



# Universidad Nacional de Mar del Plata

Facultad de Ingeniería - Departamento de Ingeniería en Materiales

Diseño de hormigones de rápida habilitación para bacheo urbano



Ingeniería en materiales - UNMdP

Autor: Guido Martín Bertone

DNI: 41.430.470 - Legajo: 13223

Email: Bertoneguido8@gmail.com

Director: Dr. Pablo Stefani

Codirectores: Ing. Facundo Saravi e Ing. Ariel Pérez

Proyecto final para optar al grado de Ingeniero en Materiales

Mar del Plata, Abril, 2024

## Índice

<b>Índice</b>	<b>1</b>
<b>Índice de tablas y figuras</b>	<b>3</b>
<b>Abreviaturas</b>	<b>5</b>
<b>Resumen</b>	<b>6</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>2. Objetivo</b>	<b>12</b>
2.1. Objetivo general	12
2.2. Objetivos específicos	12
<b>3. Procedimiento experimental</b>	<b>13</b>
3.1. Materiales de partida	13
3.1.1. Cemento	13
3.1.2. Agregados finos	13
3.1.3. Agregados gruesos	13
3.1.4. Agua de amasado	14
3.1.5. Aditivos	14
3.1.5.1. Sikacrete Plus	14
3.1.5.2. Viscocrete 20 HE	14
3.2. Ensayos de los agregados	15
3.2.1. Método de cuarteo	15
3.2.2. Densidad y absorbancia	15
3.2.2.1. Agregados finos	15
3.2.2.2. Agregados gruesos	20
3.2.3. Granulometría, tamaño máximo y módulo de finura	23
3.3. Método de diseño de mezcla, método ICPA	25
3.4. Ensayos de hormigón en estado fresco	27
3.4.1. Asentamiento	27
3.4.2. Determinación del peso por unidad de volumen (PUV)	28
3.4.3. Determinación del contenido de aire	30
3.4.4. Determinación del tiempo de fragüe	31
3.4.5. Método de preparación y curado de probetas	32
3.5. Ensayos de hormigón en estado endurecido	34
3.5.1. Ensayo de resistencia a la compresión	34
3.5.2. Ensayo de esclerometría	35
<b>4. Resultados</b>	<b>37</b>
4.1. Caracterización de los agregados	40
4.1.1. Resultados de ensayos de densidad y absorbancia	40
4.1.2. Resultados de ensayos de granulometría, TM y MF	40
4.2. Determinación de la contribución de cada agregado en la mezcla	41
4.3. Dosificaciones	42
4.3.1. Dosificación S	43
4.3.2. Dosificación SV1	44
4.3.3. Dosificación SV2	44

4.3.4. Comparación Dosificaciones	44
4.3.4.1. Resultados PUV y porcentaje de aire	46
4.3.4.2. Resultados ensayo de fragüe	47
4.3.4.3. Resultados de ensayos de compresión	47
4.4. Discusión de resultados	49
<b>5. Análisis económico</b>	<b>49</b>
5.1. Costos de elaboración	49
5.1.1 Matriz de costos de materiales	49
5.1.2. Otros costos de producción	50
5.1.3. Costo para la fórmula actual	51
5.1.4. Costo de la fórmula de rápida habilitación	51
5.2. Costos de vallado	51
5.3. Costo total de ambas fórmulas	52
<b>6. Casos de aplicación</b>	<b>55</b>
6.1. Ensayos de campo	55
6.2. Balastrada de la escalera imperial	57
<b>7. Conclusiones</b>	<b>61</b>
<b>8. Bibliografía</b>	<b>62</b>
<b>9. Anexo</b>	<b>67</b>
9.1. Fichas técnicas	67
9.1.1. Cemento	67
9.1.2. Aditivos	71
9.1.2.1. Sikacrete Plus	71
9.1.2.2. Viscocrete - 20 HE	75

## Índice de tablas y figuras

Figura 1. Corte transversal del paquete estructural	7
Figura 2. Agregados finos utilizados en el hormigón de rápida habilitación. Arena de Necochea (izquierda), Proconcrete (derecha)	13
Figura 3. Agregados gruesos utilizados en el hormigón de rápida habilitación. Piedra 6-20 (izquierda), Piedra 10-30 (derecha)	14
Figura 4. Aditivo Sikacrete Plus y Viscocrete 20 HE	15
Figura 5. Arena y Proconcrete sumergidas en agua	16
Figura 6. Proconcrete en estado SSS	17
Figura 7. Arena con exceso de humedad	17
Figura 8. Proconcrete con menor humedad que SSS	18
Figura 9. Proconcrete sumergido en agua en matraz aforado	18
Figura 10. Arena sumergida en agua en matraz aforado	19
Figura 11. Criterio para verificar la condición de los agregados finos	20
Figura 12. Lavado de Piedra 6-20	20
Figura 13. Lavado de Piedra 10-30	21
Figura 14. Piedra 6-20 y 10-30 sumergida en agua	21
Figura 15. Piedra 10-30 en canasta para ser sumergida	22
Figura 16. Piedra 6-20 en canasta para ser sumergida	22
Figura 17. Piedra 10-30 secándose superficialmente	22
Figura 18. Piedra 6-20 secándose superficialmente	23
Figura 19. Tamizadora para obtener la distribución granulométrica	24
Figura 20. Trompo utilizado para la realización de pastones	26
Figura 21. Cono de Abrams	27
Figura 22. Cono de Abrams compactado a su máxima capacidad	28
Figura 23. Olla de Washington vacía	29
Figura 24. Olla de Washington compactada y enrazada	29
Figura 25. Determinación del peso total de la olla de washington compactada	30
Figura 26. Olla de Washington tapada	31
Figura 27. Penetrómetro con sus distintas puntas	32
Figura 28. Ensayo de tiempo de fragüe	32
Figura 29. Moldes para probetas vacíos	33
Figura 30. Moldes compactados y enrasados	33
Figura 31. Probetas en el baño de curado	34
Figura 32. Probetas de hormigón de rápida habilitación endurecidas	35
Figura 33. Ensayo de compresión	35
Figura 34. Diagrama de flujo	39
Tabla 1. Resultados de los ensayos de densidad y absorbancia	40
Tabla 2. Resultados de los ensayos de tamaño máximo y módulo de finura	40
Figura 35. Distribución granulométrica de los agregados utilizados en hormigones de rápida habilitación	41
Figura 36. Curvas granulométricas de los agregados totales para hormigones de rápida habilitación	41
Tabla 3. Contribución de cada agregado a agregado total	42

