

- Macroporos: Radio mayor a 100 μ m.
- Poros capilares: Radio comprendido entre 100 μ m a 0.05 μ m.
- Poros gel: Radio inferior a 0.05 μ m.

Según Fernández Cánovas (2011) los macroporos y poros capilares son los que influyen en el deterioro y disminución de la resistencia del concreto.

2.2.1.3.5. Resistencia a la compresión.

Esta propiedad mecánica es la que mayor desempeño presenta el concreto, la cual depende del tipo y calidad de los materiales que lo conforman.

Según Fernández Cánovas (2011) en concretos estructurales los valores de resistencia a la compresión a los 28 días de curado oscilan entre los 250 Kg/cm² a 350 Kg/cm².

La resistencia a la compresión del concreto depende de factores que están relacionados con su diseño de mezcla.

- Materiales componentes.
- Relación agua/cemento.
- Tamaño máximo del árido.
- Edad del concreto.
- Conformado de probetas.

Sin embargo, según Mehta (Hormigón, 2011) menciona que hay tres factores que están relacionados con la microestructura del concreto que influyen en la resistencia, estos factores son la porosidad, el tamaño de los cristales y la heterogeneidad.

2.2.1.4. Causas y efectos en las propiedades del concreto autocompactante

Tabla N° 9. Causas de resultados inferiores en parámetros del concreto autocompactante.

Fuente: EFNARC (2002)

Parámetro	Resultado inferior a	Causa
Diámetro de extensión.	650 mm	Viscosidad demasiado alta.
T500	2 seg.	Viscosidad demasiado baja
Altura de bloqueo (Anillo J)	10 mm	Tensión de corte demasiado alto. Bloqueo.
Coefficiente de bloqueo (Caja en L)	0.8	Viscosidad demasiado alta Tensión de corte demasiado alto. Bloqueo.

Tabla N° 10. Causas de resultados superiores en parámetros del concreto autocompactante.

Fuente: EFNARC (2002)

Parámetro	Resultado superior a	Causa
Diámetro de extensión.	750 mm	Viscosidad demasiado baja. Segregación.
T500	5 seg.	Viscosidad demasiado alta.
Altura de bloqueo (Anillo J)	10 mm	Segregación.
Coefficiente de bloqueo (Caja en L)	1.0	Resultado falso.

Tabla N° 11. Medidas de corrección de causas en parámetros del concreto autocompactante.

Fuente: EFNARC (2002)

Causa	Medida de corrección	Efecto		
		Capacidad de relleno	Capacidad al paso	Resistencia mecánica
Viscosidad demasiado alta.	Aumento del contenido de agua.	+	+	-
	Aumento del volumen de pasta.	+	+	+
	Aumento del superplastificante.	+	+	+
Viscosidad demasiado baja.	Reducción del contenido de agua.	-	-	+
	Reducción del volumen de pasta.	-	-	-
	Reducción del superplastificante.	-	-	-
	Aumento del agente modificador de viscosidad.	-	-	/
Tensión de corte demasiado alto.	Aumento del contenido de agua.	+	+	+
	Aumento del volumen de pasta.	+	+	+
	Aumento del superplastificante.	+	+	+
Segregación.	Aumento del volumen de pasta.	+	+	+
	Aumento volumen de mortero.	+	+	+
	Reducción contenido de agua.	-	-	+
	Uso de polvo más fino.	+	+	/
Bloqueo.	Reducción del tamaño máximo de árido.	+	+	-
	Aumento del volumen de pasta.	+	+	+
	Aumento del volumen de mortero.	+	+	+

Donde:

- +: Efecto positivo.
- -: Efecto negativo.
- /: No presenta ningún efecto.

2.2.2. Mármol

El mármol se caracteriza por tener una apariencia cristalina y estructura compacta, este tipo de roca proviene de la familia de las calizas a través de un proceso de metamorfismo tras una recristalización de sus minerales. (ARQHYS, 2012)

2.2.2.1. Características

a. Estructura.

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

a. Porosidad y durabilidad.

- Porosidad baja (0.02 – 0.5%).
- Baja absorción de agua. (0.2 – 0.7%)

b. Densidad:

- La densidad varía entre 2.4 a 2.8 g/cm³.

c. Dureza.

- Escala Mohs: 3.

d. Propiedades químicas.

- Composición.
- Durabilidad.
- Resistencia a agentes agresivos.

e. Fórmula química del mármol.

Predomina el carbonato de calcio (CaCO₃), el resto lo conforma una gran diversidad de otros minerales como la mica, grafito, sílice en forma de silicatos, óxidos de hierro y manganeso. (Rojas, C.; y Quispe, R., 2017)

2.2.2.2. Composición del mármol,

El uso de polvo de mármol en el concreto cumple el rol de una adición del tipo filler calizo, debido a que el tamaño de sus partículas es menor a las 65 micras y está compuesto en un 95 % por CaCO_3 o Calcita, y el porcentaje restante lo conforman sílices en forma de silicatos y óxidos de hierro, y otros minerales en menores proporciones que son los responsables de darle color al mármol, además el mármol es clasificado como una roca monomineral que tiene características similares a las adiciones del tipo calizas que es una adición que contiene CaCO_3 mayor al 75 %. (Santos, A.; Betancourt, J.; y Villegas, N., 2012)

Cabe resaltar que el polvo de mármol también presenta en su composición óxidos de aluminio, hierro y manganeso asemejándose al cemento portland, puesto que según Fernández Cánovas (2011), el cemento tiene estos componentes dentro de su estructura química, siendo el óxido de aluminio y hierro junto con el dióxido de silicio los componentes activos del cemento portland,

Tabla N° 12. Composición química del mármol.

Fuente: Santos, Villegas y Betancourt (2012)

Componentes	Valor (%)
CaCO_3	95.00
Fe	0.04
Al	0.10
SiO_2	1.02

2.2.2.3. Caracterización del residuo del mármol.

Durante el proceso de la elaboración de mármol donde más se genera residuos es en la etapa donde se realiza el corte de los bloques para su manufactura en talleres y el proceso de transformación en planchas y piezas para su puesta en obra. El polvo de mármol se puede obtener durante las distintas etapas del proceso de mármol. (Santos, A.; Betancourt, J.; y Villegas, N., 2012)

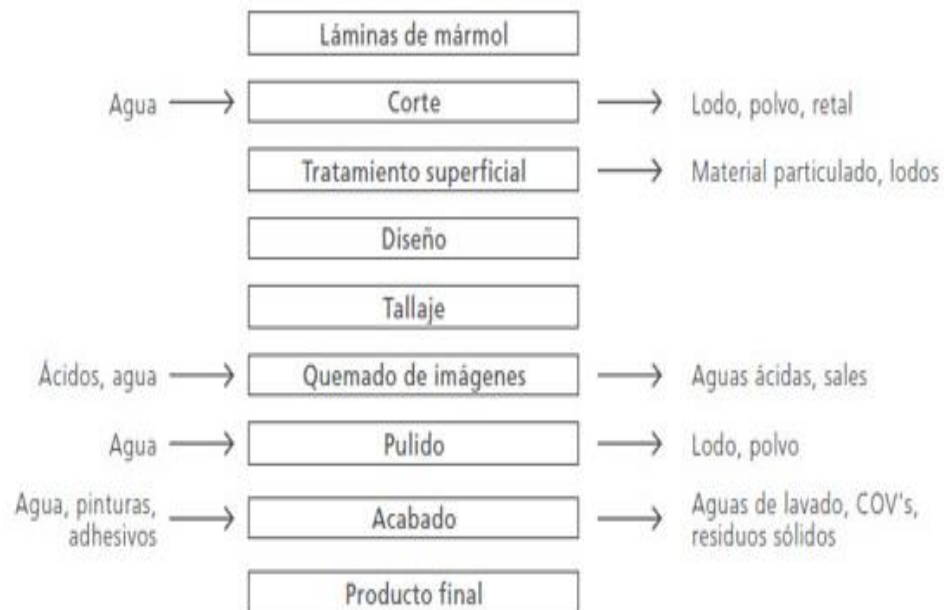


Figura N° 6. Residuos generados por etapa del proceso de la industria marmolera.

Fuente: Solano (2010)

2.2.2.4. Estado actual de la utilización de los residuos de mármol.

La utilización de los residuos de la elaboración de mármol es básicamente la del carbonato cálcico. Entre los usos más comunes de los residuos del mármol son: en la industria del cemento desulfurante, la industria del papel, entre otros. (Sciolo, 2012)

Corinaldesi: "El polvo de mármol es una adición efectiva para mejorar la cohesión de las mezclas y que permite sustituir hasta un 10% de arena sin afectar la resistencia a compresión".

2.3. Hipótesis

A medida que se incrementa el porcentaje de polvo de mármol y superplastificante en el concreto autocompactante, el comportamiento reológico del concreto mejorará, por lo tanto, las propiedades en estado fresco del concreto como la capacidad al paso y de relleno van a mejorar.

Las propiedades en estado endurecido del concreto autocompactante como la resistencia a la compresión aumentaran; no obstante, la porosidad del concreto autocompactante en estado endurecido disminuirá.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. Operacionalización de variables

Tabla N° 13. Operacionalización de variables.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores
Superplastificante	Material compuesto por éteres policarboxílicos que modifican la trabajabilidad del concreto.	Físico	Viscosidad.
			Color.
			Densidad.
Polvo de mármol	Material compuesto por carbonato cálcico que pasa el tamíz de 63 micras.	Físico	Porosidad.
			Absorción.
			Peso específico.
Capacidad de relleno del concreto	Propiedad en estado fresco que evalúa la capacidad del concreto para ocupar un espacio.	Físico	Diámetro de extensión.
			Tiempo de extensión al diámetro 500 mm.
			Valor de índice de Estabilidad Visual
Capacidad al paso del concreto	Propiedad en estado fresco que evalúa la capacidad del concreto para fluir a través de obstrucciones.	Físico	Altura de bloqueo.
			Diámetro de extensión.
			Coefficiente de bloqueo.
Porosidad	Propiedad en estado endurecido que evalúa la cantidad de vacíos en el concreto.	Físico	Volumen de poros permeables.
			Volumen de probetas.
			Peso seco, saturado y sumergido de probetas.
Resistencia a la compresión	Propiedad del concreto que evalúa la capacidad para soportar una carga continua en una determinada área.	Mecánico	Carga máxima de rotura.
			Tiempo de curado de las probetas de concreto

3.2. Diseño de investigación

La investigación será experimental, del tipo cuasi-experimental, siendo la variable independiente la que modificará a la variable dependiente, teniendo dos grupos, un grupo que recibe el tratamiento experimental en sus diferentes niveles (grupo de estudio) y el otro no (grupo de control).

Tabla N° 14. Diseño de investigación

Fuente: Manual de Estadística, UPN

Muestra	Diseño con preprueba - posprueba y grupos intactos		
G ₁	O ₁	X	O ₂
G ₂	O ₃	-	O ₄

En esta investigación se aplicó el diseño experimental del tipo bifactorial, con dos variables independientes, en donde se muestran las variables en la tabla N° 11 y la matriz de diseño se muestra en la tabla N° 12.

Tabla N° 15. Niveles de las variables.

VARIABLES INDEPENDIENTES DE ESTUDIO					
Factores de estudio	Niveles de estudio				
Factor "A" : Dosis de polvo de mármol (%)	0.00 A1	0.50 A2	1.00 A3	1.50 A4	2.00 A5
Factor "B" : Dosis de superplastificante (%)	0.30 B1	0.35 B2	0.40 B3	0.45 B4	-
VARIABLE DEPENDIENTE DE ESTUDIO					
Capacidad de relleno (seg)					
Capacidad al paso (mm)					
Porosidad (%)					
Resistencia a la compresión (kg/cm ²)					

Tabla N° 16. Matriz de diseño.

FACTOR "A"		FACTOR "A": Dosis de polvo de mármol (%).				
		A1	A2	A3	A4	A5
FACTOR "B": Dosis de superplastificante (%)	B1	A1 x B1	A2 x B1	A3 x B1	A4 x B1	A5 x B1
	B2	A1 x B2	A2 x B2	A3 x B2	A4 x B2	A5 x B2
	B3	A1 x B3	A2 x B3	A3 x B3	A4 x B3	A5 x B3
	B4	A1 x B4	A2 x B4	A3 x B4	A4 x B4	A5 x B4

3.3. Unidad de estudio

Concreto.

3.4. Población

Concreto autocompactante.

3.5. Muestra

El concreto elaborado está constituido por materiales como el agregado fino de módulo de finura comprendido entre 2.30 y 3.10, agregado grueso de tamaño máximo nominal (TMN) de 1/2", cemento portland tipo I (Pacasmayo), agua potable, polvo de mármol (malla N° 325) y superplastificante basado en policarboxilatos (tipo G), en esta investigación se empleó el Neoplast 8700HP.

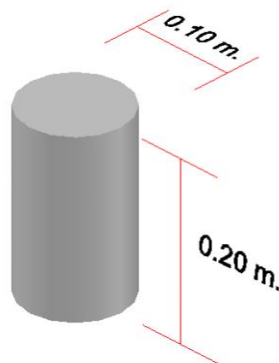


Figura N° 7. Dimensiones de probeta cilíndrica para ensayos en estado endurecido.

La muestra se realizó por conveniencia, basándome en investigaciones previas, la cual se determinó a partir de un muestreo no probabilístico, con el fin de tener una muestra representativa y confiable.

La cantidad de concreto que se ha empleado en los ensayos en estado fresco durante la ejecución del proyecto de investigación se determina con la siguiente formula:

$$\text{Cantidad total de concreto} = (\text{Factor "A"}) \times (\text{Factor "B"}) \times (\text{Cantidad de concreto}) \times (\text{Variable dependiente}) \times (\text{Número de réplicas})$$

- Cantidad de concreto en estado fresco para capacidad de relleno:
Cantidad total de concreto = $(5) \times (4) \times (14) \times (1) \times (3) = 840 \text{ Kg.}$
- Cantidad de concreto en estado fresco para capacidad al paso:
Cantidad total de concreto = $(5) \times (4) \times (14) \times (1) \times (3) = 840 \text{ Kg.}$
- A la cantidad total de mezcla de lo ensayos en estado fresco del concreto autocompactante se suma la cantidad de 14 Kg. del ensayo de revenimiento de la mezcla sin adición de ninguna de las variables independientes (mezcla patrón):
Cantidad total de concreto = $840 + 840 + 14 = 1\ 694 \text{ Kg.}$

La cantidad de réplicas por conveniencia serán 3 debido a que la norma ASTM C39 acepta como mínimo 3 muestras para probetas cilíndricas de dimensiones 0.10 x 0.20 m, la cantidad total de muestras en estado endurecido se determinó con la siguiente formula:

$$\text{N}^\circ \text{ total de muestras} = (\text{Factor "A"}) \times (\text{Factor "B"}) \times (\text{Tiempo de curado}) \times (\text{Variable dependiente}) \times (\text{Número de réplicas})$$

- Cantidad de muestras en estado endurecido para resistencia a la compresión:
Nº total de muestras = $(5) \times (4) \times (2) \times (1) \times (3) = 120 \text{ probetas.}$
- Cantidad de ensayos en estado endurecido para porosidad:
Nº total de muestras = $(5) \times (4) \times (1) \times (1) \times (3) = 60 \text{ probetas.}$
- A la cantidad total de muestras de los ensayos en estado endurecido del concreto autocompactante se suma la cantidad de 9 probetas sin adición (probetas patrón), en las cuales se reparten 6 probetas para el ensayo de resistencia a la compresión y 3 probetas para el ensayo de porosidad.

$$\text{Cantidad total de muestras} = 120 + 60 + 9 = 189 \text{ probetas}$$

3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.6.1. Técnica e instrumentos de recolección de datos.

La técnica utilizada en esta investigación es la observación, puesto que permitirá registrar el comportamiento y características del concreto autocompactante adicionado con

diferentes dosis de polvo de mármol y superplastificante, y así obtener información sistemática de sus propiedades en estado fresco y endurecido.

3.6.2. Procedimiento de recolección de datos.

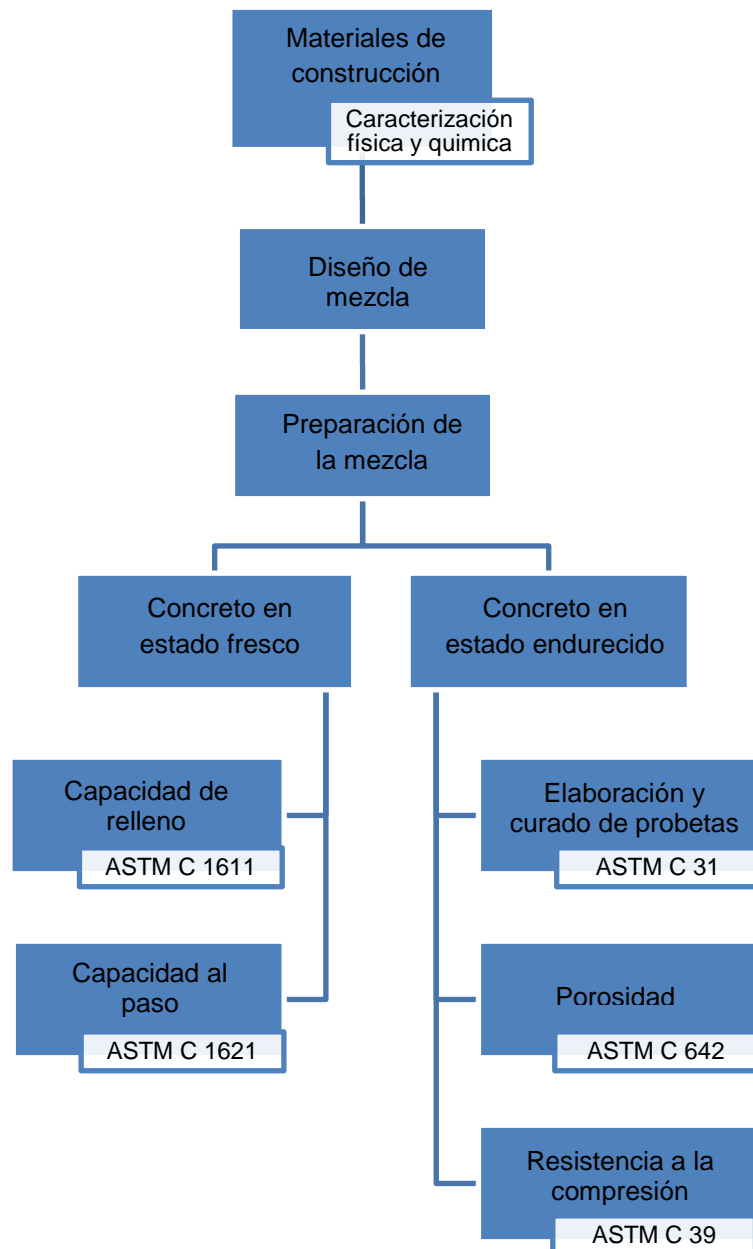


Figura N° 8. Diagrama del Proceso de Investigación.

A. Material de construcción.

Para la ejecución de la presente investigación: los agregados se han obtenido en la ferretería "Inversiones Santa María" ubicado en Av. América Oeste - Trujillo, el cemento portland empleado fue el tipo I de la empresa Pacasmayo, el agua para el amasado y curado obtenida del laboratorio de concreto de la Universidad Nacional de Trujillo, el aditivo Neoplast 8700 HP proporcionado por la empresa Química Suiza y por último los residuos de mármol obtenido de las empresas marmoleras J. Pino, Atenas y Virgen del Carmen que se dedican a la fabricación de lápidas de mármol ubicado en la Av. Miraflores – Trujillo.

A.1. Caracterización de agregados.

A.1.1. Granulometría del agregado fino y grueso, NTP 400.012 (ASTM C136)

- Tomar una muestra de agregado fino de 500 gramos, y para el agregado grueso de acuerdo al tamaño se consideró una muestra de 1 500 gramos, luego se pesa cada tamiz, para el agregado fino los tamices a utilizar son: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200 y fondo, para el agregado grueso los tamices son 1 1/2", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8 y fondo, y colocar los tamices en orden decreciente según la abertura.
- Después se vierte la muestra en el tamiz de la malla superior, y se tapa; posteriormente se procede a tamizar manualmente por 5 minutos el agregado fino y por 3 minutos el agregado grueso.
- Al finalizar pesar cada tamiz con la muestra retenida en una balanza analítica de 0.1 gramos con capacidad de 2 000 gramos para obtener el porcentaje del peso retenido en cada tamiz y el porcentaje que pasa.

$$\% \text{ Peso retenido} = \frac{\text{Peso muestra en cada tamiz}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

$$\% \text{ Que pasa} = 100 - \% \text{ Peso retenido acumulado}$$

- Para el agregado fino se calcula el módulo de finura (MF) y para el agregado grueso se calcula el coeficiente de uniformidad (Cu) y curvatura (Cv) con las siguientes formulas:

$$MF = \frac{(\sum \% \text{ retenido acumulado en las mallas } 3/8", N^{\circ} 4, 8, 16, 30, 50, 100)}{100}$$

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$Cv = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Tabla N° 17. Análisis granulométrico del agregado fino.

Módulo de finura				% Grava			
% Finos				% Arena			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	9.50						
N°4	4.75						
N°8	2.36						
N°16	1.18						
N°30	0.60						
N°50	0.30						
N°100	0.15						
N°200	0.08						
Fondo	0.00						
Total (g) =							

Tabla N° 18. Análisis granulométrico del agregado grueso.

T.M.N.				% Grava			
Coeficiente de uniformidad				% Arena			
Coeficiente de curvatura				% Finos			
Tamiz	Abertura (mm)	Peso de tamiz (g)	Peso de tamiz + peso retenido (g)	Peso retenido (g)	% Peso retenido	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	37.50						
3/4"	19.00						
1/2"	12.50						
3/8"	9.50						
N°4	4.75						
N°8	2.36						
Fondo	0.00						
Total (g) =							

- Los resultados se categorizaron de acuerdo a lo que indica la norma, clasificando al agregado fino de acuerdo a su módulo de finura en: arena

gruesa (2.3 – 3.1), arena media (1.5 – 2.3) y arena fina (menores a 1.5). El agregado grueso se clasifico de acuerdo al huso granulométrico.

Tabla N° 19. Huso granulométrico de los agregados.

Fuente: NTP 400.037

Agregado grueso				Agregado fino			
Tamiz	Abertura (mm)	Huso inferior (%)	Huso superior (%)	Tamiz	Abertura (mm)	Huso inferior (%)	Huso superior (%)
1 1/2 "	37.500	100	100	3/8"	9.500	100	100
3/4 "	19.000	90	100	N°4	4.750	95	100
3/8 "	9.500	20	55	N° 8	2.360	80	100
N°4	4.750	0	10	N° 16	1.180	50	85
N°8	2.360	0	5	N° 30	0.600	25	60
				N° 50	0.300	5	30
				N° 100	0.150	0	10
				N° 200	0.075	0	0

A.1.2. Humedad de agregado fino y grueso, NTP 339.185 (ASTM C566)

- Pesar una tara (recipiente metálico), luego colocar la muestra de agregado en su estado natural en una balanza analítica de 0.1 gramos con capacidad de 1 000 gramos. (A)
- Luego colocar en la estufa a una temperatura de 100°C ± 5°C por 24 horas hasta peso constante y se procede a pesar (B).
- El contenido de humedad se determina mediante la siguiente fórmula:

$$W\% = \left[\frac{A - B}{B} \right] \times 100$$

Donde:

A = Peso natural del material.

B = Peso seco del material.

Tabla N° 20. Humedad de agregados.

Código	Peso tara (g)	Peso tara + muestra natural (g)	Peso tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g)	Peso de la muestra seca (g)	Humedad (%)
				A	B	
					Promedio	

A.1.3. Peso unitario de agregado fino y grueso, NTP 400.017 (ASTM C29)

Peso unitario suelto seco

- El volumen interno del recipiente se determina vertiendo agua en el molde hasta llenarlo, luego se toma el peso para calcular el volumen (V) del molde. Se calcula con la siguiente formula.

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

- Luego pesar el molde en una balanza de 1 gramo de sensibilidad (T), y después se vierte la muestra de agregado en el molde a una altura no mayor a 2" sobre el borde superior del molde, hasta llenarlo, y se procede a enrazar la superficie y tomar la lectura correspondiente de su peso (G).
- Por último, el peso unitario suelto se determina con la siguiente formula:

$$\text{PUSS} = \left[\frac{G - T}{V} \right]$$

Donde:

G: Peso unitario del agregado suelto + peso del recipiente. (Kg)

T: Peso del recipiente. (Kg)

V: Volumen del recipiente. (m³)

PUSS: Peso unitario suelto seco. (Kg/m³)

Peso unitario compactado seco

- El volumen interno del recipiente se determina vertiendo agua en el molde hasta llenarlo, luego se toma el peso para calcular el volumen (V) del molde. Se calcula con la siguiente formula.

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

- Luego se pesa el molde en una balanza de 1 gramo de sensibilidad (T), y después se vierte el agregado en 3 capas iguales de material en el recipiente, cada capa se compacta uniformemente en todo el recipiente con una varilla especial 25 veces y con un martillo de goma de 500 gramos se golpea el molde 12 veces de forma circular y se enraza la superficie.
- Por último, se toma el peso del molde con la muestra (G) y mediante la siguiente fórmula se determina el peso unitario compactado.

$$\text{PUCS} = \left[\frac{G - T}{V} \right]$$

Donde:

G: Peso unitario del agregado suelto + peso del recipiente. (Kg)

T: Peso del recipiente. (Kg)

V: Volumen del recipiente. (m³)

PUCS: Peso unitario compactado seco. (Kg/m³)

Tabla N° 21. Peso unitario suelto y compactado seco de los agregados.

Código	Peso del recipiente (Kg)	Peso de la muestra suelta + molde (Kg)	Peso de la muestra compactada + molde (Kg)	Peso de la muestra suelta (Kg)	Peso de la muestra compactada (Kg)	Volumen del recipiente (m ³)	Peso unitario suelto (Kg/m ³)	Peso unitario compactado (Kg/m ³)
	T	Gs	Gc	Gs - T	Gc - T	V	PUSS	PUCS
						Promedio		

A.1.4. Peso específico y absorción del agregado fino y grueso.

Agregado fino, NTP 400.022 (ASTM C128)

- Seleccionar una muestra de 1 000 g. y dejar en un recipiente con agua por 24 horas, después de ello secar la muestra con una secadora o cocina eléctrica hasta quedar superficialmente seca.
- Luego rellenar el cono con diámetro inferior de 90 mm y diámetro superior de 40 mm en tres capas iguales compactando 25 veces cada capa con el pisón de un peso de 340 gramos y con un diámetro de 25 mm. Para verificar que la muestra es la adecuada a una condición saturada superficialmente seca este debe derrumbarse 1/3 del todo.
- Posteriormente se toma el peso de la fiola (M), el peso de la fiola con la muestra SSS (N), el peso de la fiola con agua hasta 500 ml (B), luego se retira el agua de este recipiente, y se coloca la muestra en la fiola y nuevamente se procede a llenar con agua hasta 500 ml y eliminar todas las burbujas de aire, haciendo rodar la fiola durante un minuto, sobre una superficie plana.
- Luego se pesa la fiola con el agua y la muestra (C), se deja reposar la muestra dentro de la fiola con agua; y la muestra se pone en una tara (S) y se coloca en la estufa a 100°C aproximadamente por 24 horas.
- Por último, se toma el peso de la muestra (A), con las siguientes formulas se determina el peso específico y absorción.

$$\text{Peso específico seco} = \frac{A}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico S.S.S.} = \frac{S}{B + S - C}$$

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

$$\text{Absorción (\%)} = \left(\frac{S - A}{A}\right) \times 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca en la estufa (g)

B: Peso de la fiola + 500 ml de agua (g)

C: Peso total de la fiola aforado con muestra y llena de agua (g)

M: Peso fiola (g)

N: Peso fiola + muestra SSS. (g)

S = N - M: Peso de la muestra saturada con superficie seca (g)

Tabla N° 22. Peso específico y absorción del agregado fino.

Código	Peso seco (g)	Peso fiola (g)	Peso fiola + muestra sss (g)	Peso de fiola + 500 ml de agua (g)	Peso fiola + agua + muestra (g)	Peso saturado (g)	Peso específico seco (g/cm ³)	Peso específico S.S.S. (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
	A	M	N	B	C	S = N - M				
						Promedio				

Agregado grueso, NTP 400.021 (ASTM C127)

- Se determina la cantidad de la muestra de acuerdo al tamaño del agregado que establece la norma de 1500 gr para piedra de 1/2" y se deja en un balde con agua por 24 horas, luego de ello se tamiza por la malla N° 4 y el material retenido en esta malla se extiende y seca con un paño absorbente, y se pesa en condición SSS. (B)
- Después se coloca la muestra en la canastilla metálica y se pesa dentro del agua a temperatura ambiente. Procurar no topar con ningún elemento de la cesta para que sea el peso exacto. (C)
- Por último, se seca a peso constante a una temperatura de 100°C, luego se deja enfriar y se determina su peso seco a temperatura ambiente. (A)

$$\text{Peso específico seco} = \left(\frac{A}{B - C} \right)$$

$$\text{Peso específico S.S.S.} = \left(\frac{B}{B - C} \right)$$

$$\text{Peso específico aparente} = \left(\frac{A}{A - C} \right)$$

$$\text{Absorción (\%)} = \left(\frac{B - A}{A} \right) \times 100$$

Donde:

A: Peso de la muestra seca al horno. (g)

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seco. (g)

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

Tabla N° 23. Peso específico y absorción del agregado grueso.

Código	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso específico seco (g/cm ³)	Peso específico S.S.S. (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
	A	B	C				
			Promedio				

A.2. Caracterización de mármol.

El material seleccionado fue de residuos de la fabricación de lápidas de mármol obtenidas entre la Av. Túpac Amaru y Av. Miraflores. Para la selección del mármol, se obtuvieron distintas muestras en el cual se procedió a realizar ensayos como: peso específico y absorción, y luego se realizó fichas técnicas de las muestras.

A.2.1. Peso específico, porosidad y absorción del mármol, (ASTM C127).

- Seleccionar las distintas muestras de 5 x 10 cm y se sumerge dentro de agua por un espacio de 24 horas, luego retirar la muestra y secar con un paño la superficie de cada tipo de mármol, y pesar en condición SSS. (B)
- Después se procede a poner en la canastilla metálica y se pesa dentro del agua a temperatura ambiente. Procurar no topar con ningún elemento de la cesta para que sea el peso exacto. (C)
- Por último, se seca a peso constante a una temperatura de 100°C, luego se deja enfriar y se determina su peso seco a temperatura ambiente. (A)

$$\text{Volumen global } (V) = \frac{B - C}{\text{Densidad del agua } 23^{\circ}\text{C } (0.997 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3})}$$

$$\text{Volumen de poros abiertos} = \frac{B - A}{\text{Densidad del agua } 23^{\circ}\text{C } (0.997 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3})}$$

$$\text{Porosidad aparente } (\%) = \frac{B - A}{V} \times 100$$

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

$$\text{Peso específico aparente.} = \frac{A}{A - C}$$

$$\text{Densidad global.} = \frac{A}{V}$$

Dónde:

A: Peso muestra seca al horno. (g)

B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca. (g)

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

Tabla N° 24. Peso específico, porosidad y absorción del mármol.

Código	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Volumen global (cm ³)	Volumen de poros abiertos (cm ³)	Porosidad aparente (%)	Densidad global (g/cm ³)	Absorción (%)	Peso específico aparente (g/cm ³)
	A	B	C	V					
			Promedio						

A.2.2. Molienda, selección y tamizado.

- Antes de moler la muestra, se realiza la limpieza correspondiente de la maquina Los Ángeles con la colocación de arena la cual permite retirar los finos de su interior, y se procedió a girar el equipo por 2 minutos,
- Luego colocar el material seleccionado en tandas de 5 000 gr de mármol reciclado durante 60 minutos con 11 bolas de acero de diámetro de 4.75 cm a 4.77 cm, y después retirar el material de la máquina para poder tamizar el material en diferentes tamaños usando los tamices N° 50, N° 100, N° 200.
- El material que queda retenido entre la malla N° 50 y N° 200 se procede a moler por segunda vez; por último, se procede a tamizar el material por las mallas N° 100, N° 200 y N°325.

A.3. Caracterización del agua potable.

A.3.1. Ensayo de conductividad y pH.

- Ingresar los electrodos del conductimetro en una muestra de solución conocida (agua destilada) para calibrar el equipo, después limpiar los electrodos con agua destilada y secarlos cuidadosamente, y tomar los primeros datos de las muestras de agua empleada en la elaboración del concreto con el conductimetro, este proceso se repite por cada muestra.
- Para determinar el grado acidez o basicidad del agua de amasado del concreto se utiliza un medidor de pH.

Tabla N° 25. pH y conductividad de agua potable.

Código	Nivel de pH	Conductividad (uS/cm)
Promedio		

- Los resultados se categorizaron de acuerdo a lo que indica la Organización Mundial de la Salud, clasificando en nivel de pH en un rango de 6.5 – 8.5 y la conductividad en un rango menor a 1500 uS/cm.

A.4. Caracterización del superplastificante.

A.4.1. Viscosidad por el método del cono de Marsh (ASTM C939)

- Preparar la pasta con 1 Kg de cemento, luego con la relación agua/cemento se obtiene la cantidad de agua a emplear. Luego se vertió el superplastificante en el agua de amasado en sus distintos niveles, y se mezcló con el cemento durante 10 min hasta ir obteniendo menor viscosidad y mayor fluidez

$$\text{Agua} = \text{Cemento} \times \text{Relación } a/c$$

- Después se humedece y coloca el Cono de Marsh de diámetro superior de 155 mm, altura de 290 mm y abertura inferior de 8 mm sobre el soporte metálico, también se coloca un recipiente para recibir la pasta que pasa por el cono.
- Luego se tapa la abertura inferior del cono y se vierte la pasta, pero haciéndolo pasar por el tamiz que tiene el cono en la parte superior para no dejar pasar ningún grumo que exista en la pasta, y finalmente se destapa la abertura inferior del cono para calcular el tiempo que tarda la pasta en fluir del cono hasta caer en el recipiente en segundos, este procedimiento se repite 3 veces.

