

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

SECCION INGENIERÍA CIVIL



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

TEMA:

**OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO
UTILIZANDO MATERIALES DE PROCEDENCIA NACIONAL**

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:

ALUMNOS: RONALD KENYO ARRIETA ZAPATA

DANIEL EDUARDO MEDINA CORDOVA

ASESORES: ING. LUCIANO LOPEZ

ING. LAURA NAVARRO

Lima, abril de 2019

RESUMEN

El presente proyecto busca investigar un método de diseño de mezcla para fabricar concreto de alto desempeño que permita construir estructuras cada vez más desafiantes tales como edificios de gran altura, puentes de grandes luces, túneles, etc. El método en el que se basa la investigación es el que propone el profesor Pierre Claude Aitcin de la Universidad de Sherbrooke en Quebec, Canadá, el cual parte con un parámetro nuevo que no se toma en cuenta en los diseños convencionales de concreto: el punto de saturación del aditivo. Este valor, que se obtiene a través de pruebas que se detallarán en el tratado, nos permitirá elegir el aditivo que genere mejor dispersión en una pasta de cemento y las cantidades aproximadas de los componentes de la mezcla. Después se elegirá por criterio de desempeño cuales son los componentes adecuados para nuestros fines. También se realizarán pruebas con materiales cementicios suplementarios a fin de mejorar las propiedades del concreto y también para reducir las cantidades de cemento a usar en el diseño.

Se usaran como indicadores de desempeño las recomendaciones y exigencias del ACI 237R-07 "Self - Consolidating Concrete" y la norma europea EFNARC "Especificaciones y Directrices para el Hormigón Autocompactable - HAC". Después se realizará un análisis costo - beneficio de los concretos especializados, para finalmente mostrar conclusiones y recomendaciones obtenidas de la experiencia.

ÍNDICE

INDICE DE TABLAS.....	VI
INDICE DE IMÁGENES.....	VII
1. PRESENTACIÓN AL PROYECTO.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Situación actual en el Perú.....	2
2. OBJETIVOS Y ALCANCE.....	4
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos secundarios.....	4
2.3 Alcances de proyecto.....	4
3. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1 Revisión histórica del concreto moderno.....	5
3.1.1 Industrialización del concreto de alta resistencia (CAR)	
3.1.2 Desarrollo del concreto autocompactado (CAC)	
3.2 Concreto de alto desempeño.....	7
3.2.1 Definición de concreto de alto desempeño	
3.2.2 Diferencia entre concreto de alto desempeño y convencional	
3.2.3 Ventajas y limitaciones	
3.2.4 Aplicación en edificaciones	
3.2.5 Principios de desempeño	
3.2.5.1 Proceso de construcción	
3.2.5.2 Propiedades mejoradas	
3.2.5.3 Durabilidad y vida útil	
3.2.5.4 Costos y rentabilidad	
3.2.6 Ciclo de producción del concreto de alto desempeño	
3.3 Metodología de diseño de mezcla.....	14
3.3.1 Selección de materiales y descripción	

- 3.3.1.1 Cemento Portland
- 3.3.1.2 Agua para el concreto
- 3.3.1.3 Agregado Fino
- 3.3.1.4 Agregado Grueso
- 3.3.1.5 Adiciones minerales
- 3.3.1.6 Reductor de agua de alto rango a base de polinaftalenos
- 3.3.1.7 Reductor de agua de alto rango a base de policarboxilatos
- 3.3.1.8 Aditivo mantensor de trabajabilidad
- 3.3.2 Propiedades en estado fresco
 - 3.3.2.1 Características de concreto autocompactado
 - 3.3.2.1.1 Capacidad de llenado
 - 3.3.2.1.2 Habilidad de paso
 - 3.3.2.1.3 Estabilidad
 - 3.3.2.1.4 Viscosidad
 - 3.3.2.1.5 Tixotropía
 - 3.3.2.2 Reología
- 3.3.3 Propiedades en estado endurecido
 - 3.3.3.1. Resistencia a la compresión
 - 3.3.3.2. Durabilidad del concreto
- 3.3.4 Evaluación de la mezcla prueba y optimización
- 3.3.5 Curado

4. DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....24

4.1 Especificaciones técnicas.....24

4.2 Influencia de los materiales.....26

- 4.2.1 Cemento
- 4.2.2 Agua
- 4.2.3 Agregado grueso
- 4.2.4 Agregado fino
- 4.2.5 Aditivos químicos
- 4.2.6 Adiciones minerales
 - 4.2.6.1 Filler calizo
 - 4.2.6.2 Microsílice

4.3 Ensayos realizados a los materiales y al concreto.....	31
4.3.1 Generalidades	
4.3.2 Cono de revenimiento	
4.3.3 Cono de Marsh	
4.3.4 Ensayos físicos de los agregados	
4.3.5 Packing density	
4.3.6 Ensayos de concreto en estado fresco	
4.3.7 Ensayo de concreto en estado endurecido	
4.4 Plan de trabajo.....	40
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	43
5.1 Selección de materiales.....	43
5.1.1 Cono de revenimiento	
5.1.2 Cono de Marsh	
5.1.3 Ensayos físicos a los agregados	
5.1.4 Packing density	
5.1.5 Pruebas preliminares de concreto	
5.1.6 Elección final de los materiales	
5.2 Diseños de concreto con materiales cementicios suplementarios.....	72
5.2.1 Diseño 1: cemento + filler	
5.2.2 Diseño 2: cemento + microsílíce	
5.2.3 Análisis costo-beneficio	
5.3 Diseños finales y evaluación completa.....	77
5.3.1 Diseño realizados	
5.3.2 Análisis costo-beneficio	
6. CONCLUSIONES FINALES.....	85
7. REFERENCIAS.....	87

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I.....	23
TABLA 2: LÍMITES PERMISIBLES PARA CALIDAD DEL AGUA.....	24
TABLA 3: RECOMENDACIONES PARA EL CONCRETO AUTOCOMPACTADO SEGÚN EFNARC.....	32
TABLA 4: RECOMENDACIONES PARA EL CONCRETO AUTOCOMPACTADO SEGÚN ACI 237R.....	32
TABLA 5: ESPECIFICACIONES META PARA EL ESTADO FRESCO.....	33
TABLA 6: RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO ESPECÍFICO - ARENA.....	54
TABLA 7: RESULTADOS DEL ENSAYO DE PESO UNITARIO - ARENA.....	55
TABLA 8: PESOS ESPECÍFICOS OBTENIDOS PARA EL HUSO 67 Y HUSO 7.....	57
TABLA 9: PESOS UNITARIOS OBTENIDOS PARA EL HUSO 67 Y HUSO 7.....	57
TABLA 10: COMBINACIÓN ARENA JICAMARCA Y PIEDRA 67.....	60
TABLA 11: COMBINACIÓN ARENA JICAMARCA Y PIEDRA 7.....	60
TABLA 12: RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS DE CADA MEZCLA.....	62
TABLA 13: RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS DE CADA MEZCLA.....	66
TABLA 14: RESUMEN DEL ENSAYO DE CONO DE REVENIMIENTO.....	70
TABLA 15: RESUMEN DEL ENSAYO DE CONO DE MARSH.....	70
TABLA 16: DESEMPEÑO DEL DISEÑO G10-P7.....	71
TABLA 17: RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS DE CADA MEZCLA.....	72
TABLA 18: DESEMPEÑO DEL DISEÑO F2-P7.....	76
TABLA 19: REDUCCIÓN DE BOLSAS DE CEMENTO.....	76
TABLA 20: EFECTOS DEL FILLER EN LA RESISTENCIA.....	77
TABLA 21: RESUMEN DE VALORES OBTENIDOS DE CADA MEZCLA.....	78
TABLA 22: EFECTOS DE LA MICROSÍLICE EN LA RESISTENCIA.....	82
TABLA 23: DESEMPEÑO DEL DISEÑO MS1-P7.....	82
TABLA 24: RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE CADA DISEÑO.....	83
TABLA 25: DISEÑOS FINALES DE MEZCLA Y RESULTADOS OBTENIDOS.....	85
TABLA 26: RELACIÓN COSTO-BENEFICIO DE LOS DISEÑOS FINALES.....	91

ÍNDICE DE FIGURAS

IMAGEN 1: ALTURA DE LA EDIFICACIÓN, EL AÑO DE SU CULMINACIÓN Y EL MATERIAL DE SU CONSTRUCCIÓN	10
IMAGEN 2: DISTRIBUCIÓN DE EDIFICIOS DE CONCRETO ARMADO.....	10
IMAGEN 3: MODELO DE BINGHAM (KHOELER, 2006).....	27
IMAGEN 4. ESQUEMA DE DESARROLLO DE LA DURABILIDAD DEL CONCRETO (KHADIRANAİKAR, 1999) ..	29
IMAGEN 5: MATRIZ DE PROPIEDADES DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS (DACZKO, 2012).....	33
IMAGEN 6: ENSAYO PACKING DENSITY	41
IMAGEN 7: MEDICIÓN DEL SLUMP	42
IMAGEN 8: V-FUNNEL EMPLEADO	42
IMAGEN 9: VSI = 0 IMAGEN 10: VSI = 1	43
IMAGEN 11: VSI = 2 IMAGEN 12: VSI = 3	43
IMAGEN 13: L-BOX EMPLEADO	44
IMAGEN 14: REÓMETRO ICAR.....	44
IMAGEN 15: ENTORNO DEL SOFTWARE DEL REÓMETRO.....	45
IMAGEN 16: CLASIFICACIÓN REOLÓGICA DEL CONCRETO (ICAR)	46
IMAGEN 17: PROBETAS A SER ENSAYADAS	47
IMAGEN 18: CURADO DE PROBETAS.....	47
IMAGEN 19: CURVA A/ML VS F'c (AITCIN, 1998)	48
IMAGEN 20: CANTIDAD DE AGUA EN BASE A PUNTO DE SATURACIÓN (AITCIN, 1998).....	48
IMAGEN 21: CANTIDAD DE PIEDRA EN BASE A SU FORMA (AITCIN, 1998)	49
IMAGEN 22: PÉRDIDA DE EXTENSIBILIDAD PARA DISTINTAS DOSIS DE MASTER RHEOBUILD 1201	50
IMAGEN 23: PÉRDIDA DE EXTENSIBILIDAD PARA DISTINTAS DOSIS DE MASTER GLENİUM 3800.....	51
IMAGEN 24: PÉRDIDA DE EXTENSIBILIDAD PARA DISTINTAS DOSIS DE MASTER GLENİUM 3200.....	51
IMAGEN 25: TIEMPO DE FLUJO PARA DISTINTAS DOSIS DE MASTER RHEOBUILD 1201	52
IMAGEN 26: TIEMPO DE FLUJO PARA DISTINTAS DOSIS DE MASTER GLENİUM 3800	53
IMAGEN 27: TIEMPO DE FLUJO PARA DISTINTAS DOSIS DE MASTER GLENİUM 3200	53
IMAGEN 28: CURVA GRANULOMÉTRICA - ARENA	56
IMAGEN 29: CURVA GRANULOMÉTRICA - PIEDRA 67.....	58
IMAGEN 30: CURVA GRANULOMÉTRICA - PIEDRA 7.....	59
IMAGEN 31: PACKING DENSITY PIEDRA HUSO 67 Y 7	61
IMAGEN 32: DISEÑO G1-P67 IMAGEN 33: DISEÑO G2-P67	62
IMAGEN 34: DISEÑO G3-P67 IMAGEN 35: DISEÑO G4-P67	63
IMAGEN 36: DISEÑO G5-P67.....	63
IMAGEN 37: A/A VS SLUMP	64
IMAGEN 38: A/A VS T50	64

IMAGEN 39: A/A vs V-FUNNEL	65
IMAGEN 40: A/A vs L-BOX	65
IMAGEN 41: DISEÑO G9-P7 IMAGEN 42: DISEÑO G10-P7 (PATRÓN).....	67
IMAGEN 43: DISEÑO G11-P7.....	67
IMAGEN 44: A/A vs SLUMP	68
IMAGEN 45: A/A vs T50	68
IMAGEN 46: A/A vs V-FUNNEL	69
IMAGEN 47: A/A vs L-BOX.....	69
IMAGEN 48: RESISTENCIAS ALCANZADAS POR EL DISEÑO G10-P7	71
IMAGEN 49: DISEÑO F1-P7 IMAGEN 50: DISEÑO F2-P7.....	73
IMAGEN 51: DISEÑO F3-P7	73
IMAGEN 52: DOSIS FILLER vs SLUMP.....	74
IMAGEN 53: DOSIS FILLER vs T50.....	74
IMAGEN 54: DOSIS FILLER vs V-FUNNEL.....	75
IMAGEN 55: DOSIS FILLER vs L-BOX	75
IMAGEN 56: COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS ENTRE FILLER Y EL DISEÑO PATRÓN G10-P7.....	77
IMAGEN 57: DISEÑO MS1-P7 IMAGEN 58: DISEÑO MS2-P7	79
IMAGEN 59: DISEÑO MS3-P7	79
IMAGEN 60: DOSIS MS vs SLUMP	80
IMAGEN 61: DOSIS MS vs T50	80
IMAGEN 62: COMPARACIÓN DE RESISTENCIAS ENTRE MICROSÍLICE Y EL DISEÑO PATRÓN G10-P7	81
IMAGEN 63: DISEÑO S1 (PATRÓN) IMAGEN 64: DISEÑO S2	86
IMAGEN 65: DISEÑO S3 IMAGEN 66: DISEÑO S4	86
IMAGEN 67: DISEÑO S5	86
IMAGEN 68: VARIACIÓN DE LA EXTENSIBILIDAD EN EL TIEMPO	87
IMAGEN 69: VARIACIÓN DEL T50 EN EL TIEMPO	88
IMAGEN 70: VARIACIÓN DEL V-FUNNEL EN EL TIEMPO.....	88
IMAGEN 71: VARIACIÓN DEL V-FUNNEL EN EL TIEMPO DESPUÉS DE 5 MIN DE REPOSO	89
IMAGEN 72: VARIACIÓN DEL L-BOX EN EL TIEMPO	89
IMAGEN 73: VARIACIÓN DE LA VISCOSIDAD EN EL TIEMPO	90
IMAGEN 74: DESARROLLO DE LA RESISTENCIA EN EL TIEMPO.....	90

CAPITULO 1: PRESENTACION AL PROYECTO

1.1. Introducción

El constante avance de la tecnología en la industria de la construcción así como la creciente demanda de estructuras cada vez más desafiantes como edificios de gran altura, estructuras con alta densidad de acero, puentes de grandes luces o túneles, han dado lugar a que las exigencias en cuanto a la resistencia, durabilidad y trabajabilidad en el concreto sean cada vez más elevadas. Para lograr este propósito será necesario ser selectivo en los materiales que se usarán y asegurar buenas prácticas constructivas ya que estas son las que determinarán la calidad del concreto y del proyecto en general.

El concepto de concreto de alto desempeño se originó en la década de los años 60, aunque en ese entonces el único objetivo que los ingenieros tenían era el de obtener una alta resistencia por lo que el término para ese entonces era solo de “concreto de alta resistencia”. Con el paso del tiempo se observó que no sólo era necesario obtener una elevada resistencia sino que también era necesario mejorar la trabajabilidad y la durabilidad del concreto. Es así como se origina el concepto de “concreto de alto desempeño” ya que no solo involucra altas resistencias a la compresión sino varias características más. (Aitcin, 1998)

Los aditivos que se emplearan para esta investigación son los superplastificantes o reductores de agua de alto rango, mantensores de trabajabilidad y las adiciones minerales como filler y microsilice, que son los componentes esenciales para la obtención de este tipo de concreto.

Finalmente se evaluará las propiedades y características de este concreto así como un análisis de costos, resultados con los cuales comprobaremos la viabilidad de este tipo de concreto

1.2. Justificación

La investigación presentada busca principalmente incentivar la producción industrial y el uso de concretos de alto desempeño en el Perú, esto lo logramos a través de la experimentación y realización de diseños de mezcla de este tipo de concreto.

La situación actual de la construcción en el país demanda la realización de más proyectos de infraestructura con condiciones no convencionales donde el concreto convencional deja de ser eficaz y útil debido principalmente a su limitada resistencia. El concreto de alto desempeño tiene aplicaciones en pavimentos de alto tránsito, estructuras de alta durabilidad, elementos esbeltos en edificios altos, puentes de grandes luces, etc. (Aitcin, 1998)

El uso de un concreto de alto desempeño aportará muchos beneficios como el aumento de la durabilidad de las obras civiles, alargando su vida de servicio, además de la reducción de costos de mantenimiento (Aitcin, 1998) razón por la cual es importante capacitar al personal obrero para dar a conocer la importancia de los trabajos con estos tipos de concreto (Álvarez, 2017). También un tema importante es la sustentabilidad ya que estos concretos contienen menos cantidad de cemento que los convencionales, una reducción del consumo de cemento generaría por ende una reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y en el consumo de energía. Sin embargo todavía se tiene el reto de lograr procesos de producción a gran escala, tales como, logística de colocación, protocolos para cumplir con estándares de calidad, preparación de personal calificado. Todo esto justifica el desarrollo de mayores estudios que se realizarán a futuro.

Por estas razones, el siguiente proyecto, inspirado en soluciones extranjeras donde las altas resistencias son permitidas por diseño, ofrece diseños experimentales de concreto de alto desempeño con materiales propios de la zona probados en el laboratorio e incentiva a desarrollar nuevas y mejoradas tecnologías para que los concretos de alto desempeño sean de común uso en la mayoría de los proyectos por venir.

1.3. Situación actual en el Perú

Según el Dr. Roberto Stark; los edificios muy altos, tienen una altura mínima de 200 metros, continúan creciendo en altura y será necesario que se construyan con concreto de alto desempeño (imagen 1). La raíz de esta tendencia es el incremento de nuevas empresas que necesitan oficinas, hoteles y locales administrativos a nivel mundial.

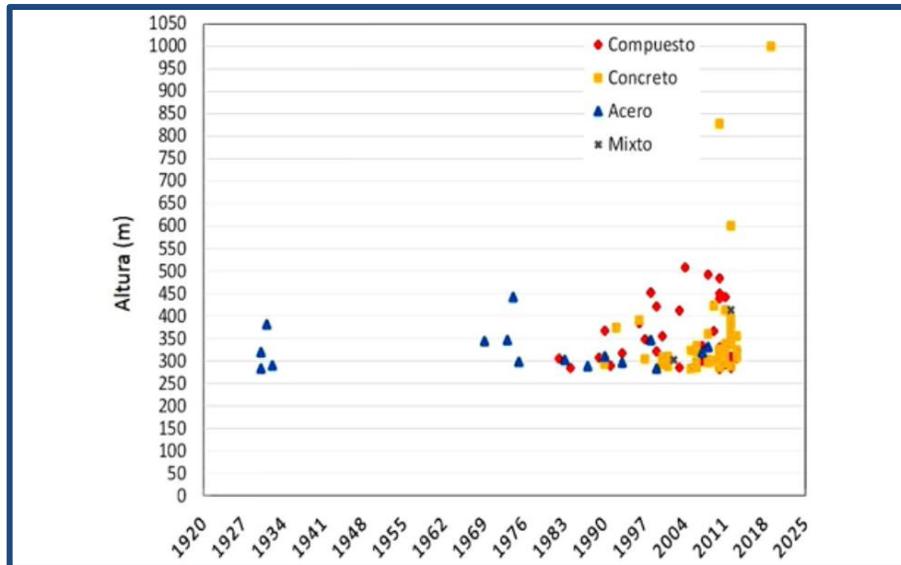


Imagen 1: Altura de la edificación, el año de su culminación y el material de su construcción

<https://www.youtube.com/watch?v=TVzEcF9GFlw>

Así mismo, la situación actual mundial refleja que América central y Latinoamérica únicamente han construido el 1 % del total de edificios de concreto armado de gran altura el mundo; debido al bajo desarrollo e investigación en temas de concreto.

Estados Unidos y los países asiáticos tienen un gran desarrollo en el concreto de alto desempeño por su gran crecimiento económico.

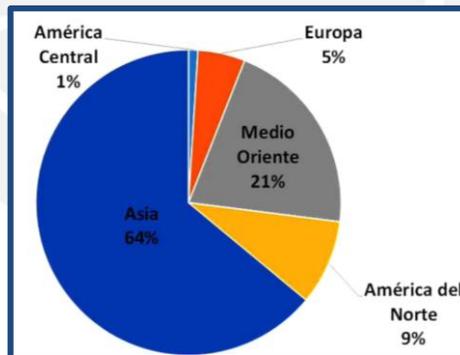


Imagen 2: Distribución de edificios de concreto armado

<https://www.youtube.com/watch?v=TVzEcF9GFlw>

Finalmente, en el Perú no existe ningún edificio de gran altura, el edificio más grande cuenta con 135.5 metros de altura. La industria peruana de concreto tiene avances significativos en la investigación y producción industrial de concreto de alta resistencia y autocompactado; sin embargo, la tecnología de concreto de alto desempeño aún se investiga a nivel de laboratorio, pero no tiene venta industrial porque no existen proyectos que los requieran.

CAPITULO 2: OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1. Objetivo General

“Impulsar el desarrollo nacional de la tecnología de concreto de alto desempeño, mediante la evaluación y optimización de diseños de mezcla y así lograr su producción industrial”

2.2. Objetivos Secundarios

- Lograr producir concreto de alto desempeño que cumpla con los requisitos necesarios para denominarse del tipo autocompactado aplicando metodología de selección de componentes.
- Caracterizar las propiedades del concreto de alto desempeño en estado fresco y endurecido.
- Usar en los concreto mencionados, materiales cementicios suplementarios para reducir el consumo de cemento.

2.3. Alcances del Proyecto

- La resistencia de diseño se definió en 600 kg/cm^2 , para mayores resistencias se necesitó mayor cantidad de insumos los cuales eran limitados.
- La resistencia a la compresión es la única propiedad que se evaluará para el estado endurecido debido a limitaciones con los equipos necesarios.
- No se evaluará la durabilidad ni la permeabilidad por cuestiones de tiempo y limitaciones en los equipos pero como alternativa se presenta una evaluación a través del software Life 365.
- Elaborar recomendaciones que se deben tener para el correcto desarrollo del concreto y así evitar contratiempos.

CAPITULO 3: MARCO TEÓRICO

En el siguiente capítulo, se expone una breve revisión histórica del concreto en las últimas décadas. Así mismo, debido a que el término “concreto de alto desempeño” es relativamente novedoso en Perú se explica ampliamente su definición, ventajas, limitaciones y principios de desempeño. Particularmente para el proyecto de tesis, se describe la metodología de diseño de mezcla utilizada en investigaciones pasadas para la producción industrial de este tipo de concreto.

3.1. Revisión histórica del concreto moderno

Hace más de 6000 años, los babilónicos y asirios usaron por primera vez una mezcla de arcilla, limo y agua para construir las primeras ciudades. El concreto propiamente dicho aparece en la época romana cuando mejoraron la mezcla probando con nuevos materiales (puzolana, rocas) para la construcción de sus estructuras. En 1824, Joseph Aspdin “inventó” el Cemento Portland pero no fue hasta que el concreto se trajo al laboratorio que se convirtió en el material idóneo para las estructuras. (Frommenwiler 2000)

En los años posteriores, la evolución del concreto se explica de manera coherente con dos importantes hitos:

3.1.1. Industrialización del concreto de alta resistencia (CAR)

En los años 1960, Aitcin (1999) refiere que el uso de concreto convencional o de baja resistencia era ampliamente difundido por todas las empresas de premezclado; sin embargo, era imposible reemplazar al acero en la construcción de edificios altos.

Abrams y Powers (1964) encontraron una relación entre la resistencia a la compresión y el contenido de agua, por ello, estudiaron la porosidad, la relación A/C y el grado de hidratación del cemento. Gracias a su investigación, los diseñadores y productores de concreto pudieron incrementar la resistencia significativamente, sin embargo, tuvieron muchas dificultades con el cemento que se fabricaba en esa época y los primeros aditivos reductores de agua debido a que estaban compuestos a base de lignosulfatos que variaban mucho en su composición.

Como no se tenía mucha información en esos años, el concreto de alta resistencia probado en laboratorios no tenía muchas posibilidades de fabricarse para estructuras altas. En Chicago, una compañía de premezclado logró convencer a algunos empresarios de incrementar el número de pisos aumentando el número de columnas con concreto de alta resistencia, el resultado fue exitoso, puesto que, las pruebas concluyeron que dichas columnas alcanzaron los 230 kg/cm². Gracias a este proyecto, los siguientes edificios fueron continuamente construidos con un incremento en la resistencia y los números de pisos. Para las empresas de concreto e investigadores el fracaso de esta tecnología en algún proyecto podía retardar su industrialización, el tope se produjo cuando alcanzaron los 600 kg/cm² debido a que los reductores de agua de la época no podían reducir más la relación A/C. (Blick 1974)

En los años 1980, La creación de una nueva generación de superplastificantes y reductores de agua, a base de policondensados de sulfonato de naftaleno, permitió mejorar el desempeño del concreto aumentando su resistencia hasta 1000 kg/cm² (relación A/C=0.2). Sin embargo, todavía era un gran problema su transporte y colocación en obra, por ello, el revenimiento y la trabajabilidad empezaron a tener más relevancia para las empresas de concreto norteamericanas. (Aïtcin 1999)

3.1.2. Desarrollo del concreto autocompactado (CAC)

Ghanbari (2011) explicó que el inicio de su concepción fue en Japón en la mitad de la década de 1980 debido a un problema: la pequeña cantidad de trabajadores calificados en la industria de la construcción, ya que conllevaba a una reducción en la calidad de los trabajos de construcción y esto a su vez afectaba la durabilidad del concreto.

La problemática anterior fue resuelta en una exposición en la Universidad de Tokio con un prototipo de diseño de mezcla de autocompactado. Posteriormente se desarrolló un modelo que contenía materiales del concreto convencional. Este modelo se investigó para aumentar la capacidad de paso en zonas de alto contenido de acero de refuerzo y lograr una estabilidad en su volumen de vaciado y por ende aumentar la durabilidad. (Okamura,1999)

Las investigaciones posteriores permitieron acortar el tiempo de construcción, evitando la vibración y compactación para vaciar en zonas de alto confinamiento. Así mismo, la

nueva generación de aditivos polinaftalenos estables y la inclusión de materiales cementicios suplementarios ocasionó la producción de un concreto con un buen desempeño en estado fresco y endurecido (se logró controlar los problemas de retracción).

El inicio de la industrialización mundial del CAC se dio en Holanda, Suecia y principalmente Estados Unidos; sin embargo, todavía era costoso producirlo industrialmente. Por ello, la forma de cómo producir el CAC fue diferente en cada región dependiendo de los materiales disponibles. Thrane (2007) afirmó que el CAC sólo representaba el 1% de todo el concreto premezclado que se producía a nivel mundial; en Estados Unidos el CAC representa el 40% de la industria del concreto prefabricado (IMCYC, 2006) y se espera que ese porcentaje aumente. Si bien muchos países en la actualidad han incrementado el uso de CAC, el concreto convencional sigue teniendo vigencia porque las viviendas y la mayoría de edificaciones no necesitan altas resistencias y trabajabilidad para ser construidas. Las últimas investigaciones que actualmente se realizan tienen el objetivo de producir un concreto durable y con bajo o nulo costo de mantenimiento.

3.2. Concreto de alto desempeño (CAD)

La Federal Highway Administration Research and Technology (1994) afirma que el concepto de concreto de alto desempeño o CAD se crea en 1989 en la Universidad de California del Norte. Los investigadores de esta universidad verificaron que disminuyendo la relación A/C no sólo se mejora la resistencia a la compresión sino también otras propiedades como la durabilidad, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, módulo de poisson, módulo de rotura, etc.

En las siguientes décadas, las diferentes formas de vaciar concreto en obra obligaron a producir un concreto más versátil que pueda transportarse y colocarse eficientemente, por ello, la generación del concreto autocompactado en Japón ayudó a que todas las empresas de premezclado tengan la posibilidad de proponer mejores soluciones para la construcción y es así cómo se logró producir el CAD a nivel industrial. (Portugal, 2007)

Debido a que el tema de concreto de alto desempeño tiene diferentes puntos de vista por muchos autores en la actualidad, se expondrá en los siguientes acápite el estado del arte pertinente para nuestro proyecto de investigación.

3.2.1. Definición de concreto de alto desempeño

El CAD tiene muchas definiciones y han ido variando según el avance de la tecnología del concreto. Se expondrán tres definiciones relevantes a continuación:

Según ACI (1999), "Un concreto de alto desempeño es el que reúne una combinación especial de requerimientos de desempeño y uniformidad que no siempre puede ser logrados usando materiales tradicionales, mezclado normal, criterios de colocación normales y prácticas de curado ordinarios". Esta definición propone que los requerimientos son exigentes y específicos de cada proyecto de construcción, por ello, se debe seleccionar los materiales disponibles y evaluar el proceso constructivo para producir un concreto con las especificaciones requeridas.

Según Civil Engineering Research Foundation (1994), el CAD tiene obligatoriamente mejor desempeño que el concreto convencional en estas propiedades:

- Fácil colocación y compactación
- Alta resistencia inicial
- Mayores propiedades a largo plazo (como resistencia a la abrasión y baja permeabilidad)
- Estabilidad volumétrica (sin deformaciones)
- Mayor resistencia a ataques químicos, ciclos de congelamiento y deshielo, altas temperaturas, etc.

Según Adam Neville (1989), en alusión al concreto de alta performance, afirmó: "sus características especiales son tales que sus componentes y proporciones son específicamente escogidas para tener las propiedades particularmente apropiadas para el uso esperado de la estructura; estas propiedades son usualmente una alta resistencia o baja permeabilidad".

Por lo expuesto, se puede concluir que el CAD es un material indispensable en estructuras que requieran un proceso de colocación especial, un comportamiento mecánico específico o estén expuestos a un ambiente agresivo. Sin embargo, los materiales y los procedimientos constructivos no necesariamente son los convencionales.

3.2.2. Diferencia entre alto desempeño y convencional

En la siguiente sección, se expondrán las diferencias en base a dos líneas de investigación: su relación A/C y el desempeño. Sin embargo, previamente es necesario precisar que en base a las investigaciones de Neville, la relación $A/C = 0.4$ tiene el contenido de agua suficiente para hidratar todas las partículas del cemento.

a) Relación A/C: (Aïtcin, 1999)

- La relación A/C del concreto convencional está entre 0.42 y 0.6, por ello, la mezcla contiene mucho más contenido de agua que el necesario para hidratar las partículas del cemento. En consecuencia, se genera mayor permeabilidad, baja resistencia y problemas de retracción.
- La relación A/C del CAD es menor a 0.42. Por ello, se incrementan las propiedades mecánicas debido que éstas dependen más de la distancia de separación entre las partículas de cemento que el número de partículas hidratadas en la mezcla. Así mismo requieren de aditivos químicos o adiciones minerales para colaborar con el proceso constructivo porque, generalmente, se generan concretos no trabajables. Aïtcin (2011)

b) Desempeño:

- El concreto convencional no tiene ninguna oportunidad de competir con el CAD, ejemplo de esto lo tenemos cuando se requiere construir edificios de gran altura, puentes de grandes luces sin apoyos intermedios, tunelería subterránea o submarina, estructuras con alta densidad de acero, etc.

El concreto convencional se produce de forma industrial y constante, por eso, los resultados del desempeño de un diseño en varios proyectos son similares. Las empresas de premezclado han estudiado este tipo de concreto y, continuamente, proponen mejoras a sus diseños abaratando los costos con la disminución o inclusión de algún componente. Sin embargo, los materiales y procesos constructivos son los usuales en todas las obras; por ello, Khadiranaikar (1999) identificó cuatro principales deficiencias del concreto convencional:

- No es durable en ambientes severos (corta vida útil y necesita de mantenimiento)

- Excesivo tiempo de construcción (demora en el desencofrado y lenta ganancia de la resistencia a la compresión)
- No tiene capacidad de absorber energía (exclusivamente para estructuras antisísmicas)
- Requiere reparación y trabajos rehechos
- Baja resistencia inicial (o lenta ganancia de propiedades mecánicas en el tiempo)

El CAD, por lo contrario, satisface todos los enunciados anteriores y puede incluir más ventajas según el proyecto. Las soluciones para mejorar las propiedades del concreto en todo su ciclo de vida son únicas para cada proyecto y no pueden ser replicadas en otro similar. Debido a ello, los resultados en cuanto a desempeño son ampliamente superiores. En consecuencia, los diseños de un CAD requieren una rigurosa evaluación técnica y económica; y pueden optimizarse de acuerdo a la experiencia previa de los resultados en proyectos similares anteriores.