Tabla 4. Cantidad de aditivos según la dosificación	42
Tabla 5. Dosificación S	43
Tabla 6. Dosificación SV1	44
Tabla 7. Dosificación SV2	44
Tabla 8. Relación agua cemento de cada una de las dosificaciones	45
Tabla 9. Resultados relación pasta agregados para cada dosificación	45
Tabla 10. Resultados de peso por unidad de volumen	46
Tabla 11. Resultados de porcentaje de aire	46
Figura 37. Gráfico Resistencia a la penetración vs tiempo	47
Tabla 12. Tiempos iniciales y finales de fraguado según el tipo de hormigón	47
Tabla 13. Resultado de resistencia a la compresión de las distintas dosificaciones	48
Figura 38. Gráfico comparativo de resistencia vs edad	48
Tabla 14. Porcentajes de aumento de las dosificaciones con Viscocrete respecto a S	49
Tabla 15. Costos de los materiales para la elaboración de hormigones de rápida habilitación al tránsito	50
Tabla 16. Costos varios	50
Tabla 17. Dosificación utilizada actualmente en la planta de EMVIAL	51
Tabla 18. Costos de la dosificación SV2	51
Tabla 19. Comparación de costos de vallado	52
Figura 39. Vallado utilizado bacheos	52
Tabla 20. Comparación de los costos totales	52
Tabla 21. Diferencia de costos entre dosificaciones	53
Figura 40. Proceso de ensayo de esclerometría	56
Tabla 22. Resultados ensayos de esclerometría	56
Figura 41. Escalera imperial previa a las reparaciones	57
Figura 42. Molde balaustre	58
Figura 43. Curva granulométrica de los agregados totales para la balaustrada	59
Tabla 23. Proporción de los agregados para dosificación a utilizada en la balaustrada	59
Tabla 24. Dosificación para balaustrada	59
Figura 44. Balaustres desmoldados	60

## **Abreviaturas**

MF : Módulo de Finura

EMVIAL: Ente Municipal de Vialidad y Alumbrado

SSS: Saturado Superficie Seca

A/C: Relación Agua cemento

PUV: Peso por Unidad de Volumen

ICPA: Instituto del Cemento Portland Argentino

TM: Tamaño Máximo

S: Dosificación con 0.9% de Sikacrete Plus

SV1: Dosificación con 0.9% de Sikacrete Plus y 0.2% de Viscocrete 20 HE

SV2: Dosificación con 0.9% de Sikacrete Plus y 0.8% de Viscocrete 20 HE

## Resumen

El hormigón es uno de los materiales de uso ingenieril más ampliamente utilizados en el mundo y posee diversas aplicaciones. Una de ellas es la elaboración de pavimentos rígidos.

En nuestro país, el uso de este material para la construcción de calles urbanas es predominante, y Mar del Plata cuenta con más de 10.000 cuadras de pavimento de hormigón. Estas calles requieren un mantenimiento constante.

Mar del Plata se enfrenta a la presencia de numerosos baches en los pavimentos urbanos de hormigón, la mayoría de los cuales se encuentran en el macrocentro. Por lo tanto, resulta conveniente para el municipio contar con un tipo de concreto diseñado para la reparación de las losas en un corto período de tiempo. De esta manera, se pueden evitar posibles accidentes, agilizar el tránsito y reducir los costos y mantenimiento de vallado.

Se llevó a cabo un estudio con el objetivo de desarrollar un hormigón que se caracteriza por tener una alta resistencia a la compresión en un breve lapso de tiempo.

En primer lugar, se realizó un estudio de los agregados a utilizar para determinar las características granulométricas, el tamaño máximo, la absorbancia y la densidad. Con base en estos resultados, se determinó la dosificación necesaria para lograr la máxima compacidad.

Para el análisis de la mezcla en estado fresco, se evaluaron el asentamiento, la densidad, el porcentaje de aire y el tiempo de fraguado. A través de este primer tipo de ensayo, se establecieron los parámetros óptimos del hormigón en estado fresco para determinar si la cantidad de agua utilizada estaba dentro del rango objetivo.

Al realizar ensayos en estado endurecido, se destacó principalmente la resistencia a la compresión, que es el parámetro más importante para determinar la velocidad de maduración del hormigón y ensayos de resistencia a la compresión in situ.

Con la información recopilada, se evaluó la evolución de la resistencia en función del tiempo. El estudio concluyó que la propuesta de la mezcla de hormigón resultó exitosa para obtener así un hormigón de rápida habilitación aplicable en la Ciudad de Mar del Plata.

## 1. Introducción

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en el mundo debido a su versatilidad, durabilidad, resistencia y disponibilidad de las materias primas [1]. En el año 2022 la producción de cemento alcanzó los 4.100 millones de toneladas, por lo que se estima que se produjeron 27.000 millones de toneladas de hormigón [2]. El principal uso de este material radica en la construcción de edificios, puentes, carreteras (pavimentos), estructuras flotantes, tuberías y conductos, obras prefabricadas, entre otros [3]. La aplicación en la cual se enfocará este trabajo de investigación será en la construcción de pavimentos.

Se define pavimento como la superficie constituida por una o varias capas de material seleccionado que se disponen adecuadamente sobre el terreno natural nivelado y compactado, con el objetivo de aumentar su resistencia y permitir la circulación de bienes, personas o vehículos. Los pavimentos cumplen una función trascendental en nuestra evolución, ya que en la medida en que conectan y comunican, posibilitan el intercambio cultural, comercial y turístico, permitiendo el desarrollo de las diferentes regiones [4]. Los pavimentos rígidos se integran por una capa (losa) de concreto de cemento portland que se apoya en una capa de base, constituida por grava; esta capa descansa en una capa de suelo compactado, llamada subrasante. La resistencia estructural depende principalmente de la losa de concreto [5]. El paquete estructural de un pavimento rígido se compone de la forma que muestra la figura 1.



*Figura 1. Corte transversal del paquete estructural*

Los pavimentos, tanto flexibles (asfalto) como rígidos (hormigón), no fallan o colapsan repentinamente, sino que lo hacen en forma gradual y progresiva. La continua acción fundamentalmente de las solicitaciones del tránsito y clima siempre tienen una manifestación en la superficie del pavimento. [6]

En el caso del hormigón puede haber múltiples causas que generen su deterioro y posterior falla, entre ellas se destacan las siguientes: fisuraciones (rotura de esquina, fisuración longitudinal, fisuración transversal, fisuración por durabilidad, losas fragmentadas), deterioro de juntas (deficiencia en el sellado, despostillamientos de juntas o fisuras longitudinales, despostillamientos de juntas o fisuras transversales), defectos superficiales (fisuraciones, descascaramiento, desgaste superficial, desprendimiento de fragmentos en la superficie), entre otros [7]. Es por ello que se deben realizar procedimientos de reparación, también conocidos como bacheos.

Existen dos tipos de bacheo que se definen en función de la profundidad del proceso: total y parcial. La primera se da cuando los pavimentos presentan daños de media y alta severidad, como grietas extensas, deformaciones estructurales significativas o pérdida de material considerable, que justifican la necesidad de reemplazar al menos una parte de la losa en todo su espesor, para restaurar las áreas deterioradas. Por otro lado, la reparación a profundidad parcial se recomienda cuando los niveles de deterioro son bajos y el daño es superficial, por ejemplo, pequeñas grietas superficiales o desprendimiento de la capa superficial, implicando la remoción y reemplazo de zonas específicas de la losa afectada. [8]

El proceso de realización de la reparación a profundidad total comienza con la demarcación del área a intervenir, seguido por la remoción del concreto deteriorado mediante aserrado y extracción. Luego, se limpian y preparan las superficies, incluyendo la compactación de la base granular. Se preparan juntas para evitar la adhesión del concreto de reparación al de la losa adyacente, luego se coloca el hormigón con una resistencia similar a la del pavimento existente. Después de colocar el concreto, se realiza el acabado y curado del mismo [9], seguido por el sellado de las juntas utilizando un sistema elastomérico resistente [10]. Finalmente, se espera a que el material de reparación alcance una resistencia suficiente para permitir la reapertura de la vía [9], comúnmente requerida a 3,5 MPa a flexión, correlacionada con una resistencia a compresión de 20 MPa (agregados triturados) a 25 MPa (agregados naturales) [11].