Tabla N° 26. Viscosidad del superplastificante sobre la pasta de cemento.

Superplastificante (%)	Tiempo (seg)			
	T1	T2	T3	Promedio
0.30				
0.35				
0.40				
0.45				

B. Diseño de mezcla.

B.1. Primero determinar el factor de seguridad de acuerdo a la resistencia a compresión que se diseñará.

Tabla N° 27. Factor de seguridad del concreto. (ACI, 2017)

$F'c$ (Kg/cm ²)	$F'cr$
< 210	$F'c + 70$
210 a 350	$F'c + 84$
> 350	$F'c + 98$

B.2. Luego determinar la R a/c.

Tabla N° 28. Relación Agua/Cemento. (ACI, 2017)

Resistencia a la compresión a 28 días (Kg/cm ²)	Relación agua/cemento (Por peso)
	Concreto sin aire incorporado
450	0.38
400	0.43
350	0.48
300	0.55
250	0.62
200	0.70
150	0.80

B.3. Después determinar la cantidad de agua a emplear por 1 m³, a través del Slump y el TMN del agregado.

Tabla N° 29. Cantidad de agua en L/m³. (ACI, 2017)

AGUA en L/m ³ para los diferentes TMN de agregado grueso y consistencia indicada								
Slump (pulg)	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
De 1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
De 3 a 4	225	216	205	193	181	159	145	124
De 6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20

B.4. Una vez obtenido la cantidad de agua y la relación a/c, determinar la cantidad de cemento.

$$Cemento = \frac{Agua}{Relación\ a/c}$$

B.5. Determinar la cantidad de agregado grueso a emplear en la mezcla, a través del peso unitario compactado seco multiplicado por el factor del agregado

Tabla N° 30. Factor de tamaño máximo nominal sobre módulo de finura. (ACI, 2017)

TMN	Volumen de agregado grueso en seco, por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
Pulg.				
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

$$Agregado\ grueso = PUCS_{AG} \times Factor$$

B.6. Luego determinar la cantidad de agregado fino en volumen, teniendo en cuenta el volumen del agregado grueso, cemento, agua y aire mediante la siguiente formula:

$$V_{A.F.} = 1 - (V_c + V_{A.G.} + V_{AGUA} + V_{AIRE})$$

B.7. Después corregir el peso de los agregados por humedad (W) empleando el peso de los agregados por 1 m³ mediante la siguiente formula:

$$M = Peso \times (1 + W)$$

B.8. Corregir el agua de amasado por humedad (W) y absorción (A) de los agregados mediante la siguiente formula:

$$Agua = Peso \times (A - W)$$

B.9. Calcular la cantidad de superplastificante Neoplast 8700HP en porcentajes de 0.30, 0.35, 0.40 y 0.45 % respecto al cemento, y el polvo de mármol en porcentajes de 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00 % respecto a la mezcla.

$$Superplastificante = Porcentaje \ de \ aditivo \times \ Peso \ del \ cemento$$

$$Polvo \ de \ Mármol = Porcentaje \ de \ mármol \times \ Peso \ de \ la \ mezcla$$

B.10. Finalmente calcular la relación agua/(cemento + adición) de acuerdo a la proporción de polvo de mármol que se adicione a la mezcla.

$$Relación \ agua / (cem + adición) = \frac{Agua}{Cemento + polvo \ de \ mármol}$$

Tabla N° 31. Diseño de mezcla.

Componentes		Mezcla Patrón (Kg/m ³)	Mezcla Adicionada (Kg/m ³)	Volumen (%)
Cemento				
Agua				
Agregado grueso				
Agregado fino				
Superplastificante (%)	0.30	-		-
	0.35	-		-
	0.40	-		-
	0.45	-		-
Polvo de mármol (%)	0.50	-		-
	1.00	-		-
	1.50	-		-
	2.00	-		-

C. Preparación de la mezcla.

- Para el mezclado, en el caso de la mezcla patrón se procede primero a mezclar los áridos hasta homogeneizar los áridos, luego se añade el cemento y se hace el mismo procedimiento que con los áridos.
- Y finalmente se agrega el agua de amasado, en el caso de la mezcla adicionada se hace el mismo procedimiento que la mezcla patrón a diferencia que el mármol se agrega junto con el cemento, y el aditivo se obtiene en porcentaje al cemento y se añade a una fracción del agua de amasado.

D. Concreto en estado fresco.

D.1. Capacidad de relleno por el método del cono de Abrams. (ASTM C1611)

- Dibujar en el centro de la placa de acero de 90 cm x 90 cm un círculo de diámetro 500 mm, luego humedecer la placa de acero y el interior del cono de dimensiones de 30 cm de altura, y de base inferior y superior de 20 y 10 cm respectivamente.
- Luego colocar la placa de acero sobre una superficie plana y colocar el cono de Abrams en el centro del círculo dibujado en la placa y manteniéndolo sujeto de manera invertida hacia abajo se llena el cono con ayuda de un badilejo sin necesidad de compactarlo, y se enraza.
- Retirar el cono verticalmente y permitiendo que el concreto fluya hacia el exterior, y de manera simultánea controlar el tiempo desde el inicio del movimiento vertical del cono hasta que la masa alcance alguno de los bordes de diámetro 500 mm.
- Por último, se mide 2 veces en diagonal el mayor diámetro de la extensión del flujo del concreto autocompactante y el diámetro de extensión promedio viene a ser el escurrimiento, en caso de formarse una capa de mortero alrededor de la mezcla medir la longitud de esta capa en cuatro puntos diferentes y la longitud promedio viene a ser el valor VSI.

Tabla N° 32. Capacidad de relleno - Extensión de flujo.

Superplastificante (%)	0.30	0.35	0.40	0.45
Polvo de mármol (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
Valor VSI				
T500 (seg)				
Diámetro de extensión 1 (mm)				
Diámetro de extensión 2 (mm)				
Extensión promedio (mm)				

- Los resultados se categorizaron de acuerdo a lo que indica la norma, clasificando al concreto autocompactante de acuerdo a sus parámetros: T_{500} en un rango de 2 – 5 segundos, diámetro de extensión en un rango de 650 – 800 mm.

D.2. Capacidad al paso por el método de Anillo J (ASTM C1621).

- Primero marcar el centro de la placa de acero de 90 cm x 90 cm, luego humedecer la placa de acero y el interior del cono de Abrams de dimensiones de 30 cm de altura, y de base inferior y superior de 20 y 10 cm respectivamente,
- Colocar la placa de acero sobre una superficie plana y luego colocar el cono de Abrams en el centro de la placa, después colocar el anillo de 30 cm de diámetro, con barras de 10 cm de altura y 1 cm de diámetro, y un espaciado entre barras de 3.5 cm alrededor del cono de Abrams y manteniéndolo sujeto de manera invertida hacia abajo se llena el cono con ayuda de un badilejo sin necesidad de compactarlo, y enrazar para quitar el concreto sobrante
- Luego levantar el cono de Abrams verticalmente y dejar que el concreto fluya a través del anillo J, y medir 2 veces en diagonal el mayor diámetro de la extensión de flujo del concreto autocompactante y el diámetro de extensión promedio viene a ser el escurrimiento, y con la siguiente formula se encuentra la diferencia de flujo o relación al bloqueo.

$$Diferencia\ de\ flujo = E_A - E_J$$

Dónde:

E_A : Extensión a través del método Cono de Abrams (mm)

E_J : Extensión a través del método Anillo J (mm)

- Por último, se mide justo en el interior de las barras y el que se encuentra justo en el exterior de las mismas, medir en cuatro puntos diferentes de la mezcla, y con las siguientes formulas se encuentra la altura y coeficiente de bloqueo.

$$Altura\ de\ bloqueo = h_I - h_E$$

$$Coeficiente\ de\ bloqueo = \frac{h_E}{h_I}$$

Dónde:

h_I : Altura justo en el interior del anillo (mm)

h_E : Altura justo en el exterior del anillo (mm)

Tabla N° 33. Capacidad al paso del concreto.

Superplastificante (%)	0.30	0.35	0.40	0.45
Polvo de mármol (%)	0.00	0.00	0.00	0.00
Diámetro de extensión 1 (mm)				
Diámetro de extensión 2 (mm)				
Extensión promedio (mm)				
Diferencia de flujo (mm)				
Altura interior (mm)				
Altura exterior (mm)				
Altura de bloqueo (mm)				
Coefficiente de bloqueo (h_e/h_i)				

- Los resultados se categorizaron de acuerdo a lo que indica la norma, clasificando al concreto autocompactante de acuerdo a su parámetro: altura de bloqueo en un rango de 0 – 10 mm y coeficiente de bloqueo en un rango de 0.8 – 1.0.

E. Concreto en estado endurecido.

E.1. Elaboración y curado de probetas (ASTM C31)

- Aplicar en la parte interior y en las paredes de cada uno de los moldes plásticos una capa de aceite con una esponja, luego realizar el conformado de acuerdo a la ASTM C31 de probetas de 4"x8" para el ensayo de resistencia a la compresión, rigidez, porosidad, absorción y densidad.
- Las probetas patrón se chusean 25 veces con una varilla de 3/8" en dos capas y se dará 12 golpes alrededor del molde por cada capa, para el caso de probetas que al adicionar superplastificante y polvo de mármol no cumplan condiciones autocompactantes se hará el mismo procedimiento que las probetas patrón, mientras que el conformado de mezclas con condiciones autocompactantes se realizarán sin necesidad de chusear o golpear el molde.
- Luego de conformar las probetas patrón y con adición de mármol, se desmoldaron al día siguiente, y las probetas con adición de superplastificante Neoplast 8700HP se desmoldaron luego de 2 días de conformar la probeta, y finalmente se procede a

codificar las probetas, así como los niveles de aditivo y mármol, días de curado y ensayo a emplear.

- Una vez codificadas las probetas, estas se sumergen en agua y cal dentro de la posa de curado a una temperatura de 21 °C, en este caso el curado se va a realizar para un periodo de 28 y 56 días.

E.2. Porosidad del concreto endurecido (ASTM C642)

- Las probetas a ensayar han sido curadas previamente a 56 días, una vez terminado el tiempo de curado, se colocan al horno por un tiempo de 24 horas hasta que el peso sea constante y se pesa. (A)
- Luego sumergir las probetas en agua a una temperatura de 21 ± 2 °C durante un tiempo menor a 48 horas y pesar en intervalos de 24 horas hasta que el peso se mantenga constante. (B)
- Finalmente, las probetas se suspenden y sumergen en agua, y se obtiene el peso sumergido. (C)

$$\text{Volumen global (V)} = \frac{B - C}{\text{Densidad del agua } (0.997 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3})}$$

$$\text{Volumen de poros abiertos} = \frac{B - A}{\text{Densidad del agua } 23^{\circ}\text{C } (0.997 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3})}$$

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

Dónde:

- A: Peso muestra seca al horno. (g)
- B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca. (g)
- C: Peso en el agua de la muestra sumergida. (g)
- V: Volumen global (cm³)

Tabla N° 34. Porosidad del concreto endurecido.

Código	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Volumen global (cm ³)	Volumen de poros abiertos (cm ³)	Porosidad aparente (%)
	A	B	C	V		
			Promedio			

E.3. Resistencia a la compresión del concreto (ASTM C39)

- Secar las probetas con una franela, y después se procede a medir el área de contacto de las probetas donde se aplicará la carga, luego realizar el refrendado de ambas caras de las probetas con azufre para obtener las caras uniformes y niveladas.
- Finalmente se programa el equipo de compresión a probetas de dimensiones de 0.10 x 0.20 m, y se procede a ensayar previamente curadas a 28 y 56 días a una velocidad de carga de 2.40 kg/cm²/s, donde la resistencia a compresión se obtiene mediante la siguiente fórmula.

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

$$\text{Área (A)} = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Dónde:

σ_c : Resistencia a la compresión correspondiente a la carga ultima. (Kg/cm²)

A: Área de contacto de las probetas donde se aplica la carga (cm²)

P: Carga aplicada a las probetas de concreto (Kg)

Tabla N° 35. Resistencia a la compresión del concreto.

Código	Superplastificante (%)	Polvo de mármol (%)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
			D	A	P	σ_c

- Los resultados se categorizaron de acuerdo a lo que indica la norma, clasificando el rango máximo de variación hasta 7.8 entre probetas de una misma muestra de concreto elaborada.

3.7. Métodos y procedimientos de análisis de datos.

Los resultados obtenidos durante los ensayos al concreto en estado fresco y endurecido se analizaron para rechazar o corroborar la hipótesis planteada mediante un análisis de varianza y prueba de F de Fisher.

A. Datos Previos.

A.1. Grados de libertad

- Grados de libertad de la variable polvo de mármol (A)
 $G.L. = a - 1$
- Grados de libertad de la variable superplastificante (B):
 $G.L. = b - 1$
- Grados de libertad de las variables (A) x (B)
 $G.L. = (a - 1) \times (b - 1)$
- Grados de libertad del error.
 $G.L. = (a \times b) \times (r - 1)$

Donde:

a = número de niveles de la variable (A).

b = número de niveles de la variable (B).

r = número de réplicas.

A.2. Nivel de significancia

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

A.3. Criterio de rechazo

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

- F_0 se obtiene experimentalmente.
- $F_{\alpha, (n-1), (nx(r-1))}$ se obtiene mediante tablas estadísticas.

Donde:

n = número de niveles.

r = número de réplicas.

B. Análisis de Varianza y F de Fisher.

B.1. Suma de cuadrados

- Suma de cuadrados para el factor A.

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_i^2}{bxr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados para el factor B.

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_j^2}{axr} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados subtotales

$$SS_{SUBTOTAL} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n \frac{Y_{ijk}^2}{r} - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$SS_{AxB} = SS_{SUBTOTAL} - SS_A - SS_B$$

- Suma de cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_T^2}{axbxr}$$

- Suma de cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AxB}$$

B.2. Media de cuadrados

- Media de cuadrados para el factor A.

$$MS_A = \frac{SS_A}{a - 1}$$

- Media de cuadrados para el factor B.

$$MS_B = \frac{SS_B}{b - 1}$$

- Media de cuadrados de la interacción de los factores (A x B)

$$MS_{AxB} = \frac{SS_{AxB}}{(a - 1)(b - 1)}$$

- Media de cuadrados del error

$$MS_E = \frac{SS_E}{(axb)(r - 1)}$$

B.3. F_0 experimental

- F_0 (A).

$$F_0(A) = \frac{MS_A}{MS_E}$$

- F_0 (B).

$$F_0(B) = \frac{MS_B}{MS_E}$$

- F_0 (A x B)

$$F_0(AxB) = \frac{MS_{AxB}}{MS_E}$$

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de agregados.

4.1.1. Agregado grueso.

4.1.1.1. Propiedades físicas y químicas.

Tabla N° 36. Resultados de caracterización del agregado grueso.

Propiedades físicas	Resultado
Tamaño máximo (T.M.)	3/4 "
Tamaño máximo nominal (T.M.N.)	1/2 "
Coefficiente de uniformidad (Cu)	2.02
Coefficiente de curvatura (Cv)	0.97
% Gravas.	97.0
% Arena.	2.0
% Finos.	1.0
Humedad (%)	0.5
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1 610
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1 760
Peso específico seco (g/cm ³)	2.60
Peso específico s.s.s. (g/cm ³)	2.64
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.70
Absorción (%)	1.4

4.1.1.2. Análisis granulométrico.

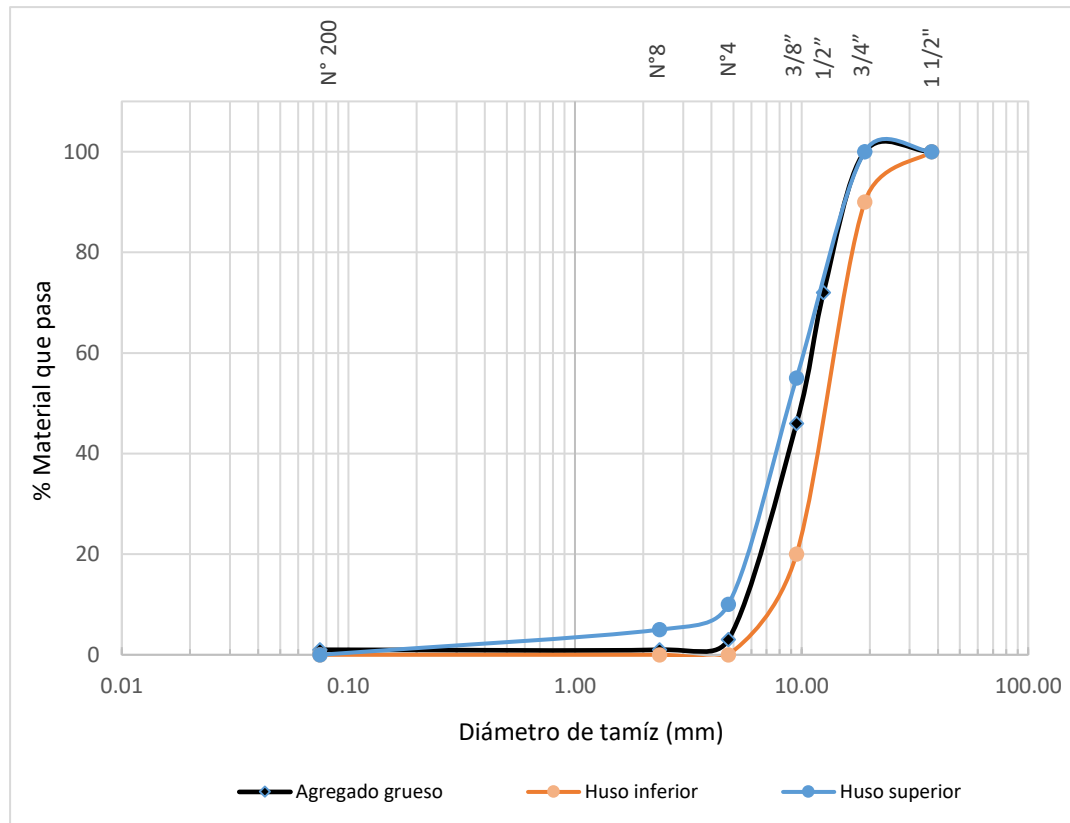


Figura N° 9. Curva granulométrica del agregado grueso.

4.1.2. Agregado fino.

4.1.2.1. Propiedades físicas y químicas.

Tabla N° 37. Resultados de caracterización del agregado fino.

Propiedades físicas	Resultado
Módulo de finura (MF)	2.96
% Gravas.	6.0
% Arena.	90.0
% Finos.	4.0
Humedad (%)	0.9
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1 710

Propiedades físicas	Resultado
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1 820
Peso específico seco (g/cm ³)	2.62
Peso específico s.s.s. (g/cm ³)	2.67
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.78
Absorción (%)	2.2

4.1.2.2. Análisis granulométrico.

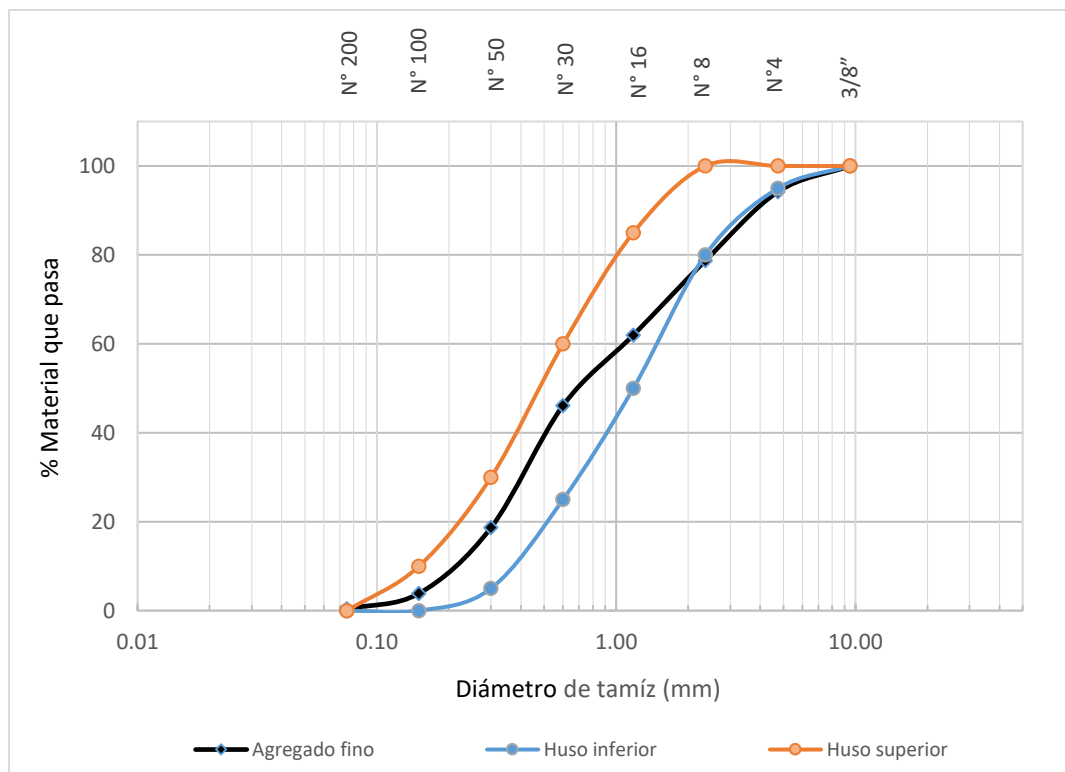


Figura N° 10. Curva granulométrica del agregado fino.

4.2. Caracterización del mármol.

4.2.1. Propiedades físicas y químicas.

Tabla N° 38. Resultados de caracterización del mármol.

Propiedades físicas	Resultado
Volumen de poros abiertos (cm ³)	0.08
Porosidad aparente (%)	0.4
Densidad global (g/cm ³)	2.6
Absorción (%)	0.2
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.65

4.3. Caracterización del agua.

Tabla N° 39. Resultados de caracterización del agua potable.

Propiedades químicas	Resultado	Rango
pH	8	6.5 – 8.5
Conductividad (uS/cm)	1468	< 1500

4.4. Caracterización del superplastificante.

Tabla N° 40. Viscosidad del superplastificante sobre la pasta de cemento.

Superplastificante (%)	0.30	0.35	0.40	0.45
Tiempo promedio (seg)	492	428	386	364

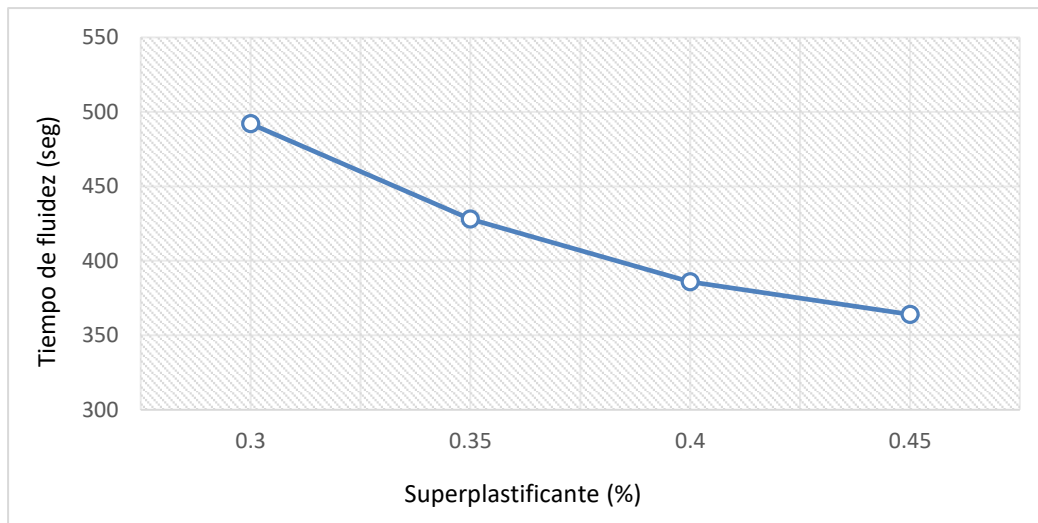


Figura N° 11. Viscosidad por adición de superplastificante sobre la pasta de cemento.

4.5. Diseño de mezcla.

Tabla N° 41. Diseño de mezcla de concreto autocompactante.

Componentes		Mezcla patrón seca (Kg/m ³)	Mezcla adicionada corregida (Kg/m ³)	Volumen (%)
Cemento tipo I		497.50	497.50	21
Agua		199.00	216.13	9
Agregado grueso		941.60	946.31	41
Agregado fino		665.48	671.47	29
Superplastificante (%)	0.30	-	1.49	-
	0.35	-	1.74	-
	0.40	-	1.99	-
	0.45	-	2.24	-
Polvo de mármol (%)	0.50	-	11.66	-
	1.00	-	23.31	-
	1.50	-	34.97	-
	2.00	-	46.63	-

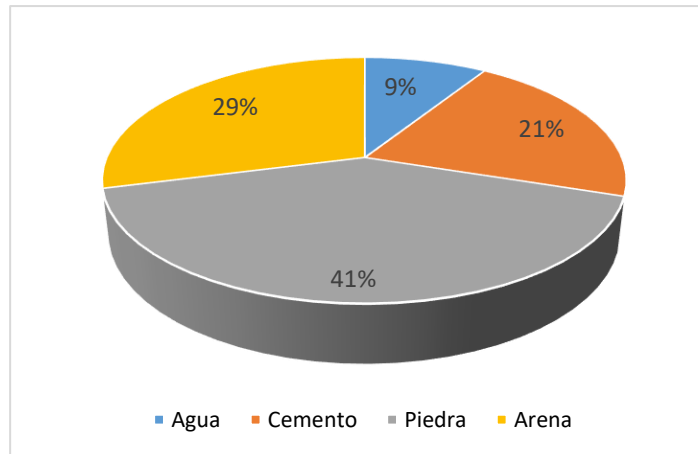


Figura N° 12. Volumen de materiales de un concreto f'c=350 Kg/cm²

Tabla N° 42. Relación agua/cemento + adición

Polvo de mármol (%)	Polvo de mármol (Kg)	Cemento (Kg)	Agua (Kg)	Relación agua/(cem.+adición)
0.00	0.00	497.50	216.13	0.43
0.50	11.66	497.50	216.13	0.42
1.00	23.31	497.50	216.13	0.42
1.50	34.97	497.50	216.13	0.41
2.00	46.63	497.50	216.13	0.40

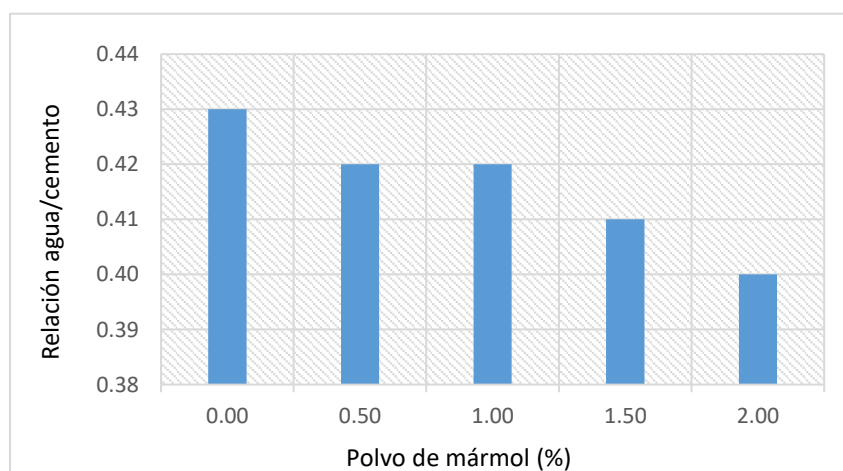


Figura N° 13. Relación agua/cemento por adición de polvo de mármol.

Tabla N° 43. Relación agua/finos

Polvo de mármol (%)	Polvo de mármol (Kg)	Cemento (Kg)	Finos de arena (Kg)	Finos de piedra (Kg)	Agua (Kg)	Relación agua/finos
0.00	0.00	497.50	26.86	9.46	216.13	0.40
0.50	11.66	497.50	26.86	9.46	216.13	0.40
1.00	23.31	497.50	26.86	9.46	216.13	0.39
1.50	34.97	497.50	26.86	9.46	216.13	0.38
2.00	46.63	497.50	26.86	9.46	216.13	0.37

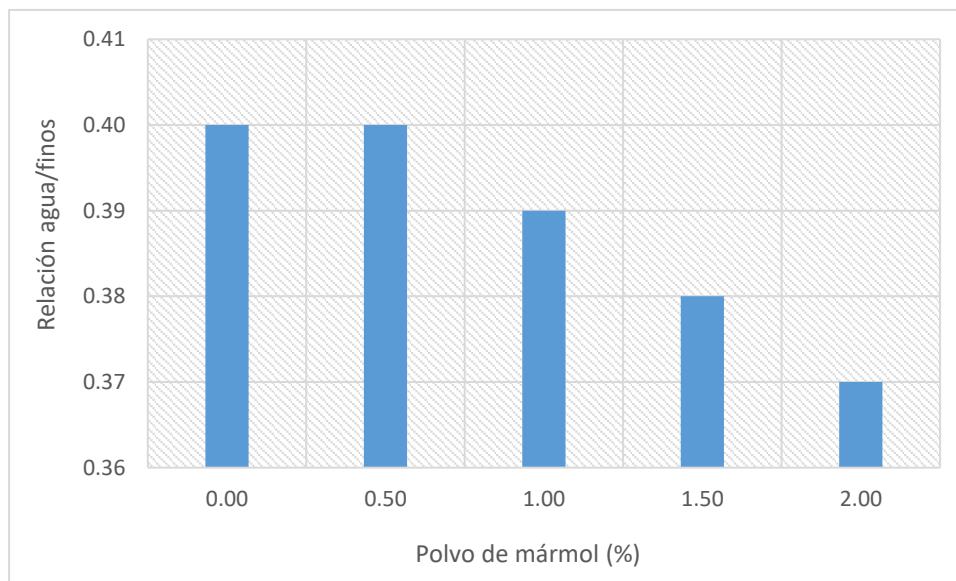


Figura N° 14. Relación agua/finos por adición de polvo de mármol.

4.6. Ensayos del concreto en estado fresco.

4.6.1. Capacidad de relleno por el método del cono de Abrams. (ASTM C1611)

Tabla N° 44. Capacidad de relleno del concreto por cono de Abrams según ASTM C1611.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Índice de estabilidad visual (VSI)	T500 (seg)	Diámetro de extensión (mm)
0.00	0.30	1	3.4	650
	0.35	1	3.1	700
	0.40	3	2.8	750
	0.45	3	2.4	780
0.50	0.30	0	3.5	610
	0.35	1	3.4	670
	0.40	3	3.1	710
	0.45	3	2.8	730
1.00	0.30	0	4.0	560
	0.35	0	3.7	650
	0.40	2	3.2	680
	0.45	3	2.9	690
1.50	0.30	0	4.8	530
	0.35	0	4.0	620
	0.40	1	3.6	660
	0.45	2	3.3	660
2.00	0.30	0	5.0	510
	0.35	0	4.6	580
	0.40	0	3.9	630
	0.45	1	3.7	650

4.6.2. Capacidad al paso por el método anillo J. (ASTM C1621)

Tabla N° 45. Capacidad al paso del concreto por anillo J según ASTM C1621.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Diámetro de extensión (mm)	Altura de bloqueo (mm)	Relación al bloqueo
0.00	0.30	630	5	0.8
	0.35	680	4	0.8
	0.40	700	20	0.4
	0.45	730	24	0.3
0.50	0.30	580	8	0.7
	0.35	640	5	0.8
	0.40	670	18	0.4
	0.45	690	21	0.4
1.00	0.30	530	10	0.7
	0.35	620	7	0.7
	0.40	650	13	0.5
	0.45	650	19	0.4
1.50	0.30	490	11	0.7
	0.35	580	8	0.7
	0.40	630	5	0.8
	0.45	630	12	0.6
2.00	0.30	460	13	0.6
	0.35	540	11	0.6
	0.40	600	5	0.8
	0.45	630	4	0.8

4.7. Ensayos del concreto en estado endurecido.

4.7.1. Porosidad del concreto. (ASTM C642)

Tabla N° 46. Porosidad del concreto según ASTM C642.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Porosidad (%)
0.00	0.00	13
0.00	0.30	11
	0.35	10
	0.40	11
	0.45	12
0.50	0.30	11
	0.35	9
	0.40	10
	0.45	11
1.00	0.30	10
	0.35	9
	0.40	10
	0.45	10
1.50	0.30	10
	0.35	9
	0.40	8
	0.45	10
2.00	0.30	10
	0.35	9
	0.40	8
	0.45	8

4.7.2. Resistencia a la compresión. (ASTM C39)

Tabla N° 47. Resistencia a la compresión del concreto a 28 y 56 días de curado según ASTM C39.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Resistencia a la compresión a 28 días (Kg/cm ²)	Resistencia a la compresión a 56 días (Kg/cm ²)
0.00	0.00	374	400
0.00	0.30	409	440
	0.35	418	451
	0.40	382	416
	0.45	371	408
0.50	0.30	411	459
	0.35	416	469
	0.40	384	431
	0.45	375	425
1.00	0.30	397	450
	0.35	408	474
	0.40	392	438
	0.45	382	429
1.50	0.30	391	434
	0.35	401	462
	0.40	416	487
	0.45	392	445
2.00	0.30	382	431
	0.35	395	448
	0.40	423	501
	0.45	438	519

4.8. Análisis de costos del concreto autocompactante adicionado.

Tabla N° 48. Costos de producción del concreto convencional y autocompactante.