3.2.3. Ventajas y limitaciones

Con todo lo anterior mencionado, son evidentes las ventajas del CAD, sin embargo, no todos los beneficios se dan en igual magnitud en todos los proyectos. The Portland Cement Association (2004) propone las ventajas en la mayoría de los proyectos construidos en Norteamérica:

- Reducción en las dimensiones de los elementos
- Menor tiempo de proceso constructivo
- Gran trabajabilidad y bombeabilidad
- Inclusión de materiales con mejores propiedades
- Mayor rentabilidad de retorno
- Durabilidad en ambientes agresivos
- Mayor vida de servicio

De las ventajas mencionadas podemos decir que la más notoria es la reducción de dimensiones, un ejemplo sencillo: tenemos una columna de 60x60 cm con un concreto convencional de 210 kg/cm², pero si usamos un concreto de mayor resistencia estas dimensiones podrían hasta reducirse a una de 25x25 cm, lo cual representa una reducción del 82% en el consumo de concreto (considerando columnas de 2.30 m de

altura) además de no generar cambios drásticos en el diseño; el costo del concreto llegará a superar al anterior pero no de una forma excesiva.

Sin embargo, el CAD tiene algunas limitaciones que impide su producción industrial en la mayoría de proyectos complejos (Aïtcin, 1999):

- Estricto proceso de selección de sus componentes
- Materiales con mejores propiedades, pero más costosos
- Estricto control de calidad en su producción y colocado
- Pruebas en laboratorio y ensayos in situ costosos y no habituales
- Mayor número de especialistas calificados o tecnólogos de concreto involucrados

3.2.4. Aplicación en edificaciones

El CAD puede aplicarse en todas las especialidades de ingeniería civil. Por ejemplo: en la geotecnia, los pilotes, muros pantalla y losas flotantes. En la ingeniería hidráulica, las presas, acueductos y alcantarillados. En el caso de nuestro proyecto de investigación la especialidad es construcción de edificaciones.

En el caso de la construcción de edificaciones, Benavides (2014) afirmó que el continuo reto de diseñarlas con más altura ha propiciado el desarrollo de concretos con mejor desempeño que generen menos impacto ambiental (sostenibles).

En este caso particular, las edificaciones están dirigidas a satisfacer las siguientes necesidades específicas:

- Optimizar el espacio del terreno de la zona urbana
- Mayor vida útil de la estructura
- Mayor trabajabilidad para mejor colocación y compactación
- Disminuir el peso de los elementos estructurales

El proyecto que se expondrá tiene como referencia procedimientos requeridos para un buen control del CAD:

El Burj Khalifa es el edificio más alto del mundo con 828 metros de altura. Los primeros 610 metros han sido construidos con una presión de bombeo de 300 kg/cm² y los últimos 218 metros es una estructura de acero. El profesor Kamal Khayat y sus asistentes de la

Universidad Sherbrooke optimizaron la composición y reología del concreto con materiales disponibles en Dubai. Así mismo, hubo una colaboración internacional de especialistas de Korea y Australia en la cooperación para realizar los ensayos previos. (Aldred 2010)

Actualmente, el mismo grupo de tecnólogos buscó soluciones económicas de concreto para construir la Torre Jeddah en Arabia Saudita. Aïtcin (2011) menciona que tuvieron dos retos principales:

- El primero es bombear concreto a una altura de 1000 metros.
- El segundo es soportar las condiciones de temperatura baja extrema en las noches dificultando el proceso de fraguado final del concreto.

3.2.5. Principios de desempeño

Okamura (1988) exige a la producción del CAD enfocarse en tres fases de la edad del concreto: fresco, edad temprana y endurecida. Así mismo, Khadiranaikar (1999) afirma que los requerimientos del buen desempeño del CAD se pueden agrupar en principios de desempeño con una variación a lo postulado por Okamura. Finalmente, Reyes (2010) menciona un cuarto e importante principio del CAD como el material con mejor retorno de inversión. Por ello se explican los cuatro siguientes:

3.2.5.1. Proceso de construcción

En los proyectos complejos, el CAD se vuelve indispensable debido a que colabora con el avance de la construcción. La colocación de concreto es una de las partidas más importantes de cualquier planificación de obra, por lo tanto, el CAD necesita un alto control de calidad desde el mezclado en planta hasta el curado del material endurecido; para que no altere la ruta crítica o genere demoras y sobrecostos por la reparación de concreto en caso de que se encuentre cangrejeras o segregación.

El proceso constructivo inusual obliga a los productores del CAD a tener un alto nivel de control de la fluidez; capacidad de paso en encofrados reducidos y de gran confinamiento de acero; tener estabilidad volumétrica; gran bombeabilidad; entre otras propiedades.

3.2.5.2. Propiedades mejoradas

Las propiedades de trabajabilidad, fluidez y reología se encuentran optimizadas y mejoradas debido a los cuidados que se toman tanto en la selección de materiales como en la fabricación, las cuales lo hacen un concreto superior a los convencionales. Si se realiza un buen control durante el mezclado, transporte, colocación y curado de concreto; el siguiente paso es verificar, usando ensayos normalizados, el comportamiento mecánico de los elementos vaciados en obra según su función estructural. Por ello, se evalúan propiedades a corto plazo (esencialmente instantáneas) y a largo plazo (el resto de su vida útil); y no únicamente la resistencia a la compresión.

3.2.5.3. Durabilidad y vida útil

Cuando se ha realizado un apropiado diseño; una cuidadosa producción; una correcta colocación; y un buen curado en obra del CAD manteniendo un control de calidad en todo el proceso, el concreto es inherentemente un material durable. Sin embargo, ante condiciones adversas, el concreto es vulnerable a varios ataques que lo deteriora como el congelamiento y el deshielo, el ataque de sulfatos, la reacción álcali-agregado y la corrosión del acero. Cada uno de los ataques anteriores involucra el movimiento de agua o de otros fluidos, transportando agentes agresivos a través de la estructura porosa del concreto. Por lo tanto, la porosidad y la permeabilidad se convierten en importantes propiedades por controlar y verificar en el diseño de mezcla. (Federal Highway Administration Research and Technology, 1994)

3.2.5.4. Costos y rentabilidad

Cuando se pretende producir concreto en forma industrial para un proyecto en particular, la búsqueda del mejor retorno de inversión, de la empresa de premezclado, incide en la calidad de todos los procesos de fabricación del material. En otras palabras, Reyes (2010) menciona en su exposición que la mejor solución que demandan las especificaciones no es necesariamente la más económicamente viable para el cliente. Por lo tanto, se debe analizar los costos de cada procedimiento desde su diseño hasta su mantenimiento en obra de tal forma que satisfaga los principios anteriores.

3.2.6. Ciclo de producción del concreto de alto desempeño

El lector, hasta los anteriores acápite, está informado de la definición, características, ventajas, limitaciones, principios de desempeño y un ejemplo moderno del CAD. Sin embargo, es necesario conocer el proceso de producción general para obtenerlo en forma industrial, con el cuál muchos autores y especialistas están conformes, que se presenta a continuación:

- Las condiciones estructurales y de la zona conllevan a unas especificaciones técnicas únicas para el CAD, éstas son entregadas a los especialistas en concreto para la revisión, viabilidad y comparación en proyectos similares.
- El grupo de especialistas realiza los primeros diseños de mezcla en el laboratorio; el objetivo es lograr un diseño óptimo. Se empieza con el diseño patrón y seguido se empieza el proceso de optimización. No existen reglas fijas para optimizar los diseños. La variabilidad del diseño se sustenta en la disponibilidad de diferentes materias primas en cada país o región.
- El proceso de optimización culmina con la prueba industrial (similar una producción real en la planta de premezclado) de los modelos óptimos que se obtuvieron buenos principios de desempeño en el laboratorio.
- Con el diseño final elegido, la labor de los especialistas es lograr los resultados obtenidos en laboratorio en la colocación del concreto in situ. Debido a esto, se analizan los procesos de obtención y propiedades de componentes, mezclado, transporte, colocación, llenado, curado y control de sus propiedades en el inicio de su vida útil.
- Después de una retroalimentación y la corrección de procesos que afectan la calidad del concreto; el CAD llega a una producción controlada de forma industrial que tiene muy pocas o nulas observaciones en sus propiedades al final de la obra.

3.3. Metodología de diseño de mezcla

En el listado numérico anterior, se menciona diversos métodos de diseño de mezcla en la producción del CAD investigado por varios autores. Sin embargo, este proyecto de investigación se basa en el método desarrollado por Pierre-Claude Aïtcin, el cual tiene como parámetro principal de entrada al punto de saturación de los aditivos, valor con el

cual podemos definir las cantidades de insumos a usar y el ACI 237R-07 “Self-Consolidating Concrete” para el cumplimiento de los principios de desempeño de las propiedades en estado fresco; endurecido; y de costo y rentabilidad. Por ello, se explicarán los pasos a seguir para obtener el diseño de mezcla más óptimo en orden secuencial:

3.3.1. Selección de materiales y descripción

El primer paso del diseño de mezcla es identificar los materiales con los cuales se disponen en un gran margen o volumen en una región o país. Por ello, los materiales tienen diferente procedencia, cantera, fábrica o métodos de almacenamiento. En estos párrafos se pretende definir o caracterizar los componentes del concreto, la influencia y aporte en mejorar las propiedades del CAD se mencionarán más adelante.

3.3.1.1. Cemento Portland

El cemento es un material conglomerante del tipo hidráulico producto de calcinación de rocas calizas y arcillas. Es un polvo muy fino que al hacer contacto con el agua forma una pasta moldeable muy trabajable que se endurece al paso del tiempo desarrollando propiedades adherentes y resistentes.

El cemento que se empleará para esta investigación es el Cemento Portland Tipo I. Este cemento cumple con lo establecido por la NTP 334.009 y su equivalente, la ASTM C-150. A continuación se presentan las características físicas del cemento a usar.

Tabla 1: Características Físicas del Cemento Portland Tipo I

Características	Norma ASTM C-150 NTP 334.009	Cemento Portland Tipo I
Peso Específico (gr/cm ³)	No presenta	3.13
Calor de hidratación 7 días (cal/gr)	No presenta	77.57
Calor de hidratación 28 días (cal/gr)	No presenta	82.69
Superficie específica Blaine (m ² /kg)	260 (mín.)	335
Contenido de aire (%)	12 (máx.)	7.28
Expansión autoclave (%)	0.8 (máx.)	0.09
Fraguado inicial Vicat (min)	45 (mín.)	130
Fraguado final Vicat (min)	375 (máx)	303

f'c a los 3 días (kg/cm ²)	122	291
f'c a los 7 días (kg/cm ²)	194	340
f'c a los 28 días (kg/cm ²)	-	393
C ₂ S, C ₃ S, C ₃ A, C ₄ AF	-	13.15%, 53.60%, 9.66%, 9.34%

Fuente: Información proporcionada por el fabricante

3.3.1.2. Agua para el concreto

NTP 339.088

El agua es un componente esencial para la fabricación del concreto ya que hace que el cemento desarrolle sus propiedades conglomerantes. El agua usada debe ser de preferencia potable pero de no ser el caso la calidad del agua usada para la producción de concreto está determinada por la NTP 339.088. A continuación se muestran los rangos de valores establecidos para el agua no potable.

Tabla 2: Límites permisibles para calidad del agua

Sustancia	Valores
Sólidos en suspensión	Máx. 5 gr/l (5000 ppm)
Materia orgánica (en oxígeno consumido)	Máx. 3 mg/l (3ppm)
Alcalinidad (NaHCO ₃)	Máx. 1 gr/l (1000 ppm)
Sulfatos (SO ₄ ⁻)	Máx. 0.6 gr/l (600 ppm)
Cloruros (Cl ⁻)	Máx. 1 gr/l (1000 ppm)
pH	Entre 5 y 8

Fuente: NTP 339.088

3.3.1.3. Agregado fino

El agregado fino o arena es un material que se obtiene de la desintegración natural o artificial de otros agregados de mayor tamaño. Está comprendido por todos los tamaños que quedan retenidos desde la malla #4 hasta la #200.

El agregado fino que se usará para la fabricación del concreto proviene de la cantera de Jicamarca y deberá cumplir los estándares mínimos de calidad de acuerdo a la norma.

3.3.1.4. Agregado grueso

Son materiales que se obtienen por la desintegración natural o artificial de las rocas. Se considera agregado grueso a todo material que se encuentre retenido entre las mallas de 3" y 3/8". Se usaron dos tipos de piedra: la del huso 67 y del huso 7.

Igual que el agregado fino, el agregado grueso también proviene de las canteras de Jicamarca.

3.3.1.5. Adiciones minerales

Las adiciones minerales son partículas finas, algunas más finas que el cemento que tienen como función reemplazar parte del contenido de cemento a fin de brindar a la mezcla un mejor desempeño principalmente en la trabajabilidad y viscosidad, también existen adiciones que elevan considerablemente la resistencia y la mayoría al ser partículas muy finas reducen considerablemente la permeabilidad. Sin embargo existen rangos máximos de reemplazo. Hay varias clases de adiciones, las más conocidas son: filler, microsílíce, ceniza volante, escorias o puzolanas. En esta investigación se usó filler y microsílíce debido a su disponibilidad.

3.3.1.6. Aditivo reductor de agua de alto rango a base de polinaftalenos

Aditivo reductor de agua de alto rango perteneciente a la generación de los polinaftalenos recomendado para la fabricación de concreto reoplástico. Permite que la trabajabilidad del concreto sea más duradera permitiendo trabajar con relaciones agua-cemento bajas. Cumple con las especificaciones de la norma ASTM C494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductores de agua de alto rango tipo F. Para la investigación se usó en específico el aditivo **Master Rheobuild 1201**, proporcionado por la empresa BASF Construction Chemicals Perú S.A.

3.3.1.7. Aditivo reductor de agua de alto rango a base de policarboxilatos

Aditivo reductor de agua de alto rango perteneciente a la generación de los aditivos basados en la tecnología del policarboxilato. Indispensable para la fabricación de concreto del tipo autocompactado. Cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductores de agua de alto rango

tipo F. Para la investigación se usaron los aditivos **Master Glenium 3200 y 3800**, proporcionados por la empresa BASF Construction Chemicals Perú S.A.

3.3.1.8. Aditivo retenedor de trabajabilidad

Aditivo retenedor o mantensor de trabajabilidad que proporciona distintos grados de retención del revenimiento de acuerdo a la dosificación que se especifique. Cumple con la especificación ASTM C494 para aditivos de desempeño específico Tipo S. Para la investigación se usó el aditivo **Master Sure Z60**, proporcionado por la empresa BASF Construction Chemicals Perú S.A.

3.3.2. Propiedades en estado fresco

Las propiedades del concreto autocompactado en estado fresco son las más importantes debido a que éstas son las que lo diferencian de un concreto convencional (Daczko, 2012). Estas propiedades son: la habilidad de llenado, la capacidad de paso y la estabilidad. Cada una de estas propiedades tiene pruebas de control que se realizan para poder calificar y caracterizar al concreto.

3.3.2.1. Características del concreto autocompactado

El ACI 237R lista una serie de características que debe cumplir el concreto para ser considerado de alto desempeño, las cuales son las siguientes tres:

3.3.2.1.1. Capacidad de llenado

La capacidad de llenado se define como la habilidad que tiene la mezcla de concreto para fluir y llenar todos los espacios del contenedor o molde por su propio peso. El ensayo que se realizará para medir esta propiedad es el del Slump Flow. La definición del ensayo se detallará más adelante.

3.3.2.1.2. Habilidad de paso

La capacidad de paso consiste en la habilidad que tiene la mezcla de concreto para fluir a través de espacios reducidos o estrechos por su peso propio. Los ensayos asociados son: Anillo J, Caja en U y la caja en L, para esta investigación sólo se contó con la prueba del L-Box, el cual se detallará más adelante.

3.3.2.1.3. Estabilidad

Consiste en evaluar el estado de la mezcla después de que sale del trompo mezclador, para ver si existen problemas de segregación o exudación excesiva. Para medir esta característica existen varios métodos como el de la columna de segregación, prueba a la penetración y el índice de estabilidad visual (VSI por sus siglas en inglés). En esta investigación se usó únicamente el VSI, cuyo procedimiento se explicará en el siguiente capítulo.

Las siguientes definiciones no se encuentran especificadas en el ACI 237R-07 sino que son definiciones aparte.

3.3.2.1.4. Viscosidad

El ACI 116R-00 define la viscosidad como la propiedad de un material que resiste el cambio en la forma o la disposición de los elementos durante el flujo de los mismos. Para el caso del concreto lo observamos de forma directa al ver el medir el tiempo que demora en fluir. Para controlar esta propiedad usamos la prueba del V-Funnel y la del T50.

3.3.2.1.5. Tixotropía

Un material tixotrópico experimenta una reversible, dependiente del tiempo, disminución de la viscosidad cuando es sometido a una fuerza (Koehler, 2009). En palabras más simples la tixotropía la definimos como la pérdida de viscosidad debido a la acción de una fuerza, para el concreto esta fuerza vendría a ser el batido de la mezcla.

La prueba que nos permitirá evaluar esta característica será el embudo en V o V-Funnel pero haciendo dos mediciones, uno apenas se termine de mezclar y el otro pasados cinco minutos.

3.3.2.2. Reología

Palabra introducida por primera vez por Eugene Bingham en 1929, se define como la ciencia que estudia la deformación y el flujo de la materia sometida a fuerzas a través de modelos matemáticos. El modelo que se empleará es el de Bingham ya que es el más aceptado (Dazcko, 2012).

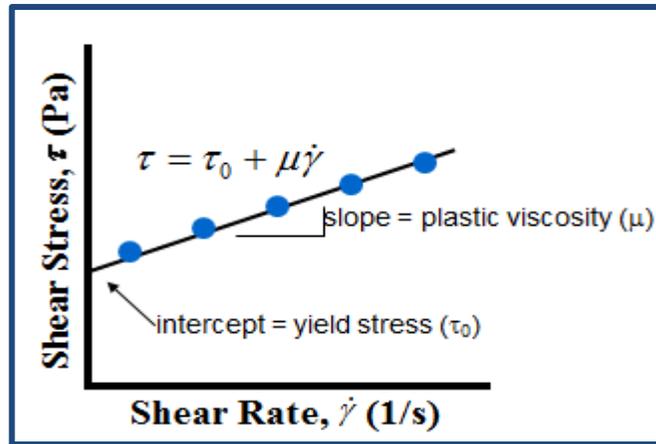


Imagen 3: Modelo de Bingham (Khoeler, 2006)

Como se aprecia en la figura, el modelo responde a una ecuación lineal donde las variables son el esfuerzo cortante de fluencia (τ) y la viscosidad plástica (μ). Viscosidad plástica se define como la resistencia que ofrece el concreto a fluir y el esfuerzo cortante de fluencia como la cantidad de fuerza que se necesita para iniciar el flujo.

3.3.3. Propiedades en estado endurecido

3.3.3.1. Resistencia a la compresión

Para el estado endurecido del concreto, en esta investigación se realizó únicamente el ensayo de resistencia a la compresión en probetas de moldes cilíndricos (ASTM C39). En este estudio, para el estado endurecido, es el ensayo más importante ya que nos permitirá saber que tanto puede soportar el concreto frente a los esfuerzos para los cuales fue diseñado. Al tratarse de concretos que tendrán una responsabilidad estructural muy alta, es de suma importancia que se alcancen los valores de resistencia para los que fueron diseñados ya que obtener valores por debajo de lo requerido puede traer graves consecuencias tanto humanas como económicas.

3.3.3.2. Durabilidad de concreto

El concreto de alto desempeño requiere mantener su acabado, calidad y servicio iniciales al estar expuesto a su ambiente. La durabilidad del concreto de acuerdo a lo establecido por el ACI 201 se define por su capacidad para resistir la acción de:

- Congelamiento y deshielo: debido a la acción de las heladas.
- Exposición a agentes químicos agresivos: debido a los ataques químicos por sulfatos, ataques físicos por sales, exposición al mar, ataque por ácidos y carbonatación.
- Abrasión del concreto: debido al desgaste por frotamiento y fricción.
- Corrosión de los metales embebidos en el concreto (acero).
- Reacciones químicas de los agregados: reacción álcali-sílice y álcali-carbonato.
- Cualquier proceso dañe al concreto

En el desarrollo de alto desempeño, se ha logrado un mejor rendimiento de la durabilidad mediante el uso de concreto de alta resistencia y baja relación agua/cemento. Dos enfoques expuestos en la imagen 4 para alcanzar la durabilidad a través de diferentes técnicas son los siguientes: a) Reducir el sistema de poros capilares de modo que no pueda ocurrir ningún movimiento de fluidos; mediante el uso de microsílice, buena compactación y curado mejorado; b) Crear sitios de unión químicamente activos que eviten el transporte de iones agresivos como los cloruros, mediante el uso de materiales cementicios suplementarios.

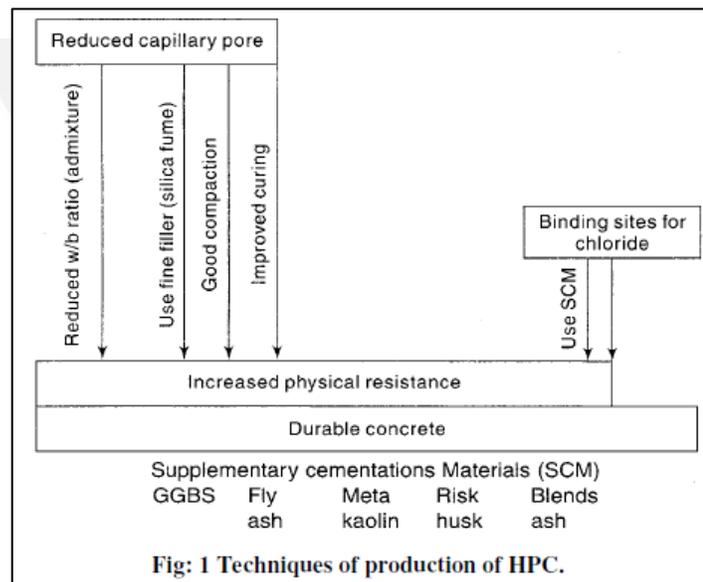


Imagen 4. Esquema de desarrollo de la durabilidad del concreto (Khadiranaikar, 1999)

3.3.4. Evaluación de la mezcla de prueba y optimización

El proceso de evaluación y optimización empezará una vez concluido el proceso de selección de materiales. Se prepararán diversos diseños de mezcla con diferentes particularidades tratando de alcanzar las especificaciones requeridas; se someterán a las pruebas en estado fresco y endurecido y se analizará su desempeño. En donde se encuentre alguna falla o incumplimiento se realizarán modificaciones. Los diseños que arrojen resultados satisfactorios se optimizarán lo más posible, ya sea reemplazando cemento por materiales cementicios suplementarios o reduciendo el contenido global de cementante, a fin de lograr un concreto que sea lo más económico posible pero con un desempeño que satisfaga todas las especificaciones.

3.3.5. Curado

Como ya es sabido, el curado es importante y necesario para lograr la mayor hidratación y por consecuencia la mayor resistencia y menor permeabilidad (Neville, 1995). Para los concretos de alto desempeño es de mucha mayor importancia realizar el curado ya que se necesita la mayor hidratación posible, controlar las retracciones y las grietas que aparecerán en mayor cantidad.

Aitcin (1998) menciona cinco tipos de retracciones que afectan al concreto: retracción plástica, autógena, por secado, por temperatura y por carbonatación. Sin embargo las más significativas son tres:

Retracción Plástica: Se da cuando la tasa de evaporación del agua superficial es mayor que la tasa de exudación, lo cual hace que la parte superior de concreto se contraiga más rápido que la inferior ocasionando grietas. El CAD al ser mezclas de relación agua/material ligante bajas la exudación es poca por lo que se deben tomar medidas para aminorar esta contracción. (NRMCA)

Retracción Autógena: La retracción autógena se diferencia de los otros tipos de reacción, por cuanto no es atribuible a la pérdida de agua sino a la reducción de volumen que experimenta al combinarse químicamente con el cemento. Esta reducción de volumen, de no existir aportes de agua externos que permitan compensarla, da origen a poros de vacío en la masa del concreto y en consecuencia a fuerzas capilares capaces de generar retracción. (Giani, Navarrete y Bustos 2008). El CAD al poseer baja relación

agua/material ligante no posee agua suficiente para que continúe la hidratación, lo cual implica una mayor cantidad de poros.

Retracción por Secado: Se debe principalmente a la pérdida del agua de absorción de la pasta de cemento por cambios en la humedad entre en ambiente y la superficie expuesta (Mehta y Monteiro, 2005)

La principal causa del agrietamiento en el concreto es la retracción, y ésta a la vez se da principalmente cuando la relación agua/material ligante disminuye. Podemos concluir entonces que el CAD al tener relaciones agua/material cementante bajas tendrá problemas de contracción mayores que a la de un concreto convencional, por lo que el curado se vuelve es indispensable.

CAPITULO 4: DELIMITACION DEL PROYECTO

Se debe mencionar que todas las pruebas realizadas en esta investigación están dirigidas a un concreto que se trabajará en condiciones normales. Es decir, no se expondrá a temperaturas extremas o ambientes corrosivos ni sulfatados ni cerca del mar. Las pruebas de durabilidad no se realizarán en este informe debido al tiempo que demandan los ensayos y el equipamiento del laboratorio de pruebas, sin embargo presentará un modelo de predicción en base al software Life 365.

4.1. Especificaciones Técnicas

Para nuestro proyecto se tomaron en cuenta los parámetros establecidos para producir concreto autocompactado tanto por el comité ACI 237R-07 y la norma europea EFNARC.

A continuación mostramos todos los parámetros y especificaciones tomadas en cuenta.

Tabla 3: Recomendaciones para el concreto autocompactado según EFNARC

Ensayo	Unidad	Margen habitual de valores	
		Mínimo	Máximo
Flujo de asentamiento por cono Abrams	mm	650	800
Flujo de asentamiento T50	segundos	2	5
Embudo V (V-Funnel)	segundos	6	12
Caja en L (L-Box)	(h2/h1)	0.8	1.0

Tabla 4: Recomendaciones para el concreto autocompactado según ACI 237R

Ensayo	Unidad	Margen habitual de valores	
		Mínimo	Máximo
Flujo de asentamiento por cono Abrams	mm	450	760
Flujo de asentamiento T50	segundos	2	5
Índice de Estabilidad Visual	-	1	0
Caja en L (L-Box)	-	0.8	1.0

Ahora para que podamos establecer nuestras propias especificaciones meta se tuvo en consideración la matriz de atributos o propiedades que debe tener el concreto en estado fresco, propuesta por Joseph Daczko. Esta matriz se construyó a base de reportes de

construcciones donde se empleó el concreto autocompactado. Esta matriz limita las propiedades del concreto de acuerdo a las condiciones y tipo de elemento que se construirá; y evitará que se realicen ajustes innecesarios:

		Propiedades en Estado Fresco								
		Fluidez			Habilidad de Paso			Viscosidad		
		Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Alto
Nivel de Refuerzo	Bajo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Medio	Rojo	Verde	Verde	Rojo	Verde	Verde	Rojo	Verde	Verde
	Alto	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Rojo	Verde	Rojo	Verde	Verde
Forma del elemento	Bajo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Medio	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo
	Alto	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo
Altura del elemento	Bajo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Medio	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Alto	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo	Verde	Verde	Verde
Importancia del acabado	Bajo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Medio	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo
	Alto	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo
Longitud del elemento	Bajo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Medio	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo	Verde	Verde
	Alto	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo	Verde	Verde
Espesor de muro	Bajo	Rojo	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Rojo
	Medio	Rojo	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde
	Alto	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde	Verde

Imagen 5: Matriz de Propiedades de acuerdo a sus características (Daczko, 2012)

Considerando que las estructuras que se van a construir son principalmente de media a alta en el nivel de refuerzo y con luces grandes se establecen las siguientes especificaciones meta:

Tabla 5: Especificaciones meta para el estado fresco

	Ensayo	0 hrs
Cap. Llenado	Slump Flow (cm)	65-75
Cap. Llenado	T50 (seg)	2-5
Cap. Llenado	V-Funnel (seg)	6-12
Cap. Paso	L-Box	0.80
Estabilidad	VSI	0-1

Además a esto indicamos los límites que se deben cumplir para clasificarlo como alto, medio o bajo:

Fluidez:

Baja: Slump Flow entre 50 y 60 cm

Media: Slump Flow entre 60 y 70 cm

Alta: Slump Flow mayor a 70 cm

Viscosidad

Baja: V-Funnel mayor a 30 segundos

Media: V-Funnel entre 15 y 30 segundos

Alta: V-Funnel entre 6 y 15 segundos

Habilidad de paso:

Baja: L-Box entre 0.60 y 0.70

Media: L-Box entre 0.70 y 0.80

Alta: L-Box mayor a 0.80

Viscosidad:

Baja: Menor a 50 Pa.s; T50 menor a 2 segundos

Media: Entre 50 y 100 Pa.s; T50 entre 2 y 5 segundos

Alta: Mayor a 100 Pa.s; T50 mayor a 5 segundos

Con todos estos datos se podrá elegir un concreto que no tenga propiedades muy elevadas cuando la situación no lo requiera.

4.2. Influencia de los materiales

4.2.1. Cemento

Khadiranaikar (1999) afirma que el cemento portland tiene dos aportes principales al CAD: a) Desarrollo de la resistencia con el tiempo. b) Facilitar las características reológicas adecuada del hormigón fresco. Adicionalmente respecto a su composición y comportamiento, Perenchio (1973) y Dackzo (2012) anuncian:

- La finura del cemento es un parámetro crítico. Una gran cantidad de finos incrementa el desarrollo de resistencias tempranas, sin embargo, puede conducir a deficiencias reológicas. Si la finura del cemento se incrementa, la demanda del superplastificante o demanda de agua se va a incrementar para alcanzar la máxima fluidez.

- El silicato tricálcico (C_3S) contribuye de manera muy importante a las resistencias iniciales. Así mismo, experimentalmente se ha comprobado que los concretos elaborados con cementos con mayor porcentaje de silicato tricálcico presentan una mejor acción a los ciclos de hielo y deshielo. Se recomienda su uso en zonas de climas fríos dado su alto calor de hidratación. (Koehler y Fowler, 2007)
- Se debe evitar el alto contenido de aluminato tricálcico (C_3A) en los cementos usados para CAD, de tal manera así se mejora la reología y no exista una rápida pérdida de fluidez en estado fresco. El C_3A es muy sensible a la acción de sulfatos y cloruros, debido a ello se puede originar agrietamiento y fisuras en el CAD. (Portugal, 2007)

Desde un punto de vista reológico, el contenido de cemento tiene esta influencia en el CAD: (Koehler y Fowler, 2007)

- Con una relación agua/cementante constante, el incremento de cemento proporciona más pasta para recubrir los agregados y rellenar los espacios; generando así mejor trabajabilidad.
- El incremento del uso de materiales cementicios suplementarios, relativo al volumen del agregado, genera la disminución del esfuerzo de fluencia y la viscosidad plástica.
- El incremento de la finura del cemento ocasiona el incremento del esfuerzo de fluencia y viscosidad plástica en las pastas.

4.2.2. Agua de mezclado

The Portland Cement Association (2004) enuncia que el uso del agua para el CAD debe ser potable, y recomienda hacer una rápida inspección de su sabor y olor, si éstos permiten el consumo humano es bueno para la calidad del concreto.

Lo importante para el CAD es el control del contenido del agua: éste debe reducirse al mínimo requerido para la reacción química del cemento no hidratado ya que el exceso de agua terminaría en la formación de vacíos indeseables en la pasta de cemento endurecido. Adicionalmente, Koehler y Fowler (2007) afirman:

- El incremento de la relación agua/cementante reduce el esfuerzo de fluencia y la viscosidad plástica.
- La adición de agua reduce la concentración de sólidos y baja la resistencia a fluir, por ello disminuye el esfuerzo de fluencia.
- El aumento excesivo del agua y la relación agua/cementante genera la segregación y exudación del concreto además de la disminución de la resistencia a la compresión.

4.2.3. **Agregado grueso**

Primero, se expondrá la influencia del agregado grueso en el CAD a partir de sus principales propiedades: (Dackzo, 2012)

- Packing density (densidad de empaquetamiento): con esta propiedad determinamos el contenido de vacíos entre sólidos que deben rellenarse con mortero; por ello, un óptimo *packing density* ocasiona una disminución en la viscosidad en la mezcla y es influenciado por la distribución del tamaño y forma de la partícula gruesa.
- Tamaño máximo nominal: el máximo tamaño del agregado grueso debe oscilar entre 10 y 40 mm. El incremento del TMN empobrece la capacidad de paso en un área con gran confinamiento de acero. Okamura (1999) indica que el TMN del agregado grueso afecta al área de superficie total del agregado global, incrementando el requerimiento de pasta en la dosificación.
- Forma de la partícula: a partir del contenido de pasta requerido, esta propiedad influenciará en la movilidad del agregado en la mezcla fluida. Las partículas redondeadas y de dimensiones similares van a moverse y girar más libremente durante la colocación.
- Gravedad específica: tiene impacto directo con la segregación. Las partículas grandes en un agregado liviano tienden tener menor densidad que las partículas pequeñas. Estas partículas tendrán una tendencia a flotar a la superficie más fácilmente que en hundirse, como el agregado de peso normal cuando la mezcla es inestable.