En cambio, en el caso de la reparación de profundidad parcial a la hora de la preparación del área a reparar se debe asegurar un perfil de rugosidad óptimo y una limpieza adecuada de las caras expuestas, el fondo de la reparación con el fin de generar una buena adherencia del material de reparación [8]. Se debe retirar cualquier partícula o contaminante de la superficie. También a fin de obtener una mayor adherencia al sustrato existente se puede aplicar un agente adhesivo. [10]

El costo del bacheo depende de cada una de las fases consideradas previamente y constituye un factor significativo en el análisis de las fórmulas alternativas que sean técnicamente factibles para alcanzar los objetivos planteados. Al evaluar las características de las fases y costos asociados a cada una, podemos concluir: El proceso de reparación, que incluyen la demarcación del área, la remoción del concreto deteriorado, la limpieza y preparación de la superficie y la preparación de las juntas, no presentarán variaciones en los costos, independientemente de la fórmula utilizada, para el bacheo convencional o para la rápida habilitación. En cuanto a la elaboración del hormigón, la fórmula para rápida habilitación resultará más costosa que la fórmula actual, aunque el costo de transporte será igual para ambas. Los procesos, que incluyen la colocación del hormigón, el acabado y curado del mismo, y la apertura al tránsito, no experimentarán variaciones en los costos para ambas alternativas. Por último, se destaca que el costo de vallado será mayor en la fórmula actual, mientras que los costos se reducirán en una dosificación que permita una rápida habilitación al tránsito.

Las prácticas tradicionales de construcción, reparación o reemplazo de pavimentos ya no son aceptables debido al aumento de la impaciencia de la población por la interrupción del tráfico. Sin embargo, las agencias de obras públicas deben continuar reparando o reemplazando los caminos deteriorados, manteniendo el tráfico en estas carreteras. La construcción de estas carreteras es especialmente difícil en las zonas urbanas [12]. Es por ello que minimizar el tiempo de endurecimiento necesario para habilitar los baches reparados conlleva numerosos beneficios, que incluyen la significativa reducción de los riesgos de accidentes, la mejora del flujo de tránsito y la minimización de los costos asociados con señalización y vallado [13].

Aunque los trabajos de bacheo en pavimentos de hormigón se realizan en diversas partes del mundo, en países con un mantenimiento deficiente de los pavimentos, la necesidad de estas operaciones es aún más frecuente, lo que contribuye a una disminución de la vida útil de las vías. En Mar del Plata, actualmente se están realizando numerosas obras de bacheo tanto en pavimentos asfálticos como en pavimentos de hormigón, y en los próximos años se requerirá intensificar estas tareas debido a que la tasa de deterioro de los pavimentos existentes es mayor que la tasa de reparación [14]. Actualmente en el Municipio de General Pueyrredón las obras de bacheo y reconstrucción de losas demoran entre 10 y 15 días por zona de intervención ya que primero se ejecuta la rotura, retiro de material y la preparación de suelo y luego se coloca el hormigón, que demora 7 días en obtener la resistencia necesaria para ser habilitado. [15]. En el Municipio de General Pueyrredón, el Ente Municipal de Vialidad y Alumbrado

(EMVIAL), establecido en 2009, es responsable de las obras de reparación de pavimentos, tanto de hormigón como de asfalto. Además de su labor en la reparación de calles, el EMVIAL dirige y administra los aspectos relacionados con el estudio, proyectos, construcción, inspección y conservación de los caminos del Partido de General Pueyrredón. [16]

La motivación de este proyecto final fue la necesidad de implementar una mezcla de hormigón de rápida habilitación para abordar los problemas de tiempo asociados a la habilitación de calles recientemente reacondicionadas en el Municipio de General Pueyrredón.

El hormigón de rápida habilitación, también llamado de alta resistencia a edad temprana o Fast Track Concrete, permite desarrollar resistencias a tracción por flexión en rotura y compresión no confinada especificadas y recomendadas por diseño, de modo más rápido que un hormigón convencional, referido esto último, a tiempos de espera asociados a los periodos de hidratación y fraguado del cemento en la interacción con los demás componentes de una mezcla de hormigón [17]. Esta técnica nació para satisfacer la necesidad creciente en los pavimentos de hormigón de aeropuertos, caminos y calles urbanas (tanto de las nuevas construcciones como en las reconstrucciones), y de acelerar los trabajos para liberar los pavimentos rápidamente al tránsito, provocando menores inconvenientes e interrupciones con los menores costos posibles [18].

Las soluciones que ofrece la construcción, reparación y reemplazo de los pavimentos de hormigón mediante el empleo de hormigones tradicionales son lentas y provocan la interrupción del tránsito, con la consiguiente congestión del mismo, especialmente en las áreas urbanas. Para reducir al mínimo los tiempos de construcción y de curado se vio la posibilidad de adaptar las técnicas de los hormigones de muy elevada resistencia inicial y salvar así los inconvenientes nombrados. [18]

En este trabajo se priorizó un concepto muy importante, la relación agua-cemento ( $A/C$ ). La importancia del agua de amasado es muy relevante en la formulación de hormigones. Su relación con el cemento están directamente ligados a una gran cantidad de propiedades en estado fresco y endurecido del material final, en donde usualmente conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad. Esto representa grandes beneficios para la mano de obra. Sin embargo, también comienza a disminuir la resistencia debido al mayor volumen de la red capilar y la mayor probabilidad de encontrar un defecto de tamaño crítico donde se inicia la falla bajo carga [19]. Para ello se utilizaron distintos tipos de aditivos,

plastificantes y superplastificantes, con el fin de reducir la cantidad de agua libre de la mezcla, pero manteniendo los niveles de trabajabilidad. Los primeros son agentes que se adsorben superficialmente sobre las partículas más finas del cemento y actúan como agentes dispersantes, en cambio, los superfluidificantes tienen un mecanismo similar al anterior combinado con un efecto dispersante de los flóculos de partículas de material cementicio, por repulsión electrostática o estérica, produciendo una marcada reducción del contenido de agua. [20]

En la literatura existen investigaciones de estos tipos de hormigones que concluyen con la factibilidad de utilizar *Fast Track* para las construcciones que requieren una rápida habilitación al tránsito. Se han realizado varios tipos de diseños de hormigón. En algunos casos se limitan solo al uso de aditivos para la rápida habilitación como superfluidificantes y acelerantes de resistencia [21], la utilización de superfluidificantes y acelerantes de fraguado [22 - 27], con plastificantes y acelerantes de fraguado [28, 29] y el uso de superplastificantes y plastificantes [30, 31]. En otras investigaciones se han utilizado aglutinantes a base de cemento fosfatado [32], con mortero polimérico basado en metacaolin [33] y utilizando ceniza de bagazo de caña de azúcar en mezcla con aditivos acelerantes de fraguado y superplastificantes [34]. Por último, también hay investigaciones de usos de concretos poliméricos para la rápida habilitación [35] y también usos de metales desechados como agregados en el hormigón, que también resultan de altas resistencias a poco tiempo de curado [36].