Recurso	Unidad	Concreto convencional f'c=350 Kg/cm ² (S/. /m ³)	Concreto autocompactante f'c=350 Kg/cm ² (S/. /m ³)	
			Polvo de mármol	Microsílice
Mano de Obra				
Capataz	hh	2.47	2.47	2.47
Operario	hh	10.28	10.28	10.28
Oficial	hh	16.69	-	-
Peón	hh	75.44	45.27	45.27
Materiales				
Agregado grueso	m ³	24.91	24.91	24.91
Agregado fino	m ³	13.22	13.22	13.22
Cemento tipo I	bol	234.20	234.20	234.20
Agua	m ³	1.51	1.51	1.51
Superplastificante	Balde	-	23.40	23.40
Polvo de mármol	Kg	-	189.78	-
Microsílice	bol	-	-	195.64
Equipos y herramientas				
Mezcladora de concreto	hm	20	20.00	20.00
Vibrador 4 HP	hm	24	-	-
Herramientas manuales	%mo	3.15	1.74	1.74
Total (S/. / m³)		425.87	566.78	573.38

CAPÍTULO 5. DISCUSIÓN

5.1. Polvo de mármol, cemento portland y superplastificante.

El mármol ha sido seleccionado debido a que es un residuo inerte de origen calizo, lo que quiere decir que no produce ningún daño al ambiente ni al concreto, el cual siguiendo los estándares de gestión de la Ley de Residuos Sólidos se ha aprovechado este residuo industrial dándole un valor importante en el concreto. Cabe resaltar que el polvo de mármol ha sido empleado como un filler en el concreto autocompactante.

El polvo de mármol al adicionarse al concreto le está aportando un porcentaje de silicatos a la mezcla, que en el cemento estos componentes son los encargados de conferirle altas resistencias al concreto. El polvo de mármol aporta 1.02 % de dióxido de silicio (SiO_2) al cemento portland al iniciar el proceso de hidratación, lo cual va a permitir que el módulo de silicatos del cemento portland se incremente a un valor superior de 2.0 obteniendo un concreto de altas resistencias iniciales y menor expansión.

La ventaja que se presenta en el proceso de la hidratación del cemento adicionado con polvo de mármol es que se produce una reacción química de síntesis en la cual los componentes del mármol se fusionan con los del cemento portland por medio de una transferencia de electrones por parte de los componentes del polvo de mármol haciendo que el cemento mejore sus características principales obteniendo un cemento mejorado.

El uso del cemento portland tipo I se debe a que es un cemento sin adiciones, por lo tanto se puede analizar la reacción que puede tener con una adición en este caso el polvo de mármol, las ventajas que presenta el cemento tipo I respecto al cemento tipo ICo a pesar que los 2 son de uso general en la construcción es que el cemento tipo I presenta altas resistencias a edades tempranas a comparación del cemento ICo, además el cemento tipo ICo al tener menor peso específico que el cemento tipo I va a ocupar un mayor volumen en la mezcla reduciendo así el volumen del agregado fino, el cual incrementaría el costo del concreto. Según la empresa de cementos Pacasmayo, el cemento tipo I presenta una menor superficie específica que el cemento ICo, esto quiere decir que para hidratar al cemento tipo I se necesitará menos agua que el cemento tipo ICo, la superficie específica del cemento también tiene una relación con la cantidad de superplastificante que se añada a la mezcla, debido a que al presentar una superficie específica menor, la absorbancia o el proceso en el cual las partículas quedan atrapadas dentro de una superficie también será menor.

El uso de superplastificantes modificados que están basados en éteres policarboxílicos permite que el concreto tenga una mayor trabajabilidad durante tiempos superiores a una hora, lo que implica que este tipo de aditivo clasificado como un aditivo reductor de agua de alto rango y retardador (tipo G) tenga una mayor eficiencia al momento de transportar, colocar y vaciar el concreto en obra.

El aditivo superplastificante cumple la función principal de plastificante haciendo que la trabajabilidad y revenimiento del concreto aumenten sin necesidad de incrementar el contenido de agua de amasado, esta es una opción relacionada al costo/eficiencia puesto que el precio del concreto aumentará en un porcentaje respecto a un concreto convencional pero logrará que las propiedades como las resistencia mecánicas, durabilidad, permeabilidad del concreto se mantengan o mejoren; por otro lado se puede emplear una mayor cantidad de agua de amasado pero esto se reflejará en la disminución de las resistencias mecánicas u otras características del concreto.

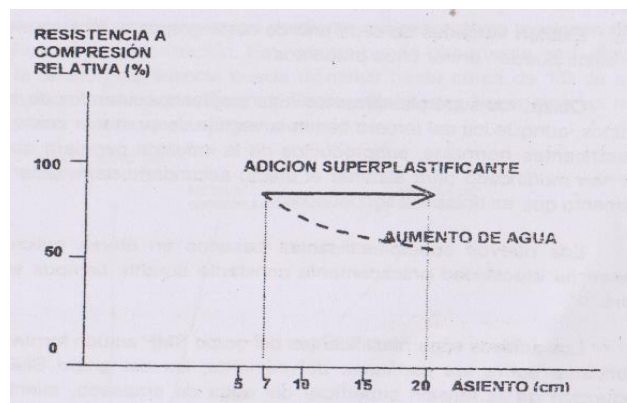


Figura N° 15. Acción plastificante del aditivo tipo G.

Fuente: Fernández Cánovas (2011)

La ventaja que brinda el aditivo superplastificante es que al emplear dosis pequeñas y usar una relación agua/cemento baja permite tener un concreto de alta resistencia, lo cual es difícil de obtener en mezclas secas sin el uso de superplastificantes, debido a que por su difícil manejo los componentes del concreto no se mezclarían de manera uniforme ocasionando que el concreto no se acomode perfectamente al momento del vaciado.

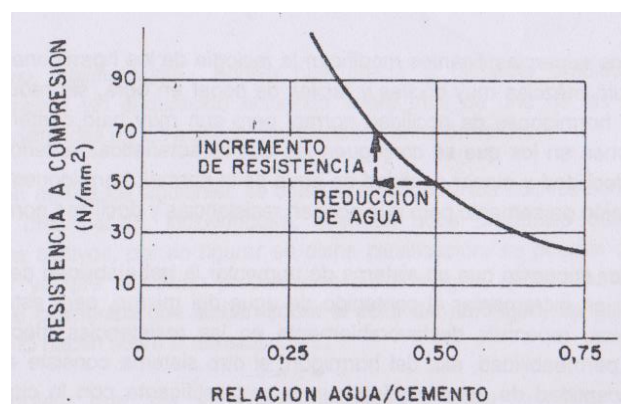
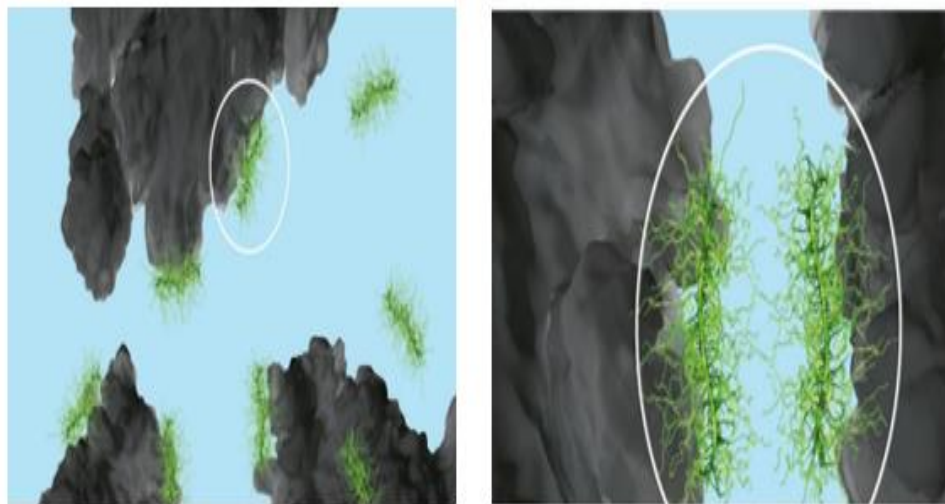


Figura N° 16. Acción reductora de agua del aditivo tipo G.

Fuente: Fernández Cánovas (2011)

El superplastificante al ser añadido junto con una fracción del agua de amasado a la mezcla de concreto produce 2 etapas como se puede apreciar en la *Figura N° 17. Reacción del superplastificante en el cemento*, en la primera etapa (a) se produce el fenómeno de adsorbancia; el cual hace que las partículas del cemento queden retenidas dentro de la superficie de los polímeros formando una capa líquida alrededor de cada partícula de cemento que exista en la mezcla, y la segunda etapa (b) se produce una dispersión de las partículas de cemento debido al impedimento estérico lo cual hace que las partículas del cemento tengan una reacción más lenta con el agua o incluso hace que esta reacción se detenga de su proceso normal, esta interacción no covalente entre los polímeros y el agua hace que el concreto tenga una mayor trabajabilidad durante cierto tiempo.



(a) Adsorción del polímero en el grano de cemento.

(b) Mejora de la trabajabilidad debido al impedimento estérico.

Figura N° 17. Reacción del superplastificante en el cemento.

Fuente: Sika (2017)

En la *Figura N° 18. Viscosidad del porcentaje de superplastificante sobre la pasta de cemento*, se analiza el efecto del superplastificante sobre la trabajabilidad de la pasta de cemento, en la cual se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en la pasta de cemento disminuye el tiempo de fluidez o el tiempo que demora en pasar dicha pasta a través del cono de Marsh. También se observa que el efecto del superplastificante surge a partir del 0.20 % en forma gradual hasta el 0.45 % de adición de superplastificante, que según la ficha técnica del Neoplast 8700 HP nos menciona que se puede usar en dosis de 0.20 % al 2.0 % por peso del cemento.

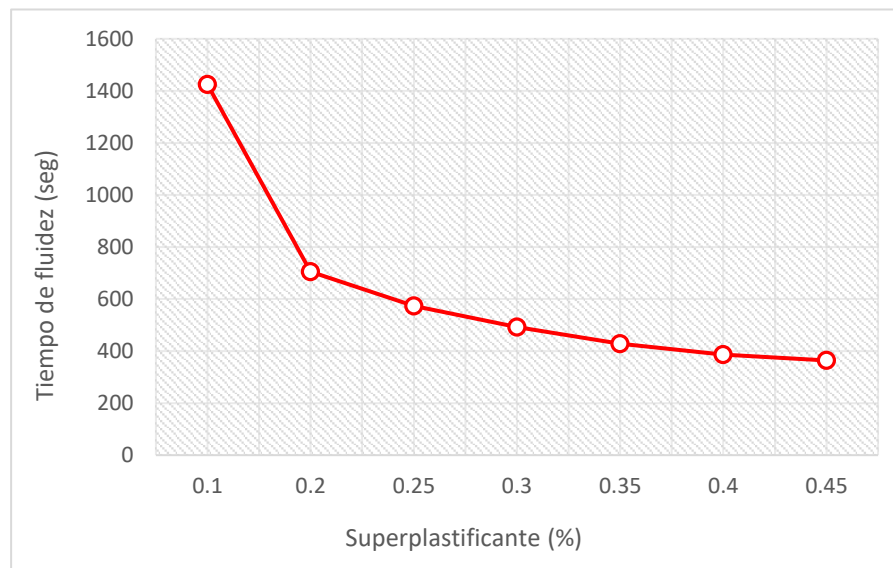


Figura N° 18. Viscosidad del porcentaje de superplastificante sobre la pasta de cemento.

El punto de saturación del superplastificante en la pasta de cemento se presenta entre los rangos de 0.40 % con un valor de 386 segundos y 0.45 % con un valor de 364 segundos, en donde la variación del tiempo de fluidez entre estos porcentajes de superplastificante es de 6.0 %, es por ello que hasta este punto se calculó la fluidez de la pasta de cemento, puesto que al aplicar una adición mayor al 0.45 % de superplastificante no habría un efecto significativo en la fluidez de la pasta de cemento debido al fenómeno de adsorbancia que tienen los polímeros con las partículas del cemento en el proceso de hidratación de la pasta, lo que ocasiona que se produzca una repulsión electrostática entre las partículas. El punto de saturación del superplastificante está relacionado con el costo del concreto autocompactante puesto que hasta este punto se puede optimizar la trabajabilidad del concreto sin la necesidad de generar costos adicionales por incremento de porcentaje del superplastificante en la pasta de cemento o el concreto.

Realizando un análisis comparativo con la investigación realizada por Quiroz A. y Gracia R. (2010), quienes encontraron el punto de saturación del superplastificante Viscocrete 1110 a una dosis de 1.20 %, el cual la pasta de cemento logro una mayor fluidez pero en temas económicos este porcentaje de superplastificante elevaría el costo del concreto por metro cúbico, Además es importante precisar que el factor del cual depende la fluidez de la pasta es la relación a/c; puesto que al presentar una relación a/c mayor repercutirá en que la pasta también presente una mayor fluidez; siendo así que Quiroz y Gracia obtuvieron una fluidez mayor debido a la relación agua/cemento de 0.45 mientras en la presente investigación se ha usado una relación agua/cemento 0.43.

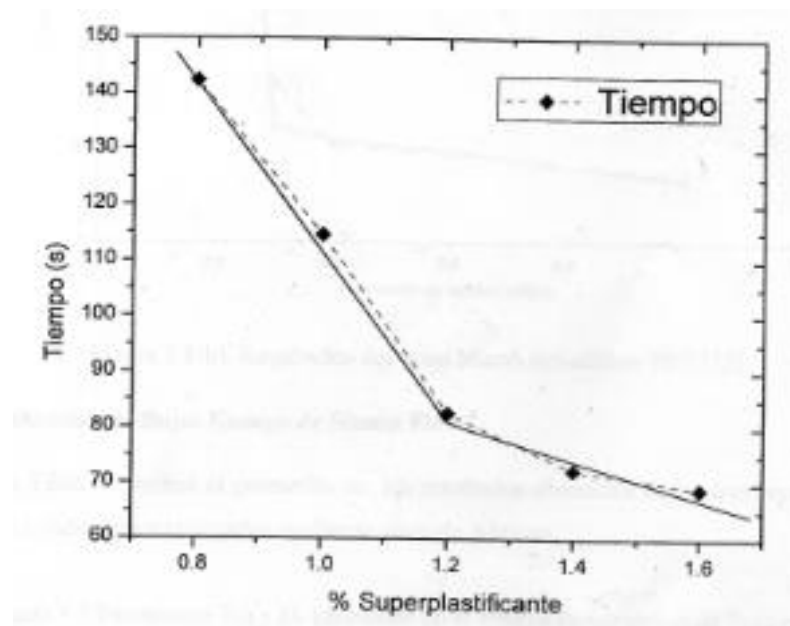


Figura N° 19. Fluidez de la pasta de concreto en función de la adición de superplastificante

Fuente: Quiroz Aredo y Gracia Reyna (2010)

5.2. Propiedades en estado fresco.

Para evaluar la propiedad de capacidad de relleno del concreto autocompactante, se analizaron distintos parámetros, uno de ellos el parámetro VSI como se puede observar en la Figura N° 20. Parámetro VSI por adición de superplastificante y polvo de mármol sobre el índice de estabilidad visual que presenta el concreto autocompactante, en donde se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto aumenta el índice de estabilidad visual; siendo el valor máximo de 3 en un porcentaje de 0.45 % de superplastificante y el valor mínimo de 1 en un porcentaje de 0.30 % de superplastificante. El concreto autocompactante con porcentajes de 0.30 % y 0.35 % son mezclas estables, esto quiere decir que no hay presencia de segregación, mientras que el concreto con porcentajes de 0.40 % y 0.45 % son mezclas inestables, esto quiere decir que hay presencia de segregación notable o extrema.

Al adicionar e incrementar gradualmente el porcentaje de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona que disminuya el índice de estabilidad visual, presentando el mejor valor VSI o la mezcla más estable en el porcentaje de 2.0 % de polvo de mármol y en porcentajes del 0.35 % hasta el 0.45 % de superplastificante un valor de 0. También se observa que las mezclas con porcentajes de superplastificantes de 0.30 % y 0.35 % al interactuar con el polvo de mármol se encuentran dentro del límite de estabilidad, que según CEMEX (2013) indica que el índice de estabilidad visual de un concreto autocompactante

está en valores inferiores a 1 o cuando la mezcla no forme un halo de mortero a su alrededor ni presente segregación.

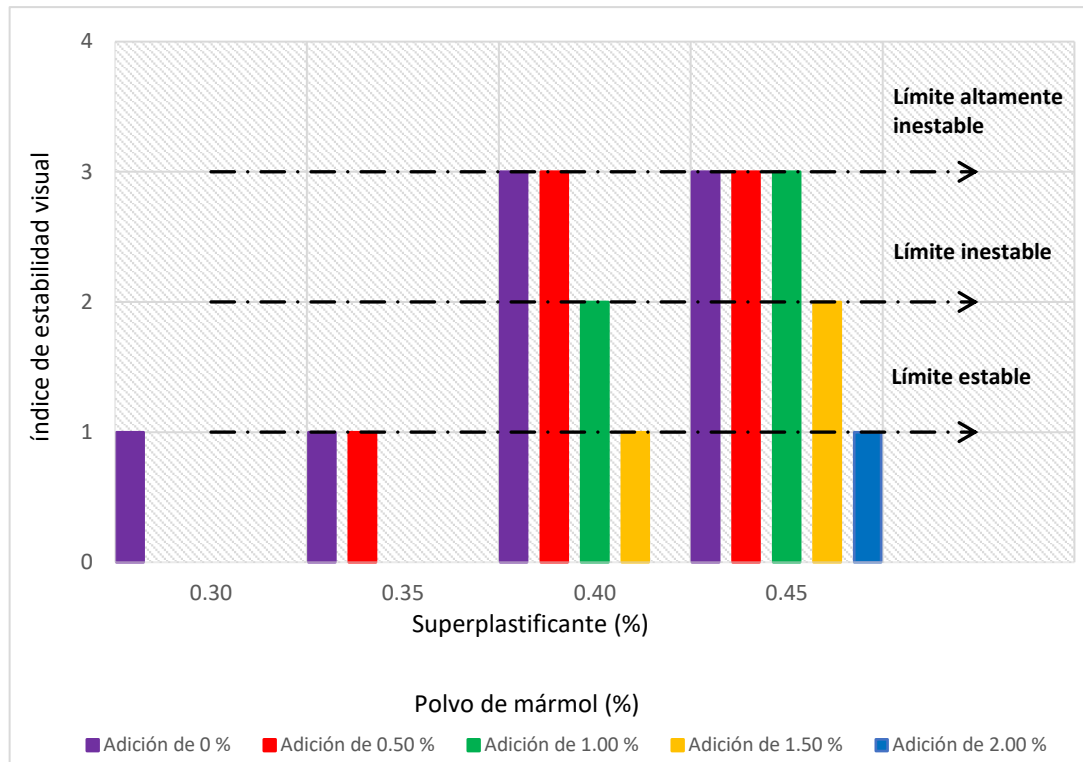


Figura N° 20. Parámetro VSI por adición de superplastificante y polvo de mármol.

La estabilidad del concreto en estado fresco depende de la cantidad de finos que exista en la mezcla, es por ello que al adicionar e ir incrementando el porcentaje de polvo de mármol en el concreto ocasiona que la mezcla disminuya su nivel de segregación e inclusive que no exista evidencia de sangrado es decir que no se observe un brillo en la parte superior de la mezcla que es producto del agua libre que asciende a través de los áridos. Al emplear una mezcla de consistencia seca y con una relación agua/cemento baja produce que las mezclas sean estables debido a que la trabajabilidad del concreto surge a partir del efecto del superplastificante y no por la existencia de agua de amasado en exceso. Un factor importante que interviene en la estabilidad del concreto en estado fresco es la gradación del agregado grueso, debido a que al tener una distribución en sus partículas de manera continua hace que el concreto tenga una mayor cohesividad y consistencia.

En la *Figura N° 21. Parámetro T_{500} por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se analiza el efecto del superplastificante y polvo de mármol sobre el tiempo en el cual la mezcla llega al diámetro de 500 mm, en donde se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto disminuye el tiempo de extensión o el tiempo que demora en llegar al diámetro 500 mm; siendo el valor máximo de 3.4 segundos en un porcentaje de 0.30 % de superplastificante y el valor mínimo de 2.4 segundos en un porcentaje de 0.40 % de superplastificante, pero al adicionar e incrementar gradualmente la el porcentaje de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona que aumente el tiempo de extensión; presentando el mayor tiempo de extensión en el porcentaje de 0.30 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol con un valor de 5.0 segundos. También se observa que las mezclas con los distintos porcentajes de superplastificante y las mezclas con la interacción del superplastificante y polvo de mármol están dentro de los límites superior e inferior que rigen al concreto autocompactante, que según el EFNARC indica que el tiempo de extensión de un concreto autocompactante está entre 2 a 5 segundos.

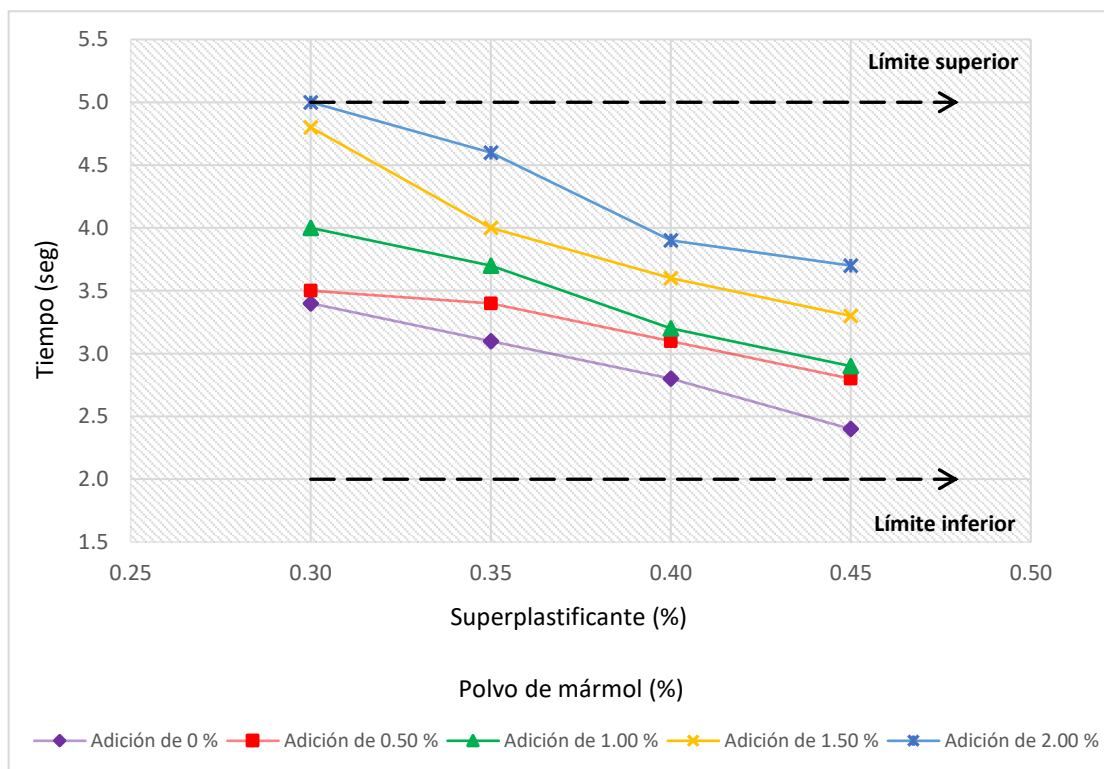


Figura N° 21. Parámetro T_{500} por adición de superplastificante y polvo de mármol.

El tiempo de fluidez obtenido de las diferentes mezclas se encuentran dentro de los límites establecidos debido a que todas las mezclas no presentan una viscosidad extrema; esto quiere decir que no presentan una viscosidad ni baja ni alta siendo el responsable de modificar la viscosidad de la mezcla la cantidad de superplastificante, y al emplear dosis pequeñas en

las mezclas ha conllevado a que el concreto no presente síntomas de resistencia para fluir libremente. Cabe resaltar que las mezclas solo con superplastificante tienen un tiempo de fluidez menor a las mezclas con superplastificante y polvo de mármol debido a que al adicionar al concreto autocompactante un material fino de tamaño de 45 micras hace que la viscosidad de la mezcla aumente; esto quiere que conforme se agrega un mayor porcentaje de polvo de mármol el tiempo de fluidez aumenta, otro factor que también influye en el tiempo de fluidez de la mezcla es el tamaño de partícula del agregado fino, puesto que el agregado fino al tener un módulo de finura de 2.96 indica que hay presencia de partículas de mayor diámetro, y al tener partículas de mayor diámetro hace que la mezcla presente una baja viscosidad respecto a mezclas que contengan agregado fino de módulo de finura bajos.

Siendo así que todas las mezclas adicionadas con superplastificante y polvo de mármol están clasificadas de acuerdo a su tiempo de fluidez como un concreto autocompactante tipo VS2, debido a que al tener una viscosidad relativamente moderada hace que tengan un tiempo de fluidez del parámetro T_{500} mayor a 2 segundos, lo que se convierte que el concreto tenga un menor tiempo de colocación y llenado de las estructuras en obra.

En la *Figura N° 22. Parámetro diámetro de extensión por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se analiza el efecto del superplastificante y polvo de mármol sobre el diámetro de extensión máximo que alcanza el concreto autocompactante, en donde se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto aumenta el diámetro de extensión; siendo el valor máximo de 780 mm en un porcentaje de 0.45 % de superplastificante y el valor mínimo de 650 mm en un porcentaje de 0.30 % de superplastificante, todas las mezclas con superplastificante están dentro de los parámetros del concreto autocompactante pero cabe resaltar que el concreto con porcentajes de 0.40 % y 0.45 % al ser mezclas que presentan segregación se desestiman su uso en obra. Mientras que al adicionar e incrementar gradualmente el porcentaje de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona que disminuya el diámetro de extensión, presentando el menor diámetro de extensión en el porcentaje de 0.30 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol con un valor de 510 mm. También se observa que todas las mezclas con porcentaje de superplastificante y algunas mezclas con la interacción del superplastificante y polvo de mármol están dentro de los límites superior e inferior, que según el EFNARC indica que el diámetro de extensión de un concreto autocompactante está entre 650 mm a 800 mm.

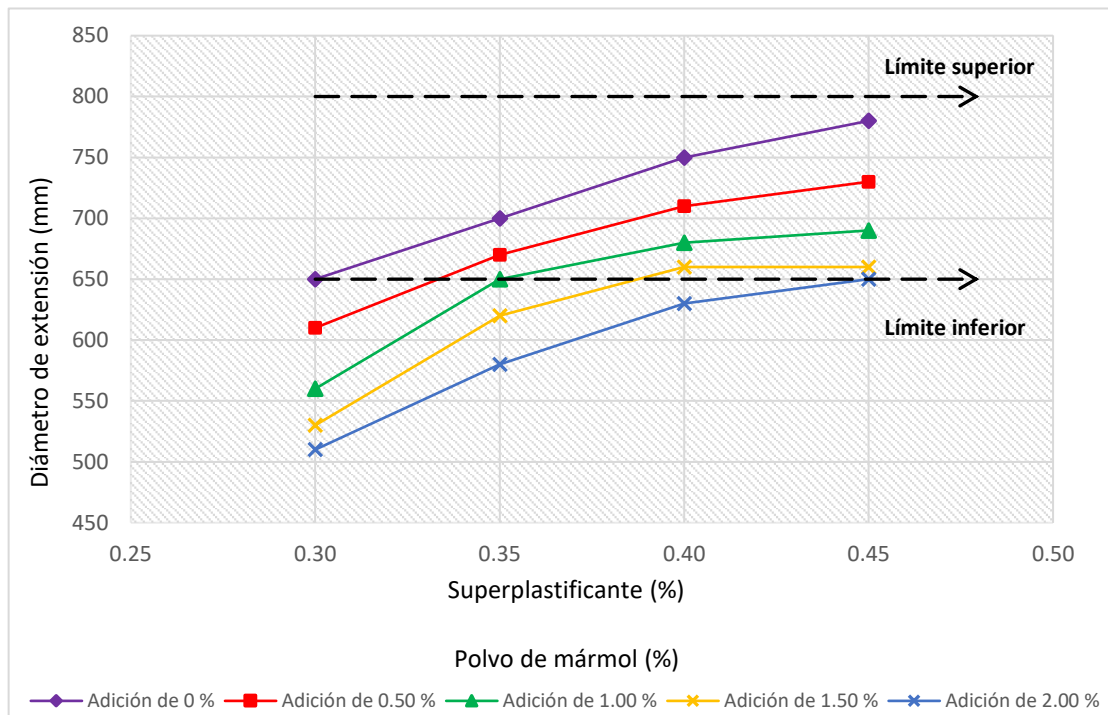


Figura N° 22. Parámetro diámetro de extensión por adición de superplastificante y polvo de mármol

En el diámetro de extensión máximo que alcanza el concreto autocompactante presenta dos etapas, el primero cuya tendencia es un incremento considerable en el diámetro de extensión en los porcentajes de 0.30 % a 0.40 % de superplastificante; debido a que al ir incrementando la dosis de superplastificante hasta este punto hace que el concreto tenga una mayor fluidez por el fenómeno de adsorbancia entre los polímeros y partículas de cemento, y la segunda etapa que se presenta entre los porcentajes de 0.40 % y 0.45 % en donde el diámetro de extensión del concreto tiene una marcada tendencia a estabilizarse por los incrementos en menor proporción de los diámetros de extensión, debido al punto de saturación que alcanza los polímeros sobre las partículas de cemento; es por ello que en estos rangos de plastificante la mezcla tiende a segregar separándose el agregado grueso con el mortero, formándose un halo de mortero alrededor de la mezcla segregada.

Al adicionar el polvo de mármol al concreto autocompactante se sigue presentando las dos etapas en el diámetro de extensión, pero el polvo de mármol al ser un filler de tamaño de 45 micras logra que el diámetro de extensión disminuya conforme se aumenta el porcentaje de mármol; esto se debe a que el polvo de mármol al actuar en la mezcla como un material cementante hace que los polímeros adsorban también las partículas del mármol lo que genera que se pierda la fluidez del concreto. Siendo así que el polvo de mármol mejora las mezclas con dosis de superplastificante elevado las cuales segregaban, puesto que al añadir este filler

hace que el concreto tenga una mayor cohesión y un mayor porcentaje de finos que son los que hacen que el concreto autocompactante tenga mejores propiedades reológicas.

Siendo así que las mezclas adicionadas con superplastificante que no presentan evidencias de segregación ni exudación están clasificadas de acuerdo a su diámetro de extensión como un concreto autocompactante tipo SF2; es decir con valores de extensión entre los rangos de 660 mm a 750 mm según Fernández, M. (2011) en su libro Hormigón, lo cual estas mezclas pueden ser empleadas en estructuras medianamente armadas como el caso de placas, muros de concreto, columnas, plateas de cimentación, entre otros, mientras que las mezclas adicionadas con superplastificante y polvo de mármol que no presentan evidencias de segregación ni exudación están clasificadas de acuerdo a su diámetro de extensión como un concreto autocompactante tipo SF1; entre valores de extensión de 550 mm a 650 mm; y tipo SF2, debido a que al adicionar un fino como el polvo de mármol hace que la viscosidad de la mezcla aumente respecto a una mezcla adicionada solo con superplastificante; lo que convierte a este tipo de concreto en uno altamente eficiente al momento de transportar y colocar en obra puesto que no necesita un proceso de vibración al momento de realizar el vaciado sino que por su propio peso se acomoda teniendo una gran capacidad de relleno.

Cabe resaltar que realizando los contrastes de resultados al nivel de significancia de 95 %, se encuentra que la adición de superplastificante, polvo de mármol y la interacción entre estos dos factores tienen un efecto significativo en el tiempo de fluidez del parámetro T_{500} del concreto autocompactante, mientras que la adición de superplastificante y polvo de mármol tienen un efecto significativo en el diámetro de extensión y la adición de superplastificante tiene un efecto significativo en el índice de estabilidad visual, debido a que el cociente del ratio F obtenido experimentalmente es el mayor de los tres orígenes de las variaciones analizadas, siendo así que el F experimental es mayor al obtenido de las tablas de distribución de Fisher. El valor F obtenido experimentalmente al ser elevado significa que hay una mayor diferencia en el tiempo de fluidez, diámetro de extensión e índice estabilidad visual por cada adición de superplastificante y polvo de mármol añadido al concreto autocompactante, cumpliéndose también que exista una variación mínima en las réplicas por cada adición de superplastificante y polvo de mármol.

Para evaluar la propiedad de capacidad al paso del concreto autocompactante, se analizaron distintos parámetros, uno de ellos el parámetro diámetro de extensión como se puede observar en la *Figura N° 23. Parámetro diámetro de extensión por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se analiza el efecto del superplastificante y polvo de mármol sobre el diámetro de extensión máximo bajo obstrucciones o barras de acero que alcanza el concreto autocompactante, en donde se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto aumenta el diámetro de extensión; siendo

el valor máximo de 740 mm en un porcentaje de 0.45 % de superplastificante y el valor mínimo de 620 mm en un porcentaje de 0.30 % de superplastificante. El diámetro de extensión de las mezclas por el método del anillo J se ha extendido menos en comparación por el método del cono de Abrams haciendo que algunas mezclas no estén dentro del rango del concreto autocompactante.

Al adicionar e incrementar gradualmente el porcentaje de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona que disminuya el diámetro de extensión, presentando el menor diámetro de extensión en el porcentaje de 0.30 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol con un valor de 460 mm. También se observa que todas las mezclas con dosis de superplastificante a excepción de la adición de 0.30 % y algunas mezclas con la interacción del superplastificante y polvo de mármol están dentro de los límites superior e inferior, que según el EFNARC indica que el diámetro de extensión libremente o con obstrucciones de un concreto autocompactante está entre 650 mm a 800 mm.