En segundo lugar, y desde un punto de vista reológico, el agregado grueso tiene esta influencia en el CAD: (Koehler y Fowler, 2007)

- Incremento en el volumen de agregados provoca el incremento en el esfuerzo de fluencia y viscosidad plástica.
- Grandes volúmenes de agregados reduce el espacio entre las partículas ocasionando gran resistencia a fluir.
- La concentración de volumen de sólidos y la viscosidad está bien establecida para suspensiones concentradas.

4.2.4. Agregado fino

En primer lugar, se expondrá la caracterización del agregado fino en el CAD a partir de sus principales propiedades: (Dackzo, 2012)

- Mineralogía: las arcillas, según la locación, que se encuentran en el rango del tamaño de la partícula fina pueden ocasionar el incremento de la demanda de agua y el superplastificante para alcanzar un nivel de fluidez.
- Módulo de finura: las mezclas con arena de alto valor tienden a sangrar más la mezcla. La tendencia del sangrado está en función del contenido de agua y el contenido de finos (cemento y puzolanas).
- Granulometría: la distribución del tamaño de la partícula fina influenciará el *packing density* y la pasta requerida para llenar los vacíos entre el agregado grueso y promover el flujo.
- Packing density (densidad de empaquetamiento): impacta en el requerimiento de pasta y la reología de mortero.
- Forma de la partícula: se recomienda escoger partículas redondeadas y de dimensiones similares.
- Relación agua/finos: Este parámetro permite predecir el comportamiento del concreto en estado fresco. EFNARC pone un rango de 0.8 a 1, valores fuera de este rango puede generar resultados negativos.

Aiticin (1998) describe algunas recomendaciones en las propiedades para control de calidad del CAD:

- La distribución del tamaño del grano en los agregados finos del CAD, ha permanecido dentro de los límites recomendados por ACI para concreto convencional.

- Se debe tener una arena con el mayor grosor posible entre los límites del ACI (es decir un Módulo de Finura entre 2.7 y 3).
- El uso de arena gruesa se sustenta que ya hay partículas más pequeñas como el cemento y las adiciones cementicias para rellenar los vacíos. En cambio para el concreto convencional, se usa la arena fina porque el concreto no tiene gran cantidad de material cementante pero tiene más agua.
- La arena gruesa permite un corte más fácil de la pasta de cemento durante el mezclado.

4.2.5. Aditivos químicos

Su utilización es indispensable en el CAD; y depende de cuatro condiciones: la trabajabilidad requerida, colocación de concreto in situ, desarrollo rápido de las resistencias tempranas y las condiciones del ambiente al que el material estará expuesto. Por ello, se expondrá a continuación la influencia de los aditivos más utilizados en la fabricación de CAD: (Dackzo, 2012)

- Reductores de alto rango (HRWR): minimiza el contenido de agua asegurando una adecuada viscosidad. El ajuste en su dosis provoca el incremento o disminución en la fluidez. (Aitcin, 1998)
- Modificadores de viscosidad (VMA): mejora la viscosidad para incrementar la estabilidad de la mezcla reduciendo el sangrado y la segregación.
- Retenedores de trabajabilidad: proporciona una retención de fluidez para mejorar la colocación y paso del concreto en dimensiones con gran reforzamiento de acero.
- Acelerantes de fragua: Incrementa el desarrollo de resistencias a temprana edad. Facilita el colocado de CAD en condiciones de clima frío.
- Incorporadores de aire: mejora la durabilidad en climas fríos, e incrementa el contenido de pasta de la mezcla para incrementar la fluidez y la estabilidad.

4.2.6. Adiciones Minerales

4.2.6.1. Filler calizo

Material muy fino cuyo tamaño de partículas varía entre los 45 y 300 micrómetros, proveniente de las calizas. De baja reactividad, su función principal es servir de relleno

para compensar la pasta perdida debido a la disminución de cemento. Favorece la trabajabilidad ya que permite un mejor deslizamiento de los agregados pero usarlo en altas cantidades genera pérdida de la trabajabilidad. Su uso se limita hasta un 30% de reemplazo como máximo.

4.2.6.2. Microsílice

El ACI 318 limita la cantidad de microsíllice a un reemplazo de hasta un 10% en peso del cemento. El tamaño de esta partícula es mucho menor que el de la mayoría de las adiciones por lo que su uso implica elevar la cantidad de agua o de superplastificante. Algunos estudios han demostrado que el uso de microsíllice en bajas cantidades (4–5% en peso) genera una disminución de la viscosidad (Daczko 2012).

4.3. Ensayos realizados a los materiales y al concreto

4.3.1. Generalidades

Los ensayos realizados en esta sección se dividen en dos partes: primero, ensayos de compatibilidad cemento/aditivo donde encontramos el cono de revenimiento y el ensayo de cono de Marsh; segundo, ensayo Packing Density y pruebas de concreto preliminares para elegir el tipo de piedra más óptimo en cuanto a desempeño.

Las pruebas de compatibilidad tienen como objetivo obtener el **punto de saturación**, parámetro a través del cual se podrá elegir el aditivo más óptimo para la investigación además que es el punto de partida para nuestros diseños de concreto.

Posteriormente se evaluará los dos tipos de piedra escogidos a través de mezclas de concreto evaluadas en distintas pruebas y se elegirá la que presente un **mejor desempeño**.

4.3.2. Ensayo de Cono de Revenimiento

Consiste en evaluar la expansión diametral que posee la pasta de cemento con aditivo a través del tiempo. Esto se realizó con la ayuda de un cono metálico pequeño y lectura de resultados cada 30 minutos.

4.3.3. Ensayo de cono de Marsh

Este ensayo nos permite evaluar el tiempo de flujo que presenta una pasta de cemento. Consiste en dejar fluir a través de un cono de dimensiones definidas la pasta de cemento y medir el tiempo que toma en fluir a través de él. Se realizaron dos lecturas: una cuando recién se ha preparado la pasta (T=0) y otra al cabo de una hora (T=60); el punto de intersección de ambas curvas obtenidas será el punto de saturación.

4.3.4. Ensayos físicos de los agregados

Consiste en una serie de pruebas normadas donde se evalúa las propiedades físicas tanto de la piedra como de la arena. Estos ensayos son los siguientes:

Peso específico

NTP 400.022/ASTM C-128

Se define como el cociente entre el peso de la muestra sin considerar los vacíos y el volumen que ocupa.

Adicionalmente, se calcula el **peso específico de masa saturado con superficie seca (SSS)**.

Peso unitario

NTP 400.017/ASTM C-29

El peso unitario se define como el cociente entre el peso del agregado y el volumen que ocupa, se expresa como el peso por metro cubico de volumen.

La norma peruana indica que el peso unitario se expresa de dos formas: **peso unitario suelto** y **peso unitario compactado**.

Peso unitario suelto

Es el peso del agregado colocado en un recipiente sin ningún tipo de compactación.

Peso unitario compactado

Para obtener este valor, se debe llenar el recipiente colocando tres partes iguales donde cada capa se compacta de acuerdo a la norma.

Granulometría

NTP 400.012/ASTM C-136

Este ensayo nos permite observar la distribución del agregado de acuerdo al tamaño de sus partículas. Para lograr esto se usan tamices normalizados y un procedimiento que se encuentra establecido en la norma. Este ensayo es muy importante ya que si se obtiene una correcta distribución de tamaños, favorecerá al correcto desarrollo de la resistencia.

Módulo de finura (MF)

NTP 400.011/ASTM C-125

El módulo de finura del agregado se obtiene mediante la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices después de realizado el análisis granulométrico.

Material fino que pasa la malla N°200

NTP 400.018/ASTM C-117

Este ensayo nos permite obtener el porcentaje de material que pasa la malla #200. Este valor cuando es elevado afecta de forma negativa en el concreto evitando la correcta adherencia de los materiales con el cemento.

Contenido de humedad

NTP 339.127/ASTM C-566

Con este ensayo podemos calcular la cantidad de agua que se encuentra atrapado dentro de las porosidades del agregado en su estado natural. Su valor influirá en el cálculo de la cantidad de agua para la mezcla.

Porcentaje de absorción

NTP 400.022/ASTM C-128

La absorción se define como el porcentaje de agua que le es necesario tomar al agregado para llegar a la condición de saturación con superficie seca (SSS).

4.3.5. Packing Density

Este ensayo tiene como objetivo lograr la máxima densidad de agregados a través de la combinación de estos. Se ensayó con distintas relaciones de arena y piedra (relación a/A). Para esta investigación el procedimiento se realizó mezclando los agregados en el trompo mezclador y llenando el contenedor en 3 capas y vibrado en mesa 30 segundos por cada capa (método empírico).

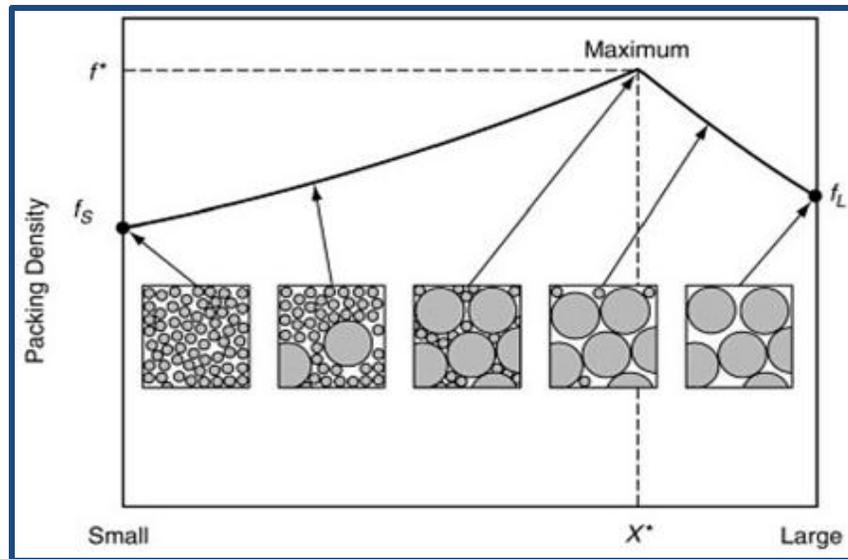


Imagen 6: Ensayo Packing Density

<https://goo.gl/ikujSw>

4.3.6. Ensayos de concreto en estado fresco

Para el concreto autocompactado se realizaron diversas pruebas de desempeño, propias de este tipo de concreto, que se encuentran especificadas en el ACI 237R y la norma europea EFNARC:

Slump Flow (ACI 237R – EFNARC 2002)

Consiste en tomar la medida de la extensibilidad a través del cono de Abrams invertido.



Imagen 7: Medición del Slump

Flujo de asentamiento T50 (ACI 237R – EFNARC 2002)

Consiste en tomar el tiempo que toma el concreto en alcanzar una extensibilidad de 50 cm.

Embudo en V (EFNARC 2002)

Consiste en tomar el tiempo que toma el concreto en pasar a través de un embudo en forma de V, de dimensiones definidas por EFNARC. Se harán dos lecturas, una a los 0 minutos y otra pasado 5 minutos a fin de evaluar la tixotropía del concreto.



Imagen 8: V-Funnel empleado

Índice de estabilidad visual (ACI 237R)

Consiste en observar y analizar el estado del concreto después de finalizar la medida de la extensibilidad. Presenta la siguiente clasificación:

VSI= 0, mezcla muy estable sin existencia de segregación

VSI=1, mezcla estable con muy ligera presencia de segregación

VSI=2, mezcla inestable con presencia de segregación

VSI=3, mezcla muy inestable, segregación total y presencia de corona de agua



Imagen 9: VSI = 0



Imagen 10: VSI = 1



Imagen 11: VSI = 2



Imagen 12: VSI = 3

Ejemplos de concretos con distinta clasificación VSI (Fuente: BASF Construction Chemicals)

Caja en L (ACI 237R – EFNARC 2002)

Ensayo mediante el cual podemos analizar la capacidad de paso del concreto, consiste en una caja en forma de L de dimensiones establecidas. Simula el flujo del concreto a través de los aceros estructurales.



Imagen 13: L-Box empleado

Reología

El equipo consiste en una computadora portátil (laptop) y el equipo del reómetro. Se comienza colocando 20 litros de la mezcla en una olla y sobre esta se coloca el lector del reómetro que vendría a ser una paleta (vane). Una vez colocado todo en su posición se da inicio al software y este a su vez inicia el giro de la paleta. El ensayo dura 20 segundos donde el equipo registra el torque empleado para iniciar y mantener el flujo, y la velocidad de giro. Con estos valores se forma una gráfica lineal donde finalmente se obtiene los valores de la viscosidad plástica y la del esfuerzo de fluencia.



Imagen 14: Reómetro ICAR

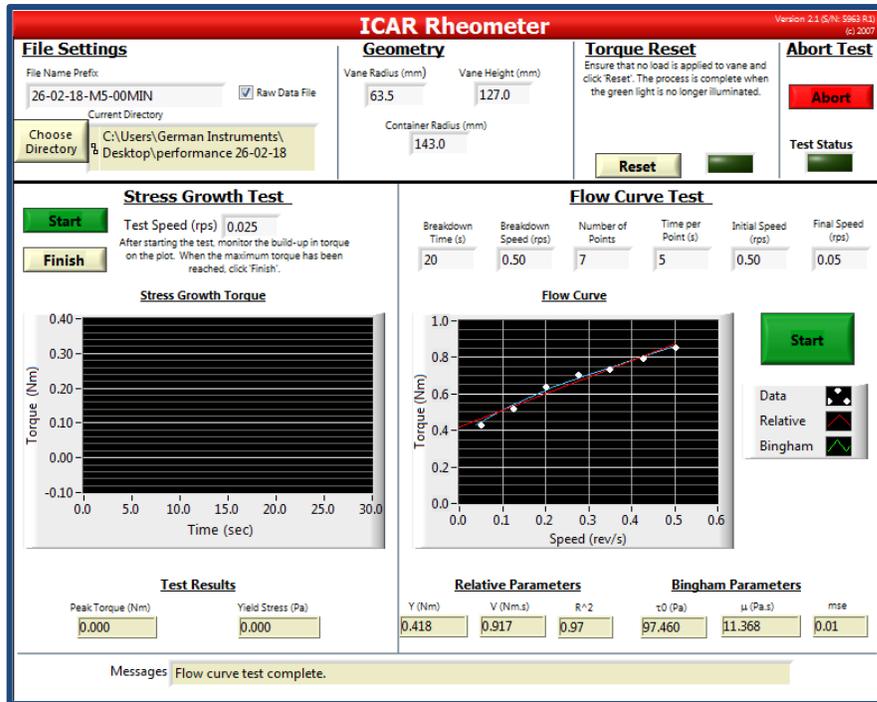


Imagen 15: Entorno del software del reómetro

Estos dos parámetros son los que nos permitirán caracterizar al concreto obtenido ya que engloban todos los resultados obtenidos de las distintas pruebas establecidas por el ACI 237.

Al tratarse de un concreto del tipo autocompactado se espera obtener valores bajos de esfuerzo de fluencia y viscosidad de acuerdo con la tabla mostrada a continuación.

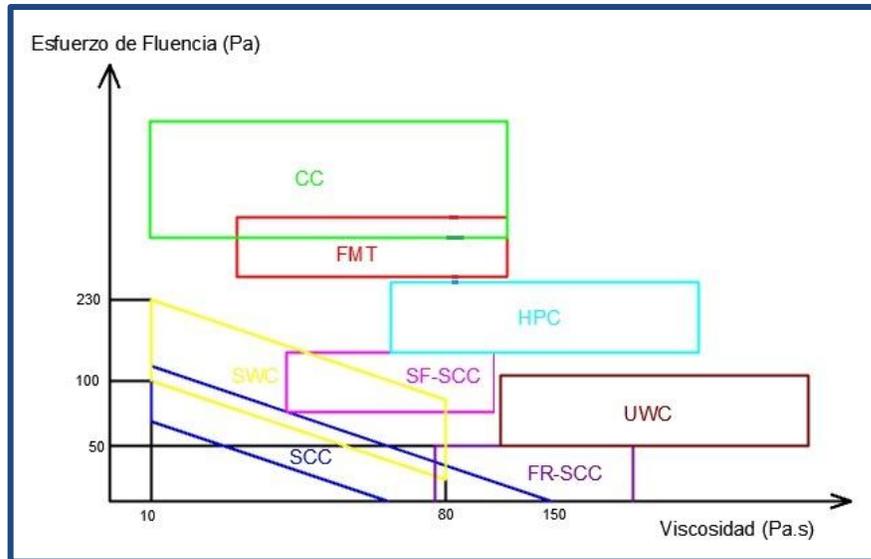


Imagen 16: Clasificación reológica del concreto (ICAR)

De la imagen mostrada podemos ver que existe un variado rango de valores de viscosidad en los cuales se puede dar la condición de concreto autocompactado y su variación influye tanto en el desempeño ya que tener un concreto con alta viscosidad o baja viscosidad involucra la trabajabilidad como en lo económico ya que fabricar un concreto menos viscoso implica uso de mayor dosis de aditivo superplastificante y de modificador de viscosidad, elevando su costo, por lo que elegir un valor no debe tomarse a la ligera.

4.3.7. Ensayos de concreto en estado endurecido

La prueba que se realizó para el estado endurecido fue la de **resistencia a la compresión** (ASTM C39). Se realizó con frecuencia de 1, 3, 7, 28 y 56 días. La razón de que se realicen pruebas pasados los 28 días se debe a que al usar materiales cementicios suplementarios el desarrollo de la resistencia es más lento. Para esto se fabricaron probetas de dimensiones 10x20 cm y fueron curadas de forma tradicional dejándolas sumergidas en una poza de agua.



Imagen 17: Probetas a ser ensayadas



Imagen 18: Curado de probetas

4.4. Plan de trabajo

El plan de trabajo se explica a continuación:

- En primer lugar, con la resistencia especificada (600 kg/cm^2) eligió una relación a/c referencial de 0.35. La cual se modificó por el proceso de optimización.

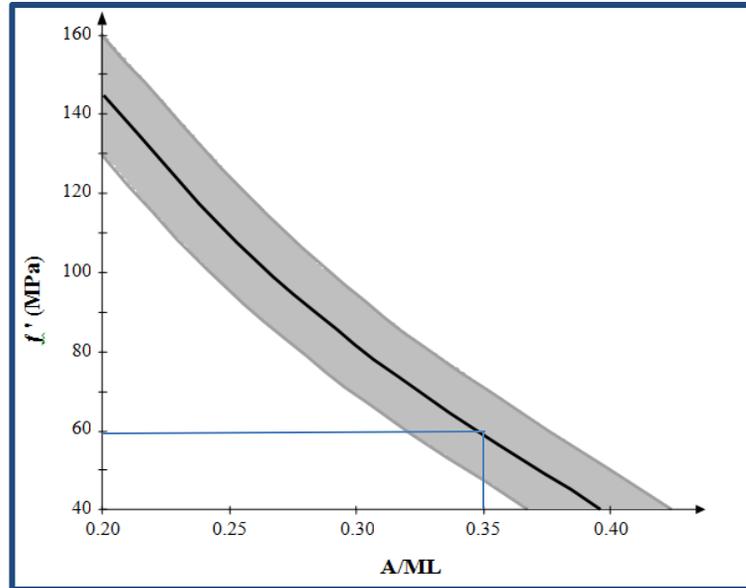


Imagen 19: Curva A/ML vs $f'c$ (Aitcin, 1998)

Es preciso mencionar que el gráfico presentado es el resultado de varios ensayos en laboratorio que no necesariamente se cumplen en los laboratorios de concreto industrial peruanos; sin embargo, fue un buen punto de partida para iniciar el plan de trabajo.

En segundo lugar, se calculó el punto de saturación a través de los ensayos de compatibilización cemento-aditivo. A continuación se estimó la cantidad de agua con el siguiente esquema:

Punto de saturación	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	%
Dosis de agua	120 a 125	125 a 135	135 a 145	145 a 155	155 a 165	<u>l/m</u>

Imagen 20: Cantidad de agua en base a punto de saturación (Aitcin, 1998)

En tercer lugar, la cantidad de agregado grueso a usar se determinó por la forma de la partícula, según el siguiente esquema.

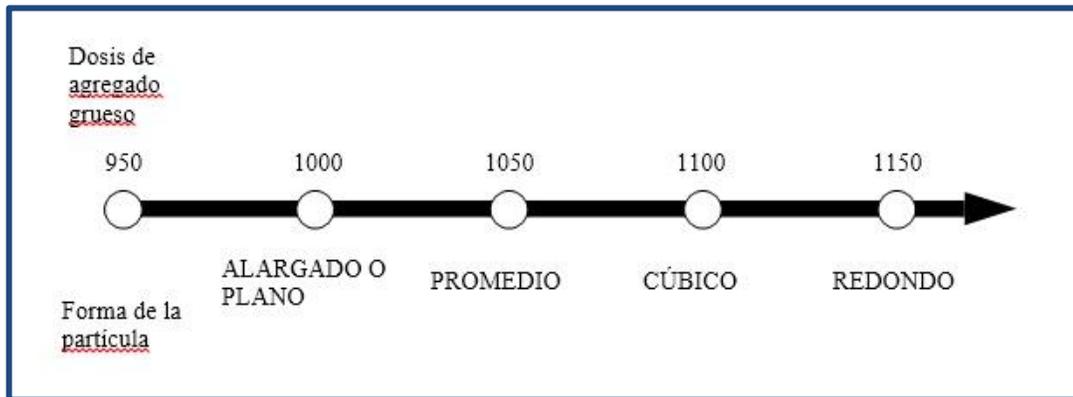


Imagen 21: Cantidad de piedra en base a su forma (Aitcin, 1998)

En cuarto lugar, la cantidad de agregado fino se calculó por la diferencia de volúmenes según el método de diseño del ACI 211.

En quinto lugar, se calculó el porcentaje de reemplazo de cemento por los materiales cementicios complementarios (filler calizo y microsílíce).

Finalmente se realizó el mezclado con el siguiente procedimiento: Mezclar agregado fino y grueso en el trompo por un minuto, acto seguido, se agregó tres cuartas partes del agua y se mezcló por dos minutos. Después se agregó el cemento, las adiciones suplementarias y el agua restante. Luego de dos minutos de batido se añadieron los aditivos y se batió hasta los 10 minutos.

CAPITULO 5: ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Selección de materiales

A continuación, mostramos los resultados que se obtuvieron en el laboratorio para la elección de los insumos adecuados.

5.1.1. Ensayo de Fluidez (a/c = 0.35)

Aditivo: Master Rheobuild 1201

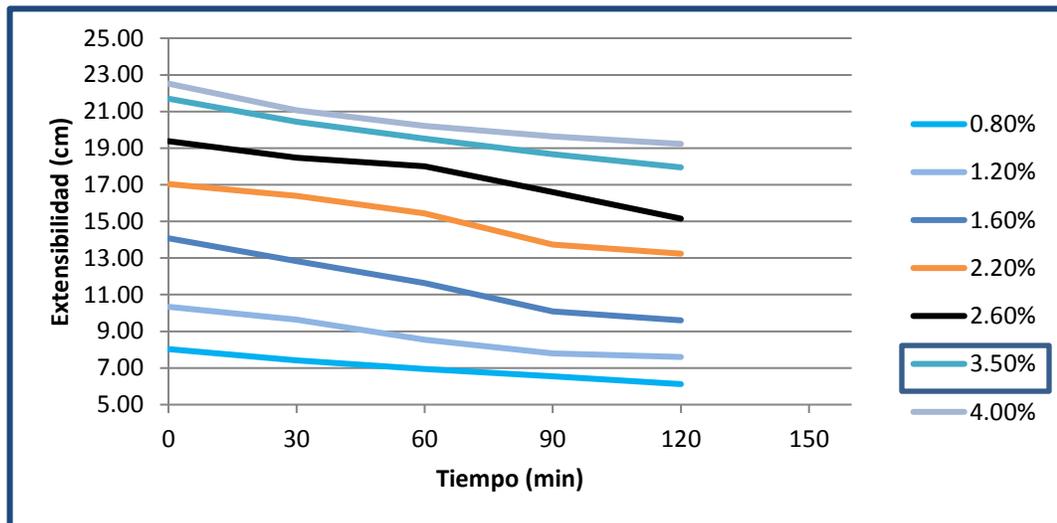


Imagen 22: Pérdida de extensibilidad para distintas dosis de Master Rheobuild 1201

El ensayo concluyó cuando la diferencia de extensiones entre una dosis y la siguiente fue menor a 1 cm. Por lo tanto, para el aditivo Master Rheobuild 1201 el punto de saturación obtenido fue de 3.5%.

Aditivo: Master Glenium 3800

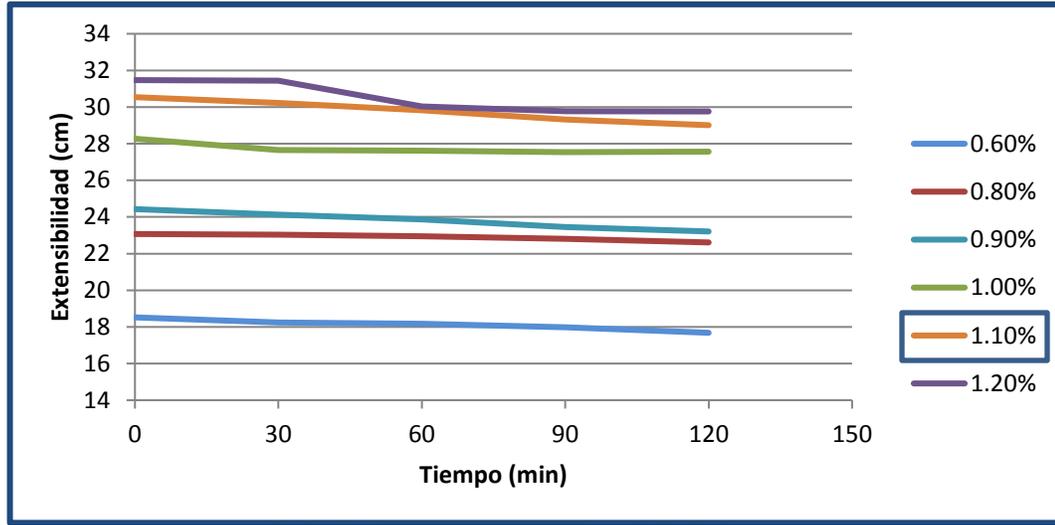


Imagen 23: Pérdida de extensibilidad para distintas dosis de Master Glenium 3800 Para el aditivo

Master Glenium 3800, se encontró que su punto de saturación es 1.10%, se encontró que a mayores dosis la pasta se encuentra totalmente exudada.

Aditivo: Master Glenium 3200

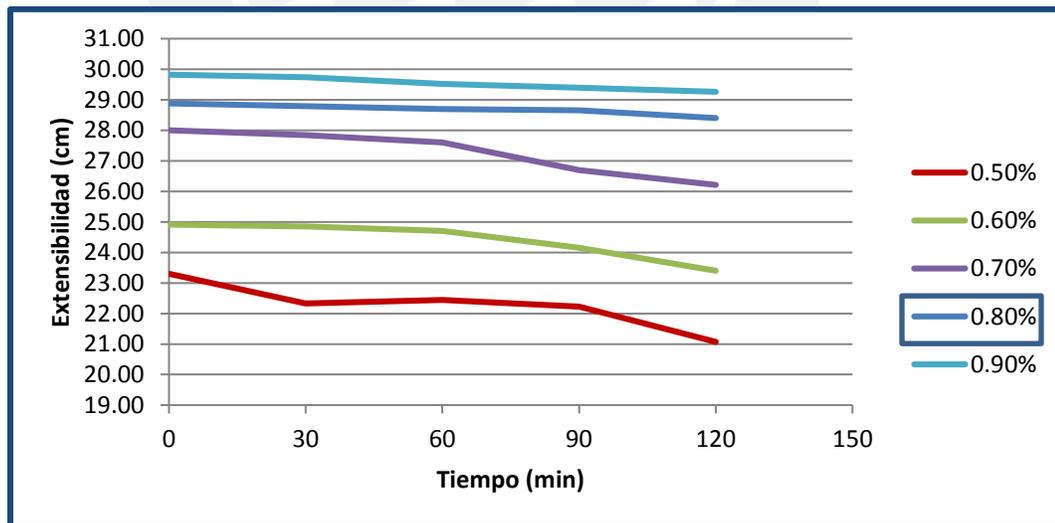


Imagen 24: Pérdida de extensibilidad para distintas dosis de Master Glenium 3200

Para el aditivo Master Glenium 3200, se encontró que su punto de saturación es 0.80%, a mayores dosis la pasta presenta segregación y exudación.

5.1.2. Cono de Marsh (a/c = 0.6)

Aditivo: Master Rheobuild 1201

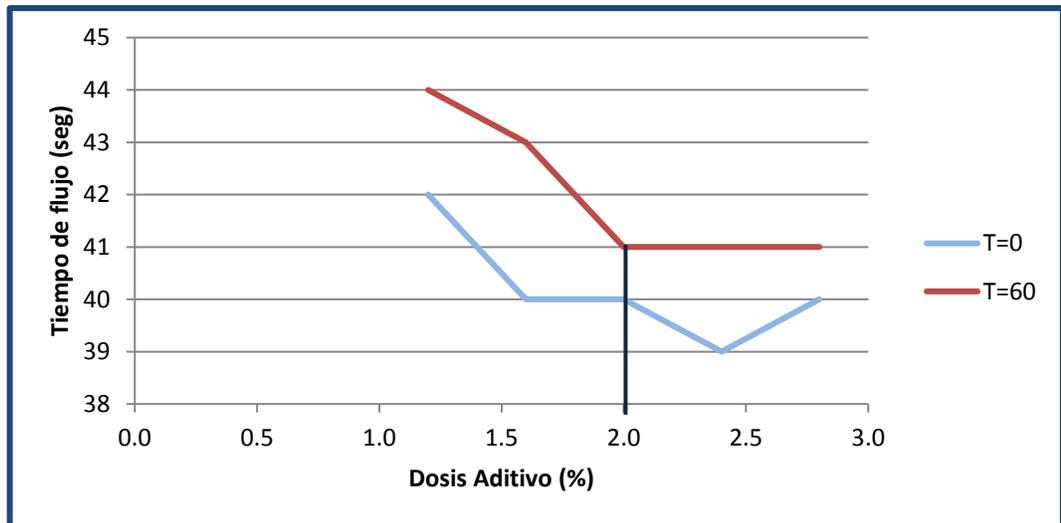


Imagen 25: Tiempo de flujo para distintas dosis de Master Rheobuild 1201

Del gráfico obtenido se observa que para este aditivo las curvas obtenidas no presentan punto de intersección, lo cual nos indica que con este aditivo la pérdida de fluidez con el paso del tiempo es elevada. Para este caso el punto de saturación viene a ser el punto donde ambas curvas se encuentran lo más cerca posible, por lo tanto, para el Master Rheobuild 1201, el punto de saturación es de 2.0%.

Aditivo: Master Glenium 3800

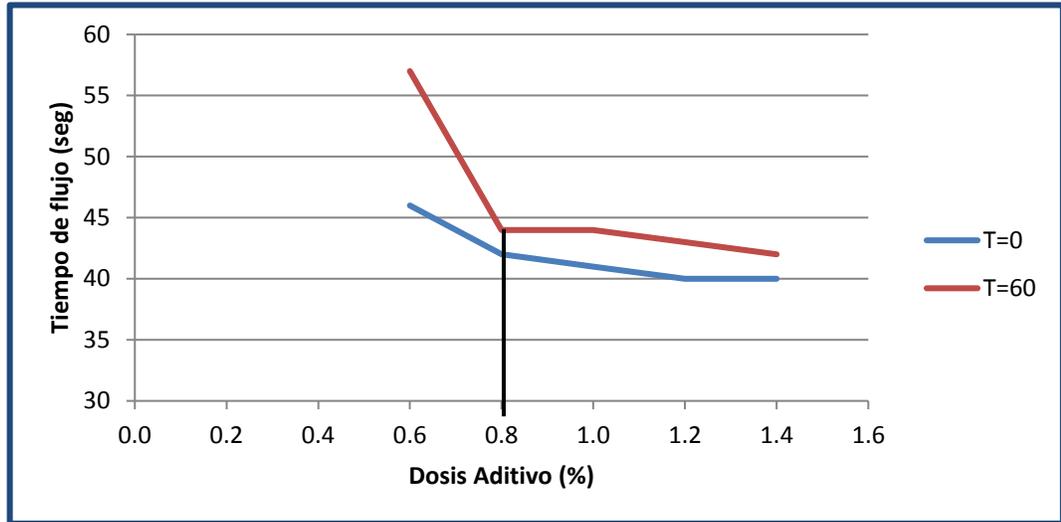


Imagen 26: Tiempo de flujo para distintas dosis de Master Glenium 3800

Al igual que lo ocurrido con el Master Rheobuild 1201, vemos que con el Master Glenium 3800 tampoco ocurre una intersección de curvas pero están cercanas, del gráfico obtenido concluimos que el punto de saturación es 0.80%.