## **2. Objetivo**

### **2.1. Objetivo general**

El objetivo es desarrollar una mezcla de hormigón que garantice una resistencia inicial suficiente para permitir la reapertura rápida de las calles reparadas, minimizando así las interrupciones en el tránsito, mejorando la eficiencia en la ejecución de los trabajos de mantenimiento vial.

### **2.2. Objetivos específicos**

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Caracterizar los materiales de partida para la formulación de hormigón.
- Diseñar y caracterizar en estado fresco y endurecido una formulación de hormigón base para bacheo de pavimento.
- Diseñar y caracterizar en estado fresco y endurecido una formulación de hormigón de rápida habilitación para bacheo mediante el uso de aditivos reductores de agua.
- Estimar los costos de producción de los hormigones obtenidos.
- Utilizar los hormigones en aplicaciones específicas.

### 3. Procedimiento experimental

#### 3.1. Materiales de partida

##### 3.1.1. Cemento

Se utilizó cemento CPC 40 (Cementos Avellaneda) que cumple con los requisitos exigidos por las normas IRAM 50000 [37] y 50001 [38]. En el Anexo 3.1 se adjunta la ficha técnica del proveedor.

##### 3.1.2. Agregados finos

Como agregado fino se utilizaron arena fina de Necochea, proveniente de Canteras Fátima ubicada en Necochea, y piedra cuarcítica triturada 0-6 (proconcrete), proveniente de Canteras Yaraví S.A. En la figura 2 se puede ver los agregados finos utilizados:



*Figura 2. Agregados finos utilizados en el hormigón de rápida habilitación. Arena de Necochea (izquierda), Proconcrete (derecha)*

##### 3.1.3. Agregados gruesos

Como agregado grueso se utilizaron piedra cuarcítica 10-30 y piedra cuarcítica 6-20, ambas provenientes de Canteras Yaraví S.A. En la figura 3 se puede ver los agregados gruesos utilizados:



*Figura 3. Agregados gruesos utilizados en el hormigón de rápida habilitación. Piedra 6-20 (izquierda), Piedra 10-30 (derecha)*

### **3.1.4. Agua de amasado**

El agua empleada para la dosificación de todas las mezclas cumple con los requisitos de la norma IRAM 1601:2012 [39].

### **3.1.5. Aditivos**

#### **3.1.5.1. Sikacrete Plus**

El aditivo Sikacrete Plus de la marca Sika desempeña un papel crucial como reductor de agua, permitiendo un mejor manejo y aplicabilidad de la mezcla. Asimismo, al reducir la cantidad de agua se logra obtener una menor relación A/C, lo que es esencial para asegurar una rápida puesta en servicio de la estructura reparada. La ficha técnica se encuentra en el anexo.

#### **3.1.5.2. Viscocrete 20 HE**

El aditivo Viscocrete 20HE al ser un superplastificante de alto rango, facilita la fluidez y maniobrabilidad del hormigón, lo que resulta fundamental para lograr una mejor cohesión y resistencia en la mezcla final, contribuyendo a la durabilidad y estabilidad del material ante las cargas y condiciones de servicio previstas.

En la figura 4 se muestran los tambores de los aditivos mencionados.



Figura 4. Aditivo Sikacrete Plus y Viscocrete 20 HE

## 3.2. Ensayos de los agregados

### 3.2.1. Método de cuarteo

La obtención de la muestra de áridos para llevar a cabo los ensayos de caracterización se realizó siguiendo la norma IRAM 1509:2006 [40]. El proceso incluye el cuarteo con el objetivo de obtener muestras lo más homogéneas y representativas posible.

El procedimiento implica los siguientes pasos:

1. Se coloca la muestra sobre una superficie plana, dura y limpia que no contenga ningún material que pueda contaminar la muestra.
2. Se procede a mezclar el material para lograr la mayor homogeneidad posible.
3. La muestra se divide en cuatro partes iguales, dispuestas en forma de cruz.
4. Se retiran dos de esas partes, dejando las otras dos partes restantes.
5. Las dos partes restantes se vuelven a mezclar y se repite el proceso las veces necesarias para obtener la cantidad de material requerida para llevar a cabo el ensayo.

### 3.2.2. Densidad y absorbancia

#### 3.2.2.1. Agregados finos

La determinación de la densidad y la absorbancia de los agregados finos se rige por la norma IRAM 1520:2002 [41]. El proceso involucra los siguientes pasos:

1. La muestra a utilizar debe reducirse previamente a 1 kg mediante el método de cuarteo, conforme a la norma IRAM 1509:2006.
2. La muestra se coloca en un recipiente y se seca en un horno a  $105 \pm 5$  °C hasta que alcance un peso constante.

3. Luego, se sumerge la muestra en agua durante 24 horas (figura 5) y se retira el agua. La muestra se extiende sobre una superficie plana para someterla a un secado parcial mediante el soplado de aire. El secado continúa hasta que las partículas de agregado no se adhieren entre sí.



*Figura 5. Arena y Proconcrete sumergidas en agua*

4. El agregado fino se coloca en un molde troncocónico, a continuación, se compacta mediante 25 golpes de varilla. Se retira el molde, y con el desmoronamiento del agregado, se busca que tenga una forma de cono con una generatriz recta como se ve en la figura 6.



*Figura 6. Proconcrete en estado SSS*

5. Si no se logra esta condición, se debe seguir secando la muestra (figura 7), y si se excede en el secado (figura 8), se agrega agua, se mezcla íntimamente y se repite el proceso.



*Figura 7. Arena con exceso de humedad*



*Figura 8. Proconcrete con menor humedad que SSS*

- Una vez que se obtiene el agregado fino en condiciones de saturación superficial seca, se pesan  $500 \pm 10$  g ( $M_{SSS}$ ) y se colocan en un matraz aforado de  $500 \text{ cm}^3$  (V). Se pesa el conjunto ( $m_1$ ). Luego, se llena el matraz hasta la marca con agua a  $20 \pm 2$  °C y se agita para eliminar las burbujas de aire atrapadas en la muestra. El matraz se deja reposar en un baño a  $20 \pm 2$  °C durante una hora y se vuelve a llenar hasta la marca de  $500 \text{ cm}^3$ . Se pesa nuevamente el conjunto ( $m_2$ ). En la figura 9 y 10 se ven los ensayos realizados con proconcrete y arena, respectivamente.