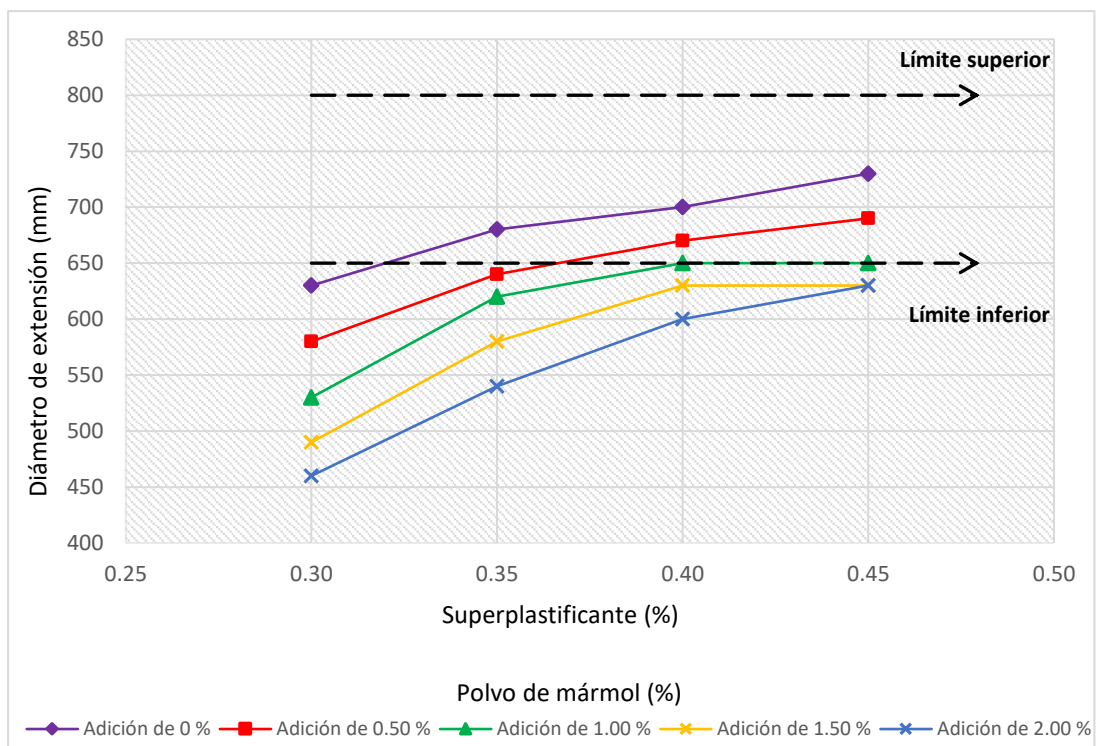


Figura N° 23. Parámetro diámetro de extensión por adición de superplastificante y polvo de mármol

En el diámetro de extensión máximo bajo obstrucciones o barras de acero que alcanza el concreto autocompactante presenta el mismo comportamiento que el diámetro de extensión por medio del cono de Abrams, presentando de manera más notoria las dos etapas, el primero cuya tendencia es un incremento considerable en el diámetro de extensión en los porcentajes de 0.30 % a 0.35 % de superplastificante; que ha comparación del diámetro de extensión por

medio del cono de Abrams esta etapa se presenta con un porcentaje menor de superplastificante, debido a que al ir incrementando el porcentaje de superplastificante hasta el 0.35 % hace que el concreto tenga una mayor fluidez por el fenómeno de adsorbancia pero al no tener un volumen de pasta elevado e incrementar el porcentaje de superplastificante superior al 0.35 % hace que la fuerza de tensión de corte que se ejerce sobre la mezcla no aumente, más bien logra que la mezcla se segregue quedando atrapado el material grueso entre las barras, y la segunda etapa que se presenta entre los porcentajes de 0.35 % y 0.45 % en donde el diámetro de extensión del concreto tiene una marcada tendencia a estabilizarse por los incrementos en menor proporción de los diámetros de extensión, que como se mencionó anteriormente esto se debe que al no haber un aumento significativo de la fuerza de tensión de corte que se ejerce sobre la mezcla para que inicie el flujo libremente ocasiona que la mezcla se segregue una vez pasado el punto de saturación del superplastificante; es por ello que en estos rangos de dosis la mezcla tiende a segregarse quedando atrapado el agregado grueso entre las barras de acero mientras el mortero forma un halo alrededor del agregado grueso que se ha separado de la mezcla.

Al adicionar el polvo de mármol al concreto autocompactante se sigue presentando las dos etapas en el diámetro de extensión, y como se mencionó en el parámetro del diámetro de extensión por medio del cono de Abrams que el polvo de mármol al ser un filler calizo de tamaño de 45 micras logra que el diámetro de extensión disminuya conforme se aumenta el porcentaje de mármol; esto se debe a que el fenómeno de adsorbancia que se presenta en los polímeros con el cemento también se presenta en el polvo de mármol debido a que el polvo de mármol actúa en la mezcla como un material cementante lo que genera que se pierda la fluidez del concreto. Siendo así que las mezclas que presentaban una viscosidad relativamente baja y evidencias de segregación al ser añadidas con polvo de mármol logra que el concreto en estado fresco tenga una mayor cohesión y una mejor distribución de finos en la pasta que son los que determinan la autocompactabilidad del concreto.

Además un factor vinculado a la capacidad al paso del concreto autocompactante a través de barras de acero es el diámetro de las partículas de los agregados, siendo el tamaño máximo nominal del agregado grueso de 1/2 " y el módulo de finura del agregado fino de 2.96; notando que al haber una concentración de tamaños grandes en los áridos hace que la mezcla presente problemas al fluir libremente, debido a que el agregado fino al tener un módulo de finura alto indica que hay poca presencia de finos y el agregado grueso al ser de un tamaño relativamente grande para emplear en concretos autocompactantes hace que el concreto sea susceptible a que presente problemas de separación de este árido con la mezcla de mortero.

En la *Figura N° 24. Parámetro altura de bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se analiza el efecto del superplastificante y polvo de mármol sobre la diferencia de altura que alcanza el concreto autocompactante a través del anillo J, en donde se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto aumenta la altura de bloqueo; siendo el valor máximo de 24 mm en un porcentaje de 0.45 % de superplastificante y 4 mm en un porcentaje de 0.35 % de superplastificante, pero al adicionar e incrementar gradualmente el porcentaje de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona dos efectos, el primero se presenta en porcentajes de 0.30 % y 0.35 % de superplastificante donde al adicionar polvo de mármol ocasiona que aumente la altura de bloqueo y el segundo se presenta en porcentajes de 0.40 % y 0.45 % de superplastificante donde al adicionar polvo de mármol ocasiona que disminuya la altura de bloqueo, presentando la menor altura de bloqueo en el porcentaje de 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol con un valor de 4 mm. También se observa que al surgir estos dos efectos en el concreto autocompactante al adicionar polvo de mármol, logra que las mezclas que presentaban una altura de bloqueo elevada estén dentro de los límites permitidos, que según indica el EFNARC la altura de bloqueo de un concreto autocompactante está entre los valores de 0 mm a 10 mm.

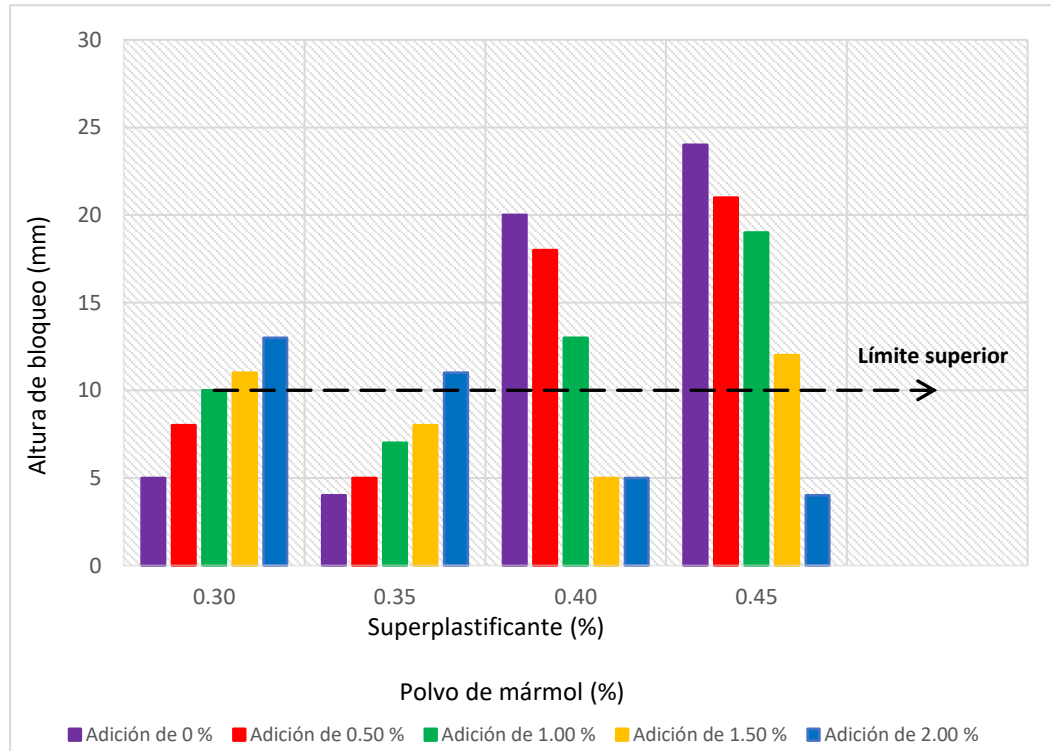


Figura N° 24. Parámetro altura de bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol

El concreto autocompactante al ser adicionado con polvo de mármol presenta dos efectos en la altura de bloqueo, el primer efecto que genera es el aumento de la diferencia de alturas de la mezcla que conlleva a tener un aumento significativo en la altura de bloqueo; este efecto se genera en adiciones pequeñas de superplastificante el cual al añadir a la mezcla no presenta evidencias de segregación ni exudación, debido a que al ir añadiendo polvo de mármol ocasiona que la viscosidad de estas mezclas aumenten por lo que los polímeros tendrán que reaccionar con una mayor cantidad de material cementante, y el segundo efecto que genera es la disminución de la altura de bloqueo; este efecto se genera en adiciones altas de superplastificante en el cual las mezclas presentan una segregación notoria, debido a que al adicionar el polvo de mármol a la mezcla hay un aumento del volumen de la pasta lo que conlleva a que la mezcla tenga una consistencia fluida sin segregar.

En la *Figura N° 25. Parámetro coeficiente de bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se analiza el efecto del superplastificante y polvo de mármol sobre la relación entre la altura exterior e interior que alcanza el concreto autocompactante a través del anillo J, en donde se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto disminuye el coeficiente de bloqueo; siendo el valor máximo de 0.8 en porcentajes de 0.30 % a 0.35 % de superplastificante y el valor mínimo de 0.3 en porcentaje de 0.45 % de superplastificante, pero al adicionar e incrementar gradualmente el porcentaje de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona dos efectos, el primero se presenta en porcentajes de 0.30 % y 0.35 % de superplastificante donde al adicionar polvo de mármol ocasiona que disminuya el coeficiente de bloqueo y el segundo se presenta en porcentajes de 0.40 % y 0.45 % de superplastificante donde al adicionar polvo de mármol ocasiona que aumente el coeficiente de bloqueo, presentando el mayor coeficiente de bloqueo en los porcentajes de 0.45 % y 2.00 %, 0.35 % y 0.50 %, 0.40 % y 1.50 %, 0.40 % y 2.00 % de superplastificante y polvo de mármol respectivamente con un valor de 0.8. También se observa que al surgir estos dos efectos en el concreto autocompactante al adicionar polvo de mármol, logra que las mezclas que presentaban un coeficiente de bloqueo bajo estén dentro de los límites establecidos en la presente investigación de 0.8, puesto que no hay una norma que indique el límite mínimo de este coeficiente, salvo la investigación elaborada por Gettu (2013) que también indica que el límite mínimo debe ser 0.8.

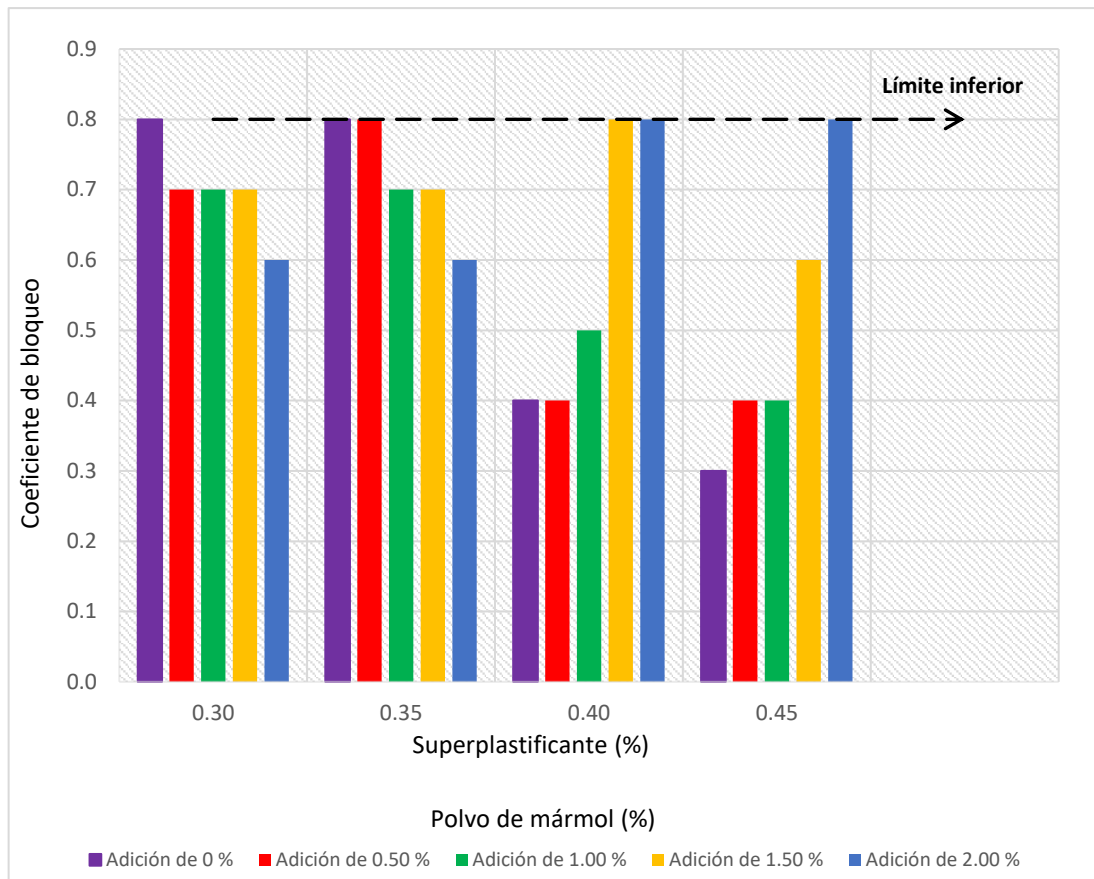


Figura N° 25. Parámetro coeficiente de bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol

El concreto al ser adicionado con superplastificante presenta una disminución significativa en la relación entre la altura interior y exterior que llega a tener la mezcla a través del anillo J lo que conlleva a que el coeficiente de bloqueo disminuya conforme se va aumentando la dosis, esto se debe al poco volumen de finos que presenta la pasta, mientras que al adicionar polvo de mármol ocasiona que el concreto en estado fresco presente dos efectos en el coeficiente de bloqueo, el primer efecto que presenta es la disminución de la relación al bloqueo de la mezcla; este efecto se genera en adiciones pequeñas de superplastificante el cual al añadir a la mezcla no presenta evidencias de segregación ni exudación, debido a que al ir añadiendo polvo de mármol ocasiona que la mezcla sea menos dócil presentando una ligera dificultad para fluir a través de las barras de acero, y el segundo efecto que genera es un aumento de la relación al bloqueo; este efecto se genera en adiciones altas de superplastificante en el cual las mezclas presentan una segregación notoria, debido a que al adicionar el polvo de mármol a la mezcla ocasiona que mejore la autocompactabilidad que se ve reflejado en la fluidez y cohesión de la mezcla.

Realizando un análisis comparativo con la investigación realizada por Gettu (UPC, 2003), quien encontró el límite mínimo del coeficiente de bloqueo a un nivel de 0.8, pero al realizar un análisis comparativo entre el parámetro del coeficiente de bloqueo y la altura de bloqueo, se observa que existe una relación directa entre estos dos parámetros que sirven para evaluar la capacidad al paso del concreto autocompactante, debido a que las mezclas que poseen un coeficiente de bloqueo superior al valor de 0.7 también presentan una altura de bloqueo menor a 10 mm que según el EFNARC el rango de altura de bloqueo debe ser inferior a los 10 mm, siendo así que se toma como límite mínimo para evaluar el parámetro de coeficiente de bloqueo el valor de 0.7 indicando que hasta este nivel el concreto autocompactante tiene una eficiente capacidad al paso.

En la *Figura N° 26. Parámetro relación al bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se analiza el efecto del superplastificante y polvo de mármol sobre la diferencia de flujo o diámetro de extensión que alcanza el concreto autocompactante a través del cono de Abrams y anillo J, en donde se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto aumenta la relación al bloqueo; siendo el valor máximo de 50 mm en porcentajes de 0.40 % y 0.45 % de superplastificantes y valor mínimo de 20 mm en porcentajes de 0.30 % y 0.35 %, pero al adicionar e incrementar gradualmente la dosis de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona dos efectos, el primero se presenta en porcentajes de 0.30 % y 0.35 % de superplastificante donde al adicionar polvo de mármol ocasiona que aumente la relación al bloqueo y el segundo se presenta en porcentajes de 0.40 % y 0.45 % de superplastificante donde al adicionar polvo de mármol ocasiona que la relación al bloqueo disminuya o se mantenga, presentando la menor relación al bloqueo en el porcentaje de 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol con un valor de 20 mm. También se observa que al surgir estos dos efectos en el concreto autocompactante al adicionar polvo de mármol, ocasiona que las mezclas que presentaban una relación al bloqueo de no visible a mínima pasen a tener una relación al bloqueo de mínimo a notable, que según indica CEMEX la relación al bloqueo o diferencia de flujo ideal de un concreto autocompactante está entre los valores de 0 mm a 25 mm que significa que la mezcla tiene una relación al bloqueo de no visible a mínimo.

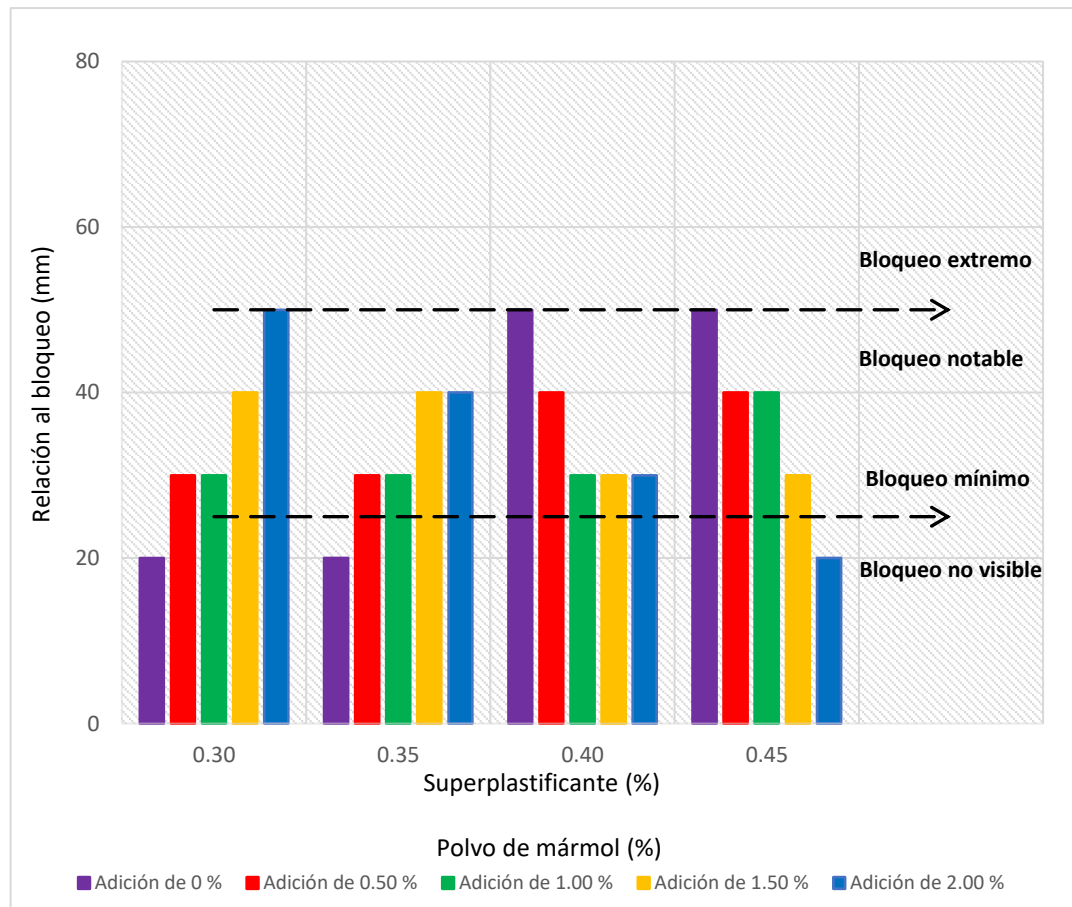


Figura N° 26. Parámetro relación al bloqueo por adición de superplastificante y polvo de mármol

La diferencia de flujo existente entre el diámetro de extensión por cono de Abrams y anillo J, es el resultado de la relación al bloqueo que presenta la mezcla, el cual al adicionar polvo de mármol al concreto autocompactante se aprecian dos efectos totalmente opuestos, el primer efecto que genera es el aumento de la diferencia de flujos de la mezcla que conlleva a tener un aumento significativo en la relación al bloqueo; este efecto se genera en adiciones pequeñas de superplastificante el cual al añadir a la mezcla no presenta evidencias de segregación ni exudación, debido a que al ir añadiendo polvo de mármol ocasiona que la viscosidad de estas mezclas aumenten por lo que la consistencia de la mezcla irá disminuyendo lo que genera que no tenga la misma facilidad de fluir a través de las barras de acero que al fluir libremente, y el segundo efecto que genera es la disminución de la diferencia de flujo lo que conlleva a tener también una disminución en la relación al bloqueo; este efecto se genera en adiciones altas de superplastificante en el cual las mezclas presentan una segregación notoria, debido a que al adicionar el polvo de mármol a la mezcla hay un aumento del volumen de la pasta lo que conlleva a que la mezcla mejore la autocompactabilidad

teniendo una consistencia fluida lo que le permite que pueda fluir con facilidad a través de las barras de acero.

Cabe resaltar que realizando los contrastes de resultados al nivel de significancia de 95 %, se encuentra que la adición de superplastificante y polvo de mármol tienen un efecto significativo en el diámetro de extensión bajo obstrucciones o barras de acero, mientras que la adición de superplastificante, polvo de mármol y la interacción entre estos dos factores tienen un efecto significativo en la altura y el coeficiente de bloqueo del concreto autocompactante, debido a que el cociente del ratio F obtenido experimentalmente es el mayor de los tres orígenes de las variaciones analizadas, siendo así que el F experimental es mayor al obtenido de las tablas de distribución de Fisher. El valor F obtenido experimentalmente al ser elevado significa que hay una mayor diferencia en el tiempo de fluidez, diámetro de extensión e índice estabilidad visual por cada adición de superplastificante y polvo de mármol añadido al concreto autocompactante, cumpliéndose también que exista una variación mínima en las réplicas por cada adición de superplastificante y polvo de mármol, además al contrastar este parámetro por el método de anillo J se concluye que se cumple lo mismo por el método del cono de Abrams resultando que el efecto no depende del método sino de los componentes de la mezcla.

5.3. Propiedades en estado endurecido.

Para evaluar la durabilidad del concreto autocompactante, se analizaron distintos parámetros, uno de ellos el parámetro de porosidad como se puede observar en la *Figura N° 27. Porosidad del concreto por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se analiza el efecto del superplastificante y polvo de mármol sobre la porosidad del concreto en estado endurecido, en donde se observa que conforme se incrementa gradualmente el porcentaje de superplastificante hasta cierto punto en la mezcla disminuye la porosidad del concreto; este efecto sucede en mezclas estables o que no segregan siendo el valor mínimo de 10 % en un porcentaje de 0.35 % de superplastificante, pero en mezclas inestables la porosidad del concreto aumenta conforme se incrementa el porcentaje de superplastificante siendo el valor máximo de 12 % en un porcentaje de 0.45 %, pero al adicionar e incrementar gradualmente el polvo de mármol a la mezcla ocasiona dos efectos en el concreto en estado endurecido, el primero se presenta en porcentajes de 0.30 % a 0.35 % de superplastificante donde al adicionar polvo de mármol ocasiona que la porosidad disminuya hasta un nivel de adición de 1.00 %, luego tiende a mantenerse o disminuir en menor grado y el segundo efecto se presenta en porcentajes de 0.40 % a 0.45 % de superplastificante donde al adicionar polvo de mármol ocasiona que disminuya significativamente la porosidad del concreto, presentando un mejor resultado en el porcentaje de 0.40 % y 1.50 %, 0.40 % y 2.00 %, 0.45 % y 2.00 % de superplastificante y polvo de mármol respectivamente con un valor de 8 %. También se

observa que a pesar de surgir estos dos efectos en el concreto autocompactante en estado endurecido se logra mejorar la porosidad respecto a un concreto convencional el cual tiene un valor de 13 %.

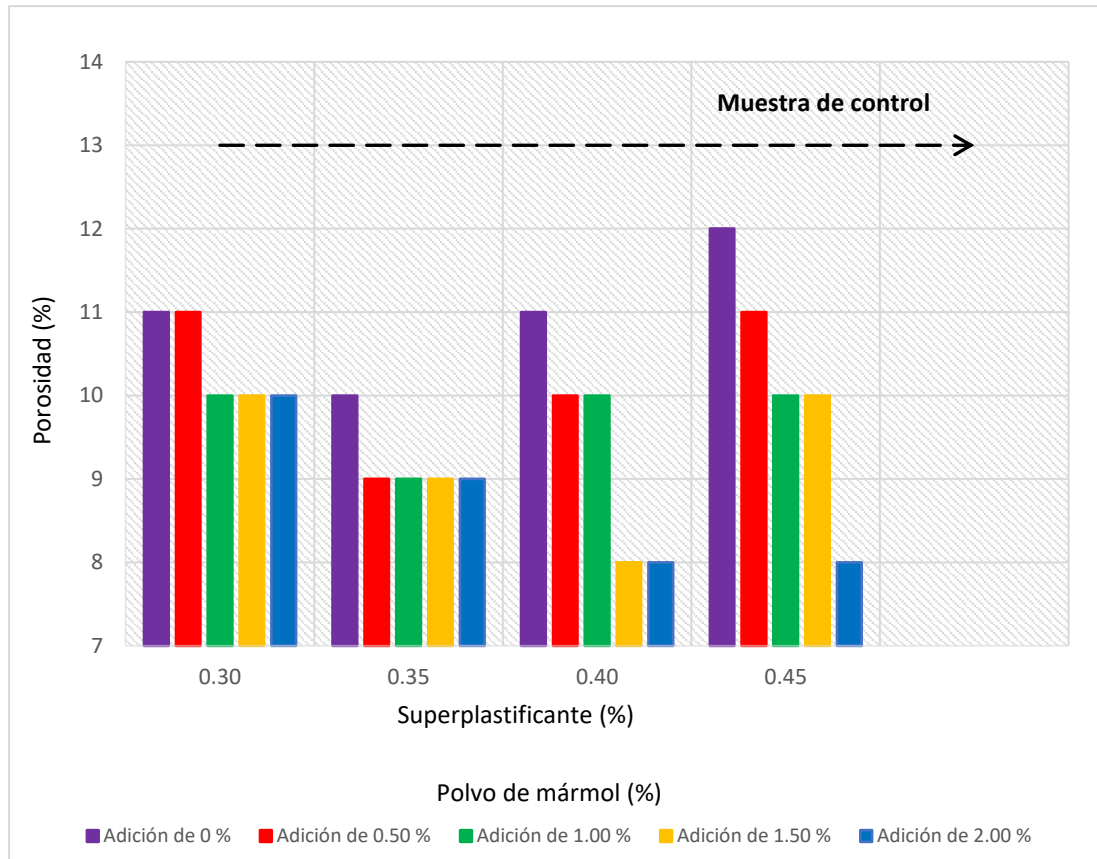


Figura N° 27. Porosidad del concreto por adición de superplastificante y polvo de mármol

El concreto al ser adicionado con superplastificante presenta una disminución significativa en el volumen de poros permeables lo que conlleva a que la porosidad del concreto disminuya conforme se va aumentando el porcentaje de superplastificante hasta un nivel de 0.35 %, esto se debe a que la mezcla al presentar una mayor docilidad sin necesidad de incrementar el agua de amasado genera un mayor acomodo del concreto en estado fresco, la porosidad también va a depender de la relación agua/cemento; puesto que al haber menos agua de amasado que quede libre en la mezcla hará que no se formen vacíos o capilares en el concreto al momento de endurecer, y de la hidratación del cemento; puesto que en este proceso con el transcurso del tiempo genera que en el concreto se forman geles con lo que hace que los capilares o vacíos se cierren haciendo que la pasta sea más impermeable. Pero este efecto no sucede en los porcentajes de 0.40 % a 0.45 % de superplastificante debido a que al llegar al punto de saturación del fenómeno de adsorbancia de los polímeros con las

partículas de cemento hace que la mezcla segregue y se produzca el fenómeno de exudación que genera una mayor cantidad de capilares producto del agua libre de amasado.

Al adicionar el polvo de mármol al concreto autocompactante se presenta dos efectos en la porosidad del concreto, el primero se presenta en un rango de superplastificante del 0.30 % al 0.35 % cuya tendencia es disminuir progresivamente la porosidad hasta llegar a un punto de inflexión del 1.00 % de dosis de polvo de mármol; a partir de aquí la porosidad tiende a mantenerse o disminuir pero en pequeños porcentajes, esta disminución se debe a que el polvo de mármol al tener un tamaño de 45 micras hace que el volumen de finos en la pasta aumente lo que conlleva que la mezcla tenga una mayor cohesión y capacidad de acomodo evitando que se generen vacíos entre los agregados. El segundo efecto que presenta la adición de polvo de mármol al concreto es una disminución significativa de la porosidad; el cual se presenta en un rango de superplastificante de 0.40 % a 0.45 % en donde la disminución de la porosidad se debe a los mismos factores del primer efecto en el concreto antes mencionado salvo que al haber una mayor dosis de superplastificante hace que la mezcla no pierda su fluidez conforme se añade polvo de mármol debido a que el fenómeno de adsorbancia se desarrolla por completo en las partículas del cemento y polvo de mármol generando una repulsión electrostática.

La porosidad del concreto está relacionado directamente con la absorción de este mismo, es por ello que se presentan los mismos efectos en el concreto, siendo así que al adicionar superplastificante al concreto genera que la absorción disminuya, esta disminución se presenta hasta un nivel de superplastificante al 0.35 %, esto se debe a que la mezcla al presentar una mayor docilidad sin necesidad de incrementar el agua de amasado genera un mayor acomodo del concreto en estado fresco, la absorción al igual que la porosidad del concreto también va a depender de la relación agua/cemento; puesto que al haber menos agua de amasado que quede libre en la mezcla hará que no se formen vacíos o capilares en el concreto al momento de endurecer; logrando que exista una menor distribución de poros y a la vez evitando que no exista una interconexión entre los poros existentes en el concreto, la absorción del concreto va a depender también de la porosidad de la pasta puesto que al hidratarse correctamente el cemento va a generar que esta pasta sea más impermeable haciendo que el concreto no tenga una baja capacidad de absorción. Pero este efecto no sucede en los porcentajes de 0.40 % a 0.45 % de superplastificante debido a que al existir una mayor cantidad de capilares producto del agua de exudación hace que el concreto tenga también una mayor capacidad de absorción.

Cabe resaltar que realizando los contrastes de resultados al nivel de significancia de 95 %, se encuentra que la adición de superplastificante, polvo de mármol y la interacción entre estos dos factores tienen un efecto significativo en la porosidad del concreto autocompactante en estado endurecido, pero el efecto principal lo aporta el polvo de mármol debido a que el

cociente del ratio F obtenido experimentalmente es el mayor de los tres orígenes de las variaciones, siendo así que el F experimental es mayor al obtenido de las tablas de distribución de Fisher: $1\ 585.60 > 2.60$. El valor F obtenido experimentalmente al ser elevado significa que hay una mayor diferencia en la porosidad del concreto por cada dosis de polvo de mármol añadido a la mezcla, cumpliéndose también que exista una variación mínima en las réplicas por cada dosis de polvo de mármol, el valor F obtenido experimentalmente originado por el superplastificante y la interacción del superplastificante y polvo de mármol al tener un valor cercano al F experimental del polvo de mármol también se rigen bajo estos dos sustentos mencionados.

En la *Figura N° 28. Resistencia a la compresión a 28 días por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se analiza el efecto del superplastificante y polvo de mármol sobre la resistencia a la compresión del concreto a 28 días de curado, en donde se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto aumenta la resistencia a la compresión hasta llegar a un punto de inflexión del 0.35 % de superplastificante en donde la resistencia a la compresión decae bruscamente; siendo el valor máximo de 418 Kg/cm² en un porcentaje de 0.35 % de superplastificante, las mezclas a partir de la adición de superplastificante mayor al 0.35 % presentan índice de segregación lo que genera que la resistencia disminuya siendo el valor mínimo de 371 Kg/cm² en un porcentaje de 0.45 % de superplastificante.

Al adicionar e incrementar gradualmente la dosis de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona dos efectos en la resistencia a la compresión, el primero se presenta en un rango de adición de 0.50 % a 1.50 % de polvo de mármol donde al adicionar este filler al concreto autocompactante ocasiona que aumente la resistencia a la compresión del concreto hasta llegar a un punto de inflexión de 0.35 % de superplastificante en donde la resistencia a la compresión del concreto decae hasta la adición de 0.45 % de superplastificante y el segundo se presenta en la adición de 2.00 % de polvo de mármol donde al adicionar este filler al concreto autocompactante ocasiona que la resistencia a la compresión aumente significativamente, presentando la mayor resistencia a la compresión en el porcentaje de 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol con un valor de 438 Kg/cm². También se observa que a pesar de surgir estos dos efectos en el concreto autocompactante en estado endurecido al adicionar superplastificante y polvo de mármol se logra mejorar la resistencia a la compresión respecto a un concreto convencional el cual fue diseñado para una resistencia a la compresión de 350.00 Kg/cm² pero al elaborarlo llego a un valor de 374 Kg/cm².

También se observa que al adicionar superplastificante al concreto convencional de resistencia de 374 Kg/cm² genera un aumento en la resistencia a la compresión a los 28 días

del 12 % en la adición de 0.35 % de superplastificante, mientras que al adicionar polvo de mármol al concreto autocompactante genera un aumento en la resistencia del 17 % en la adición de 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol.