Aditivo: Master Glenium 3200

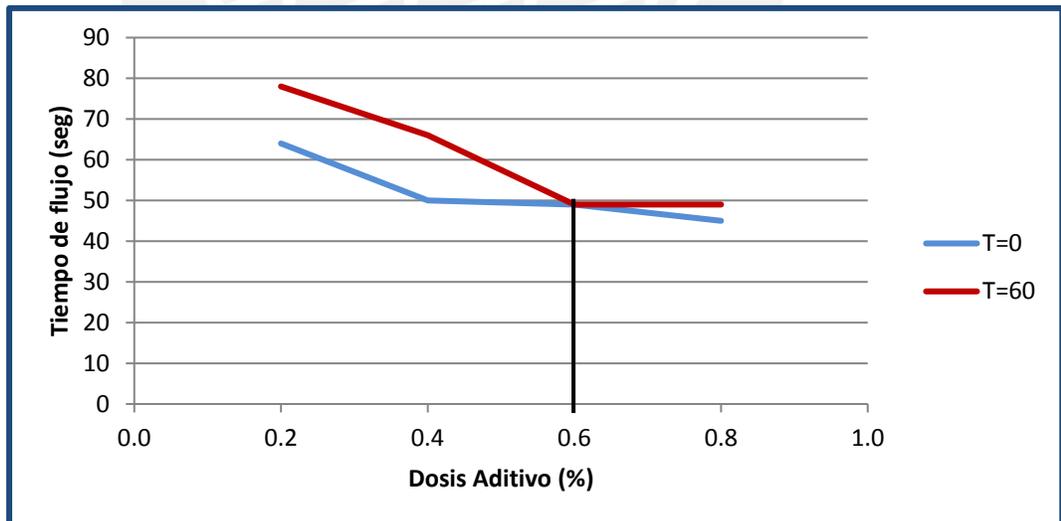


Imagen 27: Tiempo de flujo para distintas dosis de Master Glenium 3200

Del gráfico obtenido observamos la intersección entre ambas curvas, además la cercanía entre ambas curvas indica la poca pérdida de fluidez en el tiempo. Por lo tanto, concluimos que para el aditivo Master Glenium 3200 el punto de saturación es de 0.60%.

5.1.3. Ensayos Físicos de los Agregados

Agregado Fino

Peso específico

NTP 400.022/ASTM C-128

Se define como el cociente entre el peso de la muestra sin considerar los vacíos y el volumen que ocupa.

Adicionalmente, la norma nos permite calcular el **peso específico aparente** y el **peso específico de masa saturado con superficie seca (SSS)**.

Para la arena usada los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 6: Resultados del Ensayo de Peso Específico - Arena

Peso Específico de Masa	2610 kg/m ³
Peso Específico de Masa SSS	2666 kg/m ³

Peso unitario

NTP 400.017/ASTM C-29

El peso unitario se define como el cociente entre el peso del agregado y el volumen que ocupa, se expresa como el peso por metro cubico de volumen.

La norma peruana indica que el peso unitario se expresa de dos formas: **peso unitario suelto** y **peso unitario compactado**.

Peso unitario suelto

Es el peso del agregado colocado en un recipiente sin ningún tipo de compactación.

Peso unitario compactado

Para obtener este valor, se debe llenar el recipiente colocando tres partes iguales donde cada capa se compacta de acuerdo a la norma.

La tabla de pesos obtenida se muestra a continuación.

Tabla 7: Resultados del Ensayo de Peso Unitario - Arena

Peso Unitario Suelto	1425 kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1649 kg/m ³

Granulometría

NTP 400.012/ASTM C-136

Este ensayo nos permite observar la distribución del agregado de acuerdo al tamaño de sus partículas. Para lograr esto se usan tamices normalizados y un procedimiento que se encuentra establecido en la norma. Este ensayo es muy importante ya que si se obtiene una correcta distribución de tamaños, favorecerá al correcto desarrollo de la resistencia.

Los resultados del análisis granulométrico se muestran en la siguiente gráfica:

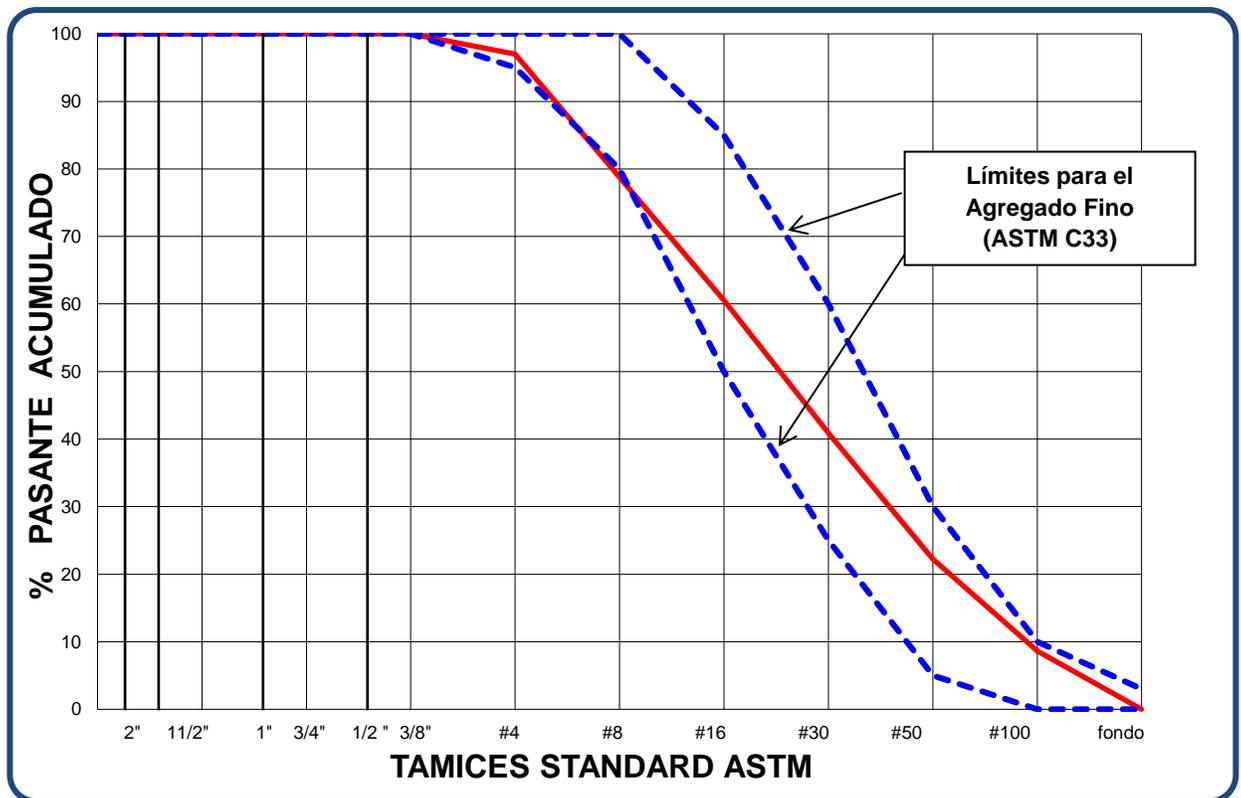


Imagen 28: Curva Granulométrica - Arena

Módulo de finura (MF)

NTP 400.011/ASTM C-125

El módulo de finura del agregado fino se obtiene mediante la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices N°4, 8, 16, 30, 50 y 100 entre 100.

Material fino que pasa la malla N°200

NTP 400.018/ASTM C-117

Este ensayo nos permite obtener el porcentaje de material que pasa la malla #200. Este valor cuando es elevado afecta de forma negativa en el concreto evitando la correcta adherencia de los materiales con el cemento.

Contenido de humedad

NTP 339.127/ASTM C-566

Con este ensayo podemos calcular la cantidad de agua que se encuentra atrapado dentro de las porosidades del agregado en su estado natural. Su valor influirá en el cálculo de la cantidad de agua para la mezcla.

Porcentaje de absorción

NTP 400.022/ASTM C-128

La absorción se define como el porcentaje de agua que le es necesario tomar al agregado para llegar a la condición de saturación con superficie seca (SSS).

Su cálculo es importante ya que nos permitirá saber cuánta agua de la mezcla tomará el agregado.

Agregado Grueso

Peso específico

NTP 400.021/ASTM C-127

Al igual que para el agregado fino, se realizaron los ensayos y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 8: Pesos Específicos obtenidos para el Huso 67 y Huso 7

	P67	P7
Peso Específico de Masa	2699 kg/m ³	2730 kg/m ³
Peso Específico de Masa SSS	2754 kg/m ³	2785 kg/m ³

Peso unitario

NTP 400.017/ASTM C-29

De la misma forma se realizaron los ensayos y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 9: Pesos Unitarios obtenidos para el Huso 67 y Huso 7

	P67	P7
Peso Unitario Suelto	1546 kg/m ³	1499 kg/m ³
Peso Unitario Compactado	1708 kg/m ³	1659 kg/m ³

Granulometría

NTP 400.012/ASTM C-136

El análisis granulométrico se determinó de acuerdo a lo establecido en norma y se obtuvo los siguientes resultados:

Piedra Huso 67:

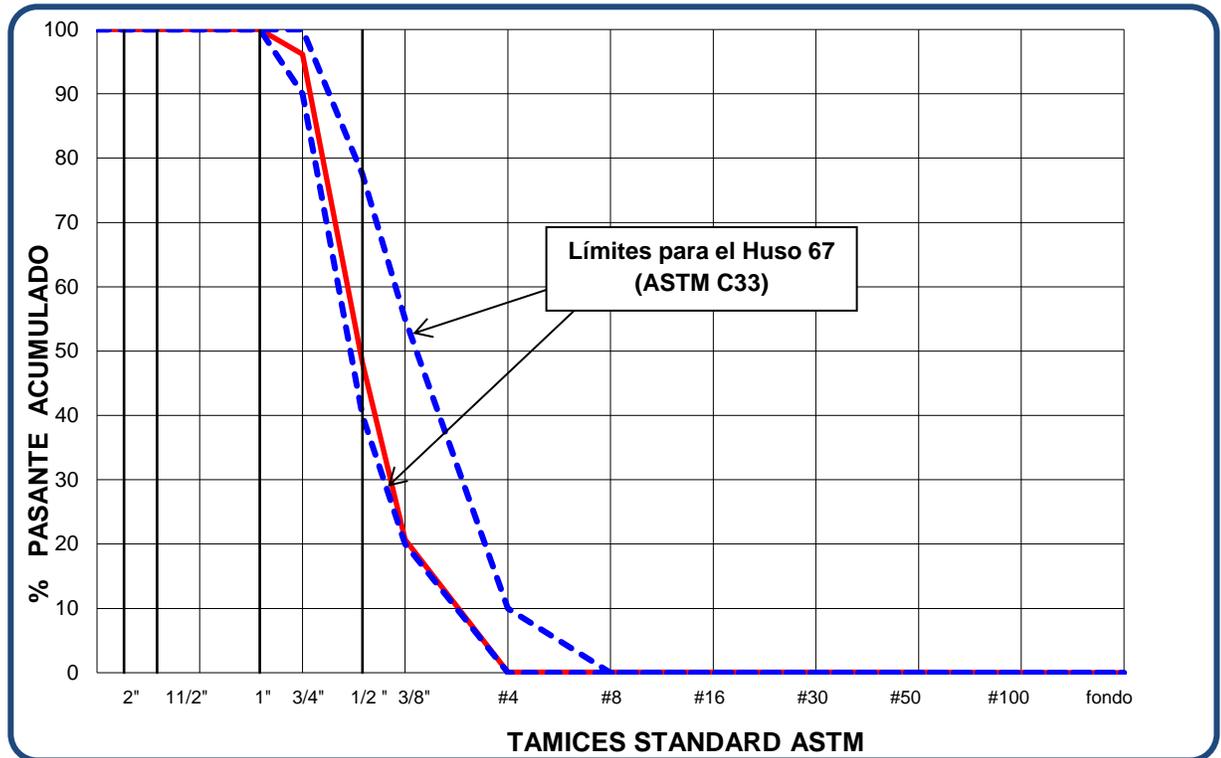


Imagen 29: Curva Granulométrica - Piedra 67

Piedra Huso 7:

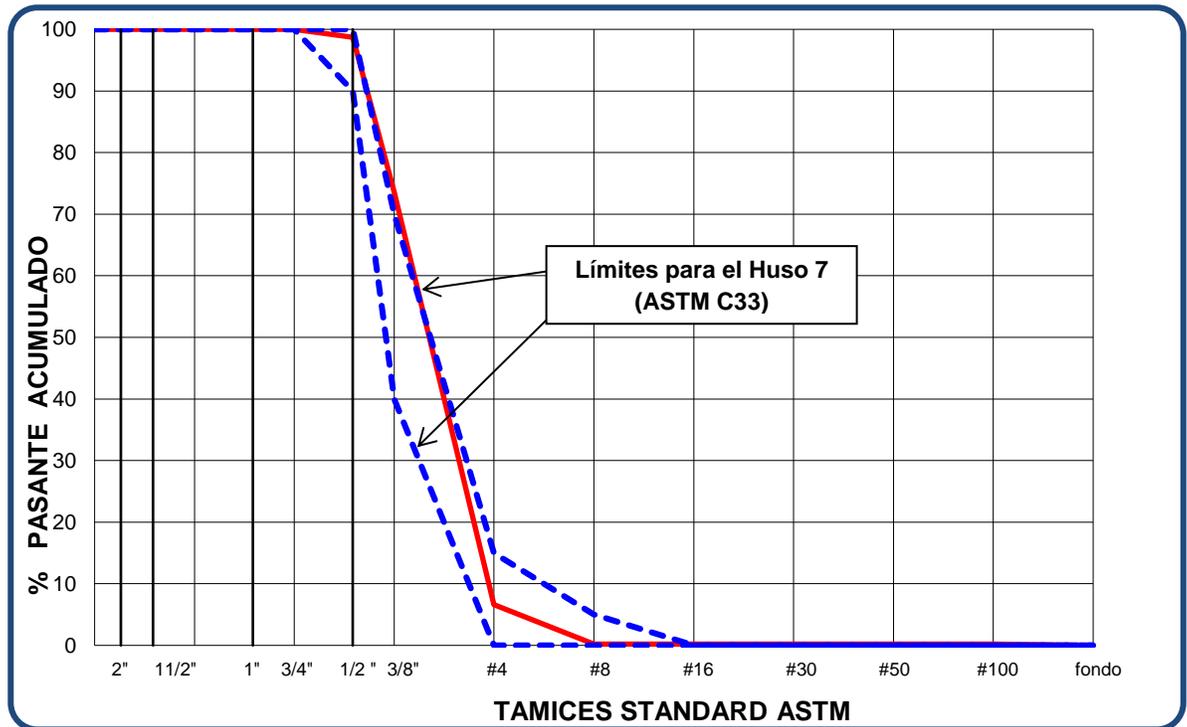


Imagen 30: Curva Granulométrica - Piedra 7

Módulo de finura

NTP 400.011/ASTM C-125

Para el cálculo del módulo de finura se realizó la sumatoria de las mallas 1 1/2", 3/4", 3/8", más 600 y entre 100.

Contenido de humedad

NTP 339.127/ASTM C-566

Se procedió de acuerdo a lo establecido a la norma.

Porcentaje de absorción

NTP 400.022/ASTM C-128

Al igual que para el agregado fino, se realizó el mismo procedimiento y se obtuvo el siguiente resultado:

Porcentaje de Absorción Huso 67 = 1.18

Porcentaje de Absorción Huso 7 = 1.30

5.1.4. Packing density

Se combinó la arena con las 2 piedras en distintas proporciones y los resultados se muestran a continuación:

Tabla 10: Combinación Arena Jicamarca y Piedra 67

a/A	Peso	Packing (kg/m ³)
40	33.35	1815.40
50	36.22	2017.82
55	36.51	2038.27
60	36.46	2034.74
70	35.6	1974.09

Tabla 11: Combinación Arena Jicamarca y Piedra 7

a/A	Peso	Packing (kg/m ³)
40	34.19	1874.64
50	35.61	1974.79
55	35.80	1988.19
60	35.32	1954.34
70	34.86	1921.90

Representación Gráfica de los resultados obtenidos

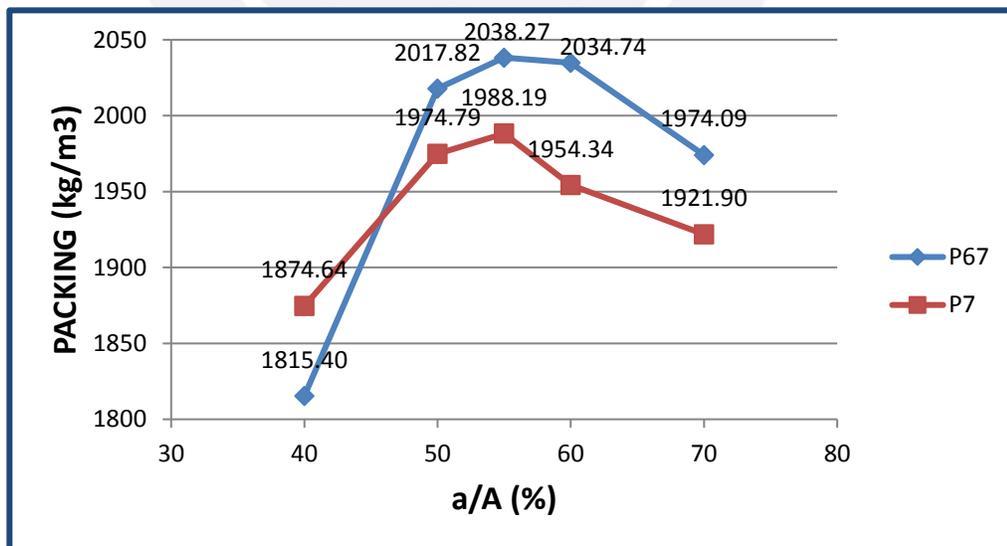


Imagen 31: Packing Density Piedra Huso 67 y 7

Como era de esperarse se observó que el agregado global formado por arena Jicamarca y piedra 67 presenta mejor packing density que el formado con la piedra 7, debido a que el huso 67 presenta mejor gradación en los tamaño de piedra lo cual hace que la mayor cantidad de vacíos sean ocupados.

5.1.5. Pruebas preliminares de concreto

Concreto con Piedra 67

Se realizaron 5 pruebas con distintas relaciones de arena/agregado global (a/A) a fin de evaluar su desempeño. En estas pruebas no se usó el mantensor de trabajabilidad.

Tabla 12: Resumen de valores obtenidos de cada mezcla

	Concreto + P67 + Aditivo				
Diseño	G1-P67	G2-P67	G3-P67	G4-P67	G5-P67
a/A	40	45	50	55	60
Dosis (cc/kg)	8.85	9	10	10	11
Slump (cm)	51	67.5	67	71	62.5
T50 (s)	14	4	5	4	4
V-Funnel (s)	> 60	18	29	11	14
L-Box	-	-	0.16	0.55	0.27
VSI	-	0	0	0	1
A/F	0.98	0.97	0.95	0.94	0.93
Pasta	41.05	41.31	41.59	41.85	42.12
Mortero	63.4	66.42	69.51	72.54	75.6

Panel Fotográfico:



Imagen 32: Diseño G1-P67



Imagen 33: Diseño G2-P67



Imagen 34: Diseño G3-P67



Imagen 35: Diseño G4-P67



Imagen 36: Diseño G5-P67

De las imágenes mostradas podemos ver que el diseño G1-P67 no cumple con ninguna especificación, debido al bajo contenido de arena ($a/A=0.40$), el resultado fue una mezcla pedregosa muy pesada casi no trabajable. Los diseños G2-P67, G3-P67 y G4-P67 resultaron ser mezclas que cumplieron parcialmente las especificaciones con excepción del V-Funnel y L-Box, se pudo observar como la cantidad de arena afecta a las propiedades debido a la presencia de las partículas finas; finalmente el diseño G5-P67 presentó rápida pérdida de trabajabilidad y se debió a la elevada cantidad de arena. Como se pudo observar, una elevada cantidad de arena o poca cantidad de arena puede afectar de forma negativa al diseño, además de la implicancia de tener que usar más aditivo plastificante. Los valores de a/A recomendados a partir de estas pruebas son 50 o 55.

Resultados Gráficos

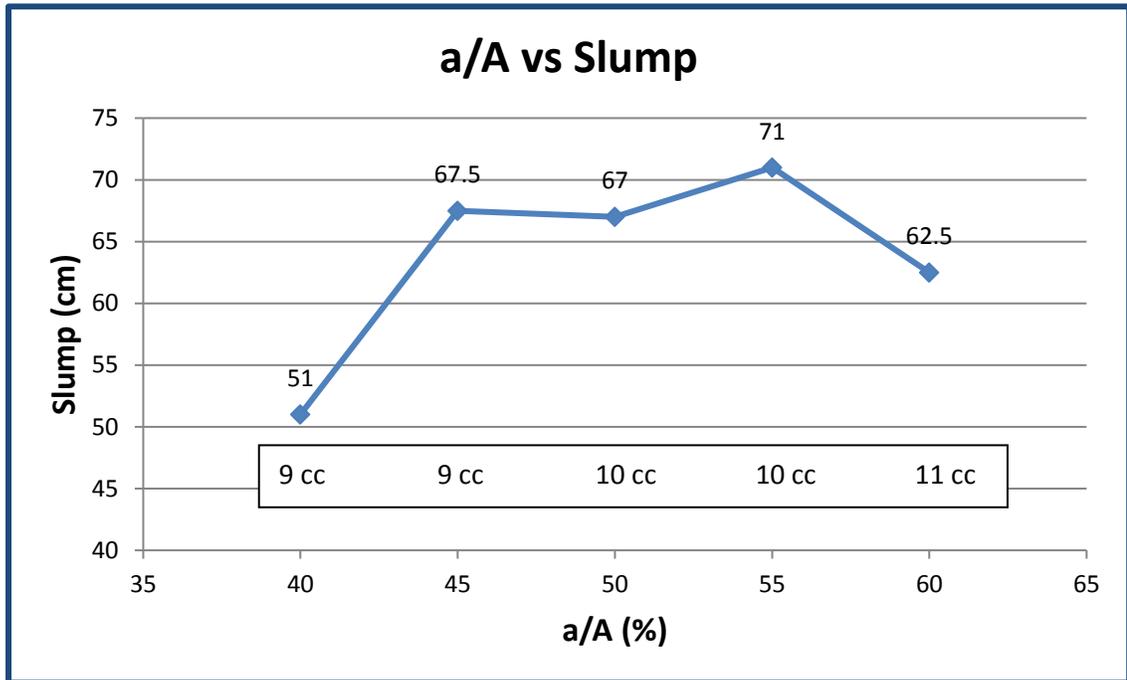


Imagen 37: a/A vs Slump

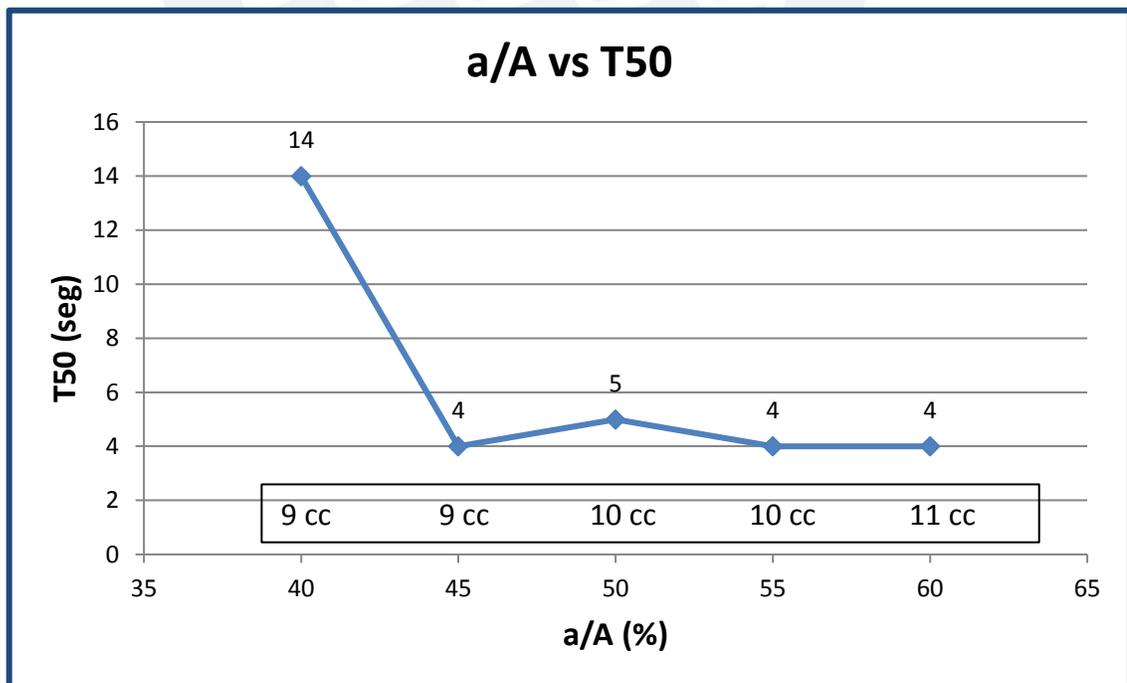


Imagen 38: a/A vs T50

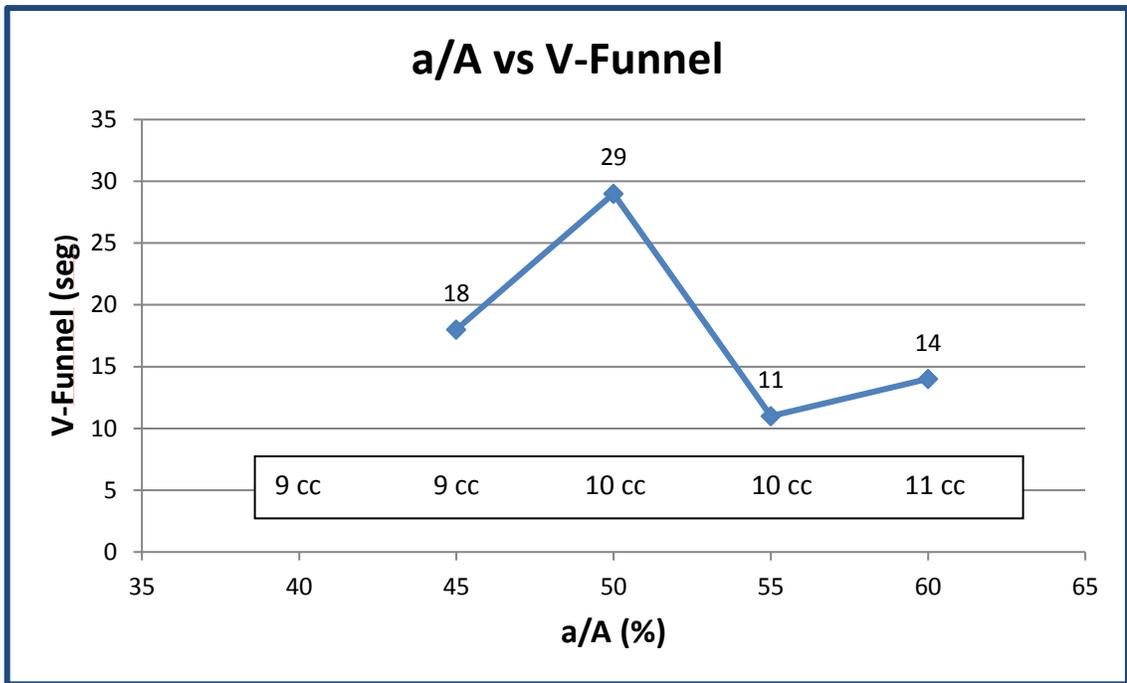


Imagen 39: a/A vs V-Funnel

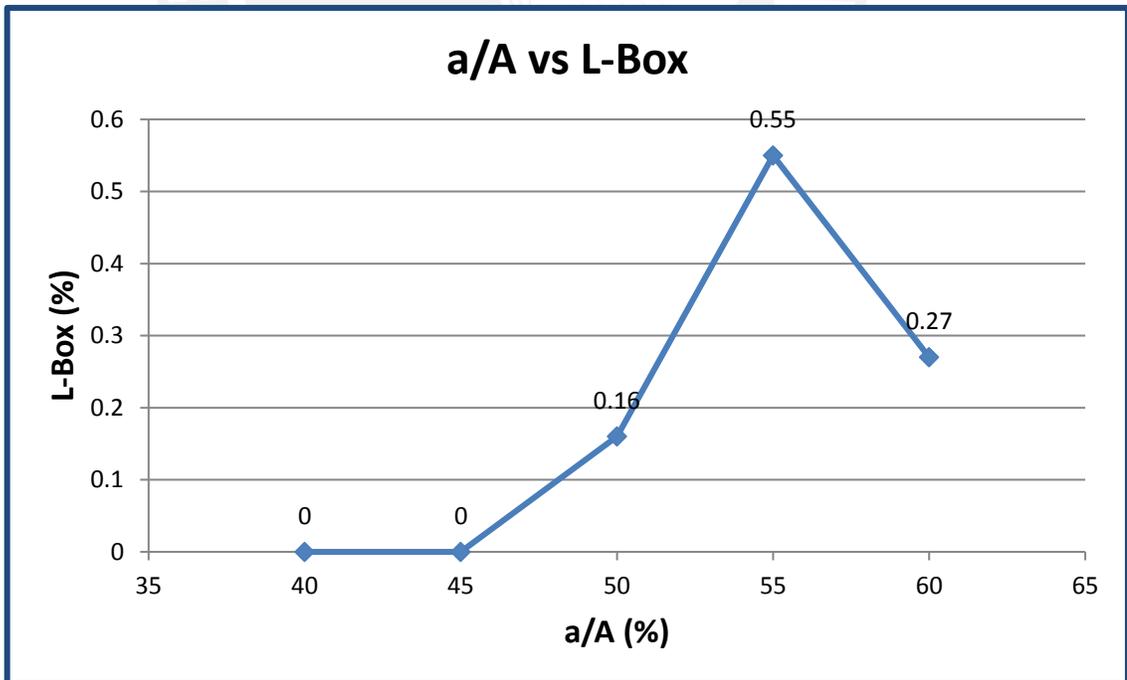


Imagen 40: a/A vs L-box

Concreto con Piedra 7

Con la experiencia obtenida de las mezclas anteriores, estas mezclas fueron reducidas a solo tres: G9-P7, G10-P7 y G11-P7 con relación a/A de 45, 50 y 55 respectivamente, donde también se evaluó principalmente el desempeño que presentaron.

Tabla 13: Resumen de valores obtenidos de cada mezcla

	Concreto + P7 + Aditivo		
Diseño	G9-P7	G10-P7	G11-P7
a/A	45	50	55
Dosis (cc/kg)	10	10	10
Slump (cm)	53	71	60
T50 (s)	6	3	6
V-Funnel (s)	35	11	18
L-Box	0.45	0.80	0.25
A/F	-	0	0
A/F	0.95	0.95	0.94
Pasta	41.32	41.59	41.85
Mortero	66.45	69.49	72.53

Panel Fotográfico:



Imagen 41: Diseño G9-P7



Imagen 42: Diseño G10-P7 (Patrón)



Imagen 43: Diseño G11-P7

Los resultados son similares a los obtenidos con la piedra 67, se corrobora que la relación a/A óptima para este tipo de concreto oscila entre 50 y 55. En nuestro caso optamos por el valor de $a/A=50\%$ ya que fue el que cumplió con todas las especificaciones. Una vez más se comprueba que tanto la disminución o aumento de arena en la mezcla afecta a sus propiedades de forma negativa.