*Figura 9. Proconcrete sumergido en agua en matraz aforado*



Figura 10. Arena sumergida en agua en matraz aforado

7. Finalmente, se retira la muestra del matraz, se seca a  $105 \pm 5$  °C hasta obtener un peso constante, se enfría a temperatura ambiente y se registra el peso.

Con base en los resultados obtenidos, se puede calcular la densidad y la absorción de los agregados finos. Es importante mencionar que el método descrito se conoce como método gravimétrico. Existe otro método llamado método volumétrico que se lleva a cabo con diferentes instrumentos, pero no se aborda en este trabajo.

$$\rho_{SSS} = \frac{m}{(V - V_a) \cdot \rho_a} \quad \%A = \frac{m_s - m}{m} * 100$$

$$\text{Donde } V_a = \frac{m_2 - m_1}{\rho_a}$$

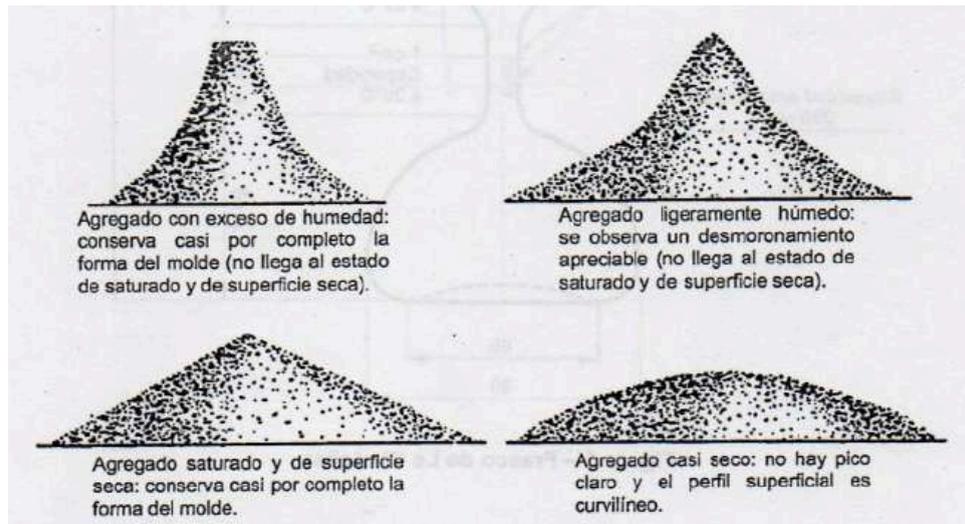


Figura 11. Criterio para verificar la condición de los agregados finos

### 3.2.2.2. Agregados gruesos

Antes de llevar a cabo el ensayo para determinar la densidad y absorción de los agregados gruesos, es necesario seguir un procedimiento que implica los siguientes pasos, según la norma 1533:2002 [42]:

1. Se toma una muestra de agregados y se reduce mediante el método de cuarteo (según la norma IRAM 1509). Se debe eliminar todo material que pase por el tamiz de 4.75 mm (N° 4) por vía seca.
2. Después de la preparación de la muestra, se procede a lavar el agregado grueso para eliminar el polvo u otros materiales de la superficie. En las figuras 12 y 13 se puede ver el proceso de lavado de la piedra 6-20 y 10-30, respectivamente.



Figura 12. Lavado de Piedra 6-20



*Figura 13. Lavado de Piedra 10-30*

3. A continuación, se sumerge el agregado en agua durante un período de  $24 \pm 4$  horas (figura 14). Posteriormente, se retira la muestra del recipiente y se coloca en un cesto de alambre con una malla de 3,35 mm sumergiéndolo en agua a una temperatura de  $20 \pm 2$  °C (figura 15 y 16). Se registra el peso sumergido ( $M_{sum}$ ).



*Figura 14. Piedra 6-20 y 10-30 sumergida en agua*



*Figura 15. Piedra 10-30 en canasta para ser sumergida*



*Figura 16. Piedra 6-20 en canasta para ser sumergida*

4. Luego, se retira la muestra del agua y se envuelve en una tela absorbente hasta que toda el agua visible sea eliminada (figura 17 y 18). La muestra se pesa de inmediato, y se determina la masa de la muestra en estado saturado de superficie seca ( $M_{ss}$ ).



*Figura 17. Piedra 10-30 secándose superficialmente*



Figura 18. Piedra 6-20 secándose superficialmente

5. Finalmente, se seca la muestra a  $105 \pm 5$  °C hasta alcanzar una masa constante. Se deja enfriar a temperatura ambiente durante 1 a 3 horas o hasta que el material permita su manipulación, y se pesa ( $M_s$ ).

Con base en los resultados obtenidos, se puede calcular la densidad y la absorción de los agregados gruesos.

$$\rho_{SSS} = \frac{M_{SSS}}{M_{SSS} - M_{SUM}} \quad \%A = \frac{M_{SSS} - M_s}{M_s}$$

Donde  $\rho_{SSS}$  es la densidad en estado saturado superficie seca y  $\%A$  es el porcentaje de absorción.

### 3.2.3. Granulometría, tamaño máximo y módulo de finura

El objetivo de este ensayo es determinar la distribución granulométrica de las partículas que componen tanto los agregados finos como los agregados gruesos.

El procedimiento se realiza de la siguiente manera:

1. Previo a la realización del ensayo, se prepara la muestra utilizando el método de cuarteo hasta obtener la cantidad necesaria para llevar a cabo el ensayo.
2. La muestra preparada se seca a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C hasta alcanzar una masa constante, y se registra esta masa.
3. Luego, se disponen los tamices de interés en forma ascendente, en este caso, se utilizan los siguientes tamices: 1 1/2" (37,5 mm), 1" (25 mm), 3/4" (19 mm), 1/2" (12,5 mm), 3/8" (9,5 mm), N°4 (4,75 mm), N°8 (2,36 mm), N°16 (1,18 mm), N°30 (0,6 mm), N°50 (0,3 mm), N°100 (0,15 mm), y por último, la tapa.

4. Los tamices se colocan en un vibrador mecánico durante 10 minutos, como se puede ver en la figura 19, y luego se pesa el contenido que queda retenido en cada tamiz, registrando estos valores.



*Figura 19. Tamizadora para obtener la distribución granulométrica*

5. A partir de los datos obtenidos, se calculan los porcentajes retenidos, el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa en cada tamiz y se acumula.

Con estos datos, se pueden construir las curvas granulométricas, y se determinan el tamaño máximo nominal y el módulo de finura. El tamaño máximo nominal del agregado se define como el tamaño máximo a través del cual puede pasar al menos el 95% de la muestra del agregado.