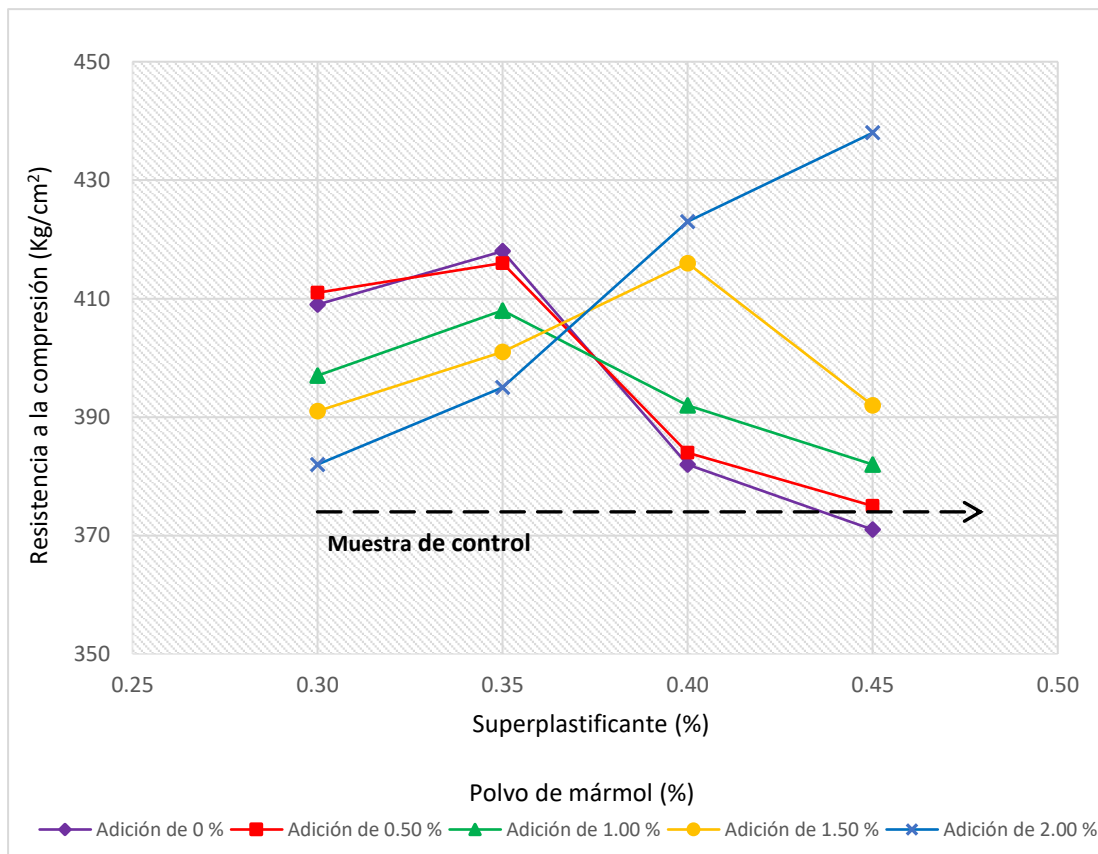


Figura N° 28. Resistencia a la compresión a 28 días por adición de superplastificante y polvo de mármol

En la *Figura N° 29. Resistencia a la compresión a 56 días por adición de superplastificante y polvo de mármol*, se observa que al incrementar gradualmente el porcentaje de superplastificante en el concreto aumenta la resistencia a la compresión a 56 días de curado hasta llegar a un punto de inflexión de 0.35 % de superplastificante en donde la resistencia a la compresión del concreto decae bruscamente conforme se adiciona un mayor porcentaje de superplastificante; siendo el valor máximo de 451 Kg/cm² en un porcentaje de 0.35 % de superplastificante y el valor mínimo 408 Kg/cm² en un porcentaje de 0.45 % de superplastificante.

Al adicionar e incrementar gradualmente el porcentaje de polvo de mármol en el concreto autocompactante ocasiona dos efectos en la resistencia a la compresión, el primero se presenta en un rango de adición de 0.50 % a 1.50 % de polvo de mármol donde al adicionar

este filler a la mezcla ocasiona que aumente la resistencia a la compresión del concreto hasta llegar a un punto de inflexión de 0.35 % de superplastificante en donde la resistencia a la compresión decae hasta la adición de 0.45 % de superplastificante y el segundo se presenta en porcentaje de 2.00 % de polvo de mármol donde al adicionar este filler a la mezcla ocasiona que la resistencia a la compresión aumente significativamente, presentando la mayor resistencia a la compresión en el porcentaje de 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol con un valor de 519 Kg/cm².

También se observa que al adicionar superplastificante al concreto convencional de resistencia de 400 Kg/cm² genera un aumento en la resistencia a la compresión a los 56 días del 13 % en la adición de 0.35 % de superplastificante, mientras que al adicionar polvo de mármol al concreto autocompactante genera un aumento en la resistencia del 30 % en la adición del 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol.

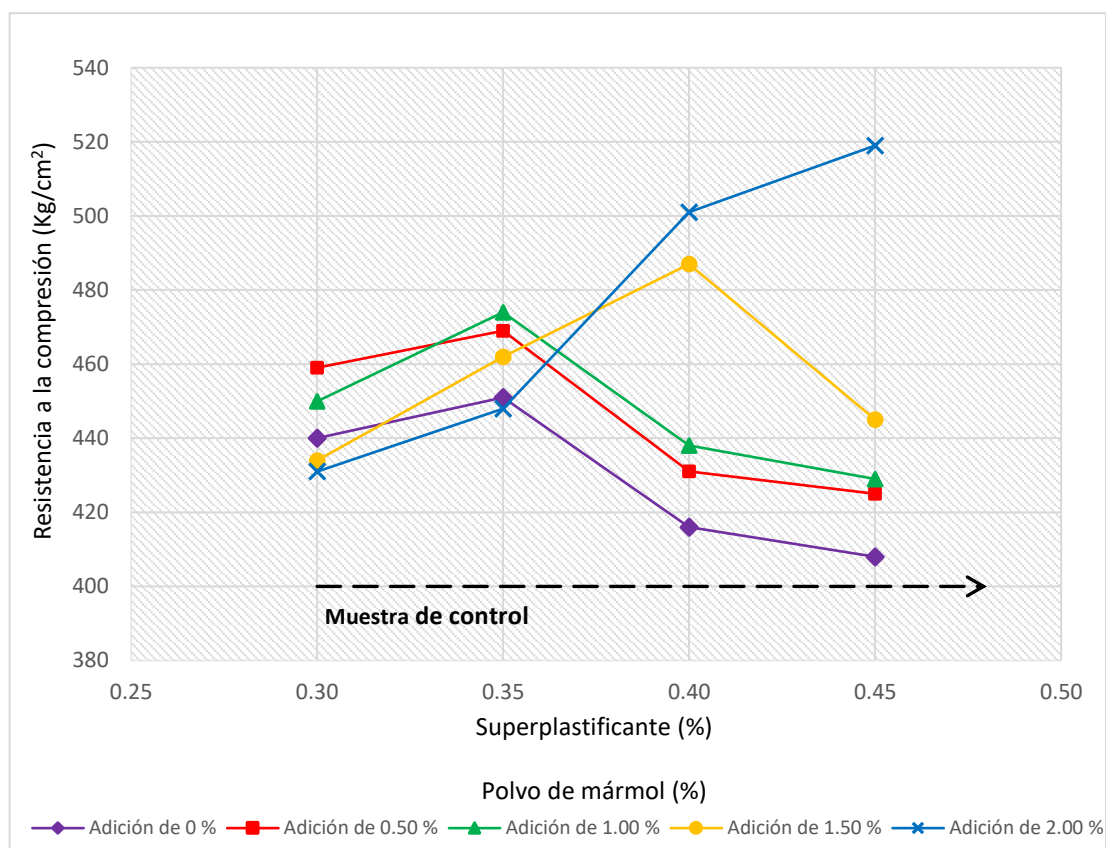


Figura N° 29. Resistencia a la compresión a 56 días por adición de superplastificante y polvo de mármol

La resistencia a la compresión del concreto depende de cuatro factores: la relación a/c, porosidad, homogeneidad de la mezcla y las características de los agregados, siendo estos cuatro factores vitales para conseguir concretos de media y alta resistencia. La mezcla al tener una relación a/c baja y ser de consistencia seca hace que el concreto tenga una mayor

resistencia, pero esto se obtiene al adicionar el superplastificante; debido a que una mezcla de consistencia seca al no tener una buena docilidad no permite que el concreto tenga un buen acomodo de sus componentes. Al añadir el superplastificante a la mezcla hace que el concreto presente una mayor autocompactabilidad teniendo una mejor capacidad de relleno generando que el volumen de poros disminuya, una mejor distribución de los agregados en la mezcla lo que genera un aumento en la resistencia a la compresión.

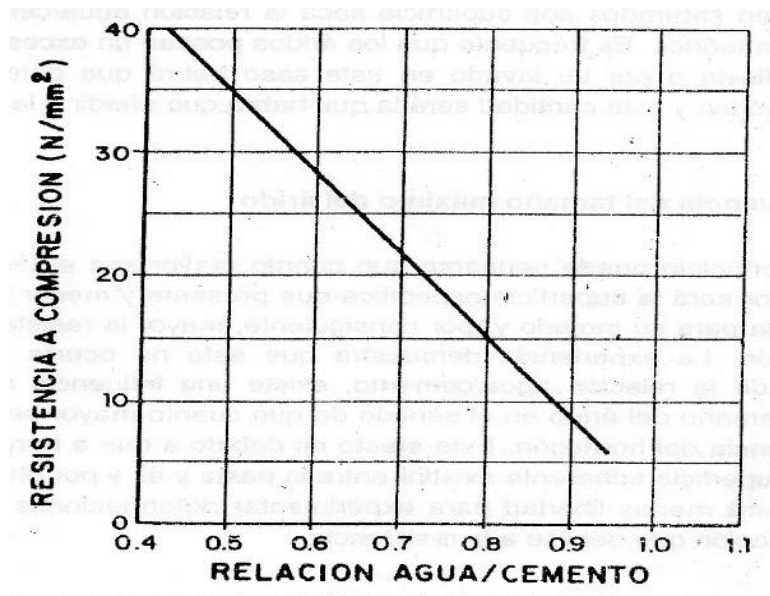


Figura N° 30. Influencia de la relación agua/cemento en la resistencia a la compresión del concreto.

Fuente: Fernández Cánovas (2011)

En la resistencia a la compresión también influye la capacidad de absorción de los agregados; puesto que al presentar una baja absorción hace que estos sean menos porosos y más compactos lo cual al momento de mezclar con el agua de amasado no ocasionará que se pierda agua por este fenómeno, además el tamaño de los agregados cumple un rol importante en concretos ricos en cemento, esto se debe a que a menor tamaño del agregado grueso mayor será la superficie de adherencia entre la pasta y este árido.

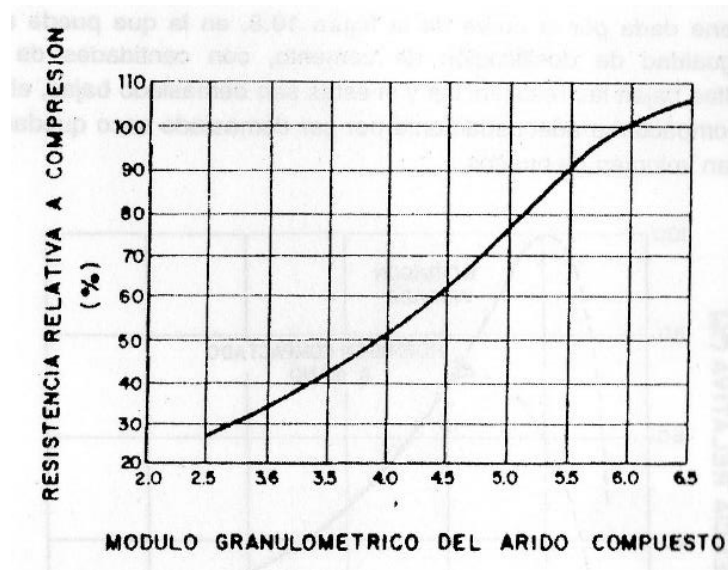


Figura N° 31. Influencia del módulo granulométrico del árido en la resistencia a la compresión.

Fuente: Fernández Cánovas (2011)

La ganancia de resistencia al adicionar el polvo de mármol se debe a la presencia de silicatos dentro de su composición, que al momento de iniciarse el proceso de hidratación se produce una reacción química de síntesis entre el cemento y polvo de mármol; en el cual los silicatos presentes en el mármol se fusionan con los componentes del cemento portland como el C_3S y el C_2S por medio de una transferencia de electrones haciendo que el cemento mejore sus características principales obteniendo un cemento con mayor cantidad de silicatos; que son los encargados en el cemento de conferir altas resistencias iniciales

Cabe resaltar que realizando los contrastes de resultados al nivel de significancia de 95 %, se encuentra que la dosis de superplastificante, polvo de mármol y la interacción entre estos dos factores tienen un efecto significativo en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante a los 28 días de curado, pero el efecto principal lo aporta la interacción del superplastificante y polvo de mármol debido a que el cociente del ratio F obtenido experimentalmente es el mayor de los tres orígenes de las variaciones, siendo así que el F experimental es mayor al obtenido de las tablas de distribución de Fisher: $146.58 > 2.00$. Mientras que en la resistencia a la compresión del concreto autocompactante a los 56 días de curado el efecto principal lo aporta el polvo de mármol, siendo así que el F experimental es mayor al obtenido de las tablas de distribución de Fisher: $432.82 > 2.60$. El valor F obtenido experimentalmente al ser elevado significa que hay una mayor diferencia en la resistencia a la compresión por cada dosis de polvo de mármol y superplastificante añadido al concreto autocompactante, cumpliéndose también que exista una variación mínima en las réplicas por cada dosis de polvo de mármol y superplastificante, por lo tanto esto también se sustenta en

los valores obtenidos de la desviación estándar en donde están dentro de los parámetros establecidos por la norma ASTM C39 que indica que la desviación estándar para tres muestras debe estar en un rango de variación de 7.80 %.

5.4. Análisis de costos del concreto autocompactante.

En la *Figura N° 32. Costo del concreto autocompactante y convencional $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$* , se observa que al adicionar superplastificante al concreto convencional este incrementa el costo de producción, resultando que el costo de producción del concreto autocompactante es mayor que el costo de producción del concreto convencional.

También se observa que el costo de producción del concreto autocompactante depende del material de adición que se utilice, resultando que el costo de producción del concreto autocompactante con adición de polvo de mármol es menor que el costo de producción del concreto autocompactante con adición de microsílíce. Al adicionar polvo de mármol al concreto autocompactante en lugar de microsílíce genera una reducción del costo de producción de s/.574.00 a s/.567.00, obteniendo una reducción del costo de producción del concreto autocompactante de 2 % por metro cúbico.

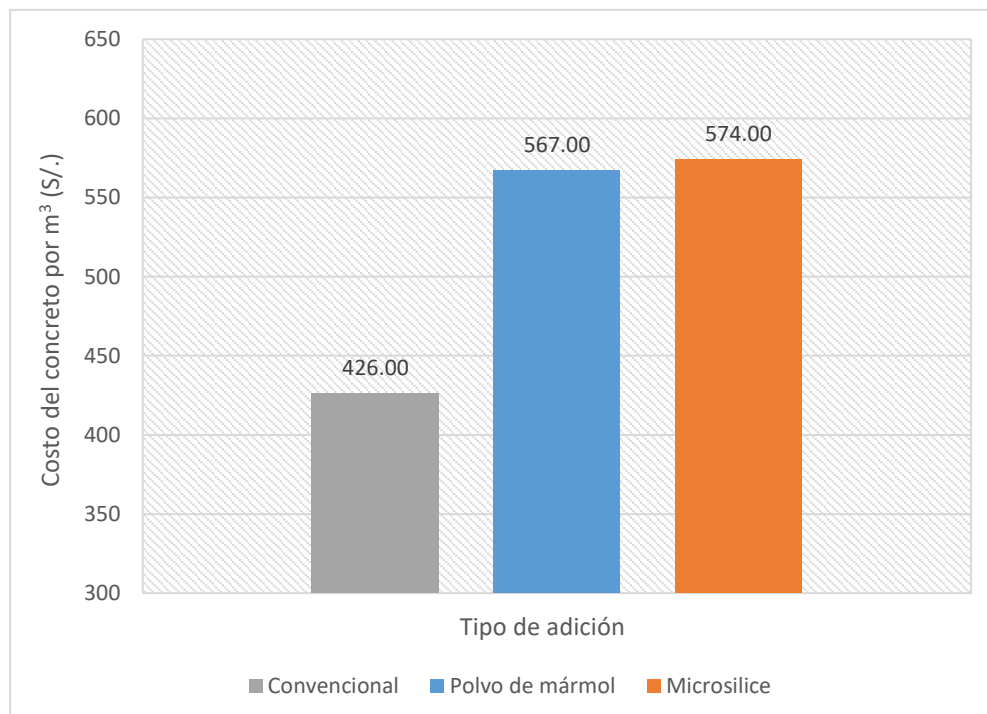


Figura N° 32. Costo de producción del concreto autocompactante y convencional $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$.

El concreto autocompactante al tener propiedades en estado fresco diferentes a un concreto convencional hacen que este concreto eleve su costo unitario, debido que para cumplir ciertos requisitos se ve en la necesidad de emplear nuevos materiales en el concreto; los cuales van a mejorar sus propiedades justificándose en el eje costo/eficiencia debido a que el costo será mayor pero el desempeño del concreto también será mayor.

El polvo de mármol al ser un residuo hace que el costo del concreto autocompactante disminuya en comparación de la microsílíce, lo cual hace que el polvo de mármol sea una buena opción para añadir al concreto puesto que al ser un residuo se le está volviendo a dar un valor a este material, lo cual desde el punto de vista de reciclado y ambiental se podría decir que al añadir este residuo al concreto se está generando un concreto del tipo ecológico. Otro valor agregado que entra a tallar para emplear el mármol en lugar de la microsílíce, es que el mármol le aporta al concreto una superficie arquitectónicamente estética debido a los minerales que conforman este material.

En la *Figura N° 33. Costo del concreto autocompactante $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ por tipo de recurso*, se observa que la mayor incidencia en el costo de producción es del recurso de materiales, resultando con un 85 % del costo, mientras que el recurso de mano de obra tiene un 11 % y el recurso de equipos y herramientas tiene un 4 %.

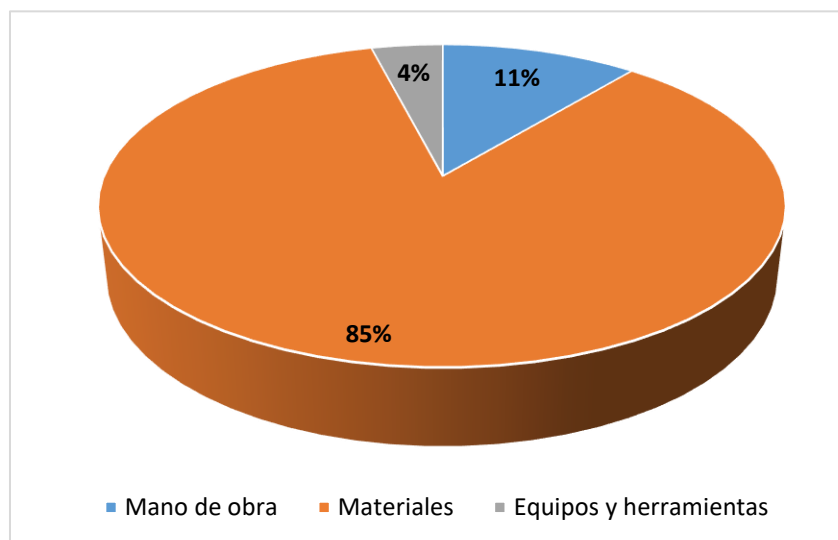


Figura N° 33. Costo del concreto autocompactante $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ por tipo de recurso.

El costo de los recursos de mano de obra y equipos y herramientas es mínimo debido a que en el concreto autocompactante no se emplea vibradores puesto que el concreto autocompactante se acomoda por su propio peso haciendo más fácil su colocación en obra.

En la *Figura N° 34. Costo del concreto convencional $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ por tipo de recurso*, se observa que la mayor incidencia en el costo de producción es del recurso de materiales, resultando con un 64 % del costo, mientras que el recurso de mano de obra tiene un 25 % y el recurso de equipos y herramientas tiene un 11 %.

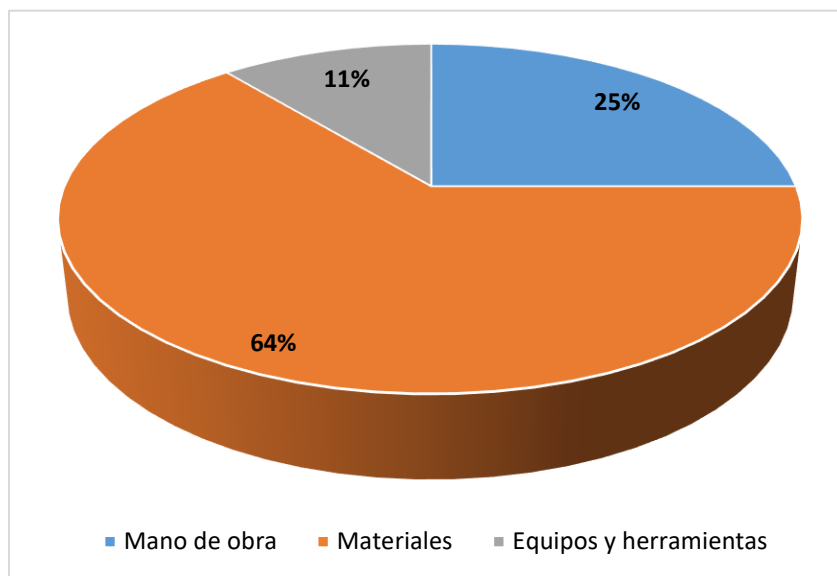


Figura N° 34. Costo del concreto convencional $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ por tipo de recurso.

El concreto convencional para su colocación en obra necesita una mayor cantidad de mano de obra en comparación al concreto autocompactante, haciendo que la cuadrilla sea mayor; además que se necesita equipos como vibradores para lograr que el concreto se acomode perfectamente.

Es por ello que el concreto autocompactante genera una disminución del recurso de mano de obra de s/.104.08 a s/.58.02, obteniendo una reducción del 45 % del costo del recurso de mano de obra, mientras que en el recurso de equipos y herramientas genera una disminución de s/.47.15 a s/.21.74, obteniendo una reducción del 54 % del costo del recurso de equipos y herramientas.

CONCLUSIONES

- Se evaluó la influencia del polvo de mármol y superplastificante en las propiedades en estado fresco y endurecido de un concreto autocompactante en la ciudad de Trujillo, obteniendo que la interacción de estos componentes mejora las propiedades del concreto, el cual la mezcla sin interacción de las variables presenta un mejor comportamiento en estado fresco y endurecido al 0.35 % de superplastificante, y en la interacción de las variables la mezcla que presenta un mejor comportamiento en estado fresco y endurecido fue al 0.45 % y 2.00 % de superplastificante y polvo de mármol respectivamente, no obstante las mezclas de porcentajes de 0.35 % y 1.00 %, y de 0.40 % y 1.50 % de superplastificante y polvo de mármol respectivamente presentan un comportamiento similar a la mezcla antes mencionada, siendo estas tres mezclas las que presentan mejores propiedades autocompactantes.

Tabla N° 49. Resumen de resultados de los parámetros del concreto autocompactante.

Concreto autocompactante en porcentaje de 0.45% de superplastificante y 2.00% de polvo de mármol			
Propiedad	Parámetro	Unidad	Resultado
Capacidad de relleno	Diámetro de extensión	mm	650
	T ₅₀₀	seg.	3.7
	Índice de estabilidad visual		1
Capacidad al paso	Diámetro de extensión	mm	630
	Altura de bloqueo	mm	4
	Coefficiente de bloqueo		0.8
Porosidad	56 días de curado	%	8
Resistencia a la compresión	28 días de curado	Kg/cm ²	438
	56 días de curado	Kg/cm ²	519

- La optimización del superplastificante se obtuvo evaluando distintos porcentajes de aditivo en la pasta de cemento, obteniendo que la pasta de cemento al 0.45 % de superplastificante presenta una mayor fluidez de 364 segundos respecto a los otros porcentajes, representando en el concreto en estado fresco que tenga una mayor trabajabilidad y mejor capacidad al paso y relleno.
- En las propiedades en estado fresco como la capacidad al paso y relleno del concreto autocompactante en sus distintos niveles, se obtuvo que respecto a la capacidad al paso: la mezcla al 0.35 % de superplastificante presenta un mejor comportamiento siendo el

diámetro de extensión (Df) 680 mm, la altura y coeficiente de bloqueo fue de 4 mm y 0.8 respectivamente, mientras en la capacidad de relleno se evaluó los parámetros en el siguiente orden: diámetro de extensión (Df), T_{500} y VSI en donde se obtuvo que en los 4 niveles de adición de superplastificante la mezcla es autocompactante siendo el nivel óptimo del 0.35 % de superplastificante el cual presentó una extensión de 700 mm, el T_{500} fue de 3.1 segundos y el VSI de 1, el cual hasta este nivel de dosis la mezcla es estable y no presenta segregación ni exudación. Al interactuar las variables de polvo de mármol y superplastificante respecto a la capacidad al paso la mezcla al 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol es la que mejor resultados presenta siendo el diámetro de extensión 630 mm, la altura y coeficiente de bloqueo 4 mm y 0.8 respectivamente, y en cuanto a la capacidad de relleno el diámetro de extensión fue de 650 mm, el T_{500} fue de 5.0 segundos y el VSI de 1.

- En las propiedades en estado endurecido como la resistencia a la compresión y porosidad del concreto autocompactante en sus distintos niveles, se obtuvo que la mezcla hasta el 0.35 % de dosis de superplastificante mejora significativamente las propiedades en estado endurecido, presentando este nivel de adición de superplastificante valores de resistencia a la compresión a 28 y 56 días de 418 Kg/cm² y 451 Kg/cm² respectivamente, ocasionando un incremento de 12 % y 13 % a los 28 y 56 días de curado respecto a la muestra de control, en cuanto a la porosidad, se obtuvo un mejor comportamiento presentando un valor de 10 %, el cual tiene una relación directa con el incremento de la resistencia a la compresión debido a la baja porosidad y absorción haciendo que el concreto autocompactante sea un concreto durable. Al interactuar las variables de polvo de mármol y superplastificante respecto a la resistencia a la compresión la mezcla que presentó un mejor comportamiento fue al 0.45 % de superplastificante y 2.00 % de polvo de mármol, presentando valores de resistencia a la compresión a 28 y 56 días de 438 Kg/cm² y 519 Kg/cm² respectivamente, ocasionando un incremento de 17 % y 30 % a los 28 y 56 días de curado, y en cuanto a la porosidad, se obtuvo un valor de 8 %, el cual se ha determinado que el polvo de mármol es una adición que mejora las propiedades del concreto a edades de curado mayor a los 28 días.
- Se analizó el impacto económico del concreto autocompactante con adiciones de residuos del mármol, lo cual se concluyó que al adicionar este residuo al concreto se genera una reducción del costo por metro cúbico en 2 % comparando con un concreto en donde se adiciona microsilíce, además el uso del concreto autocompactante reduce el recurso de mano de obra en un 45 % respecto a un concreto convencional.

RECOMENDACIONES

- Al realizar el vaciado del concreto autocompactante se recomienda acomodar el concreto con una varilla si la estructura de acero lo permite, esto debido a que el concreto presentará un mejor acomodo en estado endurecido lo que conllevará que las propiedades mejoren, además se recomienda emplear el concreto autocompactante adicionado con polvo de mármol como un concreto arquitectónico es decir que no necesite una etapa de acabado debido que al adicionar polvo de mármol al concreto hace que esté tenga una superficie lisa, pulida y presente un brillo propio del mármol.
- Debido a que los agregados tienen una función importante en las propiedades reológicas del concreto, se recomienda emplear arena gruesa con distintos módulos de finura para analizar la influencia del tamaño del agregado en las propiedades reológicas del concreto.
- Debido al uso del aditivo superplastificante tipo G como acción reductora de agua, se recomienda a futuros investigadores emplear este aditivo en un nivel del 0.45 % en el concreto autocompactante teniendo como variable la reducción de agua en la mezcla en diferentes niveles.
- Se recomienda a futuros investigadores comparar los resultados obtenidos en la presente investigación realizando ensayos para evaluar las propiedades del concreto autocompactante bajo otros métodos como embudo V, caja en L y columna de segregación indicados por el EFNARC.
- Se recomienda a futuros investigadores con el fin de complementar esta investigación, realizar ensayos de propiedades de durabilidad al concreto ante agentes químicos como permeabilidad al agua bajo presión y al ion cloruro, resistencia al impacto y abrasión
- Se recomienda realizar ensayos físicos al superplastificante con el fin de optimizar su eficiencia al momento de reaccionar con el material cementante en el proceso de hidratación.
- El uso del polvo de mármol en el concreto a edades mayores a 28 días presenta una mejoría en los resultados, es por ello que se recomienda analizar las propiedades en estado endurecido a edades superiores a 28 días.

REFERENCIAS

- Abad González, J., & Romero Loyola, J. (2016). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de concretos autocompactantes de altas prestaciones con la inclusión de fibras plásticas normalizadas y recicladas*. Cuenca.
- Argos [Argos Luz Verde]. (2016, Octubre 7). *El concreto autocompactante se impone con el innovador sistema de flujo inverso* [Documental]. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=8EFZ4IVjgDg&feature=youtu.be>
- ARQHYS. (2012). *Mármol y su construcción*. Recuperado de: <http://www.arqhys.com/construcciones/marmol-construccion.html>.
- ASTM C39. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. Estados Unidos, julio del 2003.
- ASTM C642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Estados Unidos, enero de 1997.
- CEMEX. (2013). *Concretos Estructurales de Alto Comportamiento y las nuevas NTC DF*. Mexico, Mexico.
- De La Cruz Morales, C. J. (2009). *Desarrollo de hormigones autocompactables de resistencia media*. Medellín.
- EFNARC. *Especificaciones y Directrices para el hormigón autocompactable - HAC*. Reino Unido, febrero del 2002.
- El Peruano. (23 de Diciembre de 2016). *Ley General de Residuos Sólidos*. Lima, Lima, Perú.
- Fernandez Cánovas, M. (2011). *Hormigon*. Madrid, España.
- Fomasier, G. & Balzamo, H. (2011). *Hormigones autocompactantes: Estado del arte en Argentina*. Concreto Online [Punto de encuentro para profesionales]. Obtenido de: http://www.concretonline.com/index.php?option=com_content&view=article&id=25234:hormigones-autocompactantes-estado-del-arte-en-argentina-&catid=17:articulos-tecnicos&Itemid=100171
- González Acevedo, V. P., & Rodríguez Vilca, J. L. (2008). *Influencia del porcentaje de microsílíce sobre la trabajabilidad en estado fresco y la resistencia a la compresión en estado endurecido de un concreto autocompactante*. Trujillo, Universidad Nacional de Trujillo.
- INEI. (2017). *Producción Nacional*. Lima.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (2011). *El ABC del concreto autocompactable. Construcción y Tecnología*.
- Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. (s.f.). *Concreto Autocompactado. Construcción & Tecnología*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/concreto.htm>

- López Orozco, J. O. (2004). *Porosidad del concreto*. Guatemala.
- Mehta, K. (Octubre de 2000). *Avances e la tecnología del concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. Obtenido <http://www.imcyc.com/revista/2000/octubre2000/concreto.htm>
- NTP 400.037. AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima, Perú, diciembre del 2014.
- Puertas Maroto, F. (2008). *Aditivos superplastificantes basados en policarboxilatos y poliéteres*. Dialnet. Obtenido de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2515920>
- Rabanal Gonzales, D. C., & Su Chaquí, A. R. (Abril de 2017). *Diseño de un Concreto Autocompactable*. Pimentel: Universidad Señor de Sipán.
- Robayo, R., Matthey, P., & Delvasto, S. (2013). *Comportamiento mecánico de un concreto fluido adicionado con ceniza de cascarilla de arroz (cca) y reforzado con fibras de acero*. Cali.
- Robayo, R., Matthey, P., Silva, Y., & Delvasto, S. (2014). *Comportamiento en estados frescos y endurecido de un concreto autocompactante, adicionado con escoria de carbón, y elaborado con agregado grueso de concreto reciclado*. Cali.
- Robayo, R., Silva, Y., Delvasto, S., & Matthey, P. (2016). *Obtención de concretos autocompactantes empleando adiciones de escoria de carbón finamente molida*. Cali.
- Rojas Lizana, C. R., & Quispe Ñahuincopa, R. (2017). *Tecnologías a emplearse para minimizar el impacto ambiental causada por la explotación de la cantera "Andinos S.A.C."*. Huancavelica. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/353327004/Trabajo-Del-Proyecto>
- Sánchez Hidalgo, L. Y. (Diciembre de 2014). *Efecto del Aditivo Superplastificante Sika Viscocrete en la resistencia mecánica del concreto autocompactante*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Santos, A., Betancourt, J., & Villegas, N. (2012). *Residuo de mármol como insumo en la construcción civil*. Durango.
- Silva, Y., Burgos, D., Valencia, W., Delvasto, S., & Alvarez, J. (2013). *Concretos autocompactantes a partir de lodo calcáreo de la industria papelera*. Cali.
- Silva, Y., Delvasto, S., Matthey, P., & Robayo, R. (2015). *Obtención de concretos autocompactantes empleando residuos de demolición*. Cali.

APÉNDICE

APÉNDICE N.º 1. Resultados de caracterización de materiales para el concreto.

APÉNDICE N.º 1.1. Resultados de caracterización de agregados.

Tabla N.º 50. Recolección de datos de distribución granulométrica del agregado grueso.

Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
% Gravas	97		% Gravas	96		% Gravas	97	
% Arena	2		% Arena	3		% Arena	2	
% Finos	1		% Finos	1		% Finos	1	
TMN	1/2"		TMN	1/2"		TMN	1/2"	
Coef. de uniformidad	2.01		Coef. de uniformidad	2.03		Coef. de uniformidad	2.03	
Coef. de curvatura	0.97		Coef. de curvatura	0.97		Coef. de curvatura	0.97	
Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
1 1/2"	0.00	100	1 1/2"	0.00	100	1 1/2"	0.00	100
3/4"	0.00	100	3/4"	0.00	100	3/4"	0.00	100
1/2"	28.03	72	1/2"	27.65	72	1/2"	29.29	71
3/8"	53.62	46	3/8"	53.03	47	3/8"	53.93	46
Nº4	96.98	3	Nº4	96.27	4	Nº4	96.27	3
Nº8	98.58	1	Nº8	98.41	2	Nº8	98.41	2
Nº200	98.74	1	Nº200	98.86	1	Nº200	98.62	1
Fondo	100.00	-	Fondo	100.00	-	Fondo	100.00	-

Tabla N° 51. Recolección de datos de distribución granulométrica del agregado fino.

Muestra 1			Muestra 2			Muestra 3		
% Gravas		5.8	% Gravas		5.8	% Gravas		5.8
% Arena		93.8	% Arena		94.0	% Arena		93.9
% Finos		0.4	% Finos		0.2	% Finos		0.3
Módulo de finura		2.96	Módulo de finura		2.97	Módulo de finura		2.96
Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa	Tamiz	% Peso retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	0.00	100	3/8"	0.00	100	3/8"	0.00	100
N°4	5.78	94	N°4	5.85	94	N°4	6.11	94
N°8	21.28	79	N°8	21.33	79	N°8	21.39	79
N°16	38.03	62	N°16	37.75	62	N°16	38.09	62
N°30	53.87	46	N°30	53.73	46	N°30	53.89	46
N°50	81.33	19	N°50	82.11	18	N°50	80.09	20
N°100	96.13	4	N°100	96.20	4	N°100	96.03	4
N°200	99.61	0	N°200	99.84	0	N°200	99.69	0
Fondo	100.00	-	Fondo	100.00	-	Fondo	100.00	-

Tabla N° 52. Recolección de datos de humedad del agregado grueso (P) y fino (A).

Código	Peso tara (g)	Peso tara + muestra natural (g)	Peso tara + muestra seca (g)	Peso de la muestra natural (g)	Peso de la muestra seca (g)	Humedad (%)
						w
P1	77.74	361.88	360.39	284.14	282.65	0.5
P2	67.35	418.12	416.36	350.77	349.01	0.5
P3	82.84	416.95	415.27	334.11	332.43	0.5
A1	97.73	720.45	714.63	622.72	616.90	0.9
A2	97.50	718.66	712.96	621.16	615.46	0.9
A3	97.45	718.50	712.62	621.05	615.17	1.0

Tabla N° 53. Recolección de datos de peso unitario del agregado grueso (P) y agregado fino (A).

Código	Peso del molde (Kg)	Peso de la muestra suelta + molde (Kg)	Peso de la muestra compactada + molde (Kg)	Peso de la muestra suelta (Kg)	Peso de la muestra compactada (Kg)	Volumen del molde (m ³)	Peso unitario suelto (Kg/m ³)	Peso unitario compactado (Kg/m ³)
P1	1.199	16.456	17.882	15.257	16.683	0.0095	1 610	1 760
P2	1.199	16.404	17.806	15.205	16.607		1 610	1 760
P3	1.199	16.420	17.868	15.221	16.669		1 610	1 760
A1	1.199	17.380	18.439	16.181	17.240	0.0095	1 710	1 820
A2	1.199	17.429	18.387	16.230	17.188		1 720	1 820
A3	1.199	17.415	18.402	16.216	17.203		1 710	1 820

Tabla N° 54. Recolección de datos de peso específico y absorción del agregado grueso.

Código	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Peso específico seco (g/cm ³)	Peso específico s.s.s. (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
	A	B	C				
P1	996.13	1 010.04	627.00	2.60	2.64	2.70	1.4
P2	995.94	1 010.27	628.46	2.61	2.65	2.71	1.4
P3	996.08	1 009.82	627.13	2.60	2.64	2.70	1.4

Tabla N° 55. Recolección de datos de peso específico y absorción del agregado fino.

Código	Peso seco (g)	Peso fiola (g)	Peso fiola + muestra sss (g)	Peso de fiola + agua (g)	Peso fiola + agua + muestra (g)	Peso saturado (g)	Peso específico seco (g/cm ³)	Peso específico s.s.s. (g/cm ³)	Peso específico aparente (g/cm ³)	Absorción (%)
	A	M	N	B	C	S= N-M				
A1	498.16	160.69	670.03	660.10	979.15	509.34	2.62	2.68	2.78	2.2
A2	497.80	160.52	669.40	659.38	978.41	508.88	2.62	2.68	2.78	2.2
A3	498.51	160.60	670.29	660.52	978.96	509.69	2.61	2.67	2.77	2.2

APÉNDICE N.º 1.2. Resultados de caracterización del mármol.

Tabla N° 56. Recolección de datos de caracterización del mármol de la empresa "Atenas".

Código	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Volumen global (cm ³)	Volumen de poros abiertos (cm ³)	Porosidad aparente (%)	Densidad global (g/cm ³)	Absorción (%)	Peso específico aparente (g/cm ³)
	A	B	C	V					
M1	57.32	57.41	35.57	21.91	0.09	0.4	2.6	0.2	2.64
M2	55.81	55.88	34.79	21.15	0.07	0.3	2.6	0.1	2.66
Promedio =				21.53	0.08	0.4	2.6	0.2	2.65

Tabla N° 57. Recolección de datos de caracterización del mármol de la empresa "Virgen del Carmen".

Código	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Volumen global (cm ³)	Volumen de poros abiertos (cm ³)	Porosidad aparente (%)	Densidad global (g/cm ³)	Absorción (%)	Peso específico aparente (g/cm ³)
	A	B	C	V					
N1	56.42	56.87	32.22	24.72	0.45	1.8	2.3	0.8	2.33
N2	55.96	56.41	32.06	24.42	0.45	1.8	2.3	0.8	2.34
Promedio =				24.57	0.45	1.8	2.3	0.8	2.34

Tabla N° 58. Recolección de datos de caracterización del mármol de la empresa "J. Pino".

Código	Peso seco (g)	Peso saturado (g)	Peso sumergido (g)	Volumen global (cm ³)	Volumen de poros abiertos (cm ³)	Porosidad aparente (%)	Densidad global (g/cm ³)	Absorción (%)	Peso específico aparente (g/cm ³)
	A	B	C	V					
O1	56.40	56.82	33.60	23.29	0.42	1.8	2.4	0.7	2.47
O2	54.53	54.94	32.43	22.58	0.41	1.8	2.4	0.7	2.47
Promedio =				22.94	0.42	1.8	2.4	0.7	2.47

APÉNDICE N.º 1.3. Resultados de caracterización del agua.

Tabla N° 59. Recolección de datos de nivel de pH y conductividad del agua potable.

Código	Nivel de pH	Conductividad (uS/cm)
W1	8	1 458
W2	8	1 480
W3	8	1 467
Promedio =	8	1 468

APÉNDICE N.º 1.4. Resultados de caracterización del superplastificante.

Tabla N° 60. Recolección de datos de viscosidad del superplastificante sobre la pasta de cemento.

Superplastificante (%)	Tiempo (seg)			
	T1	T2	T3	Promedio
0.10	1 429	1 423	1 420	1 424
0.20	708	701	705	705
0.25	571	569	580	573
0.30	498	488	491	492
0.35	429	433	422	428
0.40	381	389	388	386
0.45	360	365	368	364

APÉNDICE N.º 2. Diseño de mezcla método ACI 211 (American Concrete Institute)

1. Datos Previos

Agregado grueso.

- T.M.N: 1/2 “
- Humedad: 0.5 %
- Absorción: 1.4 %
- Peso específico: 2.60 g/cm³
- P.U.C.S: 1 760 Kg/m³

Agregado fino.

- M.F: 2.96
- Humedad: 0.9 %
- Absorción: 2.2 %
- Peso específico: 2.62 g/cm³

Cemento

- Peso específico: 3.10 g/cm³

Concreto

- Slump: 1” – 2”.
- Aire atrapado: 2.50 %.

2. Diseño de mezcla.

El cálculo del diseño de mezcla es de un concreto autocompactante de resistencia media (HAC RM) cuyo valor de resistencia a la compresión fue de 350 Kg/cm², el cálculo se ha realizado en función a 1 m³, partiendo de una mezcla de consistencia seca.

A. Resistencia a la compresión.

- $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$
- $F'cr = 350 + 84$
- $F'cr = 434 \text{ Kg/cm}^2$

B. Relación agua/cemento.

Para encontrar la relación a/c del diseño de mezcla se ha interpolado los siguientes valores:

$$\frac{450 - 434}{450 - 400} = \frac{0.38 - X}{0.38 - 0.43}$$

$$X = 0.40$$

C. Cantidad de agua. (W)

Para encontrar la cantidad de agua, se ha tenido en cuenta el T.M.N. de 1/2” del agregado grueso y el slump de la mezcla de 1” a 2”.

$$W = 199.00 \text{ Kg/m}^3$$

D. Cantidad de cemento. (C)

Para encontrar la cantidad de cemento, se ha tenido en cuenta la relación a/c de 0.40 y la cantidad de agua de 199 Kg/m³ calculados previamente.

$$\text{Cemento} = \frac{199.00 \text{ Kg/m}^3}{0.40}$$

$$C = 497.50 \text{ Kg/m}^3$$

E. Cantidad de agregado grueso. (P)

Para encontrar el factor de multiplicidad se ha interpolado, teniendo en cuenta el M.F. del agregado fino de 2.96 y el TMN del agregado grueso de 1/2".

$$\frac{2.80 - 2.96}{2.80 - 3.00} = \frac{0.55 - X}{0.55 - 0.53}$$

$$X = 0.535$$

$$\text{Agregado grueso} = 0.535 \times 1760.00 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 941.60 \text{ Kg/m}^3$$

F. Cantidad de agregado fino. (A)

Para encontrar la cantidad de agregado fino se ha encontrado los volúmenes del resto de materiales como la piedra, cemento, agua y aire en 2.50 %.

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{497.50 \text{ Kg}}{3.10 \times 1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.160 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{AGUA}} = \frac{199.00 \text{ Kg}}{1 \times 1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.199 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{PIEDRA}} = \frac{941.60 \text{ Kg}}{2.60 \times 1000 \text{ Kg/m}^3} = 0.362 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{AIRE}} = \frac{2.50}{100} = 0.025 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{ARENA}} = 1.00 - (0.160 + 0.199 + 0.362 + 0.025) = 0.254 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 0.254 \times 1000 \times 2.62 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$\text{Agregado fino} = 665.48 \text{ Kg/m}^3$$

G. Corrección del peso de agregados por humedad.

$$A. G_{.w} = 941.60 \times \left(1 + \frac{0.50}{100}\right) = 946.31 \text{ Kg/m}^3$$

$$A. F_{.w} = 665.48 \times \left(1 + \frac{0.90}{100}\right) = 671.47 \text{ Kg/m}^3$$

H. Corrección del peso de agua por agregados

$$W_{AG} = 941.60 \times \left(\frac{1.40 - 0.50}{100}\right) = 8.48 \text{ Kg/m}^3$$

$$W_{AF} = 665.48 \times \left(\frac{2.20 - 0.90}{100}\right) = 8.65 \text{ Kg/m}^3$$

$$W_T = 199 + 8.48 + 8.65 = 216.13 \text{ Kg/m}^3$$

I. Diseño de mezcla patrón corregido.

El volumen de los materiales que conforman el concreto se calculó de la siguiente manera:

$$V_C = \left(\frac{497.50}{2\ 331.41}\right) \times 100 = 21 \%$$

$$V_W = \left(\frac{216.13}{2\ 331.41}\right) \times 100 = 9 \%$$

$$V_{AG} = \left(\frac{946.31}{2\ 331.41}\right) \times 100 = 41 \%$$

$$V_{AF} = \left(\frac{671.47}{2\ 331.41}\right) \times 100 = 29 \%$$

Tabla N° 61. Volumen de materiales del concreto por 1m³.

Componentes	Diseño de mezcla seco (kg/m ³)	Diseño de mezcla corregido (kg/m ³)	Volumen (%)
Relación a/c	0.40	0.43	-
Cemento tipo I	497.50	497.50	21
Agua	199.00	216.13	9
Agregado grueso	941.60	946.31	41
Agregado fino	665.48	671.47	29
Total	2 303.58	2 331.41	100

J. Cantidad de superplastificante y polvo de mármol.

Para el cálculo de la cantidad de superplastificante se obtuvo en porcentaje del cemento empleado en 1 m³.

$$\text{Cantidad de superplastificante} = 0.30\% \times 497.50 \text{ Kg/m}^3 = 1.49 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de superplastificante} = 0.35\% \times 497.50 \text{ Kg/m}^3 = 1.74 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de superplastificante} = 0.40\% \times 497.50 \text{ Kg/m}^3 = 1.99 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de superplastificante} = 0.45\% \times 497.50 \text{ Kg/m}^3 = 2.24 \text{ Kg/m}^3$$

Para el cálculo de la cantidad de polvo de mármol se obtuvo en porcentaje del peso de la mezcla en 1 m³.

$$\text{Cantidad de polvo de mármol} = 0.50\% \times 2\,331.41 \text{ Kg/m}^3 = 11.66 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de polvo de mármol} = 1.00\% \times 2\,331.41 \text{ Kg/m}^3 = 23.31 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de polvo de mármol} = 1.50\% \times 2\,331.41 \text{ Kg/m}^3 = 34.97 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de polvo de mármol} = 2.00\% \times 2\,331.41 \text{ Kg/m}^3 = 46.63 \text{ Kg/m}^3$$

K. Corrección de la relación agua/cemento.

Para el cálculo de la nueva relación agua/cemento de la mezcla patrón se obtuvo una vez corregido el agua de amasado.

$$R_{a/c} = \frac{216.13}{497.50} = 0.43$$

Para el cálculo de la relación agua/cemento+adición se obtuvo de cada dosis de polvo de mármol adicionada a la mezcla.

$$R_{0.50\%} = \frac{216.13}{497.50 + 11.66} = 0.42$$

$$R_{1.00\%} = \frac{216.13}{497.50 + 23.31} = 0.42$$

$$R_{1.50\%} = \frac{216.13}{497.50 + 34.97} = 0.41$$

$$R_{2.00\%} = \frac{216.13}{497.50 + 46.63} = 0.40$$

L. Dosificación de concreto por bolsa de cemento.

La dosificación del concreto por bolsa de cemento tiene como finalidad proporcionar a los maestros de obra al momento de mezclar una dosificación de acuerdo a lo que se emplea en obra, en este caso como unidad de medida se ha empleado el balde de 20 L.

Tabla N° 62. Dosificación del concreto por bolsa de cemento.

Componentes	Unidad	Proporción
Cemento	Bolsa	1
Agua	Balde	7/8
Agregado grueso	Balde	2 1/4
Agregado fino	Balde	1 5/8

APÉNDICE N.º 3. Criterios de aceptación del concreto autocompactante.

Tabla N° 63. Criterios de aceptación para el concreto autocompactante.

Fuente: EFNARC (2002)

Método de ensayo	Unidad	Margen habitual de valores	
		Mínimo	Máximo
Flujo de asentamiento por cono de Abrams	mm	650	800
Flujo de asentamiento T ₅₀₀	segundos	2	5
Anillo J	mm	0	10
Embudo V	segundos	6	12
Embudo V a T _{5 min.}	segundos	6	+3
Caja en L	(h2/h1)	0.8	1.0
Caja en U	(h2 - h1) mm	0	30

APÉNDICE N.º 4. Resultados de ensayos del concreto en estado fresco y endurecido.

APÉNDICE N.º 4.1. Resultados de capacidad de relleno por el método del cono de Abrams.

Tabla N° 64. Recolección de datos del parámetro de diámetro de extensión por cono de Abrams.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Diámetro de extensión (mm)			Extensión promedio (mm)
		Muestra "1"	Muestra "2"	Muestra "3"	
0.00	0.30	650	650	640	650
	0.35	710	700	700	700
	0.40	750	740	750	750
	0.45	785	770	780	780
0.50	0.30	610	600	610	610
	0.35	670	670	660	670
	0.40	720	700	705	710
	0.45	730	720	730	730
1.00	0.30	560	550	565	560
	0.35	650	640	655	650
	0.40	670	680	680	680
	0.45	690	695	690	690
1.50	0.30	530	530	525	530
	0.35	615	630	620	620
	0.40	660	655	655	660
	0.45	660	665	660	660
2.00	0.30	500	510	510	510
	0.35	580	580	570	580
	0.40	625	630	625	630
	0.45	650	650	640	650

Tabla N° 65. Recolección de datos del parámetro T₅₀₀ por cono de Abrams.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	T500 (seg)			T500 promedio (seg)
		Muestra "1"	Muestra "2"	Muestra "3"	
0.00	0.30	3.3	3.4	3.4	3.4
	0.35	3.1	3.0	3.1	3.1
	0.40	2.7	2.8	2.8	2.8
	0.45	2.4	2.4	2.5	2.4
0.50	0.30	3.5	3.4	3.6	3.5
	0.35	3.3	3.4	3.4	3.4
	0.40	3.0	3.1	3.1	3.1
	0.45	2.7	2.9	2.9	2.8
1.00	0.30	3.9	4.1	4.0	4.0
	0.35	3.7	3.6	3.7	3.7
	0.40	3.2	3.2	3.1	3.2
	0.45	2.9	2.8	2.9	2.9
1.50	0.30	4.7	4.8	4.8	4.8
	0.35	4.0	4.0	3.9	4.0
	0.40	3.6	3.7	3.5	3.6
	0.45	3.3	3.2	3.3	3.3
2.00	0.30	5.0	5.0	4.9	5.0
	0.35	4.5	4.6	4.6	4.6
	0.40	3.9	3.9	3.8	3.9
	0.45	3.7	3.6	3.7	3.7

Tabla N° 66. Recolección de datos del parámetro VSI por cono de Abrams.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Índice de estabilidad visual (VSI)			VSI promedio
		Muestra "1"	Muestra "2"	Muestra "3"	
0.00	0.30	0	1	1	1
	0.35	1	1	1	1
	0.40	3	3	3	3
	0.45	3	3	3	3
0.50	0.30	0	0	0	0
	0.35	1	0	1	1
	0.40	3	3	3	3
	0.45	3	3	3	3
1.00	0.30	0	0	0	0
	0.35	0	0	0	0
	0.40	2	2	2	2
	0.45	3	3	2	3
1.50	0.30	0	0	0	0
	0.35	0	0	0	0
	0.40	1	0	1	1
	0.45	2	2	2	2
2.00	0.30	0	0	0	0
	0.35	0	0	0	0
	0.40	0	0	1	0
	0.45	1	1	1	1

APÉNDICE N.º 4.2. Resultados de capacidad al paso por el método del anillo J.

Tabla N° 67. Recolección de datos del parámetro diámetro de extensión por anillo J.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Diámetro de extensión (mm)			Extensión promedio (mm)
		Muestra "1"	Muestra "2"	Muestra "3"	
0.00	0.30	630	620	625	630
	0.35	680	680	690	680
	0.40	700	710	700	700
	0.45	740	730	730	730
0.50	0.30	585	570	580	580
	0.35	630	650	640	640
	0.40	670	670	660	670
	0.45	680	690	690	690
1.00	0.30	530	520	525	530
	0.35	620	610	620	620
	0.40	650	650	655	650
	0.45	640	650	650	650
1.50	0.30	490	485	480	490
	0.35	570	590	585	580
	0.40	640	625	635	630
	0.45	625	620	630	630
2.00	0.30	450	460	460	460
	0.35	540	525	540	540
	0.40	600	610	600	600
	0.45	630	630	620	630

Tabla N° 68. Recolección de datos del parámetro altura de bloqueo por anillo J.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Altura interior (mm)	Altura exterior (mm)	Altura de bloqueo (mm)	Altura de bloqueo promedio (mm)
0.00	0.30	21	15	6	5
		20	15	5	
		22	17	5	
	0.35	18	14	4	4
		17	13	4	
		18	13	5	
	0.40	31	11	20	20
		32	13	19	
		32	12	20	
	0.45	36	11	25	24
		35	12	23	
		35	10	25	
0.50	0.30	28	20	8	8
		27	19	8	
		28	19	9	
	0.35	21	15	6	5
		22	17	5	
		21	16	5	
	0.40	31	12	19	18
		30	13	17	
		31	12	19	
	0.45	34	13	21	21
		33	12	21	
		33	13	20	
1.00	0.30	30	20	10	10
		31	20	11	
		31	21	10	
	0.35	24	17	7	7
		25	18	7	
		23	17	6	

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Altura interior (mm)	Altura exterior (mm)	Altura de bloqueo (mm)	Altura de bloqueo promedio (mm)
1.00	0.40	28	15	13	13
		28	14	14	
		27	14	13	
	0.45	31	13	18	19
		32	12	20	
		30	12	18	
1.50	0.30	33	21	12	11
		34	23	11	
		33	22	11	
	0.35	26	17	9	8
		26	18	8	
		24	17	7	
	0.40	20	16	4	5
		22	16	6	
		20	15	5	
	0.45	26	15	11	12
		28	16	12	
		27	15	12	
2.00	0.30	36	23	13	13
		37	23	14	
		36	24	12	
	0.35	30	20	10	11
		29	18	11	
		30	19	11	
	0.40	21	16	5	5
		20	14	6	
		22	17	5	
	0.45	20	16	4	4
		19	16	3	
		21	17	4	

Tabla N° 69. Recolección de datos del parámetro coeficiente de bloqueo por anillo J.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Altura interior (mm)	Altura exterior (mm)	Coeficiente de bloqueo (mm)	Coeficiente de bloqueo promedio (mm)
0.00	0.30	21	15	0.7	0.8
		20	15	0.8	
		22	17	0.8	
	0.35	18	14	0.8	0.8
		17	13	0.8	
		18	13	0.7	
	0.40	31	11	0.4	0.4
		32	13	0.4	
		32	12	0.4	
	0.45	36	11	0.3	0.3
		35	12	0.3	
		35	10	0.3	
0.50	0.30	28	20	0.7	0.7
		27	19	0.7	
		28	19	0.7	
	0.35	21	15	0.7	0.8
		22	17	0.8	
		21	16	0.8	
	0.40	31	12	0.4	0.4
		30	13	0.4	
		31	12	0.4	
	0.45	34	13	0.4	0.4
		33	12	0.4	
		33	13	0.4	
1.00	0.30	30	20	0.7	0.7
		31	20	0.6	
		31	21	0.7	
	0.35	24	17	0.7	0.7
		25	18	0.7	
		23	17	0.7	

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Altura interior (mm)	Altura exterior (mm)	Coefficiente de bloqueo (mm)	Coefficiente de bloqueo promedio (mm)
1.00	0.40	28	15	0.5	0.5
		28	14	0.5	
		27	14	0.5	
	0.45	31	13	0.4	0.4
		32	12	0.4	
		30	12	0.4	
1.50	0.30	33	21	0.6	0.7
		34	23	0.7	
		33	22	0.7	
	0.35	26	17	0.7	0.7
		26	18	0.7	
		24	17	0.7	
	0.40	20	16	0.8	0.8
		22	16	0.7	
		20	15	0.8	
	0.45	26	15	0.6	0.6
		28	16	0.6	
		27	15	0.6	
2.00	0.30	36	23	0.6	0.6
		37	23	0.6	
		36	24	0.7	
	0.35	30	20	0.7	0.6
		29	18	0.6	
		30	19	0.6	
	0.40	21	16	0.8	0.8
		20	14	0.7	
		22	17	0.8	
	0.45	20	16	0.8	0.8
		19	16	0.8	
		21	17	0.8	

APÉNDICE N.º 4.3. Resultados de porosidad del concreto en estado endurecido.

Tabla N.º 70. Recolección de datos de porosidad del concreto.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Peso saturado (Kg)	Peso sumergido (Kg)	Peso seco (Kg)	Porosidad (%)
0.00	0.00	3.948	2.289	3.732	13
		3.924	2.267	3.710	13
		3.965	2.305	3.748	13
0.00	0.30	3.947	2.304	3.766	11
		3.962	2.311	3.761	12
		3.940	2.296	3.758	11
	0.35	3.979	2.332	3.808	10
		3.958	2.316	3.786	10
		3.965	2.324	3.791	11
	0.40	3.934	2.301	3.757	11
		3.982	2.329	3.801	11
		3.975	2.320	3.794	11
	0.45	3.949	2.315	3.755	12
		3.983	2.351	3.789	12
		3.957	2.322	3.764	12
0.50	0.30	3.914	2.284	3.739	11
		3.918	2.287	3.745	11
		3.937	2.291	3.761	11
	0.35	3.962	2.312	3.807	9
		3.997	2.331	3.836	10
		3.975	2.316	3.818	9
	0.40	3.903	2.276	3.735	10
		3.926	2.296	3.759	10
		3.942	2.305	3.775	10
	0.45	3.974	2.329	3.801	10
		3.997	2.349	3.823	11
		3.990	2.340	3.816	11

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Peso saturado (Kg)	Peso sumergido (Kg)	Peso seco (Kg)	Porosidad (%)
1.00	0.30	3.924	2.293	3.755	10
		3.931	2.296	3.763	10
		3.907	2.284	3.741	10
	0.35	3.932	2.293	3.785	9
		3.954	2.312	3.807	9
		3.938	2.291	3.792	9
	0.40	3.980	2.324	3.820	10
		3.951	2.300	3.791	10
		3.968	2.316	3.809	10
	0.45	3.967	2.325	3.802	10
		3.978	2.332	3.812	10
		3.947	2.307	3.784	10
1.50	0.30	3.928	2.293	3.759	10
		3.988	2.326	3.814	10
		3.964	2.307	3.792	10
	0.35	3.981	2.331	3.826	9
		3.918	2.277	3.765	9
		3.946	2.298	3.789	9
	0.40	3.982	2.328	3.841	8
		3.953	2.304	3.813	8
		3.977	2.323	3.835	9
	0.45	3.972	2.330	3.814	10
		3.957	2.322	3.798	10
		3.981	2.338	3.822	10
2.00	0.30	3.970	2.323	3.795	11
		3.981	2.328	3.812	10
		3.958	2.304	3.786	10
	0.35	3.971	2.316	3.814	9
		3.985	2.329	3.827	10
		3.982	2.321	3.824	9

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Peso saturado (Kg)	Peso sumergido (Kg)	Peso seco (Kg)	Porosidad (%)
2.00	0.40	3.973	2.320	3.832	9
		3.997	2.334	3.856	8
		3.966	2.317	3.827	8
	0.45	4.013	2.356	3.874	8
		3.985	2.343	3.849	8
		3.972	2.335	3.833	8

APÉNDICE N° 4.4. Resultados de resistencia a la compresión.

Tabla N° 71. Recolección de datos de resistencia a la compresión a 28 días de curado.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
0.00	0.00	79.33	29 764.99	375
	0.00	78.54	29 224.92	372
	0.00	79.33	29 714.04	375
0.00	0.30	78.54	32 190.21	410
	0.30	78.54	31 966.03	407
	0.30	79.33	32 567.24	411
	0.35	79.33	33 199.02	418
	0.35	80.12	33 351.87	416
	0.35	78.54	33 066.55	421
	0.40	78.54	30 060.50	383
	0.40	79.33	30 417.15	383
	0.40	78.54	29 775.18	379
	0.45	78.54	29 153.59	371
	0.45	80.12	29 989.17	374
	0.45	79.33	29 275.87	369

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
0.50	0.30	79.33	32 557.05	410
	0.30	78.54	32 139.26	409
	0.30	79.33	32 934.08	415
	0.35	79.33	32 771.04	413
	0.35	79.33	33 209.21	419
	0.35	78.54	32 689.52	416
	0.40	78.54	30 101.26	383
	0.40	79.33	30 345.82	383
	0.40	78.54	30 406.96	387
	0.45	78.54	29 642.71	377
	0.45	78.54	29 214.73	372
	0.45	78.54	29 489.86	375
1.00	0.30	78.54	31 334.25	399
	0.30	78.54	30 885.89	393
	0.30	79.33	31 609.38	398
	0.35	78.54	32 292.11	411
	0.35	78.54	31 874.32	406
	0.35	80.12	32 648.76	407
	0.40	78.54	30 753.42	392
	0.40	78.54	31 140.64	396
	0.40	78.54	30 508.86	388
	0.45	78.54	30 121.64	384
	0.45	78.54	29 805.75	379
	0.45	79.33	30 437.53	384
1.50	0.30	79.33	30 987.79	391
	0.30	78.54	31 099.88	396
	0.30	79.33	30 702.47	387
	0.35	79.33	32 016.98	404
	0.35	78.54	31 324.06	399
	0.35	78.54	31 436.15	400

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
1.50	0.40	78.54	32 964.65	420
	0.40	78.54	32 394.01	412
	0.40	78.54	32 577.43	415
	0.45	78.54	30 783.99	392
	0.45	78.54	31 008.17	395
	0.45	78.54	30 651.52	390
2.00	0.30	78.54	29 785.37	379
	0.30	78.54	30 325.44	386
	0.30	78.54	29 968.79	382
	0.35	78.54	30 926.65	394
	0.35	79.33	31 487.10	397
	0.35	78.54	31 018.36	395
	0.40	78.54	33 178.64	422
	0.40	80.12	34 146.69	426
	0.40	78.54	33 066.55	421
	0.45	78.54	34 452.39	439
	0.45	78.54	34 279.16	436
	0.45	79.33	34 849.80	439

Tabla N° 72. Recolección de datos de resistencia a la compresión a 56 días de curado.

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
0.00	0.00	79.33	31 843.75	401
	0.00	80.12	32 108.69	401
	0.00	78.54	31 313.87	399
0.00	0.30	78.54	34 595.05	440
	0.30	78.54	34 656.19	441
	0.30	80.12	35 124.93	438
	0.35	80.12	36 164.31	451
	0.35	78.54	35 726.14	455
	0.35	79.33	35 501.96	448

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
0.00	0.40	78.54	32 832.18	418
	0.40	80.12	33 300.92	416
	0.40	78.54	32 465.34	413
	0.45	78.54	31 813.18	405
	0.45	80.91	33 290.73	411
	0.45	80.12	32 587.62	407
0.50	0.30	79.33	36 408.87	459
	0.30	80.12	36 643.24	457
	0.30	78.54	36 286.59	462
	0.35	78.54	36 765.52	468
	0.35	78.54	37 040.65	472
	0.35	79.33	37 111.98	468
	0.40	78.54	33 891.94	432
	0.40	78.54	33 637.19	428
	0.40	80.12	34 751.98	434
	0.45	78.54	33 199.02	423
	0.45	78.54	33 667.76	429
	0.45	78.54	33 311.11	424
1.00	0.30	79.33	35 817.85	452
	0.30	78.54	35 471.39	452
	0.30	78.54	35 104.55	447
	0.35	78.54	37 183.31	473
	0.35	79.33	37 855.85	477
	0.35	79.33	37 560.34	473
	0.40	79.33	34 972.08	441
	0.40	78.54	34 289.35	437
	0.40	80.12	34 870.18	435
	0.45	78.54	33 881.75	431
	0.45	78.54	33 504.72	427
	0.45	78.54	33 637.19	428

Polvo de mármol (%)	Superplastificante (%)	Área (cm ²)	Carga Máxima (Kg)	Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)
1.50	0.30	78.54	34 065.17	434
	0.30	78.54	34 289.35	437
	0.30	78.54	33 851.18	431
	0.35	78.54	36 327.35	463
	0.35	79.33	36 867.42	465
	0.35	78.54	36 011.46	459
	0.40	80.12	38 885.04	485
	0.40	78.54	38 253.26	487
	0.40	78.54	38 385.73	489
	0.45	79.33	35 135.12	443
	0.45	78.54	35 257.40	449
	0.45	80.12	35 512.15	443
2.00	0.30	78.54	33 902.13	432
	0.30	78.54	33 576.05	428
	0.30	78.54	34 054.98	434
	0.35	78.54	35 308.35	450
	0.35	78.54	35 451.01	451
	0.35	78.54	34 910.94	444
	0.40	79.33	39 659.48	500
	0.40	80.12	40 433.92	505
	0.40	78.54	39 099.03	498
	0.45	80.12	41 514.06	518
	0.45	78.54	40 892.47	521
	0.45	78.54	40 596.96	517

APÉNDICE N.º 5. Análisis de costos del concreto autocompactante adicionado.

Para el cálculo del análisis de costos del concreto autocompactante adicionado con polvo de mármol se ha analizado los recursos de materiales y equipos – herramientas, la mano de obra se ha analizado para evaluar los costos de un concreto convencional con un autocompactante.

Los precios de los materiales y equipos han sido obtenidos de empresas como Arenera Jaén SAC, Inversiones Santa María e Industrias Química Suiza, las cuadrillas han sido obtenidas de la revista CAPECO.

El análisis de costos se ha realizado para placas y muros de concreto armado medianamente reforzados puesto que el concreto autocompactante es ideal para emplear en este tipo de estructuras, siendo analizado el concreto autocompactante en porcentajes de 2.00 % de polvo de mármol y 0.45 % superplastificante.

Tabla N° 73. Análisis de costos de concreto autocompactante adicionado con polvo de mármol.

Partida: CONCRETO AUTOCOMPACTANTE ADICIONADO CON POLVO DE MÁRMOL EN PLACAS Y MUROS DE CONCRETO ARMADO, F´C= 350 KG/CM²

Rendimiento: 10.00 m ³ /día		Equipo: 10.00 m ³ /día		Costo unitario por m ³ : S/. 566.78	
Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.2	0.1600	15.42	2.47
Operario	hh	1	0.8000	12.85	10.28
Peón	hh	6	4.8000	9.43	45.27
					58.02
Materiales					
Piedra chancada TMN: 1/2"	m3		0.5880	42.37	24.91
Arena gruesa	m3		0.3900	33.90	13.22
Cemento Portland tipo I (42.5 kg)	bol		11.7100	20.00	234.20
Agua	m3		0.2160	7.00	1.51
Aditivo superplastificante tipo G, balde 20 L	balde		0.0900	260.00	23.40
Polvo de mármol, tamiz N° 325	Kg		46.6300	4.07	189.78
					487.02
Equipos y herramientas					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	58.02	1.74
Mezcladora de concreto, tambor 11 P ³	hm	1.0000	0.8000	25.00	20.00
					21.74

El concreto autocompactante adicionado con polvo de mármol se ha comparado con un concreto autocompactante adicionado con microsílíce al 12 % respecto al peso del cemento, puesto que la microsílíce es una adición comercial en empresas como Basf, Sika y Química Suiza; en este caso se ha comparado con la microsílíce RHEOMAC SF100 de la empresa Basf.