Resultados Gráficos

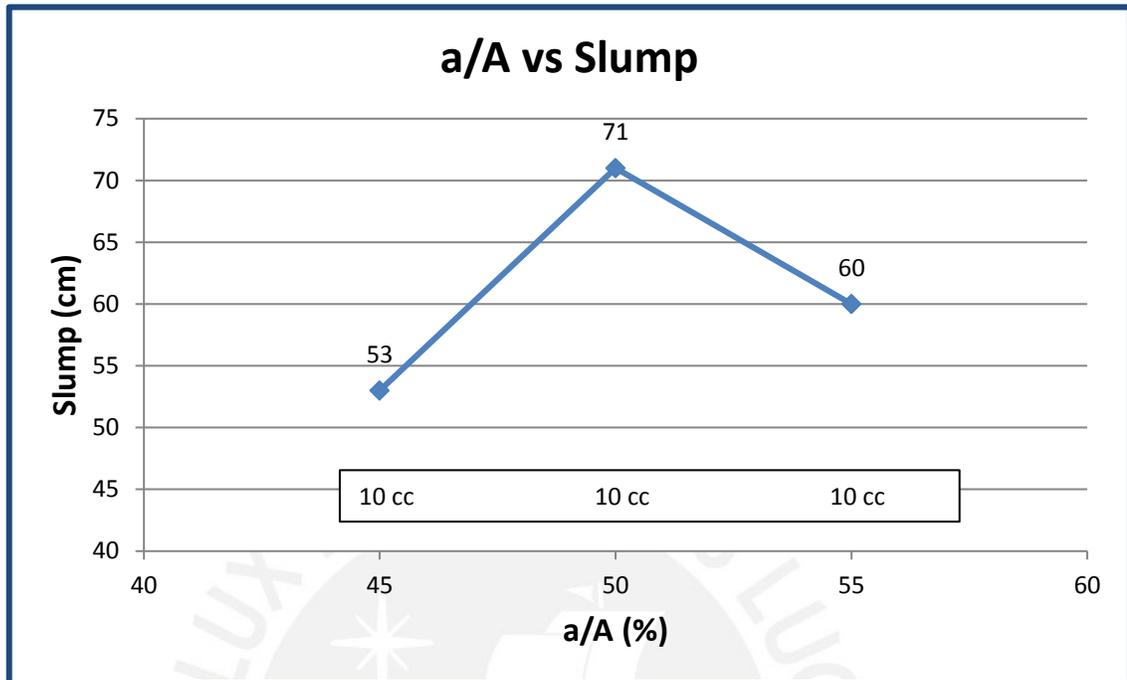


Imagen 44: a/A vs Slump

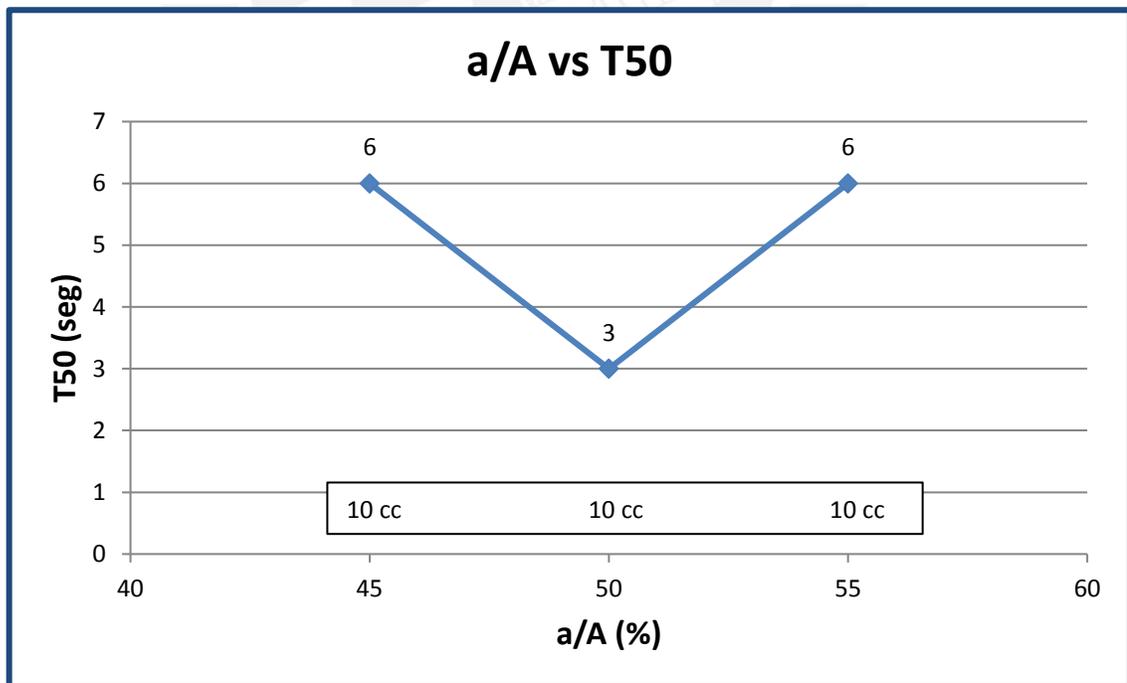


Imagen 45: a/A vs T50

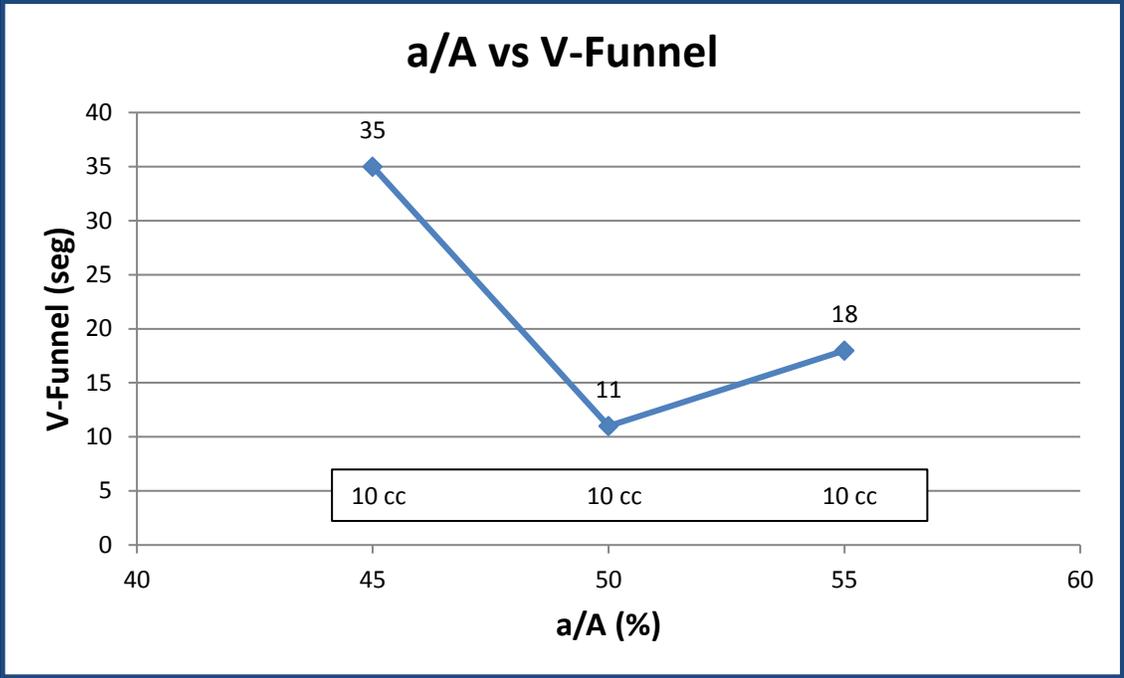


Imagen 46: a/A vs V-Funnel

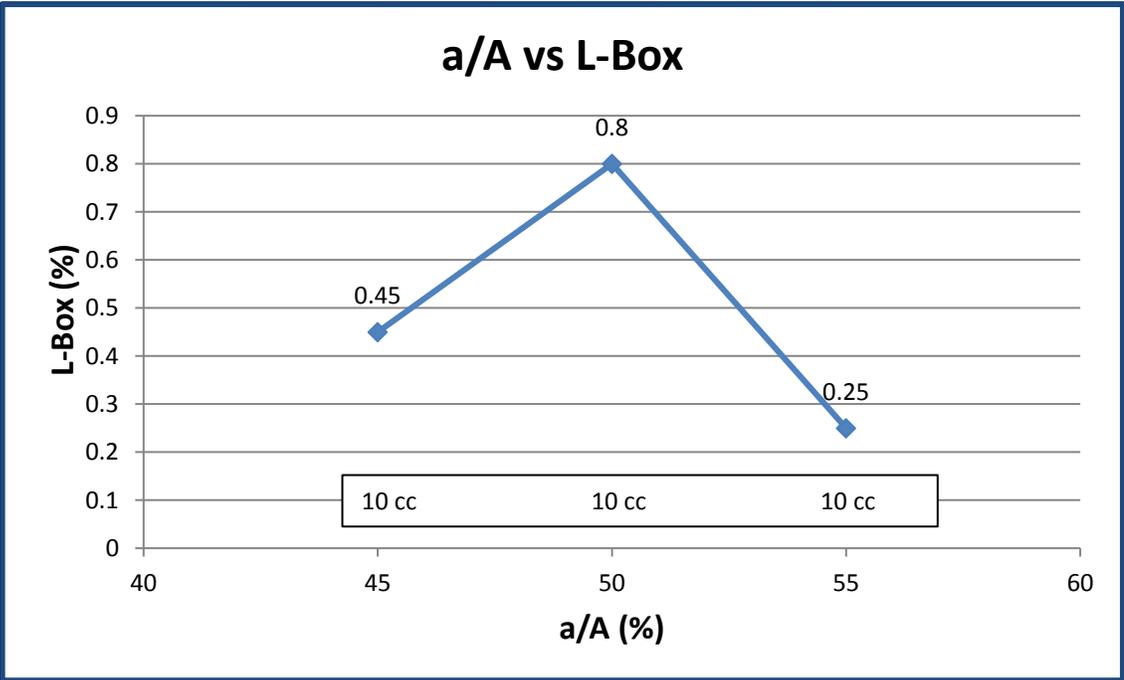


Imagen 47: a/A vs L-Box

5.1.6. Elección final de los materiales

Aditivos:

Con respecto a las pruebas de compatibilidad presentamos las tablas resumen:

Tabla 14: Resumen del Ensayo de Cono de Revenimiento

Aditivo	Punto de Saturación	Extensibilidad (cm)
Master Rheobuild 1201	3.5%	21.70
Master Glenium 3800	1.1%	28.27
Master Glenium 3200	0.8%	28.88

Tabla 15: Resumen del Ensayo de Cono de Marsh

Aditivo	Punto de Saturación	Tiempo de flujo (seg)
Master Rheobuild 1201	2.0%	40
Master Glenium 3800	0.8%	50
Master Glenium 3200	0.6%	44

Como resultado de ambos ensayos, concluimos que el aditivo más óptimo para la investigación es el **Master Glenium 3200**, esto se debe principalmente al gran poder dispersante que presenta este aditivo debido a su desarrollo a base de policarboxilatos.

Agregados:

Con respecto a las pruebas de concreto, se observó que tanto la piedra 67 como la 7 dan buenos resultados, sin embargo en el ensayo del L-Box, los resultados del huso 67 no son satisfactorios debido a que sus valores son muy bajos, el ACI 237 recomienda valores de L-Box iguales o superiores a 0.80. Además a esto, la norma E.060 establece restricciones para el tamaño de la piedra que depende principalmente del espaciamiento entre las barras de refuerzo; las estructuras que se construirán a partir de estos diseños demandarán un alto contenido de acero. Las mezclas hechas con piedra 7, en especial el diseño G10-P7, presentaron mejores resultados por lo tanto concluimos que **por desempeño el huso 7 es mejor que el 67.**

Por lo tanto: Se define el diseño G10-P7 como nuestro diseño patrón.

Tabla 16: Desempeño del diseño G10-P7

Ensayo	Unidad	Mínimo	Máximo	Resultado	Verificación
Extensibilidad	cm	65	80	71	Cumple
T50	seg	2	5	4	Cumple
VSI	-	1	0	0	Cumple
V-Funnel	seg	6	12	11	Cumple
L-Box	-	0.8	1	0.80	Cumple
				Eficiencia	100%

Los valores máximos y mínimos mostrados en la tabla obedecen a lo establecido por el ACI 237 para los ensayos de T50, VSI y L-Box; y la norma europea EFNARC para los ensayos de extensibilidad y V-Funnel. Cabe mencionar que el ACI 237 propone una extensibilidad de 45 y 76 cm como valores mínimo y máximo respectivamente.

Resistencia alcanzada por el patrón G10-P7

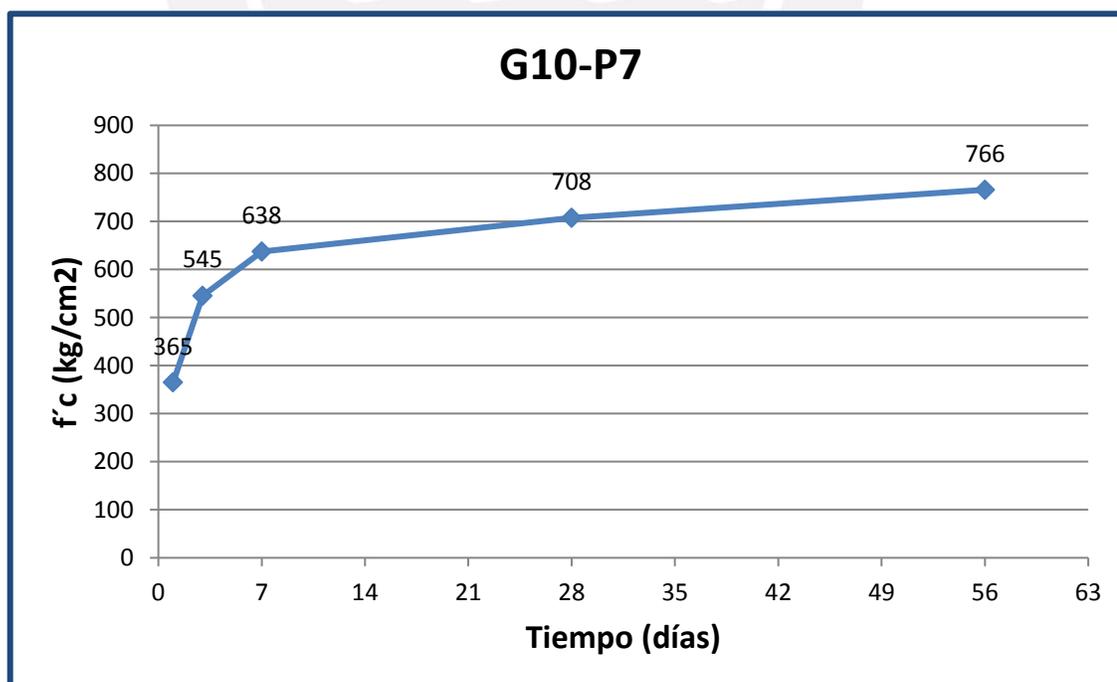


Imagen 48: Resistencias alcanzadas por el Diseño G10-P7

En la ilustración podemos observar el desarrollo de la resistencia a la compresión del diseño patrón, donde se puede apreciar que a los 7 días se obtuvo una resistencia de 638 kg/cm² con lo cual se superó la resistencia de diseño especificada (600 kg/cm²). Finalmente, a los 56 días se obtuvo una resistencia de 766 kg/cm² (1.28f_c), lo cual nos permitió reducir la cantidad de cemento.

5.2. Diseños Preliminares con materiales cementicios suplementarios

El propósito de esta parte es usar adiciones suplementarias a fin de reducir la cantidad de cemento pero logrando las características obtenidas en nuestro diseño patrón (G10-P7). Se usaron dos materiales cementicios: Filler calizo y microsílíce bajo el nombre de Master Life SF 100, ambos provenientes de la empresa BASF Construction Chemicals Peru S.A.

5.2.1. Diseño 1: Cemento + Filler

Se realizaron tres tandas con distintas proporciones de Filler, con una relación A/ML = 0.35 y a/A = 0.50.

Tabla 17: Resumen de valores obtenidos de cada mezcla

	Concreto + P7 + Filler		
Diseño	F1-P7	F2-P7	F3-P7
a/A	50	50	50
Dosis Aditivo cc/kg)	10	9	13
Dosis Filler (%)	10	20	30
Slump (cm)	62	65	61
T50 (s)	6	4	3
V-Funnel (s)	18	11	5
L-Box	-	0.17	-
VSI	0	0	0
A/F	0.94	0.93	0.92

Pasta	41.84	42.09	42.4
Mortero	69.60	69.74	69.89

Panel Fotográfico:



Imagen 49: Diseño F1-P7



Imagen 50: Diseño F2-P7



Imagen 51: Diseño F3-P7

De las imágenes podemos observar que las tres pruebas resultaron estables sin rastro de segregación o exudación y con una extensibilidad satisfactoria. El uso del filler nos permitió obtener mayor trabajabilidad sin embargo, como se verá más adelante, este material afectará de forma negativa en la resistencia a la compresión, además de la rápida pérdida de trabajabilidad debido al aumento del área superficial ya que el filler es más fino que el cemento y esto a su vez trae como consecuencia el aumento en la dosis del aditivo.

Resultados Gráficos

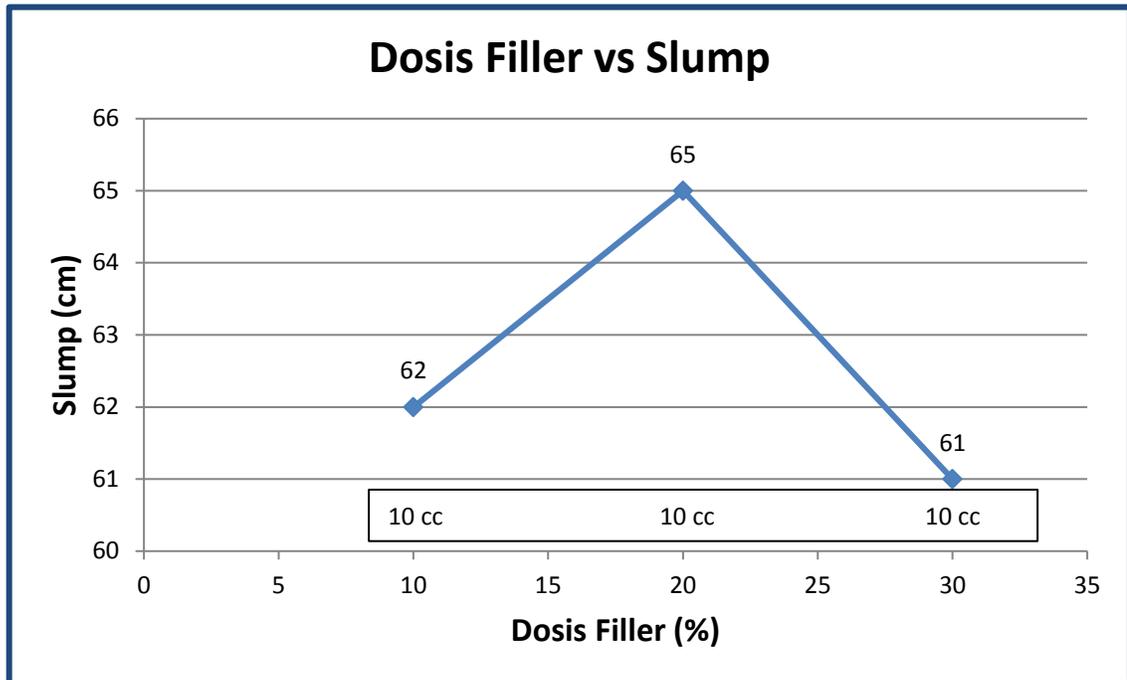


Imagen 52: Dosis Filler vs Slump

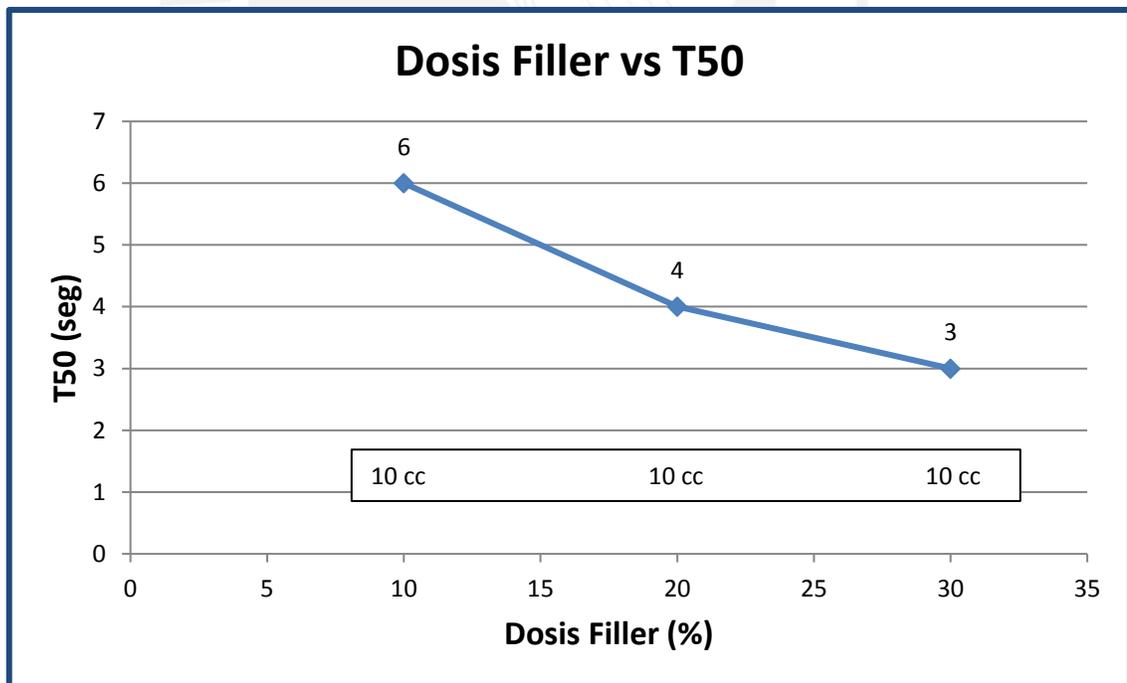


Imagen 53: Dosis Filler vs T50

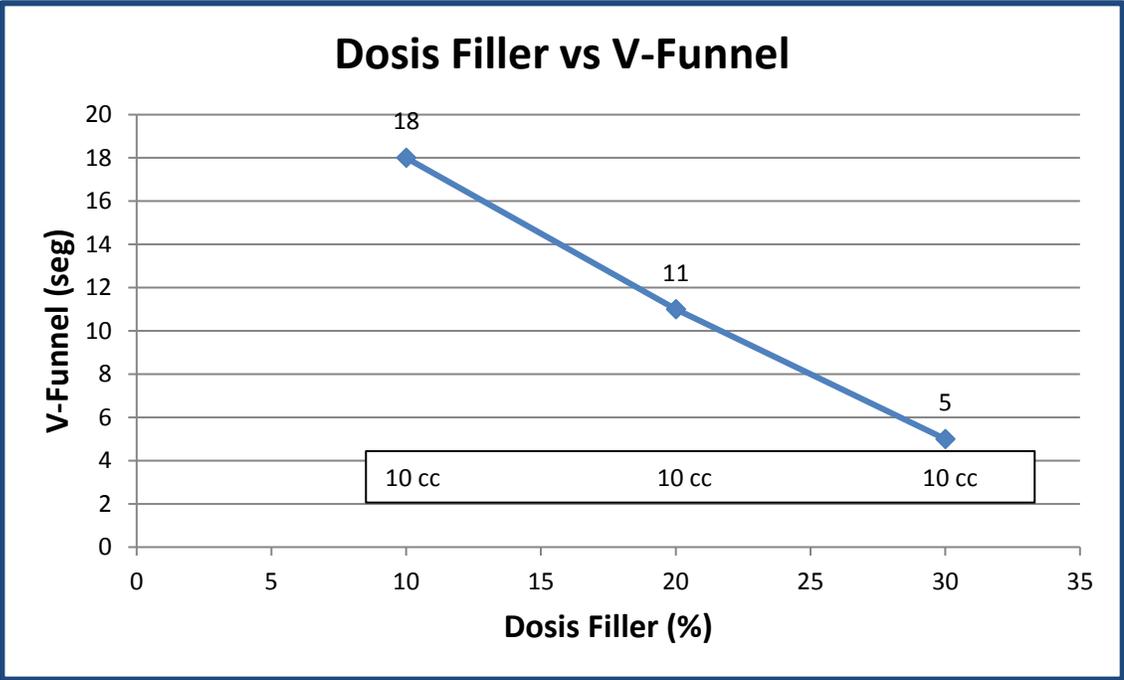


Imagen 54: Dosis Filler vs V-Funnel

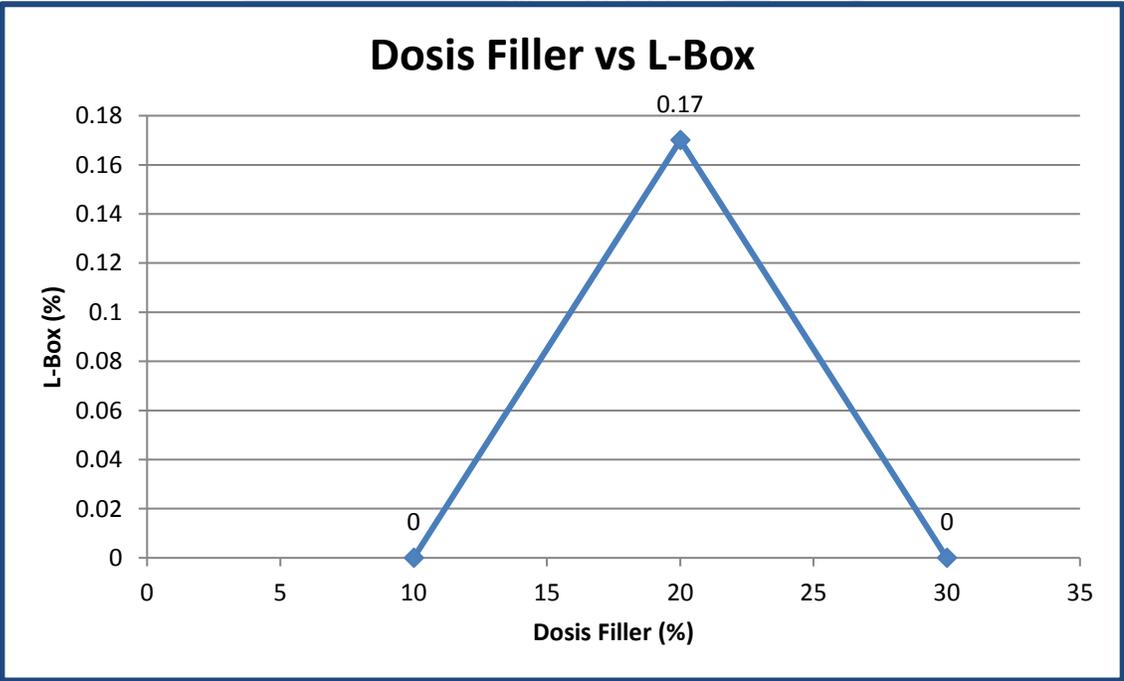


Imagen 55: Dosis Filler vs L-Box

De los gráficos podemos observar que las requerimientos de extensibilidad, T50, V-Funnel fueron cumplidos me manera satisfactoria, sin embargo el ensayo L-Box fue donde se encontró fallas ya que sus valores fueron bajos (<0.30).

El diseño que mejores resultados presentó fue el **diseño F2-P7**.

Tabla 18: Desempeño del diseño F2-P7

Ensayo	Unidades	Mínimo	Máximo	Resultados	Verificación
Extensibilidad	cm	65	80	65	Cumple
T50	seg	2	5	4	Cumple
VSI	-	1	0	0	Cumple
V-Funnel	seg	6	12	11	Cumple
L-Box	-	0.8	1	<0.3	No Cumple
				Eficiencia	80%

Como se mencionó antes, el uso del filler permitió reducir la cantidad de cemento empleado. A continuación se muestra las reducciones realizadas. Cabe mencionar que el diseño patrón esta hecho a base de 550 kg de cemento.

Tabla 19: Reducción de bolsas de cemento

	Patrón	F1 - P7	F2 - P7	F3 - P7
Cemento (kg)	550	495	440	385
Bolsas	13	12	11	9

Podemos observar que se logró una considerable reducción de hasta 4 bolsas de cemento, lo cual representa una considerable reducción en los costos ya que no hubo necesidad de alterar la dosis de aditivo o cualquier otro insumo.

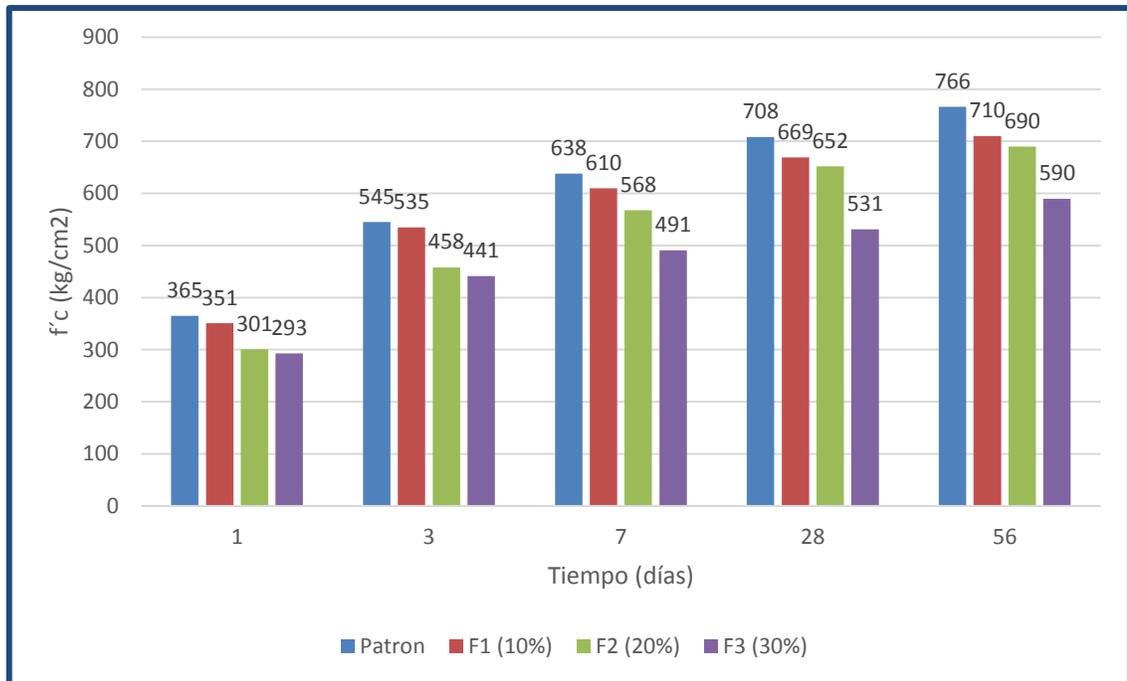


Imagen 56: Comparación de Resistencias entre Filler y el Diseño Patrón G10-P7

En cuanto a las resistencias, como se puede observar en el gráfico de resistencias, los resultados de los tres diseños se encuentran por debajo del diseño patrón, con lo cual concluimos que usando solamente Filler no es posible replicar el diseño patrón. Sin embargo, si analizamos los diseños F1 y F2 de forma independiente se observa que cumple con los requisitos de resistencia.

La disminución en la resistencia se debe a lo explicado en el capítulo 3, el filler tiene una reactividad muy baja. Al aumentar la cantidad de filler disminuye el cemento, si bien se mantiene la relación agua/material ligante, la relación agua/cemento aumenta.

Tabla 20: Efectos del filler en la resistencia

	F'c (28 días)	F'c (56 días)
Patrón	708 (100%)	766 (100%)
10% Filler	669 (94%)	710 (93%)
20% Filler	652 (92%)	690 (90%)
30% Filler	531 (75%)	590 (77%)

Se observó que al reemplazar un 10% en peso de cemento por filler se produjo una disminución de la resistencia de aproximadamente 6%. Para un reemplazo de 20% se produjo una disminución del 10%, mientras que para un reemplazo del 30% la reducción fue del 25%.

Con estos valores se podrá elegir con mayor facilidad las cantidades finales para realizar los diseños definitivos.

5.2.2. Diseño 2: Cemento + Microsílice

Al igual que con el Filler, se realizaron tres tandas con distintas dosificaciones de microsílice.