Finalmente, para calcular el módulo de finura (MF), se suma el porcentaje total del material retenido en cada uno de los tamices siguientes: 1 ½" (37,5 mm), ¾" (19 mm), ½" (9,5 mm), N°4 (4,75 mm), N°8 (2,36 mm), N°16 (1,18 mm), N°30 (0,6 mm), N°50 (0,3 mm), y N°100 (0,15 mm). Luego, se divide este resultado por 100 para obtener el valor final del MF. [43]

### 3.3. Método de diseño de mezcla, método ICPA

El método que se propone es útil para el diseño de mezclas. Análogamente a otros métodos racionales, se deben conocer las propiedades o características de los materiales componentes, así como las condiciones particulares de la obra y el equipamiento disponible. Es evidente que las relaciones causa/efecto entre las propiedades de los componentes y las características del hormigón son demasiado complejas como para poder considerarlas a todas en un mismo modelo; por ello, éste selecciona las más relevantes y establece pautas adicionales que contemplan posibles cambios en las características de los materiales, empleo de aditivos reductores de agua, incorporación intencional de aire, tipo de agregado grueso, etc.

A continuación, se enumeran las etapas del método y luego se procederá al análisis pormenorizado de cada una de ellas.

1. Elección del cemento a emplear (categorización por resistencia: CP30 – CP40 – CP50 )
2. Elección de una consistencia adecuada.
3. Decidir si se incorpora aire en forma intencional.
4. Distribución granulométrica de agregados
  - a. Seleccionar una curva o ámbito granulométrico apropiado para el agregado total
  - b. Selección y ajuste de las fracciones disponibles para ajustarse a lo seleccionado en 4.a (Mezcla de las distintas fracciones)
  - c. Cálculo del Módulo de Finura (MF) del Agregado Total, contemplando los retenidos sobre los tamices de la serie normal
5. Estimación de la cantidad de agua de amasado, en función del asentamiento elegido y el MF del agregado total.
6. Cálculo de la resistencia de diseño,  $f'_{cm}$ , en función de la resistencia especificada ( $f'_{ce}$ ) y el desvío estándar (S). Verificación del cumplimiento de la  $f'_{cm}$  mínima por razones de durabilidad
7. Estimación de la relación a/c.
  - a. Determinación de la relación agua/cemento necesaria en función de la resistencia media a la edad de 28 días para las distintas categorías de cemento.
  - b. Verificación del cumplimiento de eventual relación agua/cemento máxima por razones de durabilidad.

8. Cálculo del contenido unitario de cemento y verificación del cumplimiento de eventual contenido de cemento mínimo por razones de durabilidad.
9. Determinación de la cantidad de agregado (fino y grueso) por diferencia a 1000 de los volúmenes de agua, cemento y aire estimado. Ese volumen se integra con los agregados en las proporciones establecidas en el paso 4.b
10. Se construye una tabla que sirve para afectar a estas cantidades por la absorción de los agregados y, en general, las proporciones de la mezcla se expresan para éstos en condición de saturados a superficie seca.

Los valores que hemos empleado, tanto de tablas como de ábacos, corresponden a estimaciones, por lo que es indispensable ahora preparar un pastón preliminar, llamado pastón de prueba, para ajustar las proporciones en forma experimental. Se debe evaluar el aspecto de la mezcla (muy arenoso, arenoso, normal, pedregoso, muy pedregoso, etc.), medir su asentamiento en el tronco de cono, determinar su peso unitario, temperatura y contenido de aire. Si el aspecto no fuera el correcto, se deben modificar las proporciones relativas de los agregados y recién entonces, debe corregirse la cantidad de agua para ajustar el asentamiento. Esto es así porque los cambios en la cantidad de agregado fino y grueso ejercen una influencia notable sobre la demanda de agua. [20]



*Figura 20. Trompo utilizado para la realización de pastones*

### 3.4. Ensayos de hormigón en estado fresco

#### 3.4.1. Asentamiento

El ensayo se llevó a cabo siguiendo la norma IRAM 1536:2020 [44], que establece el procedimiento para determinar el asentamiento del hormigón en estado fresco. Para realizar este ensayo, se requieren las siguientes herramientas: un cono de Abrams, una varilla de compactación, una plancha de metal y una regla para medir el asentamiento.

El procedimiento del ensayo implica los siguientes pasos:

1. Se coloca el cono de Abrams sobre la plancha de metal, como se ve en la figura 21, ambas superficies previamente humedecidas, para garantizar un apoyo estable y liso.



*Figura 21. Cono de Abrams*

2. El cono se llena con hormigón en tres capas sucesivas, compactando cada capa mediante la aplicación de 25 golpes con la varilla de compactación. Este proceso se repite hasta que se complete todo el volumen del cono. En la figura 22 se muestra el cono de abrams lleno.



*Figura 22. Cono de Abrams compactado a su máxima capacidad*

3. Después de llenar y compactar el cono, se levanta cuidadosamente el cono de Abrams y se mide la diferencia de altura entre el cono y la superficie del hormigón. Esta diferencia de altura se utiliza para determinar el asentamiento del hormigón.

El ensayo de asentamiento es importante para evaluar la trabajabilidad y la consistencia del hormigón en su estado fresco.

Para la estimación de agua necesaria para la realización de las mezclas que van a ser descritas en otro capítulo fue necesario establecer un asentamiento objetivo, el cual consistió en  $9 \pm 2$  cm.

#### **3.4.2. Determinación del peso por unidad de volumen (PUV)**

Para determinar el peso por unidad de volumen, se siguieron las especificaciones establecidas en la norma IRAM 1562:2012 [45]. El proceso comienza midiendo previamente el volumen del recipiente (V). En este caso, se empleó el mismo recipiente utilizado para la determinación del contenido de aire, el cual es cilíndrico y cuyo volumen es fácil de medir. El recipiente utilizado se muestra en la figura 23.



*Figura 23. Olla de Washington vacía*

Luego, se procede al llenado del recipiente en tres capas de igual volumen. Después de cada capa, se compacta la muestra mediante 25 golpes bien distribuidos con una varilla y se golpea suavemente los costados con un martillo de goma. Este proceso se repite dos veces más para asegurar la uniformidad.

Posteriormente, se enrasa el contenido del recipiente, se limpia meticulosamente y se pesa el conjunto en una balanza que previamente se ha tarado con el recipiente vacío. Este procedimiento se puede apreciar en las figuras 24 y 25, respectivamente.



*Figura 24. Olla de Washington compactada y enrasada*

Finalmente, el peso por unidad de volumen se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$PUV = \frac{P}{V} = \frac{\text{Peso conjunto} - \text{Peso recipiente}}{\pi * \text{Radio}^2 * \text{Altura}}$$



Figura 25. Determinación del peso total de la olla de Washington compactada

### 3.4.3. Determinación del contenido de aire

Para determinar el contenido de aire en la mezcla de hormigón, se llevaron a cabo los ensayos conforme a las especificaciones de la norma IRAM 1602-2:1988 [46]. El procedimiento del ensayo se describe de la siguiente manera:

1. Se llena el molde de hormigón en tres capas de igual volumen. Después de cada capa, se compacta la muestra utilizando una varilla, aplicando 25 golpes, y se golpea suavemente los costados del molde con un martillo de goma hasta que los huecos generados por el varillado desaparezcan parcialmente. Este proceso se repite dos veces más.
2. A continuación, se procede a nivelar la muestra (enrasar) y a limpiar cuidadosamente los bordes del molde para eliminar cualquier exceso de material.
3. Una vez completado este paso, se sella el molde utilizando los cierres manuales para evitar movimientos y se abren las dos válvulas ubicadas en los bordes del molde. Luego, se cierra la válvula central.
4. Se vierte agua a través de una de las válvulas abiertas hasta que el agua fluya por la válvula opuesta, indicando que el espacio de aire dentro del molde se ha llenado con agua por completo.
5. Una vez alcanzado este punto, se cierran las válvulas y se inyecta aire a través de la boquilla hasta que el medidor llegue a cero.