Tabla N° 74. Análisis de costos de concreto autocompactante adicionado con microsílíce.

Partida: CONCRETO AUTOCOMPACTANTE ADICIONADO CON MICROSÍLÍCE EN PLACAS Y MUROS DE CONCRETO ARMADO, F'C= 350 KG/CM²						
Rendimiento:	10.00	m ³ /día	Equipo:	10.00	m ³ /día	Costo unitario por m³ : S/. 573.38
Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de obra						
Capataz	hh	0.2	0.1600	15.42	2.47	
Operario	hh	1	0.8000	12.85	10.28	
Peón	hh	6	4.8000	9.43	45.27	
						58.02
Materiales						
Piedra chancada TMN: 1/2"	m3		0.5880	42.37	24.91	
Arena gruesa	m3		0.3900	33.90	13.22	
Cemento Portland tipo I (42.5 kg)	bol		11.7100	20.00	234.20	
Agua	m3		0.2160	7.00	1.51	
Aditivo superplastificante tipo G, balde 20 L	balde		0.0900	260.00	23.40	
Microsílíce, bolsa 25 Kg	bol		2.3890	82.20	195.64	
						493.62
Equipos y herramientas						
Herramientas manuales	%mo		3.0000	58.02	1.74	
Mezcladora de concreto, tambor 11 P ³	hm	1.0000	0.8000	25.00	20.00	
						21.74

Tabla N° 75. Análisis de costos de concreto convencional.

Partida: **CONCRETO CONVENCIONAL EN PLACAS Y MUROS DE CONCRETO ARMADO,
F´C= 350 KG/CM²**

Rendimiento: 10.00 m ³ /día		Equipo: 10.00 m ³ /día		Costo unitario por m ³ : S/. 425.87	
Descripción de recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de obra					
Capataz	hh	0.2	0.16	15.42	2.47
Operario	hh	1	0.8000	12.85	10.28
Oficial	hh	2	1.6000	10.43	16.69
Peón	hh	10	8.000	9.43	75.44
					104.88
Materiales					
Piedra chancada TMN: 1/2"	m3		0.5880	42.37	24.91
Arena gruesa	m3		0.3900	33.90	13.22
Cemento Portland tipo I (42.5 kg)	bol		11.7100	20.00	234.20
Agua	m3		0.2160	7.00	1.51
					273.84
Equipos y herramientas					
Herramientas manuales	%mo		3.0000	104.88	3.15
Mezcladora de concreto, tambor 11 P ³	hm	1.0000	0.8000	25.00	20.00
Vibrador de 2", 4 HP	hm	2.0000	1.6000	15.00	24.00
					47.15

APÉNDICE N.º 6. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto.

HIPOTESIS

Hipótesis alterna.

H_1 : A medida que se incrementa la dosis de polvo de mármol y superplastificante en el concreto autocompactante, el comportamiento reológico del concreto mejorará, por lo tanto, las propiedades en estado fresco del concreto como la fluidez, capacidad de relleno y paso van a mejorar.

Las propiedades en estado endurecido del concreto autocompactante como la densidad y la resistencia a la compresión aumentarán, no obstante, la porosidad y absorción del concreto autocompactante en estado endurecido disminuirán.

Hipótesis nula.

H_0 : La dosis de polvo de mármol y superplastificante no influyen en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto autocompactante.

APÉNDICE N.º 6.1. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto en estado fresco.

1. Datos Previos.

1.1. Grados de libertad

- Grados de libertad de la variable polvo de mármol (A)
G.L. = $5 - 1$
G.L. = 4
- Grados de libertad de la variable superplastificante (B):
G.L. = $4 - 1$
G.L. = 3
- Grados de libertad de las variables (A) x (B)
G.L. = $(5 - 1) \times (4 - 1)$
G.L. = 12
- Grados de libertad del error.
G.L. = $(5 \times 4) \times (2 - 1)$
G.L. = 20

1.2. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % de confianza ($\alpha = 0.05$)

1.3. Criterio de rechazo

La hipótesis alterna (H_1) se acepta si $F_0 > F_{0.05,4,20} = 2.87$, si $F_0 > F_{0.05,3,20} = 3.10$, si $F_0 > F_{0.05,12,20} = 2.28$

2. Análisis de Varianza y F de Fisher.

2.1. Ensayo capacidad de relleno del concreto.

2.1.1. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro T_{500} .

Tabla N° 76. Desviación estándar del parámetro T_{500} por cono de Abrams.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total (seg)
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	0.01	0.03	0.02	0.03	0.4
	0.50	0.01	0.04	0.01	0.01	0.3
	1.00	0.04	0.03	0.01	0.04	0.5
	1.50	0.03	0.01	0.04	0.02	0.6
	2.00	0.01	0.01	0.04	0.02	0.6
Desviación estándar total (seg)		0.7	0.5	0.4	0.4	-

Tabla N° 77. Contrastación de hipótesis del parámetro T_{500} .

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	9.793	2.448	3 885.92	2.87
Superplastificante	3	7.135	2.378	3 774.88	3.10
Interacción	12	0.692	0.058	91.58	2.28
Error	20	0.013	0.001	-	-
Total	39	17.632	-	-	-

2.1.2. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro D_f .

Tabla N° 78. Desviación estándar del parámetro diámetro de extensión por cono de Abrams.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total (mm)
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	0	7	0	7	51
	0.50	7	0	14	7	50
	1.00	7	0	0	0	57
	1.50	0	14	7	0	56
	2.00	7	0	7	0	46
Desviación estándar total (mm)		55	45	55.	56	-

Tabla N° 79. Contrastación de hipótesis del parámetro diámetro de extensión.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	99 185.00	24 796.250	619.91	2.87
Superplastificante	3	92 570.00	30 856.667	771.42	3.10
Interacción	12	1 955.00	162.917	4.07	2.28
Error	20	800.00	40.000	-	-
Total	39	19 4510.00	-	-	-

2.1.3. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro VSI.

Tabla N° 80. Desviación estándar del parámetro VSI por cono de Abrams.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	0.7	0.0	0.0	0.0	1.2
	0.50	0.0	0.7	0.0	0.0	1.4
	1.00	0.0	0.0	0.0	0.7	1.4
	1.50	0.0	0.0	0.7	0.0	0.9
	2.00	0.0	0.0	0.7	0.0	0.5
Desviación estándar total		0.3	0.5	1.3	0.8	-

Tabla N° 81. Contrastación de hipótesis del parámetro VSI.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	15.85	3.963	79.25	2.87
Superplastificante	3	35.30	11.767	235.33	3.10
Interacción	12	8.95	0.746	14.92	2.28
Error	20	1.00	0.050	-	-
Total	39	61.10	-	-	-

2.2. Ensayo capacidad al paso del concreto.

2.2.1. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro Df.

Tabla N° 82. Desviación estándar del parámetro diámetro de extensión por anillo J.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total (mm)
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	14	7	7	7	46
	0.50	21	14	0	7	46
	1.00	7	7	0	7	58
	1.50	7	14	14	0	66
	2.00	7	14	14	7	74
Desviación estándar total (mm)		78	56	50	52	-

Tabla N° 83. Contrastación de hipótesis del parámetro diámetro de extensión.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	122 575.00	30 643.75	285.06	2.87
Superplastificante	3	114 847.50	38 282.50	356.12	3.10
Interacción	12	5 765.00	480.42	4.47	2.28
Error	20	2 150.00	107.50	-	-
Total	39	245 337.50	-	-	-

2.2.2. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro altura de bloqueo.

Tabla N° 84. Desviación estándar del parámetro altura de bloqueo por anillo J.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total (mm)
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	1	0	1	1	10
	0.50	0	1	1	0	7
	1.00	1	0	1	2	5
	1.50	1	1	2	0	3
	2.00	1	0	0	1	5
Desviación estándar total (mm)		3	3	7	8	-

Tabla N° 85. Contratación de hipótesis del parámetro altura de bloqueo.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	168.100	42.025	80.05	2.87
Superplastificante	3	396.275	132.092	251.60	3.10
Interacción	12	975.100	81.258	154.78	2.28
Error	20	10.500	0.525	-	-
Total	39	1 549.975	-	-	-

2.2.3. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro coeficiente de bloqueo.

Tabla N° 86. Desviación estándar del parámetro coeficiente de bloqueo por anillo J.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	0.03	0.01	0.04	0.02	0.2
	0.50	0.01	0.04	0.01	0.01	0.2
	1.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.1
	1.50	0.03	0.03	0.05	0.01	0.1
	2.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.1
Desviación estándar total		0.1	0.1	0.1	0.1	-

Tabla N° 87. Contrastación de hipótesis del parámetro coeficiente de bloqueo.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	0.156	0.039	61.59	2.87
Superplastificante	3	0.291	0.097	153.01	3.10
Interacción	12	0.513	0.043	67.27	2.28
Error	20	0.013	0.001	-	-
Total	39	0.973	-	-	-

APÉNDICE N.º 6.2. Procesamiento estadístico de ensayos del concreto en estado endurecido.

1. Datos Previos.

1.1. Grados de libertad

- Grados de libertad de las variable polvo de mármol (A)

$$G.L. = 5 - 1$$

$$G.L. = 4$$

- Grados de libertad de la variable superplastificante (B):
G.L. = 4 – 1
G.L. = 3
- Grados de libertad de las variables (A) x (B)
G.L. = (5 – 1) x (4 - 1)
G.L. = 12
- Grados de libertad del error.
G.L. = (5 x 4) x (3 – 1)
G.L. = 40

1.2. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % de confianza ($\alpha = 0.05$)

1.3. Criterio de rechazo

La hipótesis alterna (H_1) se acepta si $F_0 > F_{0.05,4,40} = 2.60$, si $F_0 > F_{0.05,3,40} = 2.84$, si

$F_0 > F_{0.05,12,40} = 2.00$

2. Análisis de Varianza y F de Fisher.

2.1. Ensayo porosidad del concreto.

2.1.1. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro porosidad.

Tabla N° 88. Desviación estándar del parámetro porosidad del concreto.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total (%)
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	0.05	0.05	0.05	0.05	0.4
	0.50	0.05	0.11	0.05	0.05	0.5
	1.00	0.05	0.05	0.05	0.10	0.5
	1.50	0.05	0.10	0.05	0.05	0.5
	2.00	0.05	0.05	0.05	0.10	0.9
Desviación estándar total (%)		0.5	0.8	0.1	1.0	-

Tabla N° 89. Contratación de hipótesis del parámetro porosidad.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	30.655	7.664	1 585.60	2.60
Superplastificante	3	9.987	3.329	688.77	2.84
Interacción	12	10.237	0.853	176.50	2.00
Error	40	0.193	0.005	-	-
Total	59	51.072	-	-	-

2.2. Ensayo resistencia a la compresión del concreto.

2.2.1. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro resistencia a la compresión a 28 días de curado.

Tabla N° 90. Desviación estándar del parámetro resistencia a la compresión a 28 días.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total (Kg/cm ²)
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	2	2	2	3	20
	0.50	3	3	3	3	18
	1.00	3	3	4	2	10
	1.50	5	2	4	2	11
	2.00	4	2	3	2	23
Desviación estándar total (Kg/cm ²)		12	9	18	25	-

Tabla N° 91. Contratación de hipótesis del parámetro resistencia a la compresión a 28 días.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	1 822.26	455.56	56.34	2.60
Superplastificante	3	1 928.54	642.85	79.50	2.84
Interacción	12	14 223.09	1 185.26	146.58	2.00
Error	40	323.43	8.09	-	-
Total	59	18 297.32	-	-	-

2.2.2. Análisis de Varianza y F de Fisher para parámetro resistencia a la compresión a 56 días de curado.

Tabla N° 92. Desviación estándar del parámetro resistencia a la compresión a 56 días.

Dosis		Superplastificante (%)				Desviación estándar total (Kg/cm ²)
		0.30	0.35	0.40	0.45	
Polvo de mármol (%)	0.00	2	4	2	3	19
	0.50	2	2	2	3	20
	1.00	3	3	3	2	18
	1.50	3	3	2	3	21
	2.00	3	4	4	2	38
Desviación estándar total (Kg/cm ²)		11	11	35	40	-

Tabla N° 93. Contratación de hipótesis del parámetro resistencia a la compresión a 56 días.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Media de cuadrados	F	Valor crítico para F
Polvo de mármol	4	13 584.94	3 396.24	432.82	2.60
Superplastificante	3	3 203.16	1 067.72	136.07	2.84
Interacción	12	28 874.77	2 406.23	306.65	2.00
Error	40	313.87	7.85	-	-
Total	59	43 194.15	-	-	-

ANEXOS

ANEXO N.º 1. Informe de ensayos de laboratorio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO
Departamento de Ingeniería de Materiales

FACULTAD DE INGENIERÍA
Laboratorio de Concreto

INFORME N°01 - Feb 12

CERTIFICADO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

Solicitante: Jharol Sthiward Quiliche Neira - Universidad Privada del Norte
Tesis: "Influencia del polvo de mármol y superplastificante sobre la compresión, porosidad, capacidad al paso y relleno de un concreto autocompactante, Trujillo 2018"
DNI: 72533324
Asesor: Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro.

1. MUESTRA:

Especímenes: 189 probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura.

Edad de Especímenes: 28 y 56 días

Muestreo: realizado por tesista.

2. ENSAYOS A APLICAR


- Elaboración y curado de probetas cilíndricas de concreto. (ASTM C31)
- Refrendado de testigos cilíndricos de concreto. (ASTM C192)
- Ensayo de resistencia a la compresión. (ASTM C39)
- Ensayo de porosidad del concreto. (ASTM C642)
- Ensayo de capacidad al paso del concreto. (ASTM C1621)
- Ensayo de capacidad de relleno del concreto. (ASTM C1611)

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

Modo	Unidades	Velocidad de Carga
Mode I: Compresión	SI	2.40 KN/seg

4. PARÁMETROS DE LAS MUESTRAS

Fecha de conformación	Estructura	Tiempo de curado
Del 02 de Octubre al 24 de Noviembre.	Concreto autocompactante con polvo de mármol.	28 Y 56 días


Iván E. Vásquez Alfaro
 ING. MATERIALES
 R. OIP 123609

Jefe de Laboratorio:


Ing. Iván Eugenio Vásquez Alfaro

Trujillo, 12 de Febrero del 2018


ANEXO N.º 2. Fichas técnicas de materiales.

ANEXO N.º 2.1. Ficha técnica de superplastificante Neoplast 8700HP.

ADITIVOS RETARDANTES PARA CONCRETO



una empresa @ QUICOR®



NEOPLAST 8700 HP®

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y SUPERPLASTIFICANTE CON RETARDO CONTROLADO

DESCRIPCIÓN

NEOPLAST 8700 HP es un aditivo especialmente desarrollado para incrementar el tiempo de trabajabilidad, reductor de agua de alto rango con retardo y optimizador de cemento en mezclas de concreto, está diseñado para ser empleado en climas cálidos y templados.

APLICACIONES PRINCIPALES

NEOPLAST 8700 HP está especialmente recomendado cuando se requiere:

- Concretos auto-compactados.
- Concreto colocados en climas cálidos y templados.
- Concreto de alta resistencia.
- Concreto fluido de alto desempeño.
- Excelente trabajabilidad.
- Concreto reforzado.

CARACTERÍSTICAS / BENEFICIOS

- Permite transportar la mezcla a larga distancia.
- Mejora la cohesión y reduce la segregación.
- Reduce más del 45% del agua de amasado.
- Proporciona un retardo controlado, dependiendo la dosis empleada.
- Reduce la exudación y contracción del concreto.
- Reduce las fisuras y permeabilidad del concreto.

INFORMACIÓN TÉCNICA

Apariencia : Líquido.
Densidad : 1.11 kg/l
Color : Ámbar.

NORMAS / ESPECIFICACIONES

Este producto cumple con las especificaciones de la norma NTP 334.088 y ASTM C 494 Tipo G (*).



NEOPLAST 8700 HP®

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y SUPERPLASTIFICANTE CON RETARDO CONTROLADO

ADITIVOS RETARDANTES PARA CONCRETO

DIRECCIONES PARA SU USO

- Agregue NEOPLAST 8700 HP al agua restante del amasado de la mezcla o directamente a la mezcla cuando ésta se encuentra húmeda dentro del mezclador, ya sea en la planta o en la obra. No debe entrar en contacto directo con el cemento seco. Las variaciones en la pérdida de asentamiento y fraguado están en función a la cantidad usada del aditivo, característica del cemento y el diseño de mezcla elegido.
- Se puede agregar NEOPLAST 8700 HP manualmente o con dosificadores, es un producto listo para usarse y no requiere agitación o mezclado adicional.

DOSIFICACIÓN

NEOPLAST 8700 HP es usado a una dosificación 0.2– 2.0% por peso del cementos, se recomienda hacer ensayos previos para establecer la dosis.

Se recomienda realizar ensayos previos a la obra para precisar las dosis requeridas, las cuales podrían variar de las dosificaciones recomendadas debido a las diversas condiciones de cada obra y cada tipo de materiales empleados. Cualquier consulta contacte al departamento de Construcción Química Suiza Industrial del Perú.

PRESENTACIÓN


Cilindro 180 kg

Balde 20 kg


PRECAUCIONES / RESTRICCIONES

- Se debe proteger el NEOPLAST 8700 HP contra el congelamiento. Nunca agite con aire.
- Los cambios en los tipos de cemento, agregados y temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto, variando resultados en el concreto fresco y endurecido.
- No es compatible con los aditivos base naftalenos.
- Contáctese con nuestros Asesores Técnicos cada vez que se tenga dudas respecto al uso del producto.


ANEXO N.º 2.2. Ficha técnica de cemento Pacasmayo tipo I.



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



**CEMENTO
TIPO I**
 Cemento Portland Tipo I
 Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
 Pacasmayo, 19 de agosto de 2016



COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisitos NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.1	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.6	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisitos NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	9	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.08	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.1	NO ESPECIFICA

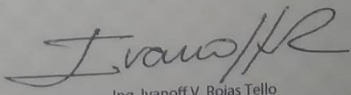
Resistencia Compresión :

Resistencia compresión a 3 días	MPa (kg/cm ²)	31.9 (326)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia compresión a 7 días	MPa (kg/cm ²)	38.6 (394)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia compresión a 28 días (*)	MPa (kg/cm ²)	47.8 (487)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat:

Fraguado Inicial	min	129	Mínimo 45
Fraguado Final	min	285	Máximo 375

* Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2016 al 31-07-2016
 * La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de junio de 2016


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

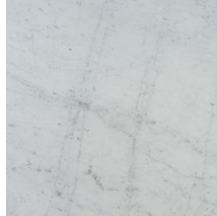
ANEXO N.º 2.3. Ficha técnica de muestras de mármol.

MARMOLERÍA "ATENAS"

Características	Valores	Descripción
Color	Crema rojizo	
Composición CaCO ₃	90 - 95 %	
Estructura	Cristalina	
Absorción (%)	0.15	
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.65	
Volumen de poros abiertos	0.08	
Porosidad aparente (%)	0.37	
Densidad global (g/cm ³)	2.63	

Lugar: Av. Miraflores, cda. 2

MARMOLERÍA "VIRGEN DEL CARMEN"

Características	Valores	Descripción
Color	Blanco azulado	
Composición CaCO ₃	90 - 95 %	
Estructura	Cristalina	
Absorción (%)	0.80	
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.34	
Volumen de poros abiertos	0.45	
Porosidad aparente (%)	1.83	
Densidad global (g/cm ³)	2.29	

Lugar: Av. Tupac Amaru

MARMOLERÍA "J. PINO"

Características	Valores	Descripción
Color	Crema grisáceo	
Composición CaCO ₃	90 - 95 %	
Estructura	Cristalina	
Absorción (%)	0.75	
Peso específico aparente (g/cm ³)	2.47	
Volumen de poros abiertos	0.42	
Porosidad aparente (%)	1.81	
Densidad global (g/cm ³)	2.42	

Lugar: Av. Miraflores, cda. 2

ANEXO N.º 3. Panel fotográfico.



Figura N° 35. Humedad de agregados.



Figura N° 36. Peso unitario de agregados.



Figura N° 37. Análisis granulométrico de agregados.



(a) Selección de muestra de mármol.



(b) Tamizado de muestra de mármol.

Figura N° 38. Proceso de tamizado de muestra de mármol.



(a) Ensayo de conductividad.



(b) Ensayo de pH.

Figura N° 39. Ensayo de conductividad y pH.



Figura N° 40. Ensayo fluidez a través del cono de Marsh.



Figura N° 41. Revenimiento de mezcla control con relación a/c 0.40



(a) Extensión de flujo de mezcla sin segregación.



(b) Extensión de flujo de mezcla segregada.

Figura N° 42. Capacidad de relleno del concreto autocompactante.



(a) Altura de bloqueo a través del anillo J.



(b) Extensión de flujo a través del anillo J.

Figura N° 43. Capacidad al paso del concreto autocompactante.



(a) Refrendado de probetas con azufre.



(b) Resistencia a la compresión de probetas.

Figura N° 44. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas 0.10 x 0.20 m



(a) Peso saturado de probeta cilíndrica.



(b) Peso sumergido de probeta cilíndrica.

Figura N° 45. Porosidad de probetas cilíndricas 0.10 x 0.20 m.

ANEXO N.º 4. Reporte de servicios externos.

ANALISIS DE LABORATORIO

SOLICITADO POR : JHAROL QUILICHE NEIRA
ASUNTO : MOLIENDA DE MARMOL
CANTIDAD DE MUESTRAS : 25 Kg
PROCEDENCIA : La Libertad
FECHA DE RECEPCION : 23/10/2017
FECHA DE ENTREGA : 25/10/2017

ABERTURA DE MALLA (um)	MALLA	%PASANTE
75	200	92.00

Trujillo, 25 de Octubre de 2017


Ing. Juan Vega González
Jefe de Laboratorio
CIP 79515



ANEXO N.º 5. Ley general de residuos sólidos 27314.

CARLOS FERRERO
Presidente del Consejo de Ministros

PILAR MAZZETTI SOLER
Ministra de Salud

ÁLVARO QUIJANDRÍA SALMÓN
Ministro de Agricultura

ROBERTO ENRIQUE CHIABRA LEÓN
Ministro de Defensa

CARLOS BRUCE
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ALFONSO VELÁSQUEZ TUESTA
Ministro de la Producción

JOSÉ ORTIZ RIVERA
Ministro de Transportes y Comunicaciones

REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL DE RESIDUOS SÓLIDOS

**TÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES**

**TÍTULO II
AUTORIDADES COMPETENTES**

**TÍTULO III
MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS**

**Capítulo I
Aspectos Generales**

**Capítulo II
Residuos Sólidos del Ámbito de Gestión Municipal**

**Capítulo III
Residuos Sólidos del Ámbito de Gestión no Municipal**

Sección I

Almacenamiento

**Sección II
Recolección y Transporte**

ANEXO N.º 6. Normas empleadas en el procedimiento experimental.

ANEXO N.º 6.1. Norma ASTM C 939 – Fluidez de pasta de cemento.



Designation: C 939 – 02

Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method)¹

This standard is issued under the fixed designation C 939; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 This test method covers a procedure, used both in the laboratory and in the field, for determining the time of efflux of a specified volume of fluid hydraulic cement grout through a standardized flow cone and used for preplaced-aggregate (PA) concrete; however, the test method may also be used for other fluid grouts.

1.2 It is for use with neat grout and with grouts containing fine aggregate all passing a 2.36-mm (No. 8) sieve.

1.3 This test method is intended for use with grout having an efflux time of 35 s or less.

1.4 When efflux time exceeds 35 s, flowability is better determined by flow table, found in Test Method C 109/C 109M, using 5 drops in 3 s.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 109/C 109M Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)²

C 938 Practice for Proportioning Grout Mixtures for Preplaced-Aggregate Concrete³

3. Summary of Test Method

3.1 The time of efflux of a specified volume of grout from a standardized flow cone is measured.

4. Significance and Use

4.1 This test method is applicable to the determination of the fluidity of various fluid grout mixtures.

5. Interferences

5.1 The presence of solid particles retained on the 2.36-mm (No. 8) sieve or lumps of unmixed material in the grout may cause the grout to flow unevenly through the discharge tube of the flow cone or stop the flow completely. Uneven flow will result in slower transit of the grout, thereby indicating a false consistency.

6. Apparatus

6.1 *Flow Cone*, with dimensions as shown in Fig. 1. The discharge tube shall be stainless steel. The body can be stainless steel, cast aluminum, or other essentially noncorroding metal.

NOTE 1—Cones with high-density polyethylene bodies are acceptable for field use in situations where precision as described in this test method is not required.

6.2 *Receiving Container*, capacity 2000 mL, minimum.

6.3 *Ring Stand* or other device, capable of supporting the flow cone in a vertical, steady position over the receiving container.

6.4 *Level*, carpenter's or similar.

6.5 *Stop Watch*, least reading of not more than 0.2 s.

6.6 *Grout Mixer*, conforming to Practice C 938.

7. Test Sample

7.1 The grout test sample shall be in excess of 1725 mL and shall be representative of the grout in the mixer.

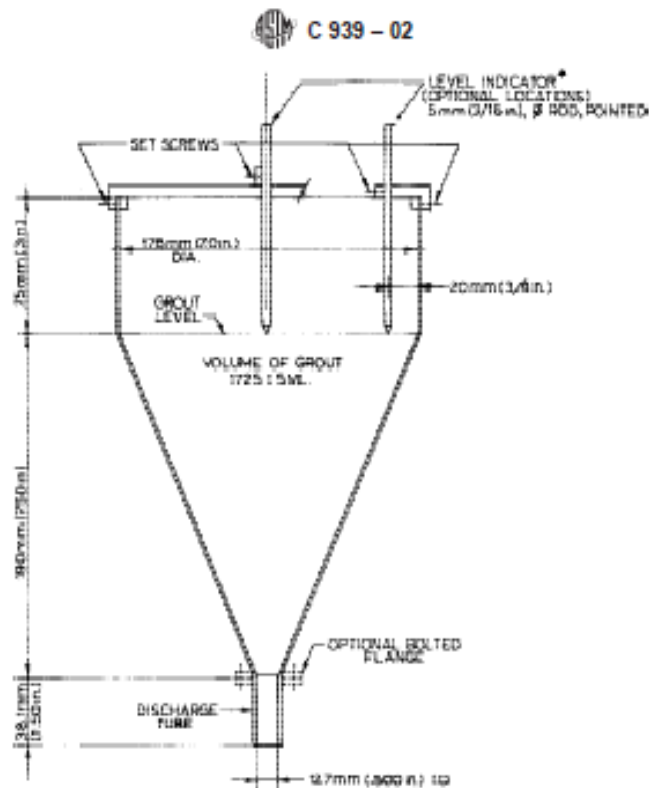
7.2 When sampling and testing is being done for the purpose of proportioning or comparing mixes or for qualifying materials, the temperature of the dry materials and mixing

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.41 on Concrete for Radiation Shielding.

Current edition approved Dec. 10, 2002. Published February 2003. Originally approved in 1981. Last previous edition approved in 1997 as C 939-97.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.



Note 1—Other means of indicating grout level may be used as long as accurate indication of grout level on volume is obtained.
FIG. 1 Cross Section of Flow Cone

water shall be such that the temperature of the freshly mixed grout is $23.0 \pm 2.0^\circ\text{C}$ ($73.5 \pm 3.5^\circ\text{F}$), unless otherwise specified.

8. Calibration of Apparatus

8.1 Mount the flow cone firmly in such a manner that it is free of vibration. Level the top to assure verticality. Close the outlet of the discharge tube with a finger or a stopper. Introduce 1725 ± 5 mL of water into the cone. Adjust the point gage to indicate the level of the water surface. Then allow the water to drain.

8.2 Before first use of the flow cone with grout and periodically thereafter, check the accuracy of the cone by filling it with water as described in 8.1. After checking or adjusting the point gage, start the stop watch and simultaneously remove the finger. Stop the watch at the first break in the continuous flow of water. The time indicated by the stop watch is the time of efflux of water. If this time is 8.0 ± 0.2 s, the cone may be used for determining the time of efflux of grout.

9. Procedure

9.1 Moisten the inside of the flow cone by filling the cone with water and, 1 min before introducing the grout sample, allow the water to drain from the cone. Close the outlet of the

discharge tube with a finger or a stopper. Introduce the grout into the cone until the grout surface rises to contact the point gage, start the stop watch, and simultaneously remove the finger or stopper. Stop the watch at the first break in the continuous flow of grout from the discharge tube, then look into the top of the cone; if the grout has passed sufficiently, such that light is visible through the discharge tube, the time indicated by the stop watch is the time of efflux of the grout. If light is not visible through the discharge tube, then the use of the flow cone is not applicable for grout of this consistency. At least two tests having times of efflux within 1.8 s of their average shall be made for each grout mixture.

9.2 The test for time of efflux shall be made within 1 min of drawing of the grout from the mixer or transmission line. When grout is being placed over a significant period of time, the time of efflux may be determined at selected intervals to demonstrate that the consistency is suitable for the work.

10. Report

10.1 Report the following information:

10.1.1 Identification of sample,

10.1.2 Identification of materials in the sample, the proportions, and whether laboratory-prepared or taken from the field production mix,

ANEXO N.º 6.2. Norma ASTM C 642 – Porosidad y vacíos en concreto endurecido.



Designation: C 642 – 97

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

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

1. Scope

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

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

2. Significance and Use

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

3. Apparatus

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

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

4. Test Specimen

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

5. Procedure

5.1 *Oven-Dry Mass*—Determine the mass of the portions, and dry in an oven at a temperature of 100 to 110°C for not less than 24 h. After removing each specimen from the oven, allow it to cool in dry air (preferably in a desiccator) to a temperature of 20 to 25°C and determine the mass. If the specimen was comparatively dry when its mass was first determined, and the second mass closely agrees with the first, consider it dry. If the

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

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

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

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

6. Calculation

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

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

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

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

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


$$\text{Bulk density after immersion and boiling} = [C/(C - D)]\rho \quad (5)$$

$$\text{Apparent density} = [A/(A - D)]\rho = g_2 \quad (6)$$

$$\text{Volume of permeable pore space (voids), \%} = (g_2 - g_1)/g_2 \times 100 \quad (7)$$

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C-9 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.69 on Miscellaneous Tests.

Current edition approved Jan. 10, 1997. Published March 1997. Originally published as C 642 – 69 T. Last previous edition C 642 – 90.



C 642 - 97

$$\text{or } (C - A)/(C - D) \times 100$$

where:

- A = mass of oven-dried sample in air, g
 B = mass of surface-dry sample in air after immersion, g
 C = mass of surface-dry sample in air after immersion and boiling, g
 D = apparent mass of sample in water after immersion and boiling, g
 g_1 = bulk density, dry, Mg/m³ and
 g_2 = apparent density, Mg/m³
 ρ = density of water = 1 Mg/m³ = 1 g/cm³.

7. Example

7.1 Assume a sample having the following characteristics:

7.1.1 Mass of the solid part of the specimen = 1000 g.

7.1.2 Total volume of specimen (including solids, "permeable" voids, and "impermeable" voids) = 600 cm³.

7.1.3 Absolute density of solid part of specimen = 2.0 Mg/m³.

7.1.4 Void space in specimen contains initially only air (no water).

7.2 Then, it follows that there are 500 cm³ of solids and 100 cm³ of voids making up the specimen, and the void content is $\frac{1}{6}$ = 16.67 %.

7.3 Assume that on immersion 90 mL of water is absorbed.

7.4 Assume that after immersion and boiling 95 mL of water is absorbed.

7.5 Based on the assumptions given in 7.1-7.4 above, the data that would be developed from the procedures given in Section 5 would be as follows:

7.5.1 Oven-dry mass, A = 1000 g

7.5.2 Mass in air after immersion, B = 1090 g

7.5.3 Mass in air after immersion and boiling, C = 1095 g

7.5.4 Apparent mass in water after immersion and boiling, D = 495 g.

NOTE 1—Since loss of mass in water is equal to mass of displaced water, and volume of specimen = 600 cm³, mass of specimen in water after immersion and boiling is 1095 - 600 = 495 g.

7.6 By using the data given above to perform the calculations described in Section 6, the following results will be obtained (Note 2):

$$\begin{aligned} \text{Absorption after immersion, \%} &= [(B - A)/A] \times 100 \\ &= [(1090 - 1000)/1000] \times 100 \\ &= 9.0 \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Absorption after immersion and boiling, \%} &= [(C - A)/A] \times 100 \\ &= [(1095 - 1000)/1000] \times 100 \\ &= 9.5 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{Bulk density, dry} &= [A/(C - D)]\rho \\ &= [1000/(1095 - 495)] \times 1 \\ &= 1.67 \text{ Mg/m}^3 \end{aligned}$$

$$= g_1 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \text{Bulk density after immersion} &= [B/(C - D)]\rho \\ &= [1090/(1095 - 495)] \times 1 \\ &= 1.82 \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Bulk density after immersion and boiling} &= [C/(C - D)]\rho \\ &= [1095/(1095 - 495)] \times 1 \\ &= 1.83 \text{ Mg/m}^3 \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \text{Apparent density} &= [A/(A - D)]\rho \\ &= [1000/(1000 - 495)] \times 1 \\ &= 1.98 \text{ Mg/m}^3 \\ &= g_2 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\text{Volume of permeable voids, \%} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} &= [(g_2 - g_1)/g_2] \times 100 = [(1.98 - 1.67)/1.98] \times 100 \\ &= 15.8, \text{ or } [(C - A)/(C - D)] \times 100 \\ &= [(1095 - 1000)/(1095 - 495)] \times 100 = 15.7 \end{aligned}$$

NOTE 2—This test method does not involve a determination of absolute density. Hence, such pore space as may be present in the specimen that is not emptied during the specified drying or is not filled with water during the specified immersion and boiling or both is considered "impermeable" and is not differentiated from the solid portion of the specimen for the calculations, especially those for percent voids. In the example discussed it was assumed that the absolute density of the solid portion of the specimen was 2.0 Mg/m³, the total void space was 16.67 %, and the impermeable void space was 5 cm³. The operations, if performed, and the calculations, if performed as described, have the effect of assuming that there are 95 cm³ of pore space and 505 cm³ of solids, and indicate that the solid material, therefore, has an apparent density of 1.98 rather than the absolute density of 2.00 Mg/m³ and the specimen has a percentage of voids of 15.8 rather than 16.67.