Tabla 21: Resumen de valores obtenidos de cada mezcla

	Concreto + P7 + Microsílice		
Diseño	MS1-P7	MS2-P7	MS3-P7
a/A	50	50	50
Dosis Aditivo (cc/kg)	8	13	15
Dosis MS (%)	5	10	15
Slump (cm)	63	43	54
T50 (s)	4	6	6
V-Funnel (s)	13	-	-
L-Box	-	-	-
A/F	0.93	0.92	0.90
Pasta	41.95	42.33	42.69
Mortero	69.67	69.85	70.04

Panel Fotográfico:



Imagen 57: Diseño MS1-P7



Imagen 58: Diseño MS2-P7



Imagen 59: Diseño MS3-P7

De las imágenes podemos observar que el mejor diseño es el MS1-P7 ya que presenta uniformidad y buena consistencia. El diseño MS2-P7 resultó ser muy pesado y seco debido a la alta cantidad de partículas finas, lo cual fuerza a usar más aditivo, falló en todas las pruebas. Finalmente el diseño MS3-P7 al contener más microsilíce obligó a añadir más aditivo para evitar que salga igual que el diseño MS2-P7; sin embargo los resultados no fueron mejores y se empezó a ver señales de exudación y segregación (saturación).

Resultados Gráficos

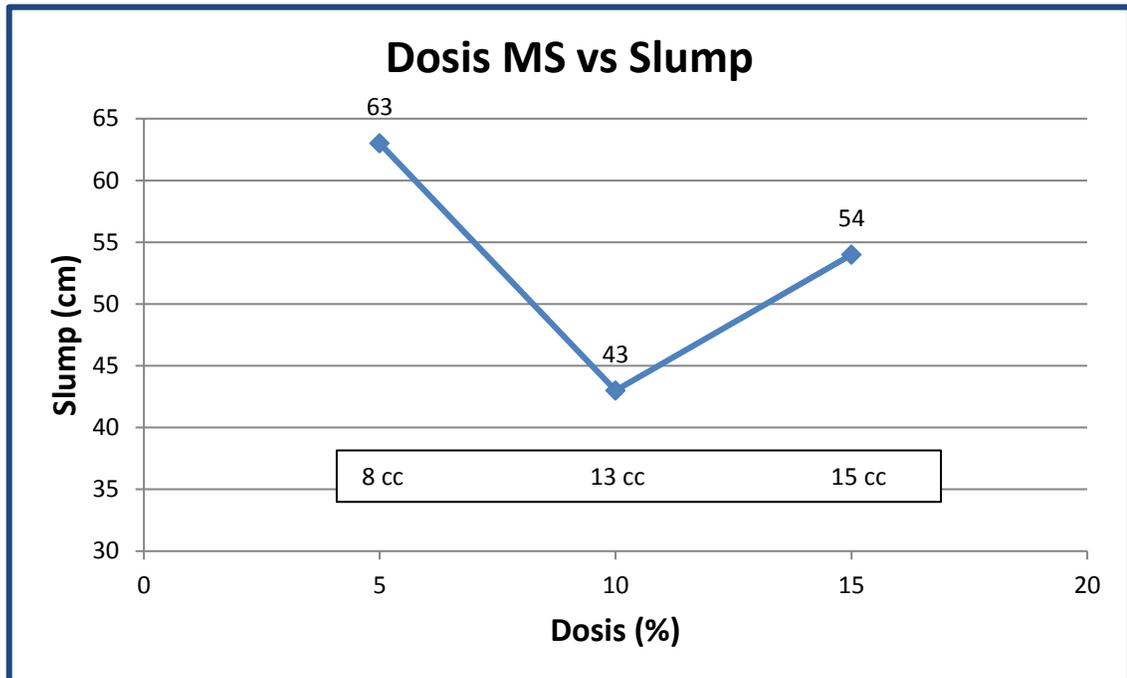


Imagen 60: Dosis MS vs Slump

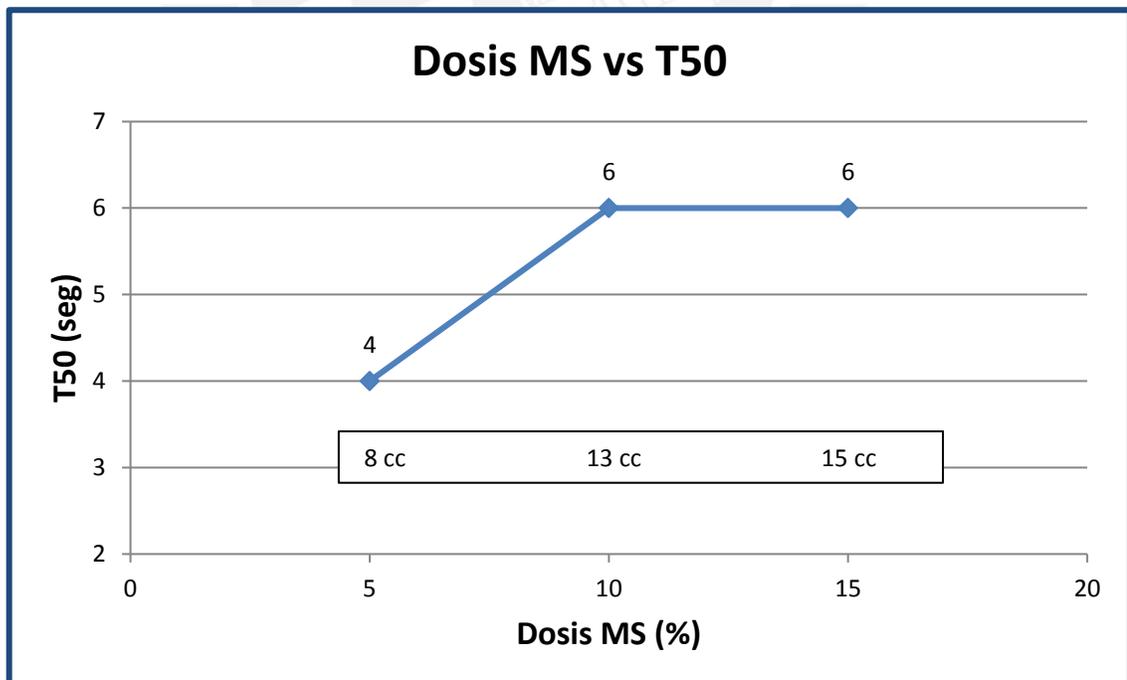


Imagen 61: Dosis MS vs T50

Al observar los resultados concluimos que el diseño MS1-P7 es el que presenta mejores condiciones de desempeño, pero sus valores están muy cerca de los límites. El alto contenido de finos obliga a subir las dosis del aditivo para poder mantener sus características, lo cual hizo que la mezcla elevara su costo de fabricación. Todos los diseños presentan problemas de desempeño (falla en V-Funnel y L-Box) por lo que no se considera como concreto del tipo autocompactado pero si de alta resistencia.

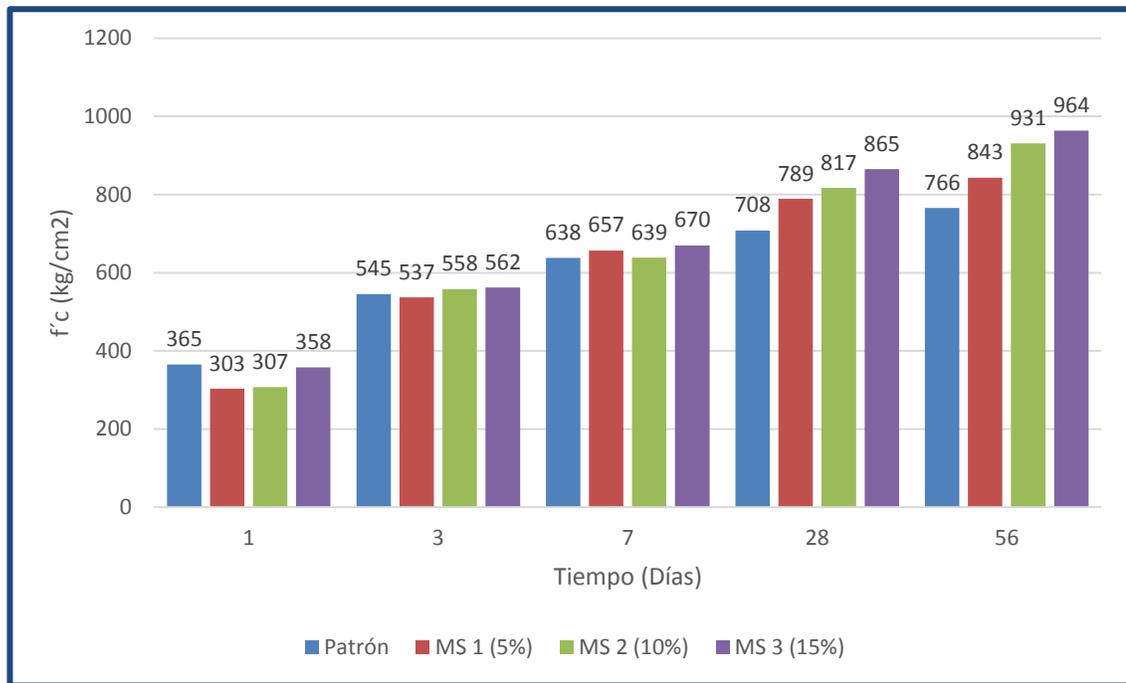


Imagen 62: Comparación de Resistencias entre Microsílice y el Diseño Patrón G10-P7

Por otro lado, como se esperaba, las resistencias obtenidas son muy buenas, gracias a la alta reactividad que tiene la microsíllice, a los 7 días se supera la resistencia de diseño $f'c$. El diseño elegido MS1-P7 alcanzó una resistencia de 789 kg/cm² (1.32 $f'c$) a los 28 días y 843 kg/cm² (1.41 $f'c$) a los 56 días, mientras que el MS3-P7 alcanzó 865 kg/cm² (1.44 $f'c$) y 964 kg/cm² (1.61 $f'c$) a los 28 y 56 días respectivamente.

Al analizar los resultados obtenidos a los 28 y 56 días podemos establecer una relación entre la cantidad de microsíllice y la resistencia obtenida. Se muestra el siguiente cuadro:

Tabla 22: Efectos de la Microsílice en la resistencia

	F'c (28días)	F'c (56 días)
Patrón	708 (100%)	766 (100%)
5% MS	789 (111%)	843 (110%)
10% MS	817 (115%)	931 (121%)
15% MS	865 (122%)	964 (125%)

De la experimentación podemos afirmar que una adición de 5% en peso de la microsílice genera un incremento de la resistencia de 10%, un incremento de 10% en peso genera un incremento promedio de 18% en la resistencia mientras que para un incremento del 15% se genera un incremento de 25% en la resistencia. Estos números nos servirán de mucho para poder dosificar cantidades cuando se quiera alcanzar una resistencia especificada o aumentar su valor.

El diseño **MS1-P7** fue el que presentó mejor desempeño.

Tabla 23: Desempeño del Diseño MS1-P7

Ensayo	Unidad	Mínimo	Máximo	Resultados	Verificación
Extensibilidad	cm	65	80	63	No cumple
T50	seg	2	5	4	Cumple
VSI	-	1	0	0	Cumple
V-Funnel	seg	6	12	13	No cumple
L-Box	-	0.8	1	<0.3	No cumple
				Eficiencia	40%

Finalmente como conclusión general podemos afirmar que no se puede fabricar un concreto del tipo autocompactado con las especificaciones requeridas usando únicamente filler o microsílice, por lo que se tuvo que usar una combinación de ambas para alcanzar las especificaciones deseadas. De no existir especificaciones tan estrictas como en este caso, estos concretos serían excelentes opciones de uso.

5.2.3. Análisis Costo-Beneficio

A continuación se muestra la relación que existe entre el costo de la mezcla, el desempeño y la resistencia alcanzada a los 56 días

Tabla 24: Relación Costo-Beneficio de cada diseño

Diseño	% Respecto del patrón en:		
	Costo	Reología	Resistencia
G10-P7	Patrón	Patrón	Patrón
Filler 10%	93%	20%	93%
Filler 20%	85%	80%	90%
Filler 30%	85%	60%	77%
MS 5%	129%	40%	110%
MS 10%	170%	20%	121%
MS 15%	197%	20%	125%

Como se puede apreciar en el cuadro, el costo de las mezclas hechas con filler es inferior al costo del patrón, se logra una reducción de costo de hasta un 15% esto se da gracias a la reducción de cemento que se consiguió y que el filler es mucho más barato que el cemento. Sin embargo, el desempeño y la resistencia se ven afectado negativamente, verificamos que dosis mayores a 20% de filler genera serias disminuciones en el desempeño y la resistencia lo cual no es conveniente para los fines establecidos. Por otro lado, el costo de la microsílíce es mayor que la del cemento, razón por la cual observamos que las mezclas con microsílíce tienen un costo mucho mayor (hasta un 200% del costo del patrón). Mientras más microsílíce se usó, mayor fue la dosis de aditivo, lo cual en conjunto elevan el costo de la mezcla; por el lado del desempeño también se observa serias deficiencias mientras que la resistencia es elevada y superior al patrón. Con esto concluimos que es necesario realizar una mezcla con una combinación de ambos materiales para poder obtener un concreto que cumpla con las especificaciones pero que también tenga un costo viable.

5.3. Diseños finales y evaluación completa

5.3.1. Diseños Realizados

Estos diseños fueron hechos con una combinación de filler y microsílíce a fin de cumplir las especificaciones que no se pudieron lograr de manera independiente; adicionalmente se usó el aditivo Master Sure Z60 para mantener la trabajabilidad en el tiempo. Estas mezclas al ser las definitivas fueron sometidas a los ensayos de reología a fin de poder completar todas las pruebas concernientes a un concreto autocompactado. Se realizaron cinco pruebas, cada una con distintas cantidades de insumos basados en las experiencias anteriores a fin de compararlos entre ellos y optimizarlos.

El diseño S1 fue el diseño patrón que es una réplica del diseño G10-P7, se esperan que los resultados sean similares a los que se obtuvieron anteriormente.

El diseño S2 es una combinación de cemento y filler similar al F2-P7, donde se espera analizar sus resultados.

Los diseños S3, S4 y S5 son combinaciones de cemento, filler y microsílíce en distintas proporciones, siendo el S5 el que tiene mayor concentración de microsílíce. En estos tres diseños es en donde se espera encontrar nuestro mejor diseño optimizado.

Tabla 25: Diseños finales de mezcla y resultados obtenidos

Materiales (Unidades por m3)	S1	S2	S3	S4	S5
Relación agua-material cementante	0.35	0.35	0.33	0.28	0.29
Cemento Portland tipo I (kg)	550	440	413	382	385
Contenido de agua (kg)	192.5	192.5	180	170	160
Filler (kg)	-	110 (20%)	117 (21%)	206 (34%)	138 (25%)
Microsílice (kg)	-	-	20 (3.70%)	18 (3%)	28 (5%)
Agregado grueso SSS (HUSO 7) en kg	749	742	754	739	739
Agregado fino SSS Jicamarca (kg)	892.5	884.5	896.7	878.2	956.2
MasterGlenium 3200 (cc/kg)	8	9	9	10	14
MasterSure Z60 (cc/kg)	10	10	15	15	15
Contenido de aire (% de 1 m3)	1.4%	2.9%	1.9%	1.6%	1.6 %
Volumen de pasta (% de 1m3)	41.71	42.23	40.42	41.65	38.49
Volumen de mortero (% de 1m3)	72.47	72.73	72.29	72.83	72.79
a/A (% de 1m3)	55	55	55	55	57
A/F	0.94	0.92	0.84	0.72	0.74
Slump flow (cm)	69	69	65	72	70
T50 (s)	2	2	3	4	4
V-Funnel 0 min (s)	6	12	17	13	37
V-Funnel 5 min (s)	7	23	45	30	86
L-Box	0.8	0.38	0.19	0.80	0.80
VSI	0	0	1	0	0

Panel Fotográfico:

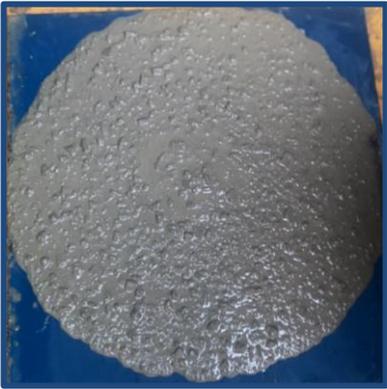


Imagen 63: Diseño S1 (Patrón)



Imagen 64: Diseño S2



Imagen 65: Diseño S3



Imagen 66: Diseño S4



Imagen 67: Diseño S5

Como se puede apreciar en las imágenes, todas las mezclas presentaron buena trabajabilidad y consistencia sin presencia de segregación o exudación. La trabajabilidad fue buena en todos los diseños, el aditivo mantensor MasterSure Z60 permitió que los diseños mantuvieran su trabajabilidad por mucho más tiempo (>3hrs).

Los diseños S4 y S5 tienen una peculiaridad, su relación A/F está fuera del rango sugerido por EFNARC y el ACI 237, sin embargo como se explicó en el capítulo 4, estos valores son referenciales que pueden variar modificando otros parámetros de diseño.

Resultados Gráficos

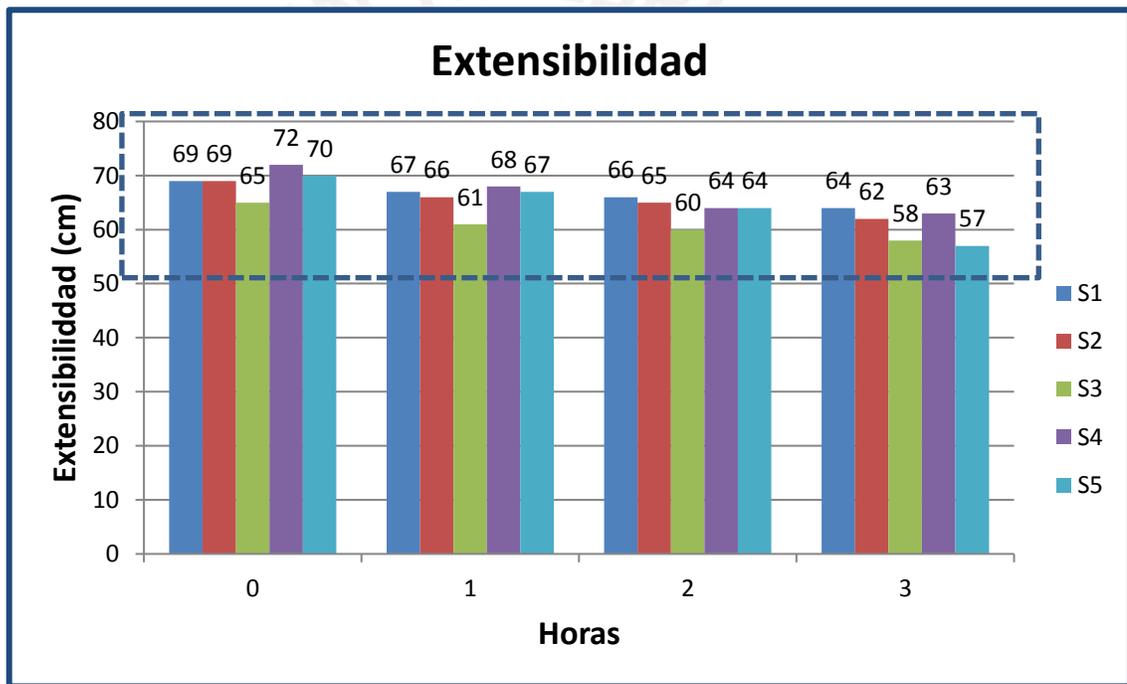


Imagen 68: Variación de la extensibilidad en el tiempo

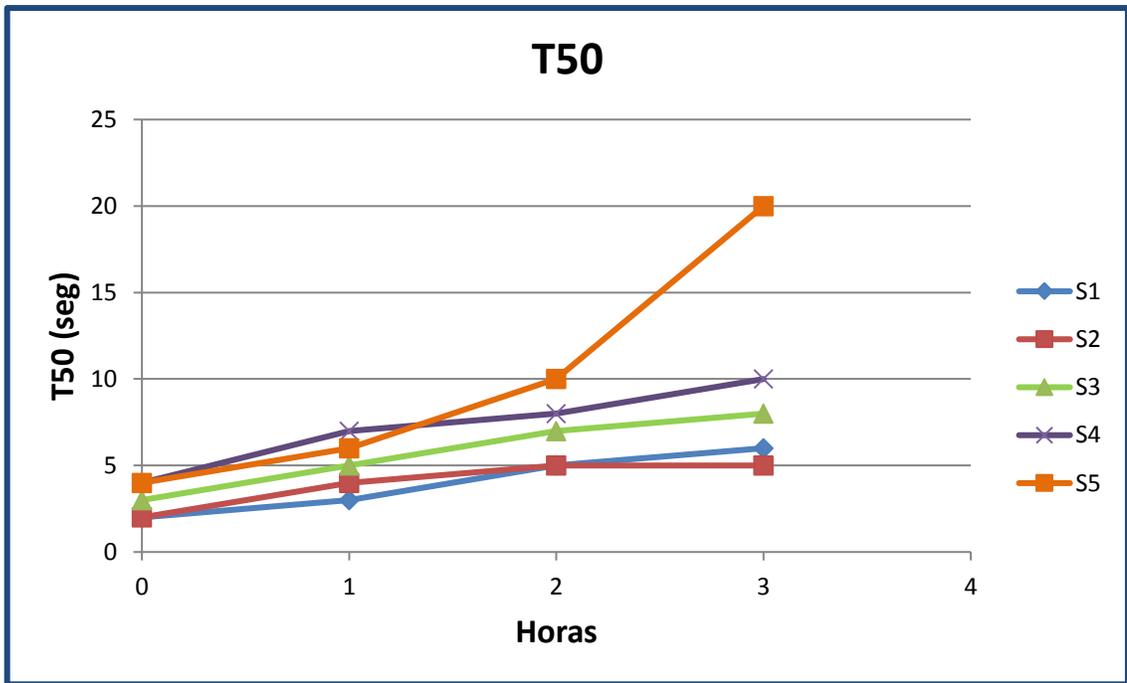


Imagen 69: Variación del T50 en el tiempo

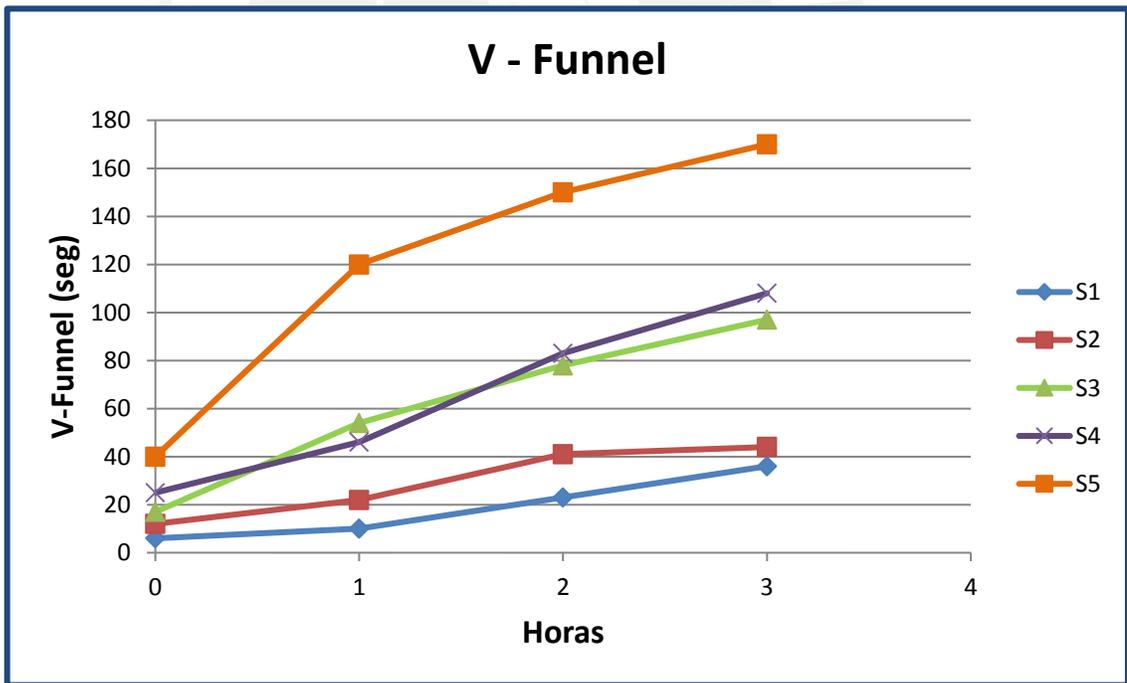


Imagen 70: Variación del V-Funnel en el tiempo

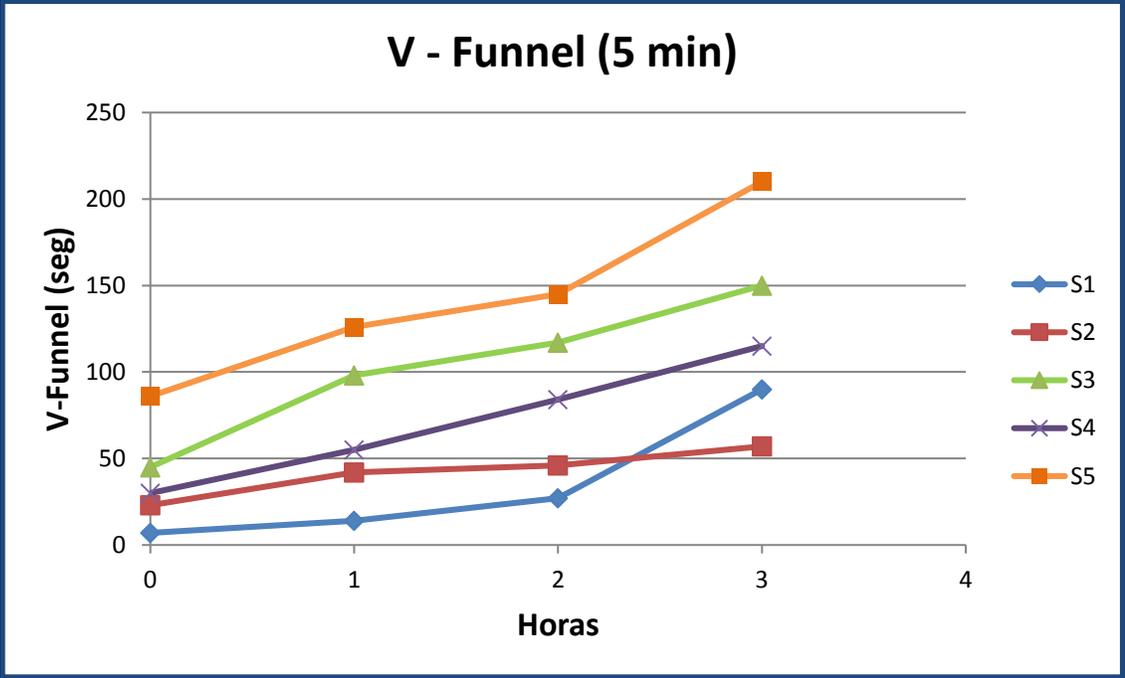


Imagen 71: Variación del V-Funnel en el tiempo después de 5 min de reposo

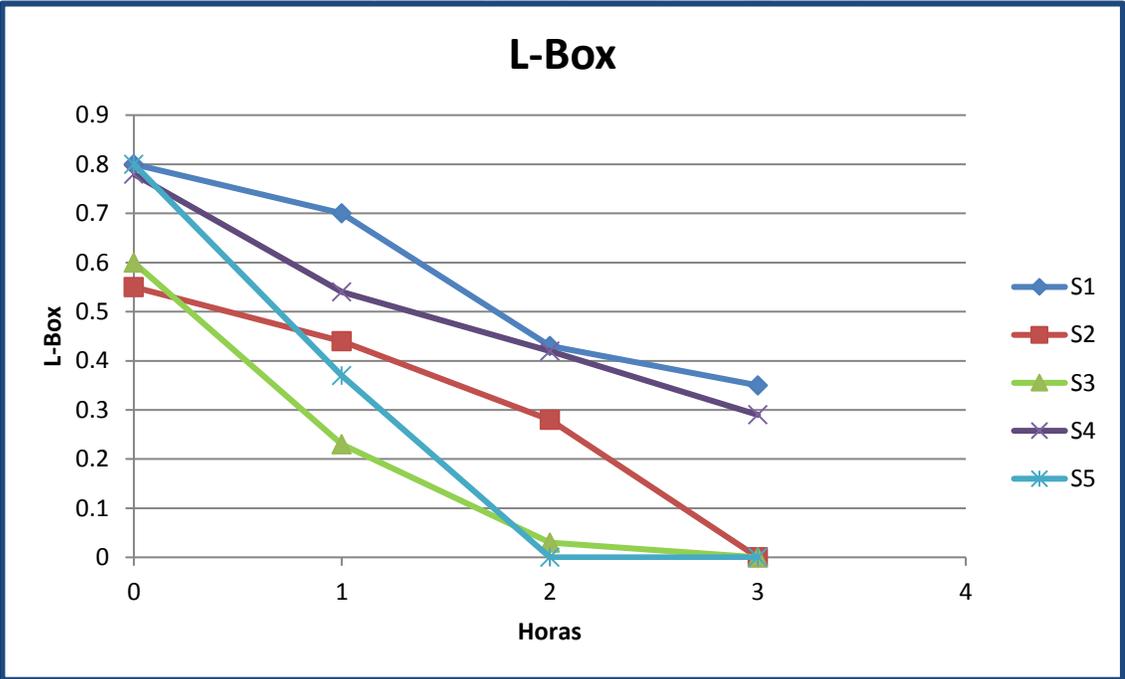


Imagen 72: Variación del L-Box en el tiempo

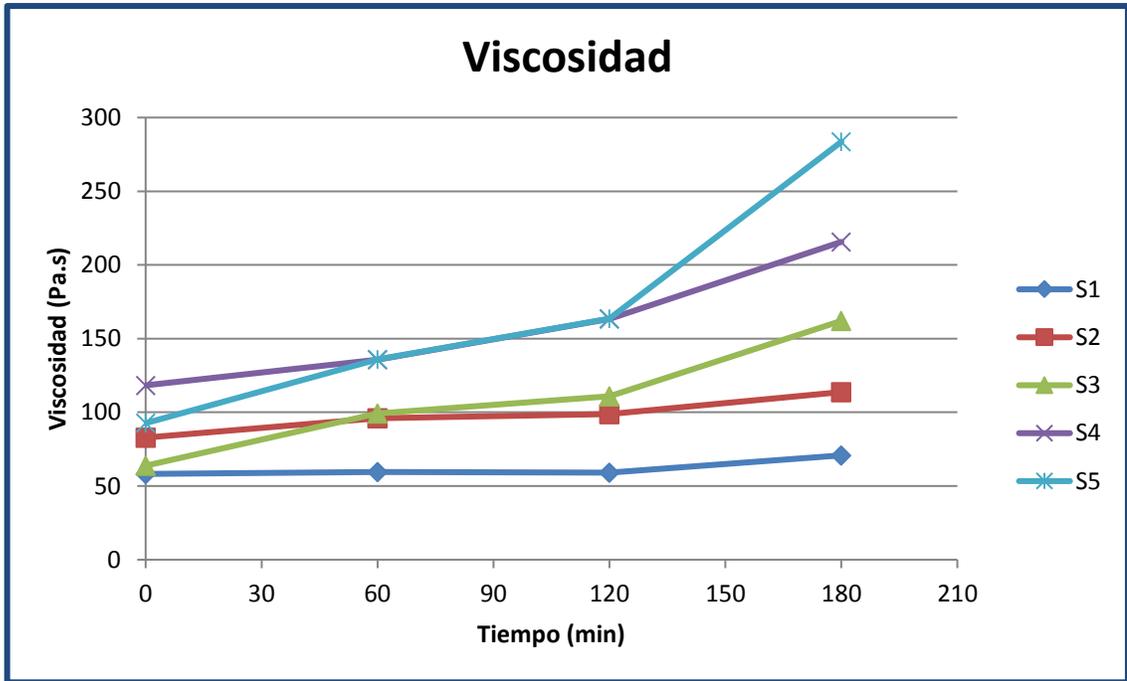


Imagen 73: Variación de la viscosidad en el tiempo

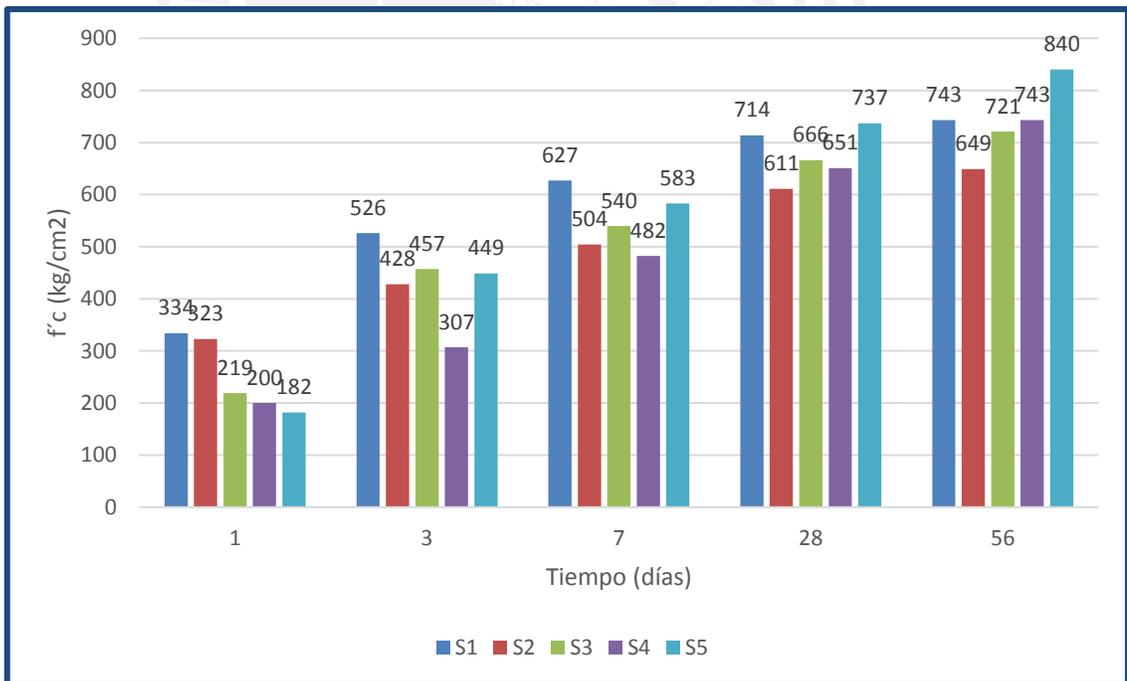


Imagen 74: Desarrollo de la resistencia en el tiempo

4.1.1. Análisis Costo-Beneficio

Tabla 26: Relación Costo-Beneficio de los diseños finales

Diseño	% Respecto del patrón en:			
	Costo	Reología	Resistencia	Sostenibilidad
S1	Patrón	Patrón	Patrón	Patrón
S2	87%	80%	87%	-110 kg/m ³
S3	107%	60%	97%	-12.5 L/m ³ ; -137 kg/m ³
S4	106%	100%	100%	-22.5 L/m ³ ; -224 kg/m ³
S5	119%	80%	113%	-32.5 L/m ³ ; -166 kg/m ³

Como se ve en el gráfico, el costo del metro cúbico de las cinco pruebas no presentan mucha variación, la mezcla más económica es el diseño S2 (13% menos que el patrón) ya que sólo está hecha a base de cemento y filler, por otro lado la reología no es mala ya que presentó buenos resultados con excepción del L-Box. En cuanto a resistencia obtenida se encuentra por debajo del patrón (87%) lo cual hace que este diseño sea para otras edificaciones donde las exigencias no sean muy altas. El diseño S3 tiene un costo ligeramente mayor que el patrón (7% más) debido a la presencia de la microsílíce, y debido a esta adición trajo como consecuencia una disminución en la reología (falló en L-Box y V-Funnel), además la resistencia obtenida se encontró ligeramente por debajo del patrón (97%). Por otro lado, el diseño S4 fue el que cumplió con todo lo requerido con un costo ligeramente por encima del patrón pero la resistencia alcanzada fue la misma que del patrón y la mezcla más cara, el diseño S5; debido a que contiene mayor cantidad de microsílíce cuesta un 20% más, presenta una viscosidad media, sin embargo la resistencia alcanzada es mayor a la de patrón (113%). Todas las alternativas propuestas también son consideradas sostenibles ya que se optimizó el contenido de agua y cemento sin alterar notoriamente las propiedades del diseño patrón.