6. Finalmente, se abre la válvula central y se registra el contenido de aire medido en el ensayo.

Este procedimiento permite determinar con precisión el contenido de aire presente en la mezcla de hormigón.



*Figura 26. Olla de Washington tapada*

#### **3.4.4. Determinación del tiempo de fragüe**

El ensayo de penetración, según la norma IRAM 1662 [47], tiene como objetivo evaluar el progresivo desarrollo del proceso de endurecimiento del hormigón fresco, midiendo la fuerza requerida para introducir una sonda a una profundidad específica en la muestra. Se utiliza un dinamómetro de resorte de accionamiento manual que permite medir la fuerza necesaria para que las sondas penetren a una profundidad de 25 mm por debajo de la superficie de la muestra en ensayo. Esta herramienta puede verse en la figura 27.

Es importante destacar que la muestra que se somete a la prueba de penetración no es el hormigón en sí, sino el mortero del hormigón (fracción que pasa por el tamiz de 4.75 mm de abertura). Esto se hace para evitar posibles interferencias locales causadas por los agregados de mayor tamaño al aplicar las sondas.

A intervalos de tiempo predefinidos, se realiza la prueba de penetración y se registra la presión ejercida para lograr que la sonda penetre en la muestra (figura 28). Con estos datos, se construye una curva de presión de penetración a lo largo del tiempo, que representa el proceso de aumento de rigidez de la mezcla a medida que se transforma en un estado sólido.

En esta curva, se pueden identificar los puntos de inicio y finalización del fraguado al establecer una presión de penetración específica para cada uno de ellos. Estos puntos corresponden a los momentos en los cuales la presión de penetración alcanza valores de 3.5 MPa y 27.6 MPa, respectivamente.



*Figura 27. Penetrómetro con sus distintas puntas*



*Figura 28. Ensayo de tiempo de fragüe*

### **3.4.5. Método de preparación y curado de probetas**

Para el moldeado de probetas, se siguió el procedimiento establecido en la norma IRAM 1534 [48].

Los moldes utilizados son cilíndricos, con un diámetro de 10 cm y una altura de 20 cm (figura 29). Antes de llenar los moldes, se realizó una mezcla adecuada de la muestra para asegurar la uniformidad en todo el volumen. Luego, se introdujo la

muestra en el molde, llenando solo la mitad del mismo, y se procedió a compactar mediante un varillaje de 25 golpes. A continuación, se aplicó vibración externa hasta que los huecos generados durante el varillaje se eliminaron. Se repitió este proceso agregando más material hasta llenar completamente el molde, permitiendo que sobre un exceso que se eliminaría al volver a varillar y enrasar la muestra. En la figura 30 se pueden ver los moldes llenos.



*Figura 29. Moldes para probetas vacíos*



*Figura 30. Moldes compactados y enrasados*

Una vez preparada la probeta, se la dejó reposar en una superficie horizontal y lisa, libre de vibraciones y sin exposición directa al sol, durante un período de  $24 \pm 8$  horas. Cumplido este tiempo, se procedió a desmoldar las probetas y se les aplicó etiquetas para su identificación. Posteriormente, se trasladaron a una pileta donde serían sometidas a un proceso de curado por el tiempo necesario para determinar su resistencia a la compresión, como se ve en la figura 31.



*Figura 31. Probetas en el baño de curado*

### **3.5. Ensayos de hormigón en estado endurecido**

#### **3.5.1. Ensayo de resistencia a la compresión**

El ensayo de compresión es el método para evaluar las características del hormigón, especialmente su nivel de resistencia. Para evaluar la resistencia a la compresión, se utilizan comúnmente probetas cilíndricas (figura 32) en las que se aplica una carga uniformemente distribuida. Las dimensiones de las probetas pueden ser de 15 x 30 cm o 10 x 20 cm, y se establece que las velocidades de ensayo deben estar dentro del rango de 0.2 a 0.6 MPa/s.

Es importante asegurar la alineación de la carga con el eje de las probetas y garantizar que los extremos estén bien terminados para evitar una distribución incorrecta de la carga.

En este ensayo, se midió la resistencia a la compresión de diferentes tipos de hormigones en varios días de edad. Se realizaron pruebas con probetas de 1, 2, 3, 7 y 28 días con el objetivo de determinar el tiempo mínimo necesario para habilitar el tránsito. Se consideró que esto se alcanza cuando la resistencia del hormigón

llega al 70% de la resistencia de diseño, en este caso, H30, es decir que alcance 20 MPa para ser habilitado. [49]



*Figura 32. Probetas de hormigón de rápida habilitación endurecidas*



*Figura 33. Ensayo de compresión*

### **3.5.2. Ensayo de esclerometría**

El ensayo de esclerometría se realizó en base a la Norma IRAM 1694:1989.

El esclerómetro consiste en un vástago, a lo largo del cual se desliza una masa activada por un resorte; esta masa golpea contra un retén del vástago con una cierta energía que se transmite al hormigón, el que sufre una deformación elastoplástica. Al recuperar el hormigón, el que sufre una deformación elástica, hace rebotar la masa, la que en el movimiento arrastra una aguja sobre una escala graduada donde se halle el número de rebote.

Para la ejecución del ensayo se realizan los siguientes pasos:

1. Se delimita una zona de 180 cm<sup>2</sup>. Esta zona deberá estar libre de revestimientos, deberá ser plana y limpia.
2. Se hace un mallado dentro de la zona con una separación de 3 cm en cada punto. Estos puntos serán los sitios donde posteriormente se realizarán los golpes con el esclerómetro.
3. Se aplica el rebote con el instrumento en los sitios y se anota el número entero más próximo.
4. Se calcula la media aritmética y se descartan aquellas lecturas que difieran en  $\pm 5$  unidades de dicho valor

Por último, si se llega a que más de 6 lecturas son válidas, es decir, que no difieren en  $\pm 5$  unidades, la zona ensayada será confiable, de lo contrario se deberá realizar el mismo ensayo en otro lado. [50]

## 4. Resultados

En el diagrama de flujo que se muestra en la figura 34, se resume el procedimiento para la obtención de una mezcla de hormigón de rápida habilitación al tránsito. En primer lugar, se decidió el tipo de cemento a utilizar, optando por el CPC 40, convencional en la planta de hormigón del EMVIAL, con una cantidad de 400 kg/m<sup>3</sup> de hormigón.

Posteriormente, se seleccionaron los agregados de partida, incluyendo piedra cuarcítica 10-30, piedra cuarcítica 6-20, arena y proconcrete. Estos materiales se sometieron a ensayos de caracterización para obtener datos como densidad, absorbancia, distribución granulométrica, tamaño máximo y módulo de finura. A partir de estos datos, se determinaron las cantidades de agregados gruesos y finos mediante curvas granulométricas.