Depending on the pore size distribution and the pore entry radii of the concrete and on the purposes for which the test results are desired, the procedures of this test method may be adequate, or they may be insufficiently rigorous. In the event that it is desired to fill more of the pores than will be filled by immersion and boiling, various techniques involving the use of vacuum treatment or increased pressures may be used. If a rigorous measure of total pore space is desired, this can only be obtained by determining absolute density by first reducing the sample to discrete particles, each of which is sufficiently small so that no impermeable pore space can exist within any of the particles. If the absolute density were determined and designated g_3 , then:

$$\begin{aligned} \text{Total void volume, \%} &= (g_3 - g_1)/g_3 \times 100 \\ &= (2.00 - 1.67)/2.00 \times 100 = 16.5 \end{aligned} \quad (15)$$

8. Precision and Bias

8.1 *Precision*—At present there are insufficient data available to justify attempting to develop a precision statement for this test method.

8.2 *Bias*—Bias for this test method cannot be determined since there is no reference standard available for comparison.

9. Keywords

9.1 absorption; concrete-hardened; density; voids

ANEXO N.º 6.3. Norma ASTM C 39 – Resistencia a la compresión de muestras cilíndricas.



Designation: C 39/C 39M – 03

**Standard Test Method for
Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens¹**

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

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

1. Scope

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

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 31/C 31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field²
- C 42/C 42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete²
- C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²
- C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²
- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²
- C 873 Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds²

C 1077 Practice for Laboratories Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Laboratory Evaluation²

C 1231/C 1231M Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders²

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines³

E 74 Practice for Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Load Indication of Testing Machines³

Manual of Aggregate and Concrete Testing²

2.2 *American Concrete Institute:*

CP-16 Concrete Laboratory Testing Technician, Grade I⁴

3. Summary of Test Method

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

4. Significance and Use

4.1 Care must be exercised in the interpretation of the significance of compressive strength determinations by this test method since strength is not a fundamental or intrinsic property of concrete made from given materials. Values obtained will depend on the size and shape of the specimen, batching, mixing procedures, the methods of sampling, molding, and fabrication and the age, temperature, and moisture conditions during curing.

4.2 This test method is used to determine compressive strength of cylindrical specimens prepared and cured in accordance with Practices C 31/C 31M, C 192/C 192M, C 617, and C 1231/C 1231M and Test Methods C 42/C 42M and C 873.

4.3 The results of this test method are used as a basis for quality control of concrete proportioning, mixing, and placing


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

Current edition approved July 10, 2003. Published October 2003. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2001 as C 39/C 39M – 01.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁴ Available from American Concrete Institute, P.O. Box 9094, Farmington Hills, MI 48333-9094.



C 39/C 39M – 03

operations; determination of compliance with specifications; control for evaluating effectiveness of admixtures; and similar uses.

4.4 The individual who tests concrete cylinders for acceptance testing shall have demonstrated a knowledge and ability to perform the test procedure equivalent to the minimum guidelines for certification of Concrete Laboratory Technician, Level I, in accordance with ACI CP-16.

NOTE 1—The testing laboratory performing this test method should be evaluated in accordance with Practice C 1077.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—The testing machine shall be of a type having sufficient capacity and capable of providing the rates of loading prescribed in 7.5.

5.1.1 Verify calibration of the testing machines in accordance with Practices E 4, except that the verified loading range shall be as required in 5.3.2. Verification is required under the following conditions:

5.1.1.1 After an elapsed interval since the previous verification of 18 months maximum, but preferably after an interval of 12 months,

5.1.1.2 On original installation or relocation of the machine,

5.1.1.3 Immediately after making repairs or adjustments that affect the operation of the force applying system of the machine or the values displayed on the load indicating system, except for zero adjustments that compensate for the mass of bearing blocks or specimen, or both, or

5.1.1.4 Whenever there is reason to doubt the accuracy of the results, without regard to the time interval since the last verification.

5.1.2 *Design*—The design of the machine must include the following features:

5.1.2.1 The machine must be power operated and must apply the load continuously rather than intermittently, and without shock. If it has only one loading rate (meeting the requirements of 7.5), it must be provided with a supplemental means for loading at a rate suitable for verification. This supplemental means of loading may be power or hand operated.

5.1.2.2 The space provided for test specimens shall be large enough to accommodate, in a readable position, an elastic calibration device which is of sufficient capacity to cover the potential loading range of the testing machine and which complies with the requirements of Practice E 74.

NOTE 2—The types of elastic calibration devices most generally available and most commonly used for this purpose are the circular proving ring or load cell.

5.1.3 *Accuracy*—The accuracy of the testing machine shall be in accordance with the following provisions:

5.1.3.1 The percentage of error for the loads within the proposed range of use of the testing machine shall not exceed $\pm 1.0\%$ of the indicated load.

5.1.3.2 The accuracy of the testing machine shall be verified by applying five test loads in four approximately equal increments in ascending order. The difference between any two successive test loads shall not exceed one third of the difference between the maximum and minimum test loads.

5.1.3.3 The test load as indicated by the testing machine and the applied load computed from the readings of the verification device shall be recorded at each test point. Calculate the error, E , and the percentage of error, E_p , for each point from these data as follows:

$$E = A - B \quad (1)$$

$$E_p = 100(A - B)/B$$

where:

A = load, lbf [kN] indicated by the machine being verified, and

B = applied load, lbf [kN] as determined by the calibrating device.

5.1.3.4 The report on the verification of a testing machine shall state within what loading range it was found to conform to specification requirements rather than reporting a blanket acceptance or rejection. In no case shall the loading range be stated as including loads below the value which is 100 times the smallest change of load estimable on the load-indicating mechanism of the testing machine or loads within that portion of the range below 10% of the maximum range capacity.

5.1.3.5 In no case shall the loading range be stated as including loads outside the range of loads applied during the verification test.


5.1.3.6 The indicated load of a testing machine shall not be corrected either by calculation or by the use of a calibration diagram to obtain values within the required permissible variation.

5.2 The testing machine shall be equipped with two steel bearing blocks with hardened faces (Note 3), one of which is a spherically seated block that will bear on the upper surface of the specimen, and the other a solid block on which the specimen shall rest. Bearing faces of the blocks shall have a minimum dimension at least 3% greater than the diameter of the specimen to be tested. Except for the concentric circles described below, the bearing faces shall not depart from a plane by more than 0.001 in. [0.02 mm] in any 6 in. [150 mm] of blocks 6 in. [150 mm] in diameter or larger, or by more than 0.001 in. [0.02 mm] in the diameter of any smaller block; and new blocks shall be manufactured within one half of this tolerance. When the diameter of the bearing face of the spherically seated block exceeds the diameter of the specimen by more than 0.5 in. [13 mm], concentric circles not more than 0.03 in. [0.8 mm] deep and not more than 0.04 in. [1 mm] wide shall be inscribed to facilitate proper centering.

NOTE 3—It is desirable that the bearing faces of blocks used for compression testing of concrete have a Rockwell hardness of not less than 55 HRC.

5.2.1 Bottom bearing blocks shall conform to the following requirements:

5.2.1.1 The bottom bearing block is specified for the purpose of providing a readily machinable surface for maintenance of the specified surface conditions (Note 4). The top and bottom surfaces shall be parallel to each other. If the testing machine is so designed that the platen itself is readily maintained in the specified surface condition, a bottom block is not required. Its least horizontal dimension shall be at least 3%

 C 39/C 39M - 03

greater than the diameter of the specimen to be tested. Concentric circles as described in 5.2 are optional on the bottom block.

NOTE 4—The block may be fastened to the platen of the testing machine.

5.2.1.2 Final centering must be made with reference to the upper spherical block. When the lower bearing block is used to assist in centering the specimen, the center of the concentric rings, when provided, or the center of the block itself must be directly below the center of the spherical head. Provision shall be made on the platen of the machine to assure such a position.

5.2.1.3 The bottom bearing block shall be at least 1 in. [25 mm] thick when new, and at least 0.9 in. [22.5 mm] thick after any resurfacing operations.

5.2.2 The spherically seated bearing block shall conform to the following requirements:

5.2.2.1 The maximum diameter of the bearing face of the suspended spherically seated block shall not exceed the values given below:

Diameter of Test Specimens, in. (mm)	Maximum Diameter of Bearing Face, in. (mm)
2 (50)	4 (105)
3 (75)	5 (130)
4 (100)	6.5 (165)
6 (150)	10 (255)
8 (200)	11 (280)

NOTE 5—Square bearing faces are permissible, provided the diameter of the largest possible inscribed circle does not exceed the above diameter.

5.2.2.2 The center of the sphere shall coincide with the surface of the bearing face within a tolerance of $\pm 5\%$ of the radius of the sphere. The diameter of the sphere shall be at least 75% of the diameter of the specimen to be tested.

5.2.2.3 The ball and the socket shall be designed so that the steel in the contact area does not permanently deform when loaded to the capacity of the testing machine.

NOTE 6—The preferred contact area is in the form of a ring (described as preferred "bearing" area) as shown on Fig. 1.

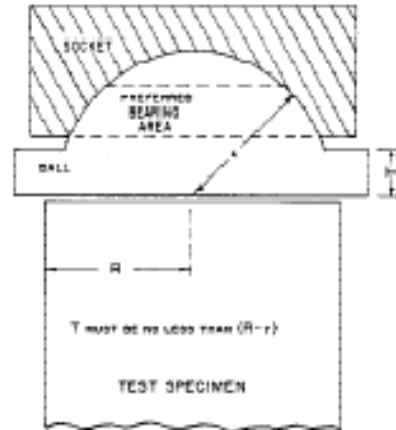
5.2.2.4 The curved surfaces of the socket and of the spherical portion shall be kept clean and shall be lubricated with a petroleum-type oil such as conventional motor oil, not with a pressure type grease. After contacting the specimen and application of small initial load, further tilting of the spherically seated block is not intended and is undesirable.

5.2.2.5 If the radius of the sphere is smaller than the radius of the largest specimen to be tested, the portion of the bearing face extending beyond the sphere shall have a thickness not less than the difference between the radius of the sphere and radius of the specimen. The least dimension of the bearing face shall be at least as great as the diameter of the sphere (see Fig. 1).

5.2.2.6 The movable portion of the bearing block shall be held closely in the spherical seat, but the design shall be such that the bearing face can be rotated freely and tilted at least 4° in any direction.

5.3 Load Indication:

5.3.1 If the load of a compression machine used in concrete testing is registered on a dial, the dial shall be provided with a



NOTE—Provision shall be made for holding the ball in the socket and for holding the entire unit in the testing machine.

FIG. 1 Schematic Sketch of a Typical Spherical Bearing Block

graduated scale that is readable to at least the nearest 0.1% of the full scale load (Note 7). The dial shall be readable within 1% of the indicated load at any given load level within the loading range. In no case shall the loading range of a dial be considered to include loads below the value that is 100 times the smallest change of load that can be read on the scale. The scale shall be provided with a graduation line equal to zero and so numbered. The dial pointer shall be of sufficient length to reach the graduation marks; the width of the end of the pointer shall not exceed the clear distance between the smallest graduations. Each dial shall be equipped with a zero adjustment located outside the dialcase and easily accessible from the front of the machine while observing the zero mark and dial pointer. Each dial shall be equipped with a suitable device that at all times, until reset, will indicate to within 1% accuracy the maximum load applied to the specimen.

NOTE 7—Readability is considered to be 0.02 in. [0.5 mm] along the arc described by the end of the pointer. Also, one half of a scale interval is readable with reasonable certainty when the spacing on the load indicating mechanism is between 0.04 in. [1 mm] and 0.06 in. [2 mm]. When the spacing is between 0.06 and 0.12 in. [2 and 3 mm], one third of a scale interval is readable with reasonable certainty. When the spacing is 0.12 in. [3 mm] or more, one fourth of a scale interval is readable with reasonable certainty.

5.3.2 If the testing machine load is indicated in digital form, the numerical display must be large enough to be easily read. The numerical increment must be equal to or less than 0.10% of the full scale load of a given loading range. In no case shall the verified loading range include loads less than the minimum numerical increment multiplied by 100. The accuracy of the indicated load must be within 1.0% for any value displayed within the verified loading range. Provision must be made for adjusting to indicate true zero at zero load. There shall be provided a maximum load indicator that at all times until reset will indicate within 1% system accuracy the maximum load applied to the specimen.

5.4 Provide a means for containing fragments in the event of explosive rupture of the cylinder during testing.

 C 39/C 39M - 03

NOTE 8—The tendency for explosive rupture increases with increasing concrete strength and it is more likely when the testing machine is relatively flexible. Refer to the section on safety precautions in the Manual of Aggregate and Concrete Testing (gray pages) for recommended approaches to contain concrete fragments.

6. Specimens

6.1 Specimens shall not be tested if any individual diameter of a cylinder differs from any other diameter of the same cylinder by more than 2 %.

NOTE 9—This may occur when single use molds are damaged or deformed during shipment, when flexible single use molds are deformed during molding, or when a core drill deflects or shifts during drilling.

6.2 Prior to testing, neither end of test specimens shall depart from perpendicularity to the axis by more than 0.5° (approximately equivalent to 0.12 in. in 12 in. [1 mm in 100 mm]). The ends of compression test specimens that are not plane within 0.002 in. [0.050 mm] shall be sawed or ground to meet that tolerance, or capped in accordance with either Practice C 617 or, when permitted, Practice C 1231/C 1231M. The diameter used for calculating the cross-sectional area of the test specimen shall be determined to the nearest 0.01 in. [0.25 mm] by averaging two diameters measured at right angles to each other at about midheight of the specimen.

6.3 The number of individual cylinders measured for determination of average diameter is not prohibited from being reduced to one for each ten specimens or three specimens per day, whichever is greater, if all cylinders are known to have been made from a single lot of reusable or single-use molds which consistently produce specimens with average diameters within a range of 0.02 in. [0.5 mm]. When the average diameters do not fall within the range of 0.02 in. [0.5 mm] or when the cylinders are not made from a single lot of molds, each cylinder tested must be measured and the value used in calculation of the unit compressive strength of that specimen. When the diameters are measured at the reduced frequency, the cross-sectional areas of all cylinders tested on that day shall be computed from the average of the diameters of the three or more cylinders representing the group tested that day.

6.4 The length shall be measured to the nearest 0.05 *D* when the length to diameter ratio is less than 1.8, or more than 2.2, or when the volume of the cylinder is determined from measured dimensions.

7. Procedure

7.1 Compression tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practicable after removal from moist storage.

7.2 Test specimens shall be kept moist by any convenient method during the period between removal from moist storage and testing. They shall be tested in the moist condition.

7.3 All test specimens for a given test age shall be broken within the permissible time tolerances prescribed as follows:

Test Age	Permissible Tolerance
24 h	± 0.5 h or 2.1 %
3 days	2 h or 2.8 %
7 days	8 h or 3.8 %
28 days	20 h or 3.0 %
90 days	2 days 2.2 %

7.4 *Placing the Specimen*—Place the plain (lower) bearing block, with its hardened face up, on the table or platen of the testing machine directly under the spherically seated (upper) bearing block. Wipe clean the bearing faces of the upper and lower bearing blocks and of the test specimen and place the test specimen on the lower bearing block. Carefully align the axis of the specimen with the center of thrust of the spherically seated block.

7.4.1 *Zero Verification and Block Seating*—Prior to testing the specimen, verify that the load indicator is set to zero. In cases where the indicator is not properly set to zero, adjust the indicator (Note 10). As the spherically seated block is brought to bear on the specimen, rotate its movable portion gently by hand so that uniform seating is obtained.

NOTE 10—The technique used to verify and adjust load indicator to zero will vary depending on the machine manufacturer. Consult your owner's manual or compression machine calibrator for the proper technique.

7.5 *Rate of Loading*—Apply the load continuously and without shock.

7.5.1 For testing machines of the screw type, the moving head shall travel at a rate of approximately 0.05 in. [1 mm]/min when the machine is running idle. For hydraulically operated machines, the load shall be applied at a rate of movement (platen to crosshead measurement) corresponding to a loading rate on the specimen within the range of 20 to 50 psi/s [0.15 to 0.35 MPa/s]. The designated rate of movement shall be maintained at least during the latter half of the anticipated loading phase of the testing cycle.

7.5.2 During the application of the first half of the anticipated loading phase a higher rate of loading shall be allowed.

7.5.3 Make no adjustment in the rate of movement of the platen at any time while a specimen is yielding rapidly immediately before failure.

7.6 Apply the load until the specimen fails, and record the maximum load carried by the specimen during the test. Note the type of failure and the appearance of the concrete.

8. Calculation


8.1 Calculate the compressive strength of the specimen by dividing the maximum load carried by the specimen during the test by the average cross-sectional area determined as described in Section 6 and express the result to the nearest 10 psi [0.1 MPa].

8.2 If the specimen length to diameter ratio is 1.75 or less, correct the result obtained in 8.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table Note 11:

L/D:	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor:	0.98	0.98	0.93	0.87

Use interpolation to determine correction factors for L/D values between those given in the table.

NOTE 11—Correction factors depend on various conditions such as moisture condition, strength level, and elastic modulus. Average values are given in the table. These correction factors apply to low-density concrete weighing between 100 and 120 lb/ft³ [1600 and 1920 kg/m³] and to normal-density concrete. They are applicable to concrete dry or soaked at the time of loading and for nominal concrete strengths from 2000 to 6000



C 39/C 39M – 03

psi [14 to 42 MPa]. For strengths higher than 6000 psi [42 MPa] a well-mixed sample of concrete is given for cylinders made in correction factors may be larger than the values listed above⁵.

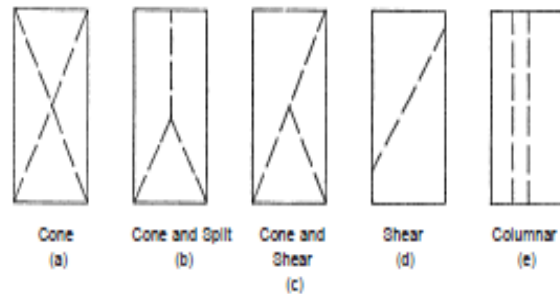


FIG. 2 Sketches of Types of Fracture

9. Report

- 9.1 Report the following information:
 - 9.1.1 Identification number,
 - 9.1.2 Diameter (and length, if outside the range of $1.8 D$ to $2.2 D$), in inches [millimetres],
 - 9.1.3 Cross-sectional area, in square inches [square millimetres],
 - 9.1.4 Maximum load, in pounds-force [kilonewtons],
 - 9.1.5 Compressive strength calculated to the nearest 10 psi [0.1 MPa],
 - 9.1.6 Type of fracture, if other than the usual cone (see Fig. 2),
 - 9.1.7 Defects in either specimen or caps, and,
 - 9.1.8 Age of specimen.

10. Precision and Bias

10.1 *Precision*—The single operator precision of tests of individual 6 by 12 in. [150 by 300 mm] cylinders made from

a laboratory environment and under normal field conditions (see 10.1.1).

	Coefficient of Variation ⁴	Acceptable Range of ⁴	
		2 results	3 results
Single operator			
Laboratory conditions	2.37 %	6.6 %	7.8 %
Field conditions	2.87 %	8.0 %	9.5 %

⁴ These numbers represent respectively the (1s) and (d2s) limits as described in Practice C 670.

10.1.1 The values given are applicable to 6 by 12 in. [150 by 300 mm] cylinders with compressive strength between 2000 and 8000 psi [15 to 55 MPa]. They are derived from CCRL concrete reference sample data for laboratory conditions and a collection of 1265 test reports from 225 commercial testing laboratories in 1978.⁶

NOTE 12—Subcommittee C09.03 will re-examine recent CCRL Concrete Reference Sample Program data and field test data to see if these values are representative of current practice and if they can be extended to cover a wider range of strengths and specimen sizes.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material, no statement on bias is being made.

⁵ Bartlett, F.M. and MacGregor, J.G., "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength," *ACI Materials Journal*, Vol 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.

⁶ Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR: C09-1006.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO N.º 5.4. Norma ASTM C 31 – Elaboración y curado de especímenes de concreto.



Designation: C 31/C 31M – 03a

Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field¹

This standard is issued under the fixed designation C 31/C 31M, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

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

1. Scope

1.1 This practice covers procedures for making and curing cylinder and beam specimens from representative samples of fresh concrete for a construction project.

1.2 The concrete used to make the molded specimens shall be sampled after all on-site adjustments have been made to the mixture proportions, including the addition of mix water and admixtures. This practice is not satisfactory for making specimens from concrete not having measurable slump or requiring other sizes or shapes of specimens.

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

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

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

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates²
- C 138/C 138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete²
- C 143/C 143M Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete²
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete²
- C 173/C 173M Test Method for Air Content of Freshly

Mixed Concrete by the Volumetric Method²

- C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory²
- C 231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method²
- C 330 Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete²
- C 403/C 403M Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance²
- C 470/C 470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically²
- C 511 Specification for Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes³
- C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens²
- C 1064/C 1064M Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete²
- 2.2 *American Concrete Institute Publication:*⁴
 - CP-1 Concrete Field Testing Technician, Grade I
 - 309R Guide for Consolidation of Concrete

3. Terminology

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

4. Significance and Use

4.1 This practice provides standardized requirements for making, curing, protecting, and transporting concrete test specimens under field conditions.

4.2 If the specimens are made and standard cured, as stipulated herein, the resulting strength test data when the specimens are tested are able to be used for the following purposes:

- 4.2.1 Acceptance testing for specified strength,
- 4.2.2 Checking adequacy of mixture proportions for strength, and


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

Current edition approved Feb. 10, 2003. Published April 2003. Originally approved in 1920. Last previous edition approved in 2003 as C 31/C 31M-03.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

⁴ Available from American Concrete Institute, P.O. Box 9094, Farmington Hills, MI 48333-9094.

 C 31/C 31M – 03a

7. Sampling Concrete

7.1 The samples used to fabricate test specimens under this standard shall be obtained in accordance with Practice C 172 unless an alternative procedure has been approved.

7.2 Record the identification of the sample with respect to the location of the concrete represented and the time of casting.

8. Slump, Air Content, and Temperature

8.1 *Slump*—Measure and record the slump of each batch of concrete from which specimens are made immediately after remixing in the receptacle, as required in Test Method C 143/C 143M.

8.2 *Air Content*—Determine and record the air content in accordance with either Test Method C 173/C 173M or Test Method C 231. The concrete used in performing the air content test shall not be used in fabricating test specimens.

8.3 *Temperature*—Determine and record the temperature in accordance with Test Method C 1064/C 1064M.

Note 3—Some specifications may require the measurement of the unit weight of concrete. The volume of concrete produced per batch may be desired on some projects. Also, additional information on the air content measurements may be desired. Test Method C 138/C 138M is used to measure the unit weight, yield, and gravimetric air content of freshly mixed concrete.

9. Molding Specimens

9.1 *Place of Molding*—Mold specimens promptly on a level, rigid surface, free of vibration and other disturbances, at a place as near as practicable to the location where they are to be stored.

9.2 *Casting Cylinders*—Select the proper tamping rod from 5.4 and Table 1 or the proper vibrator from 5.5. Determine the method of consolidation from Table 2, unless another method is specified. If the method of consolidation is rodding, determine molding requirements from Table 3. If the method of consolidation is vibration, determine molding requirements from Table 4. Select a small tool of a size and shape large enough so each amount of concrete obtained from the sampling receptacle will be representative and small enough so concrete is not lost when being placed in the mold. While placing the concrete in the mold, move the small tool around the perimeter of the mold opening to ensure an even distribution of the concrete and minimize segregation. Each layer of concrete shall be consolidated as required. In placing the final layer, add an amount of concrete that will fill the mold after consolidation.

9.3 *Casting Beams*—Select the proper tamping rod from 5.4 and Table 1 or proper vibrator from 5.5. Determine the method of consolidation from Table 2, unless another method is specified. If the method of consolidation is rodding, determine the molding requirements from Table 3. If the method of consolidation is vibration, determine the molding requirements from Table 4. Determine the number of roddings per layer, one

TABLE 2 Method of Consolidation Requirements

Slump in. (mm)	Method of Consolidation
≥ 1 [25]	rodding or vibration
< 1 [25]	vibration

TABLE 3 Molding Requirements by Rodding

Specimen Type and Size	Number of Layers of Approximately Equal Depth	Number of Roddings per Layer
Cylinders:		
Diameter, in. (mm)		
4 [100]	2	25
6 [150]	3	25
9 [225]	4	50
Beams:		
Width, in. (mm)		
6 [150] to 8 [200]	2	see 9.3
>8 [200]	3 or more equal depths, each not to exceed 6 in. [150 mm].	see 9.3

TABLE 4 Molding Requirements by Vibration

Specimen Type and Size	Number of Layers	Number of Vibrator Insertions per Layer	Approximate Depth of Layer, in. (mm)
Cylinders:			
Diameter, in. (mm)			
4 [100]	2	1	one-half depth of specimen
6 [150]	2	2	one-half depth of specimen
9 [225]	2	4	one-half depth of specimen
Beams:			
Width, in. (mm)			
6 [150] to 8 [200]	1	see 9.4.2	depth of specimen
over 8 [200]	2 or more	see 9.4.2	8 [200] as near as practicable

for each 2 in.² [14 cm²] of the top surface area of the beam. Select a small tool, of the size and shape large enough so each amount of concrete obtained from the sampling receptacle is representative and small enough so concrete is not lost when placed in the mold. Each layer shall be consolidated as required. In placing the final layer, add an amount of concrete that will fill the mold after consolidation. Place the concrete so that it is uniformly distributed within each layer with a minimum of segregation.

9.4 *Consolidation*—The methods of consolidation for this practice are rodding or internal vibration.

9.4.1 *Rodding*—Place the concrete in the mold, in the required number of layers of approximately equal volume. Rod each layer with the rounded end of the rod using the required number of roddings. Rod the bottom layer throughout its depth. Distribute the roddings uniformly over the cross section of the mold. For each upper layer, allow the rod to penetrate through the layer being rodded and into the layer below approximately 1 in. [25 mm]. After each layer is rodded, tap the outsides of the mold lightly 10 to 15 times with the mallet, to close any holes left by rodding and to release any large air bubbles that may have been trapped. Use an open hand to tap light-gage single-use cylinder molds which are susceptible to damage if tapped with a mallet. After tapping, spade each layer of the concrete along the sides and ends of beam molds with a trowel or other suitable tool. Underfilled molds shall be adjusted with representative concrete during consolidation of the top layer. Overfilled molds shall have excess concrete removed.

ANEXO N.º 6.5. Norma ASTM C 494 – Especificaciones de aditivos químicos para el concreto.



Designation: C 494/C 494M – 04

Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete¹

This standard is issued under the fixed designation C 494/C 494M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

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

1. Scope

1.1 This specification covers materials for use as chemical admixtures to be added to hydraulic-cement concrete mixtures in the field for the purpose or purposes indicated for the seven types as follows:

- 1.1.1 *Type A*—Water-reducing admixtures,
- 1.1.2 *Type B*—Retarding admixtures,
- 1.1.3 *Type C*—Accelerating admixtures,
- 1.1.4 *Type D*—Water-reducing and retarding admixtures,
- 1.1.5 *Type E*—Water-reducing and accelerating admixtures,
- 1.1.6 *Type F*—Water-reducing, high range admixtures, and
- 1.1.7 *Type G*—Water-reducing, high range, and retarding admixtures.

1.2 This specification stipulates tests of an admixture with suitable concreting materials as described in 11.1-11.3 or with cement, pozzolan, aggregates, and an air-entraining admixture proposed for specific work (11.4). Unless specified otherwise by the purchaser, the tests shall be made using concreting materials as described in 11.1-11.3.

NOTE 1—It is recommended that, whenever practicable, tests be made using the cement, pozzolan, aggregates, air-entraining admixture, and the mixture proportions, batching sequence, and other physical conditions proposed for the specific work (11.4) because the specific effects produced by chemical admixtures may vary with the properties and proportions of the other ingredients of the concrete. For instance, Types F and G admixtures may exhibit much higher water reduction in concrete mixtures having higher cement factors than that listed in 12.1.1.

Mixtures having a high range water reduction generally display a higher rate of slump loss. When high-range admixtures are used to impart increased workability (6 to 8-in. slump [150 to 200-mm]), the effect may be of limited duration, reverting to the original slump in 30 to 60 min depending on factors normally affecting rate of slump loss. The use of chemical admixtures to produce high-slump (flowing) concrete is covered by Specification C 1017.

NOTE 2—The purchaser should ensure that the admixture supplied for use in the work is equivalent in composition to the admixture subjected to test under this specification (see Section 6, Uniformity and Equivalence).

NOTE 3—Admixtures that contain relatively large amounts of chloride may accelerate corrosion of prestressing steel. Compliance with the requirements of this specification does not constitute assurance of acceptability of the admixture for use in prestressed concrete.

1.3 This specification provides for three levels of testing.

1.3.1 *Level 1*—During the initial approval stage, proof of compliance with the performance requirements defined in Table 1 demonstrates that the admixture meets the requirements of this specification. Uniformity and equivalence tests of Section 6 shall be carried out to provide results against which later comparisons can be made.

1.3.2 *Level 2*—Limited retesting is described in 5.2, 5.2.1 and 5.2.2. Proof of compliance with the requirements of Table 1 demonstrates continued conformity of the admixture with the requirements of the specification.

1.3.3 *Level 3*—For acceptance of a lot or for measuring uniformity within or between lots, when specified by the purchaser, the uniformity and equivalence tests of Section 6 shall be used.

1.4 The values stated in either inch-pound or SI units shall be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system must be used independently of the other, without combining values in any way.

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

1.6 The following precautionary caveat pertains only to the test method sections, Sections 11-18 of this Specification: *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C9.23 on Chemical Admixtures.

Current edition approved Jan. 1, 2004. Published February 2004. Originally approved in 1962. Last previous edition approved in 1999 as C 494 – 99a¹.



C 494/C 494M – 04

TABLE 1 Physical Requirements^A

	Type A, Water Reducing	Type B, Retarding	Type C, Acceler- ating	Type D, Water Reducing and Retarding	Type E, Water Reducing and Accelerating	Type F, Water Reducing, High Range	Type G, Water Reducing, High Range and Retarding
Water content, max, % of control	95	—	—	95	95	88	88
Time of setting, allowable deviation from control, h:min:							
Initial: at least	—	1:00 later	1:00 earlier	1:00 later	1:00 earlier	—	1:00 later
not more than	1:00 earlier nor 1:30 later	3:30 later	3:30 earlier	3:30 later	3:30 earlier	1:00 earlier nor 1:30 later	3:30 later
Final: at least	—	—	1:00 earlier	—	1:00 earlier	—	—
not more than	1:00 earlier nor 1:30 later	3:30 later	—	3:30 later	—	1:00 earlier nor 1:30 later	3:30 later
Compressive strength, min, % of control: ^B							
1 day	—	—	—	—	—	140	125
3 days	110	90	125	110	125	125	125
7 days	110	90	100	110	110	115	115
28 days	110	90	100	110	110	110	110
6 months	100	90	90	100	100	100	100
1 year	100	90	90	100	100	100	100
Flexural strength, min, % control: ^B							
3 days	100	90	110	100	110	110	110
7 days	100	90	100	100	100	100	100
28 days	100	90	90	100	100	100	100
Length change, max shrinkage (alternative requirements): ^C							
Percent of control	135	135	135	135	135	135	135
Increase over control	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Relative durability factor, min: ^D	80	80	80	80	80	80	80

^A The values in the table include allowance for normal variation in test results. The object of the 90 % compressive strength requirement for a Type-B admixture is to require a level of performance comparable to that of the reference concrete.

^B The compressive and flexural strength of the concrete containing the admixture under test at any test age shall be not less than 90 % of that attained at any previous test age. The objective of this limit is to require that the compressive or flexural strength of the concrete containing the admixture under test shall not decrease with age.

^C Alternative requirements, see 17.1.4, % of control limit applies when length change of control is 0.030 % or greater; increase over control limit applies when length change of control is less than 0.030 %.

^D This requirement is applicable only when the admixture is to be used in air-entrained concrete which may be exposed to freezing and thawing while wet.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- C 33 Specification for Concrete Aggregates
- C 39/C 39M Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- C 78 Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)
- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates
- C 138 Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
- C 143/C 143M Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete
- C 150 Specification for Portland Cement
- C 157/C 157M Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement, Mortar, and Concrete

- C 183 Practice for Sampling and the Amount of Testing of Hydraulic Cement
- C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
- C 231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method
- C 260 Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete
- C 403/C 403M Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance
- C 666 Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
- C 1017 Specification for Chemical Admixtures for Use in Producing Flowing Concrete
- D 75 Practice for Sampling Aggregates
- D 1193 Specification for Reagent Water
- E 100 Specification for ASTM Hydrometers
- Manual of Aggregate and Concrete Testing
- 2.2 American Concrete Institute Standard:
- ACI 211.1-91 Standard Practice for Selecting Proportions

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

ANEXO N.º 6.6. NTP 400.012 – Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.

NORMA TÉCNICA	NTP 400.012
PERUANA	2001

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

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

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

2001-05-31
2ª Edición

R.0071-2001 INDECOPI-CRT. Publicada el 2001-06-17 Precio basado en 14 páginas
I.C.S.: 91.100.30 **ESTA NORMA ES RECOMENDABLE**
Descriptor: Agregado, agregado grueso, agregado fino, serie, gradación, análisis por tamizado, análisis
granulométrico

ANEXO N.º 6.7. EFNARC – Especificaciones y directrices para el hormigón autocompactable.



EFNARC
"achieving the highest standards"

Especificaciones y directrices
para el
Hormigón autocompactable - HAC

Febrero de 2002

EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK

Tel.: +44 (0)12525 739147 Fax: +44 (0)1252 739140 www.efnarc.org

ISBN 0 8638733 7 8

© EFNARC 2003