Las propiedades y resultados obtenidos hacen que el precio sea justificable para cualquier constructor que desee un concreto con altos requerimientos. También debemos recordar que todas estas mezclas presentan el aditivo mantensor de trabajabilidad por lo que las propiedades reológicas tienen mucha más duración. De acuerdo a las especificaciones y tipo de proyecto que se necesite, se podrá elegir el concreto más adecuado.

CAPITULO 6: CONCLUSIONES FINALES

- Se concluyó que trabajar con las incidencias de agregados (a/A) es de vital importancia para la obtención del concreto de alto desempeño, ya que si se usa valores de incidencias menores a la óptima se obtendrá un concreto muy cohesivo con un valor de viscosidad elevado y con poco o nada de trabajabilidad; mientras que si usamos valores mayores a la óptima, obligará a usar una mayor dosis de aditivo o a elevar la cantidad de agua y cemento lo cual generaría un aumento en el costo del concreto.
- De los ensayos realizados podemos afirmar que para diseñar un CAD no basta únicamente con disminuir la cantidad de cemento y agua ya que al hacer esto el concreto pierde sus propiedades reológicas. Esta es la razón por la cual los materiales cementicios suplementarios son necesarios, estos materiales compensan la disminución de la pasta y en conjunto con los aditivos permiten mantener y mejorar las propiedades reológicas. Las pruebas realizadas en esta investigación fueron satisfactorias por las que a continuación presentamos las proporciones adecuadas a usar para obtener un adecuado CAD:

Filler: de 10 a 20% en peso del cemento

Microsílice: de 5 a 10% en peso del cemento

- De los resultados obtenidos de las pruebas podemos establecer un rango de valores que debe cumplir el concreto para que pueda ser considerado de alto desempeño del tipo autocompactado en nuestro país:

Relación agua/cementante: de 0.29 a 0.35

% de pasta: de 34 a 42%

% de mortero: de 71 a 73%

Relación agua/finos: de 0.70 a 0.95

Incidencia arena/agregado: de 50 a 55%

Se verificó que a pesar de que la relación A/F en algunos diseños se salía del límite, los resultados son positivos si modificamos otro parámetro de diseño.

- La reología engloba totalmente las propiedades del concreto fresco porque puede reemplazar a los ensayos anteriores realizados ya que gracias a los parámetros de esfuerzo de corte y viscosidad se puede caracterizar al concreto y predecir su comportamiento y desempeño. Es muy importante tener el control de estos parámetros en el tiempo ya que el bajo contenido de pasta que poseen hace que la trabajabilidad disminuya rápidamente y muchas veces el concreto se enfrenta a viajes largos, razón por la cual usar el mantensor de trabajabilidad es de vital importancia para contrarrestar este efecto.
- El diseño referencial S1 (550 kg de cemento) tiene un desempeño en estado fresco y endurecido que cumple con los requerimientos técnicos. Las alternativas presentadas buscan optimizar el contenido de cemento sin afectar estas propiedades ni el costo de fabricación. Concluimos que el diseño más eficiente es el S4 ya que mantuvo todas sus propiedades iniciales, su costo es 6% más que el referencial con una reducción del agua y cemento de 23 L/m³ y 163 kg/m³ respectivamente lo cual también lo hace sostenible. Es importante mencionar que la viscosidad es el limitante con respecto a las reducciones, razón por la cual la segunda mejor opción es el diseño S5 ya que presenta un desempeño 20% menor que al referencial y su costo es 19% mayor.

CAPITULO 7: REFERENCIAS

- American Concrete Institute
2007 “*Self-consolidating concrete*”. Farmington Hills, Michigan, USA. Comité 237R
- American Concrete Institute
2008 “*Report on Measurements of Workability and Rheology of Fresh Concrete*”. Farmington Hills, Michigan, USA. Comité 238.1R
- Aïtcin, P.
2004 “*High-Performance Concrete*”. Québec, Canada: Taylor & Francis e-Library.
- Aïtcin, P. y Neville, A.
1997 “*Concreto de alto desempeño*”. London, England: Concrete international.
- Aldred, J.
2010 “*Pumping, finishing and curing of high-performance concrete*”. Sydney, Australia: Institution of civil engineers.
- Alvarez, José
2017 “*Solución de Gran Durabilidad*”. CONSTRUCTIVO. Lima, 2017, Edición 122, pp. 74-78
- American Society for Testing Materials (ASTM)
- 2007 ASTM C150 “*Standard Specification for Cement*”
- 2013 ASTM C566 “*Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying*”
- 2014 ASTM C136 “*Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate*”
- 2015 ASTM C128 “*Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*”
- 2017 ASTM C29 “*Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate*”
- 2017 ASTM C117 “*Standard Test Method for Material Finer than 75 μm (No.200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing*”
- 2018 ASTM C125 “*Standard Terminology Relating to Concrete and aggregates*”

BASF CONSTRUCTION CHEMICALS

2015 *“Concrete Technology in Focus”*. Green Sense Concrete

Blick, R.L., Petersen, C.F., y Winter, M.E.

1974 *“Proportioning and Controlling High-Strength Concrete”*. Farmington Hills, Michigan: ACI SP-46.

Daczko, J.

2012 *“Self-Consolidating Concrete, Applying what we know”*. New York, United States of America: Taylor & Francis Group.

Federación Europea dedicada a sistemas específicos de Hormigón y productos químicos especializados para la construcción

2002 *“EFNARC. Especificaciones y directrices para el Hormigón Autocompactable”*

Frommenwiler, A.

1998 *“New generation of superplasticizers for high-performance concrete (HPC)”*. Switzerland: MBT Holding.

Ghanbari, A.

2013 *“Self-compacting High and ultra-high performance concrete”*. Cardiff University, United Kingdom: ProQuest LLC.

Giani, R; Navarrete, B; Bustos, J

2008 *“La Retracción Autógena y su relación con la Tendencia a la Fisuración a Temprana Edad en Pavimentos de Hormigón”*. Revista de la Construcción, vol 7, num 2, 2008, pp 62-71. Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

Gómez, J.

1999 *“High-performance concrete in a bridge in Richlands”*, Virginia. Charlottesville, Virginia: Virginia Transportation Research Council.

Gutierrez, M.

1993 *“Hormigones de altas prestaciones (I)”*. Madrid, España: Revista de Edificación. RE N° 15.

Khadiranaikar, R.

1999 *“High Performance Concrete”*. Bagalkot, India: Bhilai Engineering Corporation.

- Khayat, K.
1999 “*Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete*”. ACI Materials Journal Tittle N° 96-M43.
- Koehler, E
2009 “*ICAR Rheometer*” [diapositiva]. Consulta: 17 de Enero del 2018
- Koehler, E y Fowler, D
2007 “*Aggregates in Self-Consolidating Concrete*”. Tesis de Doctorado. Texas: The Universit of Texas at Austin.
- Kim, J., Lee, S.
2004 “*Application of high-performance concrete in Petronas Twin Tower, KLCC*”. Seoul, Korea: Council of Tall Buildings and Urban Habitat.
- Kmita, A.
2000 “*A New Generation of Concrete in Civil Engineering*”. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 106.
- Loukili, A.
2011 “*Self-consolidating concrete*”. London, England: British Library Cataloguing.
- Mehta, P y Monteiro, P
2005 “*Concrete, Microstructure, Properties and Materials*”. Tercera Edición. Berkeley: McGraw-Hill
- National Ready Mixed Concrete Association
s/f “*Agrietamiento por Contracción Plástica*”. CIP 5. Silver Spring, Maryland, EE.UU
- Norma Técnica Peruana (NTP)
2014 “*Hormigon (Concreto): Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland*”
- Okamura H.
1999 “*Self-compacting concrete development, present use, and future*”. Stockholm: Proceedings of First RILEM International Symposium on Self Compacting Concrete.
- Perenchio
1973 “*An evaluation of some of the factors involved in producing very high-strength concrete*”. Skokie, IL United States: Portland Cement Association.

Portland Cement Association

2004 *“Diseño y Control de Mezclas de Concreto”*. Skokie, Illinois: Portland Cement Association.

Powers

1964 *“The Physical Structure of Portland Cement Paste in “The Chemistry of Cement”*. Editorial H.F. Taylor, Vol. page 407.

Rana, N., Tiwari, A. y Srivastava, A.

2016 *“High-Performance Concrete and its Applications in the Field of Civil Engineering Construction”*. Uttar Pradesh, India: International Journal of Current Engineering and Technology.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

2009 *“Norma E.060. Concreto Armado”*. Reglamento Nacional de Edificaciones. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción-SENCICO. Gerencia de Investigación y Normalización.

Rivera Feijóo, Julio

2017 *“Solución de Gran Durabilidad”*. CONSTRUCTIVO. Lima, 2017, Edición 122, pp. 74-78

Thrane, L.

2007 *“Form filing with self-compacting concrete”*. Copenhagen, Denmark: Department of chemical engineering technical university of Denmark.

Zhang, P., Han, S. y Wang, X.

2017 *“High-Performance Concrete Materials with Applications in Building and Civil Engineering”*. Iowa State University, Ames, IA 50011, USA: Journal of Materials in Civil Engineering.

Zia, P., Ahmad, S. y Leming, M.

2016 *“High-Performance Concretes A State-Of-Art Report” (1989-1994)*. 16/04/2018, de Federal Highway Administration Research and Technology. Sitio web: <https://www.fhwa.dot.gov/>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA

SECCION INGENIERÍA CIVIL



**PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ**

TESIS PARA OBTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

ANEXOS

**OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO
UTILIZANDO MATERIALES DE PROCEDENCIA NACIONAL**

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:

ALUMNOS: RONALD KENYO ARRIETA ZAPATA
DANIEL EDUARDO MEDINA CORDOVA

ASESORES: ING. LUCIANO LOPEZ
ING. LAURA NAVARRO

Lima, abril de 2019



We create chemistry

MasterGlenium 3200

Antes GLENIUM 3200 HES

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto

USOS RECOMENDADOS

- Concreto donde se requieran tiempos de fraguado normales hasta acelerados
- Concreto que requiera una reducción de agua de 5 a 40%
- Concreto que requiera el desarrollo de resistencias iniciales extremadamente altas (prefabricados, reparaciones de pavimentos de fast-track)
- Concreto que requiera una alta fluidez y mayor durabilidad
- Producción de mezclas de concreto autocompactante y mezclas de concreto autocompactante .Se producen usando un aditivo reductor de agua de alto rango MasterGlenium 3200 y RHEOMAC® VMA aditivo modificador de viscosidad)

DESCRIPCION

MasterGlenium 3200 es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para usarse, per tenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Es muy efectivo en la producción de cemento con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieren concreto autocompactante o concreto autocompactante (SCC) RHEODYNAMIC™.

VENTAJAS

- Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductor de agua de alto rango, Tipo F.
- Menor contenido de agua para una determinada manejabilidad
- Reducción lineal de agua en todo el rango de dosis recomendado

- Puede usarse en una amplia variedad de mezclas de concreto que requieren aditivos Tipo A o Tipo F
- Rheología controlada
- Desarrollo de resistencia inicial extremadamente alta
- Produce concretos cohesivos y sin segregación
- Reduce/ elimina la necesidad de vibración y curado por calentamiento
- Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados
- Permite el paso del tráfico más rápido para las reparaciones de pavimentos de concreto
- Beneficios económicos a la construcción debido a una mayor productividad y reducción de costos variables
- Incrementa la vida de servicio de las estructuras

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

Datos de la mezcla

Cemento Tipo [kg/m ³ (lb/yd ³)]	386 (650)
Asentamiento, mm(in)	175-200 (7-8)
Contenido de aire, %	Sin aire ocluido
Reducción de agua, dosis de aditivo ajustada	20%

Resistencia a la compresión

Mezcla	8h	12h	24h
Normal	1.7MPa(240psi)	5.2MPa(760psi)	13MPa(1880psi)
Superplastificante convencional	2MPa(290psi)	8MPa(1160psi)	18.8MPa(2720psi)
MasterGlenium 3200	4.1MPa(600psi)	13.5MPa(1950psi)	23.4MPa(3380psi)



We create chemistry

MasterGlenium 3200

Antes GLENium 3200 HES

Nota: Los datos mostrados están basados en pruebas de laboratorio controladas. Se pueden experimentar variaciones razonables de los resultados aquí mostrados como resultado de las diferencias en los materiales de manufactura del concreto y en las condiciones de la obra.

Mantenimiento de Asentamiento

El aditivo MasterGlenium 3200 ha sido desarrollado para obtener en el concreto una resistencia inicial extremadamente alta. En consecuencia, el asentamiento del concreto con este aditivo se mantiene por menos tiempo que el concreto tratado con aditivos reductores de agua de alto rango convencionales o el concreto sin tratar. Para facilitar la colocación, el concreto con aditivo MasterGlenium 3200 se debe vaciar en un lapso de veinte minutos después de su adición. Con el uso de un aditivo retardador o del aditivo de control de fraguado extenso MasterSet DELVO se puede mantener el asentamiento del concreto tratado con MasterGlenium 3200. Se recomienda realizar pruebas de campo para asegurar que se puede lograr el asentamiento deseado por un tiempo especificado.

APLICACION

Dosificación

El rango de dosificación recomendado para el MasterGlenium 3200 es de 130- 910 ml/100 kg (2-14 oz fl/100 lb) de cemento para la mayoría de las mezclas de concreto. Debido a las variaciones de los materiales de concreto, condiciones de la obra y/o aplicaciones, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados. En tales casos, contacte a su representante local de BASF Construction Chemicals.

Mezclado

Para obtener un mayor tiempo de manejabilidad, deberá adicionar en la obra el MasterGlenium 3200 en forma tardía. Puede adicionar el aditivo MasterGlenium 3200 con el agua inicial del lote si el concreto se va a colocar inmediatamente después del mezclado.

Colocación de Concreto

El concreto que contiene MasterGlenium 3200 puede colocarse usando los métodos convencionales de colocación. La colocación debe ser continua y sin interrupción.

RECOMENDACIONES

Corrosividad

No corrosivo, No contiene cloruros

MasterGlenium 3200 no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado en el concreto, concreto pretensado o concreto colocado en sistemas de pisos y techos de acero galvanizado. No se usó cloruro de calcio ni ingredientes base cloruro de calcio en la manufactura de MasterGlenium 3200. En todas las aplicaciones de concreto, el aditivo MasterGlenium 3200 cumple con los límites mínimos o más estrictos para iones cloruro sugeridos normalmente por los estándares y prácticas de la industria de la construcción

Compatibilidad

MasterGlenium 3200 es compatible con la mayoría de aditivos usados en la producción de concreto de calidad incluyendo otros aditivos reductores de agua de rango normal, medio rango y alto rango, inclusores de aire, acelerantes, retardantes, aditivos para control de fraguado extenso, anticorrosivos y reductores de retracción.

MasterGlenium 3200 también es compatible con la escoria y pozolanas como las cenizas voladoras y microsíllica.

No utilice MasterGlenium 3200 en combinación con aditivos que contengan sulfonato de beta-naftaleno. Puede experimentar un desempeño errático en el asentamiento, movimiento del asentamiento y capacidad de bombeo.

Temperatura

MasterGlenium 3200 debe almacenarse a temperaturas mayores de 5°C (40°F). Se puede requerir de recirculación si se almacena a temperaturas por encima de los 43°C (110°F).

Si se llega a congelar el aditivo MasterGlenium 3200, puede fundirse calentándolo y reconstituyéndolo por agitación mecánica ligera. No use aire presurizado para agitar.

ALMACENAMIENTO

MasterGlenium 3200 tiene una vida útil de 12 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

EMPAQUE

MasterGlenium 3200 se suministra en tambores de 208 l (55 gal), en tanques de 1040 l (275 gal) y a granel.



We create chemistry

MasterGlenium 3200

Antes GLENIUM 3200 HES

SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte a su representante local de BASF Construction Chemicals.

Contacto

BASF Química Colombia S.A.
Calle 99 # 69C – 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 632 20 99
www.basf-cc.com.co

BASF Venezolana S.A.
Edif. Torreón, Piso 4, Of. 4B
Av. Veracruz con calle la Gualinta,
Urb. Las Mercedes. Caracas, Venezuela
Tel: + 58 212 958 6711
www.basf-cc.com.ve

BASF Ecuatoriana S.A.
Av. Naciones Unidas 1014
y Av. Amazonas Edif. La Previsora
Torre A Piso 2, Quito, Ecuador
Tel: + 593 2397 9500
www.basf-cc.com.ec

BASF SA
Avenida das Nações Unidas,
14.171, Morumbi
04794-000 Sao Paulo – SP, Brasil
Tel: +55 11 2718 5507
www.basf-cc.com.br

BASF Construction Chemicals Ltda.
Rio Palena 9665
Núcleo Empresarial ENEA
Santiago de Chile, Chile
Tel: +56-2 2799 4300
www.basf-cc.cl/

BASF Construction Chemicals Peru S.A.
Jr. Plácido Jiménez N° 630
Lima 1, Peru
Tel: +51-1 219 0630
www.basf-cc.com.pe



We create chemistry

MasterGlenium® 3800

Antes GLENIUM 3800 HW

Aditivo reductor de agua de alto rango para concreto

DESCRIPCION:

MasterGlenium 3800 es un aditivo reductor de agua de alto rango listo para usarse, pertenece a una nueva generación de aditivos patentados basados en la tecnología del policarboxilato. Esta tecnología combina un diseño molecular de vanguardia para lograr un valor excepcional y preciso en todas las fases del proceso de construcción del concreto.

El aditivo MasterGlenium 3800 es muy efectivo en la producción de mezclas de concreto con diferentes niveles de manejabilidad incluyendo aplicaciones que requieran el uso de concreto auto compactante (SCC). El uso del aditivo MasterGlenium 3800 proporciona características de fraguado más rápidas como asimismo mejora la resistencia a la comprensión inicial.

MasterGlenium 3800 cumple con los requisitos de la norma provisional ASTM C494 /C494 M para aditivos Tipo A, (reductores de agua), y tipo F (reductores de agua de alto rango).

USOS RECOMENDADOS:

- ✓ Concretos que requieren una reducción de agua entre 5 a 40%.
- ✓ Concretos que requieren una fluidez elevada, mayor estabilidad, resistencia inicial y final altas y durabilidad. (prefabricados, reparaciones de pavimentos de fast-track).
- ✓ Fabricación de mezclas de concreto Rheodinámico y autocompactante (SCC).

CARACTERISTICAS:

- ✓ Excelente desarrollo de resistencia inicial
- ✓ Adecuado control de fraguado
- ✓ Optimiza la relación de retención de asentamiento / fraguado
- ✓ Mantiene el aire incorporado consistente
- ✓ Flexibilidad en la dosificación

VENTAJAS:

- ✓ Menor contenido de agua para una determinada manejabilidad.
- ✓ Rheología controlada.
- ✓ Desarrollo de resistencias iniciales altas.
- ✓ Produce concretos cohesivos y sin segregación.
- ✓ Incrementa la productividad de las operaciones de prefabricados Desencofrado más rápido debido al desarrollo acelerado de resistencia temprana.
- ✓ Reduce costos de mano de obra en acabado debido a la optimización de los tiempos de fraguado.
- ✓ Minimiza la necesidad de ajuste de asentamiento en la obra
- ✓ Disminución del concreto rechazado.
- ✓ Optimiza el costo de las mezclas de concreto.



We create chemistry

MasterGlenium® 3800

Antes GLENIUM 3800 HW

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO:

Datos de la mezcla:

El concreto producido con el aditivo MasterGlenium 3800 alcanza significativamente mayor resistencia en edad temprana que los aditivos reductores de agua de alto rango base policarboxilatos de la primera generación. MasterGlenium 3800 también permite la obtención de un equilibrio perfecto entre retención de manejabilidad y ciertas características de fraguado que proporcionan la eficiencia en la colocación y acabado del concreto.

APLICACIÓN:

Dosificación:

La dosis que se recomienda usar de MAsterGlenium 3800 está en el rango de 800 a 1500 ml/100 kg de cementante. Es posible que sea necesario cambiar la dosificación debido a las variaciones en los materiales de concreto y de las condiciones y/o aplicaciones en la obra. En tales casos, contacte a su representante local de BASF.

Mezclado:

El aditivo MasterGlenium 3800 puede adicionarse a la mezcla con el agua inicial o bien posteriormente. Sin embargo, la reducción ideal de agua se obtiene generalmente con una adición posterior.

ALMACENAMIENTO:

Temperatura de almacenamiento:

MasterGlenium 3800 debe almacenarse a temperaturas superiores a los 5°C (40°F). Si MasterGlenium 3800 llega a congelarse, descongele y reconstituya por agitación mecánica. Se recomienda almacenar bajo sombra.

Vida de almacén:

MasterGlenium 3800 tiene una vida útil mínima de 12 meses, la misma que puede prolongarse dependiendo de las condiciones de almacenamiento. Por favor contacte a su representante de BASF en relación al mejor uso y dosificación si el aditivo tiene más del tiempo de vida especificado.

EMPAQUE

MasterGlenium 3800 se suministra en cilindros de 208 l (55 gal).

Documentos relacionados

Hoja de Seguridad del Material (MSDS) MasterGlenium 3800.

Información adicional

En caso se observe alguna separación de fases en la superficie, esta es normal y no afecta el performance del producto. Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte al representante local de BASF.



We create chemistry

MasterGlenium® 3800

Antes GLENIUM 3800 HW

BASF Construction Chemicals es líder en el suministro de aditivos innovadores para concreto de especialidad usado en los mercados de premezclado, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y pavimentos. Los productos de la respetada marca BASF se usan para mejorar la colocación, bombeabilidad, acabado, estética y características de desempeño del concreto.

Contacto

BASF Química Colombia S.A.
Calle 99 # 69C - 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 632 20 99
www.basf-cc.com.co

BASF SA
Avenida das Nações Unidas,
14.171, Morumbi
04794-000 São Paulo - SP, Brasil
Tel: +55 11 2718 5507
www.basf-cc.com.br

BASF Venezolana S.A.
Edif. Torroni, Piso 4, Of. 4B
Av. Veracruz con calle la Gualirita,
Urb. Las Mercedes, Caracas,
Venezuela Tel: + 58 212 958 6711
www.basf-cc.com.ve

**BASF Construction Chemicals
Ltda.**
Rio Palena 9665
Núcleo Empresarial ENEA
Santiago de Chile, Chile
Tel: +56-2 2799 4300
www.basf-cc.cl/

BASF Ecuatoriana S.A.
Av. Naciones Unidas 1014
y Av. Amazonas Edif. La Previsora
Torre A Piso 2, Quito, Ecuador
Tel: + 593 2397 9500
www.basf-cc.com.ec

**BASF Construction Chemicals
Perú S.A.**
Jr. Plácido Jiménez N° 630
Lima 1, Perú
Tel: +51-1 219 0630
www.basf-cc.com.pe



We create chemistry

MasterRheobuild 1202

Aditivo reductor de agua para producir concreto Rheoplástico

USOS RECOMENDADOS

- Concreto donde se desea una alta plasticidad características de fraguado normal y desarrollo rápido de resistencias
- Aplicaciones de concreto pretensado, prefabricado y premezclado
- Aplicaciones de construcción subterránea civil y minera: shotcrete por vía húmeda o seca, grouts de alto desempeño, grouts de túneles y suspensiones de inyección

DESCRIPCION

MasterRheobuild 1202 es un aditivo reductor de agua de alto rango diseñado para producir concreto rheoplástico. Este concreto fluye fácilmente manteniendo una alta plasticidad por tiempos más prolongados que el concreto superplastificado convencional. El concreto rheoplástico tiene la baja proporción agua: material cementicio del concreto sin asentamiento, dando excelentes propiedades de ingeniería (endurecimiento).

VENTAJAS

En el concreto plástico

- Rango de plasticidad de 200 a 280 mm (8-11 in)
- Retención prolongada de asentamiento
- Tiempos de fraguado controlados
- Permite mezclas cohesivas sin segregación y mínima exudación de agua.

Para concreto endurecido

- Mayores resistencias iniciales en comparación con los superplastificantes convencionales
- Mayor resistencia final a compresión
- Mayor módulo de elasticidad
- Mejor resistencia de adhesión al acero
- Baja permeabilidad y alta durabilidad
- Menor retracción y deformación
- Integridad estructural del elemento terminado altamente confiable

Otros

- Cumple con la especificación ASTM C 494 para aditivos reductores de agua tipo A y aditivos reductores de agua de alto-rango Tipo F
- Menos dependencia de energía de consolidación
- Menor costo de mano de obra y mayor productividad
- Permite cambios en las especificaciones de ingeniería ya que es factible aumentar los límites de caída libre del concreto fresco, los espesores de las coladas y temperaturas del concreto, así como ajustes económicos en las mezclas.

CARACTERISTICAS DE DESEMPEÑO

Velocidad de endurecimiento

MasterRheobuild 1202 ha sido diseñado para producir características normales de fraguado para todo el rango de dosificación que se recomienda. El tiempo de fraguado del concreto depende de la composición física y química de los ingredientes básicos del concreto, la temperatura del concreto y las condiciones ambientales. Deben hacerse mezclas de prueba con los materiales de la obra para determinar la dosificación requerida para el tiempo de fraguado especificado y un requerimiento de resistencia determinado.

Manejabilidad

El concreto al que se ha adicionado MasterRheobuild 1202 tiene la capacidad de mantener una condición rheoplástica de 200 a 280 mm (8 a 11 in) de asentamiento si se requiere. La duración precisa para poder trabajar la mezcla no



We create chemistry

MasterRheobuild 1202

solo depende de la temperatura, sino también del tipo de cemento, materiales cementicios suplementarios, proporciones de la mezcla, la naturaleza de los agregados, el método de transporte y la dosificación.

APLICACION

Dosificación
El rango de dosificación recomendado para el MasterRheobuild 1202 es de 650- 1600 ml/100 kg (10-25 oz fl/100 lb) de material cementicio dependiendo de la aplicación y de cuanto se desee incrementar el asentamiento y resistencia.

Las dosificaciones anteriores aplican a la mayoría de las mezclas de concreto que usan ingredientes típicos del concreto. Debido a las variaciones en las condiciones de la obra y de los materiales de concreto como la microsilica, se podrán requerir rangos de dosificación diferentes a los recomendados. En tales casos, contacte a su representante local de BASF.

Mezclado

Ya que se incrementa la retención de asentamiento usando el aditivo MasterRheobuild 1202, éste se puede adicionar en la planta de premezclados. También puede adicionarse en la obra si se desea incrementar el asentamiento.

RECOMENDACIONES

Corrosividad

No corrosivo, no contiene cloruros. MasterRheobuild 1202 no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado en el concreto, concreto pretensado o concreto colocado en sistemas de pisos y techos de acero galvanizado. No se utilizó cloruro de calcio ni ningún ingrediente a base de cloruros en la manufactura del aditivo MasterRheobuild 1202.

Compatibilidad

MasterRheobuild 1202 puede utilizarse en combinación con la mayoría de los aditivos de BASF Construction Chemicals y en todo el concreto de color y arquitectónico. Cuando se usa con otros aditivos, cada aditivo deberá adicionarse a la mezcla en forma separada. MasterRheobuild 1202 no debe usarse con MasterMatrix UW 450, MasterMatrix VMA 358 o MasterMatrix VMA 450 ya que pueden experimentarse comportamientos erráticos en asentamiento, extensión del asentamiento o capacidad de bombeo.

Temperatura

Si se llega a congelar el MasterRheobuild 1202, eleve a una temperatura de 7°C (45°F) o mayor y reconstituya el producto por completo con una agitación mecánica ligera. No use aire presurizado para agitar.

ALMACENAMIENTO

MasterRheobuild 1202 tiene una vida útil de 18 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor.

EMPAQUE

MasterRheobuild 1202 se suministra en tambores de 208 l (55 gal), en tanques de 1040 l (275 gal) y a granel.

SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto. Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño consulte a su representante local de BASF Construction Chemicals.



We create chemistry

MasterRheobuild 1202

Contacto

BASF Química Colombia S.A.

Calle 99 # 89C – 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 632 20 99
www.basf-cc.com.co

BASF Venezolana S.A.

Edif. Torreón, Piso 4, Of. 4B
Av. Veracruz con calle la Guairita,
Urb. Las Mercedes. Caracas, Venezuela
Tel : + 58 212 958 6711
www.basf-cc.com.ve

BASF Ecuatoriana S.A.

Av. Naciones Unidas 1014
y Av. Amazonas Edif. La Previsora
Torre A Piso 2, Quito, Ecuador
Tel : + 593 2397 9500
www.basf-cc.com.ec

BASF AS

Avenida das Nações Unidas,
14.171, Morumbi
04794-000 Sao Paulo – SP, Brasil
Tel: +55 11 2718 5507
www.basf-cc.com.br

BASF Construction Chemicals Ltda.

Rio Palena 9665
Núcleo Empresarial ENEA
Santiago de Chile, Chile
Tel: +56-2 2799 4300
www.basf-cc.cl

BASF Construction Chemicals Perú S.A

Jr. Plácido Jiménez N° 630
Lima 1, Perú
Tel: +51-1 219 0630
www.basf-cc.com.pe

MasterSure Z 60

Antes Rheotec Z60

Aditivo retenedor de trabajabilidad

PRESENTACIÓN

MasterSure Z 60 se suministra en tambores de 208 l (55 gal), tanques de 1040 l (275 gal) y a granel.

ALMACENAMIENTO

Temperatura de almacenamiento: MasterSure Z 60 debe almacenarse a temperaturas superiores a los 5°C (40°F). Si MasterSure Z 60 llega a congelarse, descongele y reconstituya por agitación mecánica. No use agitación por presión de aire.

Vida de almacenamiento: MasterSure Z 60 tiene una vida útil mínima de 6 meses, que puede extenderse según las condiciones de almacenamiento.

DESCRIPCIÓN

MasterSure Z 60 es una nueva tecnología revolucionaria basada en los significativos avances de la química de aditivos. MasterSure Z 60 es usado como parte de un sistema de aditivos que proporcionan soluciones según los requerimientos de clientes para un amplio ámbito de aplicaciones de concreto. MasterSure Z 60 es un aditivo retenedor de trabajabilidad que proporciona grados flexibles de retención del revenimiento sin retardo.

MasterSure Z 60 permite, a los productores de concreto, crear de inmediato un sistema óptimo de aditivos para el manejo de los cambios y fluctuaciones en las materias primas regionales, en las condiciones ambientales y en los requerimientos de los proyectos. El aditivo MasterSure Z 60 proporciona las condiciones para que los productores de concreto puedan producir y entregar mezclas de concreto de alta calidad consistentemente.

El aditivo MasterSure Z 60 cumple con los requerimientos interinos de la norma ASTM C494/C 494M Tipos S, aditivos de Desempeño Específico.

USOS RECOMENDADOS

- Concreto con requerimientos de revenimiento variables
- Mezclas de concreto que utilicen materiales suplementarios cementicios (SCM)
- Concreto que requiera alta fluidez, aumento de estabilidad y durabilidad
- Producción de mezclas de Concreto Auto-Consolidable
- Concreto premezclado y prefabricado

- Minimiza la necesidad de redosificación de aditivos reductores de agua de alto rango en la obra
- Consistencia en la inclusión de aire
- Menor rechazo de concreto y mayor satisfacción de los clientes por la calidad consistente del concreto
- Mayor utilización de los camiones de concreto
- Extensión del rango de entrega del concreto

CARACTERÍSTICAS

- Retención de trabajabilidad sin retardo
- Niveles flexibles de retención de trabajabilidad ajustando la dosificación
- Mejora la resistencia a la compresión inicial y final

BENEFICIOS

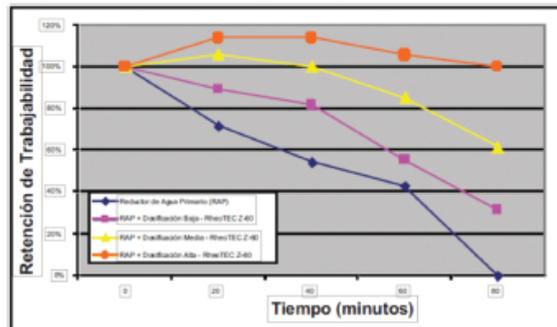
- Promueve mayor consistencia de la trabajabilidad del concreto en la obra
- Promueve consistencia de la resistencia a la compresión debido a la disminución de la adición de agua

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

La información del gráfico a seguir representa el impresionante desempeño obtenido a través del uso del aditivo MasterSure Z 60. En el gráfico están representadas cuatro mezclas de concreto. En las tres mezclas restantes se utilizó el mismo reductor primario de agua. Con dosificación baja, media y alta de MasterSure Z 60. Estas mezclas tuvieron temperaturas de concreto de 32°C (90°F) y un contenido de 356 kg/m³ (600 lb/yd³) de cemento con una relación de agua/cemento de 0.40.

MasterSure Z 60

Antes Rheotec Z60



GUÍA DE USO

DOSIFICACIÓN

MasterSure Z 60 tiene un rango de dosificación recomendado de 195-780 mL/100 kg (3-12 fl. oz/ cada cien libras) de material cementante.

MEZCLADO

MasterSure Z 60 puede ser añadido con la carga inicial de agua posteriormente.

NOTAS DEL PRODUCTO

CORROSIVIDAD - NO CONTIENE CLORUROS, Y

NO ES CORROSIVO: MasterSure Z 60 no iniciará ni promoverá la corrosión del acero de refuerzo en el concreto, o en el concreto pretensado ni en el concreto colocado sobre piso de acero galvanizado y sistemas de techos. En su fabricación no se utiliza el cloruro de calcio ni tampoco ningún ingrediente en base a cloruro de calcio.

COMPATIBILIDAD

MasterSure Z 60 es compatible con la mayoría de los aditivos que se usan para producir un concreto de calidad, incluyendo los reductores de agua de rango medio y alto rango, inclusores de aire, aceleradores, retardadores, controladores de fraguado prolongado, inhibidores de la corrosión y reductores de contracción.

No use MasterSure Z 60 con aditivos base sulfonato de betasulfaleno, ya que pueden ocurrir comportamientos erráticos en la retención de asentamiento, manejabilidad y bombeabilidad de la mezcla.

El aditivo MasterSure Z 60 ha sido probado con aditivos fabricados por BASF Construcción Chemicals. Debido a ello, el uso de MasterSure Z 60 junto con aditivos no fabricados por BASF podrían producir resultados imprevistos. BASF deniega cualquier garantía expresa o implícita con relación a una aplicación que use un aditivo no de BASF en conexión con el uso del aditivo MasterSure Z 60.

DOCUMENTOS REQUERIDOS:

Hoja de Seguridad del material del aditivo MasterSure Z 60.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Para información adicional sobre este producto o para su uso en el desarrollo de mezclas de concreto con características especiales de desempeño, consulte al representante local de BASF.

BASF Construction Chemicals es líder en el suministro de aditivos innovadores para concreto de especialidad usado en los mercados de premezclado, prefabricados, productos manufacturados de concreto, construcción subterránea y pavimentos. Los productos de la respetada marca Master Builders Solutions se usan para mejorar la colocación, bombeabilidad, acabado, estética y características de desempeño del concreto.



We create chemistry

MasterSure Z 60

Antes Rheotec Z60

SEGURIDAD

Antes de usar lea, entienda y siga la información contenida en la Hoja de Datos de Seguridad (SDS) y en la etiqueta del producto. La SDS puede obtenerse solicitando a su representante de ventas de BASF.

Contacto

BASF Química Colombia S.A.
Calle 99 # 69C – 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 632 20 99
www.basf-cc.com.co

BASF SA
Avenida das Nações Unidas,
14.171, Morumbi
04794-000 Sao Paulo – SP, Brasil
Tel: +55 11 2718 5507
www.basf-cc.com.br

BASF Venezolana S.A.
Edif. Torreón, Piso 4, Of. 4B
Av. Veracruz con calle la Guairita,
Urb. Las Mercedes. Caracas,
Venezuela Tel : + 58 212 958 6711
www.basf-cc.com.ve

**BASF Construction Chemicals
Ltda.**
Rio Palena 9665
Núcleo Empresarial ENEA
Santiago de Chile, Chile
Tel: +56-2 2799 4300
www.basf-cc.cl/

BASF Ecuatoriana S.A.
Av. Naciones Unidas 1014
y Av. Amazonas Edif. La Previsora
Torre A Piso 2, Quito, Ecuador
Tel : + 593 2397 9500
www.basf-cc.com.ec

**BASF Construction Chemicals
Perú S.A.**
Jr. Plácido Jiménez N° 630
Lima 1, Perú
Tel: +51-1 219 0630
www.basf-cc.com.pe

MasterLife SF 100

Antes RHEOMAC SF100

Aditivo mineral, microsilíce compactada

USOS RECOMENDADOS

- Estructuras de concreto reforzado con acero o aplicaciones de shotcrete via húmeda expuestas a sales para deshielo o del aire
- Estructuras de estacionamiento, puentes, estructuras marinas, minas y túneles
- Cualquier proyecto de construcción que requiera la protección que da un concreto altamente durable y de baja permeabilidad
- Proyectos que requieran un concreto de alta resistencia/ alto desempeño para reducir el tamaño del elemento, incrementar la longitud del tramo, mejorar los costos estructurales y cumplir otros requerimientos estructurales de alto desempeño.

DESCRIPCIÓN

MasterLife SF100 es un aditivo mineral de microsilíce compactada en polvo formulado para producir concreto o mortero extremadamente fuerte y durable con características especiales de desempeño. Maximiza la vida de uso del concreto proporcionando una resistencia superior al ataque de elementos ambientales dañinos.

VENTAJAS

Cumple con los requerimientos de la especificación ASTM C 1240 "Especificación Estándar para Microsilíce usada en Concreto y Mortero para Cemento Hidráulico"

- Mayor cohesividad
- Menor exudación
- Mayor vida útil
- Mayor resistencia y módulo de elasticidad
- Menor permeabilidad que permite una mayor durabilidad
- Mejor resistencia a la reactividad de sílice alcalina

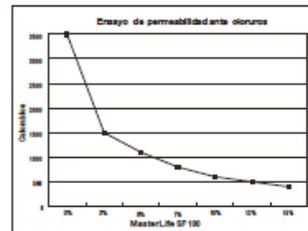
Permeabilidad

MasterLife SF 100 es un material de microllenado que físicamente llena los espacios entre las partículas de cemento; disminuye dramáticamente la permeabilidad y reduce el tamaño y número de capilares que permiten la entrada de contaminantes a la matriz.

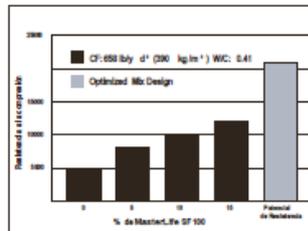
Resistencia a la Compresión

Siendo una pozolana, la microsilíce MasterLife SF 100 reacciona químicamente dentro de la matriz cementicia para incrementar la cantidad del silicato de calcio hidratado (gel CSH) que se forma. El gel de CSH es el agente adherente que mantiene unida la matriz de una mezcla cementicia en su estado endurecido. El gel adicional de CSH incrementa la resistencia y disminuye la permeabilidad.

Permeabilidad rápida ante cloruros



Ensayo sobre resistencia a la compresión típica





We create chemistry

MasterLife SF 100

Antes RHEOMAC SF100

Gravedadespecífica

MasterLife SF 100 tiene una gravedad específica de 2.2

APLICACION

Dosificación

Se recomienda usar MasterLife SF100 para aplicaciones de concreto o concreto lanzado vía húmeda en un rango de dosificación de 5.0 a 15% por peso de material cementicio.

Mezclado

Para el concreto y shotcrete por vía húmeda, MasterLife SF100 se dosifica y adiciona en la planta productora de cemento en forma similar al cemento u otros materiales cementicios como son las cenizas voladoras. Puede adicionarse a una mezcladora central o del camión. Siga el procedimiento indicado en la especificación ASTM C 94, Especificación Estándar para Concreto Premezclado o haga referencia a la Guía del Usuario para Concretos con MasterLife SF 100 para instrucciones especiales de dosificación y mezclado.

RECOMENDACIONES

Corrosividad

No contiene Cloruros, No Corrosivo

El aditivo de microsilíce MasterLife SF100 no iniciará o promoverá la corrosión del acero reforzado embebido en el concreto o mortero. Ni el cloruro de calcio ni otros ingredientes con cloruros son usados en la manufactura de MasterLife SF 100.

Compatibilidad

MasterLife SF100 puede usarse con los cementos Pórtland aprobados de conformidad con las especificaciones ASTM, AASHTO o CRD. Es compatible con la mayoría de los aditivos para concreto, incluyendo todos los aditivos de BASF Construction Chemicals. Se recomienda usar MasterLife SF100 con aditivos reductores de agua de alto rango como GLENIUM® 3000 NS para obtener una máxima manejabilidad a la vez de mantener una baja relación agua: materiales cementicios.

ALMACENAMIENTO

MasterLife SF100 tiene una vida útil de 24 meses como mínimo. Dependiendo de las condiciones de almacenamiento, la vida útil puede ser mayor. El material envasado puede almacenarse indefinidamente en un área seca.

MasterLife SF100 se almacena, maneja y surte en forma similar al cemento o cenizas voladoras. Puede almacenarse en silos cuando está a granel. Consulte la Guía del Usuario de Concreto con Microsilíce MasterLife SF 100 cuando requiera información sobre el ajuste adecuado para el bombeo y manejo de microsilíce dentro de los silos.

EMPAQUE

MasterLife SF100 se suministra en sacos triturables de 11.6 kg (25 lb), super sacos de 907 kg (2000 lb) o a granel.

SEGURIDAD

Consulte la Hoja de Datos de Seguridad (MSDS) para este producto.

Para información adicional sobre este producto, consulte a su representante local de BASF Construction Chemicals.



We create chemistry

MasterLife SF 100

Antes RHEOMAC SF100

Contacto

BASF Química Colombia S.A.
Calle 99 # 69C – 32
Bogotá, D.C. Colombia
Tel: +57 1 632 20 99
www.basf-cc.com.co

BASF SA
Avenida das Nações Unidas,
14.171, Morumbi
04794-000 São Paulo – SP, Brasil
Tel: +55 11 2718 5507
www.basf-cc.com.br

BASF Venezolana S.A.
Edif. Torreón, Piso 4, Of. 4B
Av. Veracruz con calle la Gualiría,
Urb. Las Mercedes, Caracas,
Venezuela Tel : + 58 212 958 6711
www.basf-cc.com.ve

**BASF Construction Chemicals
Ltda.**
Rio Palena 9665
Núcleo Empresarial ENEA
Santiago de Chile, Chile
Tel: +56-2 2799 4300
www.basf-cc.cl/

BASF Ecuatoriana S.A.
Av. Naciones Unidas 1014
y Av. Amazonas Edif. La Previsora
Torre A Piso 2, Quito, Ecuador
Tel : + 593 2397 9500
www.basf-cc.com.ec

**BASF Construction Chemicals
Perú S.A.**
Jr. Plácido Jiménez N° 630
Lima 1, Perú
Tel: +51-1 219 0630
www.basf-cc.com.pe

Diseño S1

Dosificación del aditivo				
MasterGlenium 3200	=	0.92	% =	8.00 cc
MasterSure Z60	=	7.80	% =	10.00 cc

Dosificación de los agregados		
Vol. Aire:	2.0	%
Vol. Agregados:	0.604	
Arena:	55	%
Piedra #7:	45	%

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL.	CORRECCIÓN		TANDA DE PRUEBA	
							POR HUMEDAD		PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Tipo I	Cementos Lima	3130			550	0.1767	550.00		33.00	kg
Filler	Cementos Lima	2710			0	0.0000	0.00		0.00	kg
MasterLife SF100	BASF	2200			0	0.0000	0.00		0.00	kg
Agua	Planta Basf	1000			192.50	0.1925	148.59		8.92	Lt
Arena	Jicamarca	2660	7.530	1.77	892.5	0.3355	959.63		57.58	kg
Piedra 7	Jicamarca	2730	0.300	1.30	749	0.2745	751.63		45.10	kg
MasterGlenium 3200	BASF	1045			5.06	0.00440	0.0044		264.0	ml
MasterSure Z60	BASF	1041			6.66	0.0055	0.0055		330.0	ml
Aire						0.0200				
					TOTAL	2396.03			1.000	

Diseño S5

Dosificación del aditivo				
MasterGlenium 3200	=	0.92	% =	14.00
MasterSure Z60	=	7.80	% =	15.00

cc

Dosificación de los agregados		
Vol. Aire:	2.0	%
Vol. Agregados:	0.602	
Arena:	55	%
Piedra #7:	45	%

MATERIALES	PROCEDENCIA	P. ESP kg/m ³	HUM. %	ABS. %	PESO SECO kg/m ³	VOL.	CORRECCIÓN		TANDA DE PRUEBA	
							POR HUMEDAD		PESO MEZCLA	UNIDAD
Cemento Tipo I	Cementos Lima	3113			385	0.1237	385.00		23.10	kg
Filler	Cementos Lima	2710			138	0.0509	138.00		8.28	kg
MasterLife SF100	BASF	2200			28	0.0127	28.00		1.68	kg
Agua	Planta Basf	1000			160.00	0.1600	116.67		7.00	Lt
Arena	Jicamarca	2660	7.530	1.77	880.7	0.3311	947.04		56.82	kg
Piedra 7	Jicamarca	2730	0.300	1.30	740	0.2709	741.78		44.51	kg
MasterGlenium 3200	BASF	1045			8.87	0.00771	0.0077		462.8	ml
MasterSure Z60	BASF	1041			10.00	0.0083	0.0083		495.9	ml
Aire						0.0200				
					TOTAL		2350.15		1.000	



INFORME DE ENSAYOS

N° 511-JL/14

Formato AD-01
Revisión 01-14

N° DE SOLICITUD : 193/14
TIPO DE MUESTRAS : Filler Calizo
PRESENTACIÓN : fino
SOLICITADO POR : Unión de Concreteras S.A.
DIRECCIÓN : Panamericana Sur Km 11, San Juan de Miraflores
CARTA / GUIA : S/C
FECHA DE RECEPCIÓN : 03/07/2014
FECHA DE ENSAYO : 04-09/07/2014
FECHA DE EMISIÓN : 10/07/2014

RESULTADOS

Pág. 1 de 1

ENSAYO		Filler Calizo Pta San Juan	MÉTODO
Dióxido de silicio, SiO ₂	%	12.6	PTQ-RX02
Trióxido de aluminio, Al ₂ O ₃	%	4.6	"
Trióxido de hierro, Fe ₂ O ₃	%	1.85	"
Óxido de calcio, CaO	%	45.0	"
Óxido de magnesio, MgO	%	2.1	"
Trióxido de azufre, SO ₃	%	1.27	"
Óxido de sodio, Na ₂ O	%	0.07	"
Óxido de potasio, K ₂ O	%	0.74	"
Dióxido de titanio, TiO ₂	%	0.2	"
Pentóxido de fósforo, P ₂ O ₅	%	0.1	"
Trióxido de manganeso, Mn ₂ O ₃	%	0.1	"
Óxido de estroncio, SrO	%	30.5	"
Pérdida por calcinación	%	99.2	ASTM C25
TOTAL	%		
Humedad total	%	0.2	ASTM C566-04
Densidad	g/cm ³	2.78	ASTM C188-95
Retenido en Malla 325 ²	%	0.7	ASTM C430-96
Impurezas Orgánicas ¹	Ad	1	ASTM C40-99

ARPL Tecnología Industrial S.A.

Quim. Johanna Sulica Templo
Jefatura de Laboratorio

OBSERVACIONES:

1. Indica color claro, ausencia de materia orgánica.

Los resultados indicados corresponden a la muestra analizada en ARPL

La muestra, la identificación y los datos de referencia fueron proporcionados por el cliente

El Informe no puede ser utilizado como un certificado del producto

Está prohibido la reproducción total o parcial de este Documento sin la autorización de ARPL Tecnología Industrial S.A.
Av. Carlos Villarán 508 1° piso, Lima 13, Perú **Castilla** (P.O.Box) 14-0138, Lima 14, Perú Tel (511) 285 7272 Fax: (511) 470 2339
RUC 20100079331 correo electrónico: laboratorio@arpl.com

ICAR Rheometer

Purpose

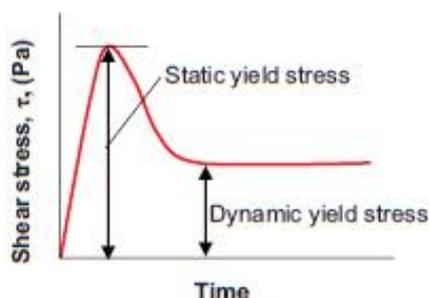
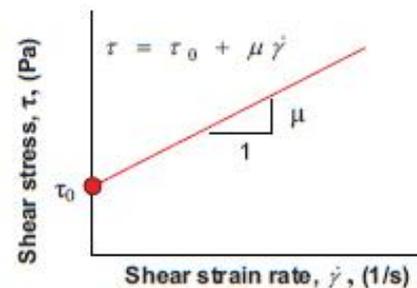
The **ICAR Rheometer** is a rugged, portable instrument for measuring fundamental flow (rheological) properties of fresh concrete. The instrument was developed at the International Center for Aggregate Research (ICAR) located at The University of Texas at Austin to fill the need for a method to characterize the true flow behavior of concrete mixtures. The traditional methods of measuring slump or slump flow are not capable of characterizing the fundamental rheological properties of concrete during the processes of mixing, transporting, and placement. As a result, the true performance of innovative concrete mixtures cannot be measured with these traditional slump-based methods. The **ICAR Rheometer** provides, for the first time, a low-cost and simple to operate instrument that can be used for:



- Research and development to characterize the influence of new materials on concrete rheology
- Optimizing mixture proportions so that the resulting concrete flows readily but is resistant to segregation (especially important for self-consolidating concrete)
- On-site quality control

Principle

Fresh concrete can be considered as a fluid, which means that it will flow under the action of shear stresses. The flow behavior of concrete can be represented by the following two-parameter relationship $\tau = \tau_0 + \mu \dot{\gamma}$, which is known as the **Bingham model**: The parameter τ_0 is the **yield stress**, and it represents the shear stress required to initiate flow. The slope of the line is the **plastic viscosity**, μ , and it affects the resistance to flow after the yield stress has been surpassed. These two parameters, which define the **flow curve**, provide a complete description of the flow behavior of a concrete mixture.

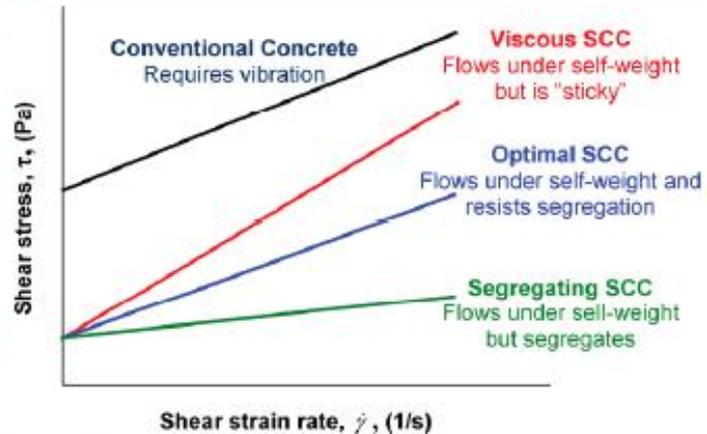


Concrete, however, is not a simple fluid because it displays **thixotropic** behavior, which means that the shear stress required to initiate flow is high when the concrete has been in an “at rest” condition, but a lower shear stress is needed to maintain flow once it has begun. This type of behavior is summarized in the schematic plot shown to the left, which shows the variation in shear stress with time for the case of a **slowly** applied shear strain. At the start, the shear stress increases gradually with time but there is no flow. When the stress reaches the **static yield stress**, the concrete begins to flow and the stress required to maintain flow is reduced to the **dynamic yield stress**. If the applied shear strain is

removed and the concrete is allowed to rest, inter-particle forces create a weak framework that restores the static yield stress. With time, the static and dynamic yield stresses increase as the effectiveness of water-reducing admixtures diminish and hydration proceeds, which is commonly referred to as “slump loss.”

GI ICAR Rheometer

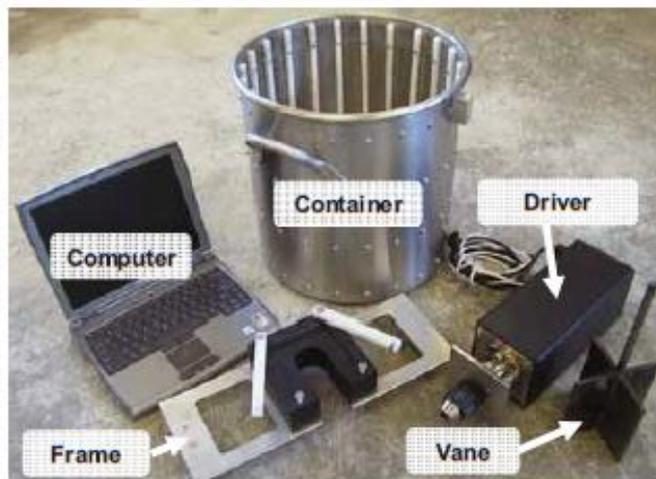
The **ICAR Rheometer** is designed to characterize the **static yield stress**, the **dynamic yield stress** and **plastic viscosity** of the concrete. A high static yield stress is desirable because it reduces formwork pressure and increases the resistance to segregation. But for ease of pumping, placement, and self consolidation, a low dynamic yield stress is necessary. The dynamic viscosity provides cohesiveness and contributes to reducing segregation when concrete is flowing. The schematic plot to the right shows dynamic flow curves for conventional concrete and different types of self-consolidating concrete (SCC) mixtures.



The conventional concrete has a high dynamic yield stress and additional energy (vibration) is needed for consolidation after the concrete is placed in forms. The self-consolidating mixtures all have low dynamic yield stress and will consolidate due to self-weight, but they have different rheological properties. The SCC with a high plastic viscosity (red line) will be sticky and difficult to finish. On the other hand, the mixture with low plastic viscosity (green line) will be prone to segregation. Thus by determining the dynamic flow curves of concretes with different mixture proportions and type of admixtures, and optimum balance between ease of flow and resistance to segregation can be realized. These types of determinations cannot be done using conventional slump-based tests.

Method of operation

The **ICAR Rheometer** is composed of a container to hold the fresh concrete, a driver head that includes an electric motor and torque meter; a four-blade vane that is held by the chuck on the driver; a frame to attach the driver/vane assembly to the top of the container; and a laptop computer to operate the driver, record the torque during the test, and calculate the flow parameters. The container contains a series of vertical rods around the perimeter to prevent slipping of the concrete along the container wall during the test. The size of the container and length of the vane shaft are selected based on the nominal maximum size of the aggregate. The vane has a diameter and a height of 127 mm.

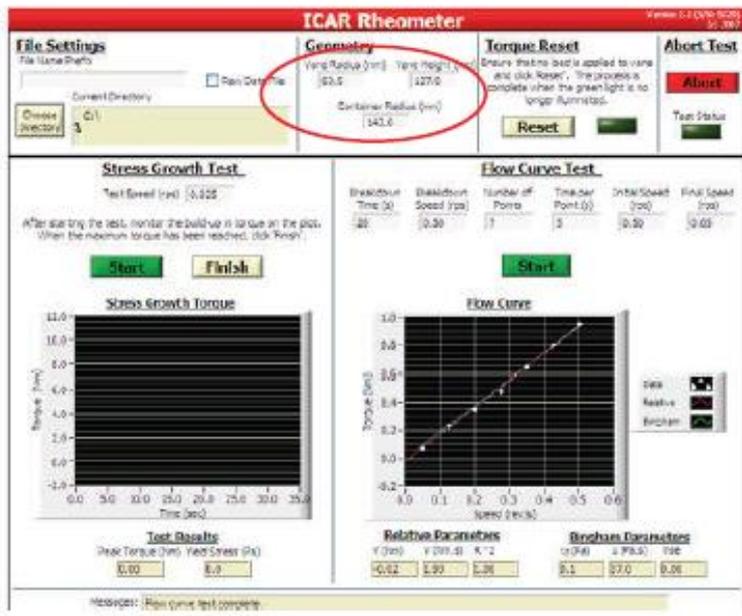


Two types of tests can be performed. The first is a **stress growth test** in which the vane is rotated at a constant slow speed of 0.025 rev/s. The initial increase of torque is measured as a function of time. The maximum torque measured during the test is used to calculate the **static yield stress**. The other type of test is a **flow curve test** to determine the **dynamic yield stress** and the **plastic viscosity**. The flow curve test begins with a "breakdown" period in which the vane is rotated at maximum speed. This is done to breakdown any thixotropic structure that may exist and to provide a consistent shearing history before measuring the Bingham parameters. The vane speed is then decreased in a specified number of steps, which is selected by the user but at least six steps are

ICAR Rheometer

recommended. During each step the speed is held constant and the average speed and torque are recorded. The plot of torque versus speed of vane rotation is the **flow curve**.

The **ICAR Rheometer** software performs all the necessary functions: operates the driver, records the torque, computes test results, and stores data. For simplicity, the entire program is operated from a single screen as shown below. The user defines the test geometry and provides the test parameters to run the flow curve test. A simple press of the "Start" button initiates the tests, which takes less than 1 minute to complete.



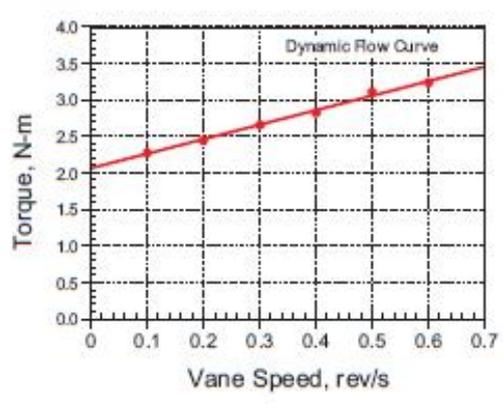
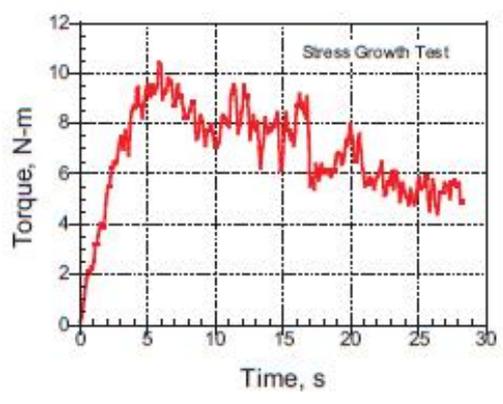
Input test geometry

Define test parameters for flow curve test

Test results

Example results

The figure on the left shows the results of a stress growth test. The peak torque and test geometry are used to calculate the static yield stress, which is displayed at the bottom of the computer display. The figure on the right shows the plot of the average torque and average vane rotation measured during six steps of decreasing vane speed. The software computes a best-fit line to the data and reports the intercept and slope as relative parameters. The software also computes the Bingham parameters: dynamic yield stress and plastic viscosity.



GI *ICAR Rheometer*

ICAR Rheometer Specifications

- Requires that concrete have slump greater than 50 to 75 mm, otherwise the concrete is too stiff for testing by the apparatus
- Nominal maximum size of aggregate: 32 mm for largest available container
- Vane rotation speed: 0.001 to 0.6 rev/s
- Performs static stress growth test and dynamic flow curve tests
- Software control tests and computes static yield stress, dynamic yield stress, and plastic viscosity in fundamental units
- Test time: 1 minute

ICAR Rheometer Kit Ordering Numbers

Item	Order #
Motor drive/torque meter unit	RHM-3001
Power cord for motor drive/torque meter unit	RHM-3002
Base plate for attaching motor drive/torque meter unit to container	RHM-3003
Container for 19 mm NMSA aggregate – standard (see below for other sizes)	RHM-3005
Four-blade vane for 19 mm NMSA aggregate Vane is 127 mm in height and diameter Overall length depends on NMSA (see below for other sizes)	RHM-3009
USB cable to connect motor drive/torque meter unit to computer	RHM-3012
Laptop computer with installed software	RHM-3013
Software on CD-ROM	RHM-3014
User manual	RHM-3015
Carrying case for laptop computer	RHM-3016
Carrying case for Rheometer and accessories Container does not ship with case Weight of case and Rheometer kit – 19 kg	RHM-3017



Ordering numbers for container and vane for different nominal maximum size of aggregate (NMSA)

	Nominal Maximum Size of Aggregate			
	12.5 mm	19.0 mm	25.0 mm	32 mm
Container	RHM-3004	RHM-3005*	RHM-3006	RHM-3007
Diameter/Height	280 mm/280 mm	305 mm/312 mm	355 mm/380 mm	405 mm/460 mm
Vane	RHM-3008	RHM-3009*	RHM-3010	RHM-3011
Overall length	235 mm	240 mm	290 mm	330 mm

*Size provided if another size is not specified.

GERMANN INSTRUMENTS A/S

Emdrupvej 102, DK-2400 Copenhagen, Denmark

Phone: +45 39 67 71 17, Fax +45 39 67 31 67

E-mail: germann-eu@germann.org Web site: www.germann.org



GERMANN INSTRUMENTS, Inc.

8845 Forest View Road, Evanston, Illinois 60203, USA

Phone: (847) 329-9999, Fax: (847) 329-8888

E-mail: germann@germann.org Web Site: www.germann.org



Test smart - Build right