Con esta información, se estableció un asentamiento objetivo para definir la cantidad de agua necesaria, utilizando ábacos presentados por el método ICPA y los resultados del análisis granulométrico.

Una vez obtenidas las cantidades de cada material de partida, se procedió a la parte experimental, preparando pastones con agregado de aditivos fluidificantes y superfluidificantes. Dado que el contenido de agua total no se puede conocer con exactitud de antemano debido a la reducción por los aditivos, se optó por mantener constante la cantidad de cemento y aditivos. Así, al realizar un pastón, se calculó previamente la humedad de los agregados y se registró durante la mezcla la cantidad de agua agregada con el fin de obtener la cantidad de agua que asegure un asentamiento de  $9 \pm 2$  cm. Se realizaron ensayos de asentamiento para verificar los resultados; en caso de obtenerse un valor menor a siete, se agregaba agua en cantidades controladas para alcanzar el asentamiento objetivo, y en caso de ser mayor, se descartaba el pastón y se iniciaba nuevamente. Si el asentamiento estaba dentro del rango, se procedía a realizar ensayos en estado fresco, como el tiempo de fraguado y el contenido de aire. Además, se preparaban probetas y se llevaba a cabo su posterior curado para ensayar su resistencia a la compresión. A su vez, si el asentamiento estaba dentro del rango mencionado se tomaba la cantidad de agua utilizada para lograr este resultado, que fue medida previamente, y se lo dividía por la cantidad de cemento que se utilizó, obteniéndose así la relación A/C.

Las probetas de hormigón se curaron sumergiéndolas en agua para garantizar un proceso de curado adecuado y para mejorar las propiedades finales del hormigón. Cuando se sumergen se crea un ambiente húmedo que ayuda a prevenir la pérdida rápida de humedad

del hormigón, lo que puede causar grietas y una resistencia reducida. El agua actúa como un medio para mantener la humedad necesaria para el proceso de hidratación del cemento, que es fundamental para el desarrollo de la resistencia del hormigón.

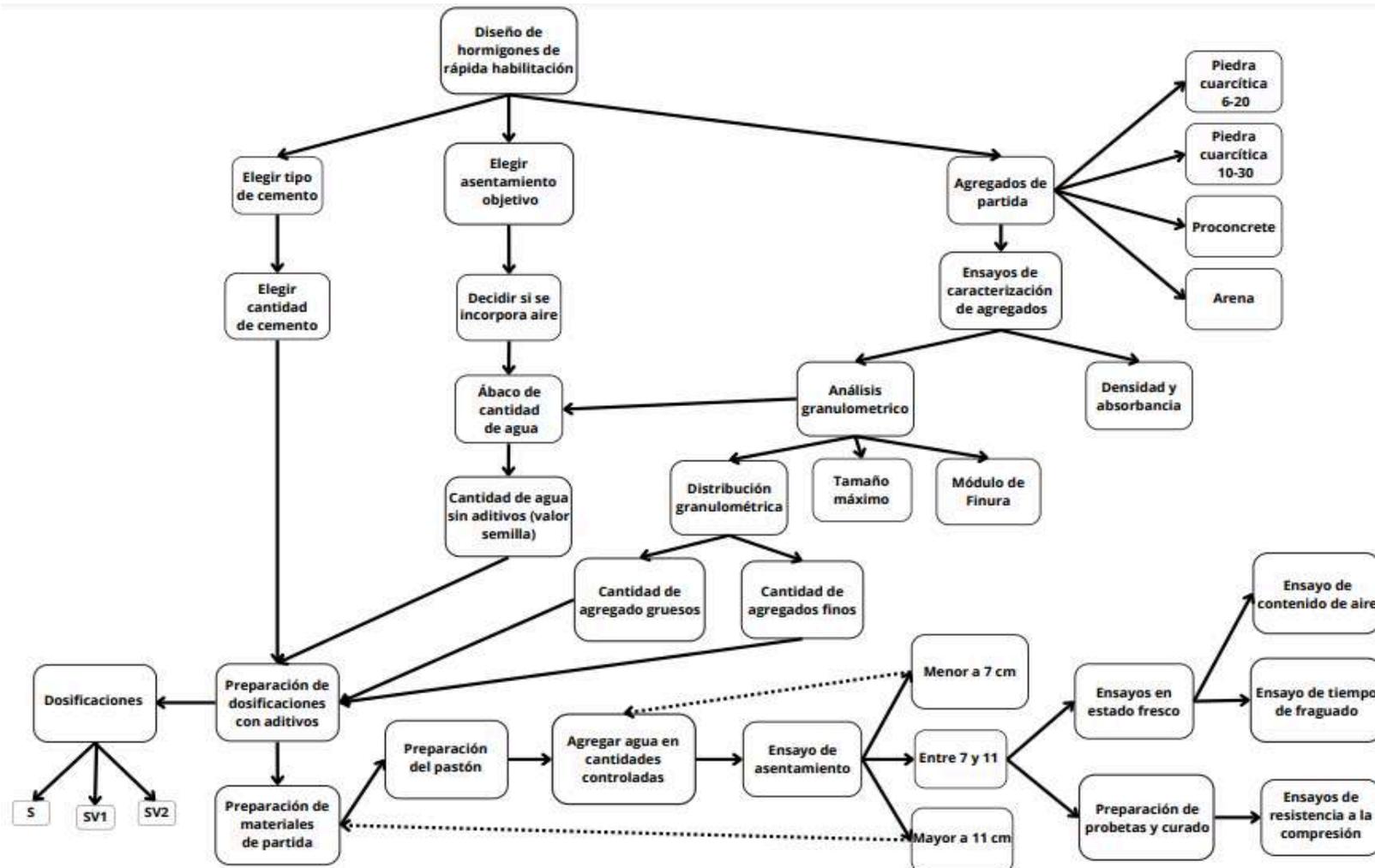


Figura 34. Diagrama de flujo

## 4.1. Caracterización de los agregados

### 4.1.1. Resultados de ensayos de densidad y absorbanza

Se extrajeron muestras para análisis de los acopios de agregados de la empresa EMVIAL (Mar del Plata, Argentina) según estipula la norma IRAM 1509:1987. En la Tabla 1 se resumen los valores de densidad saturada superficie seca (SSS), porcentaje de absorción (IRAM 1520:2002, IRAM 1533:2002) de los cuatro agregados. Los resultados obtenidos se encuentran dentro del rango informado en trabajos previos realizados tanto en EMVIAL u en plantas de hormigón de la zona que utilizan los mismos tipos de agregados proveniente de las canteras cercanas a Mar del Plata donde se extraen la piedra cuarcítica y la arena cuarcítica de trituración proconcrete. [1, 57]

*Tabla 1. Resultados de los ensayos de densidad y absorbanza*

Agregado	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Absorbanza (%)
Piedra 10-30	2,488 ± 0,019	1,64 ± 0,08
Piedra 6-20	2,489 ± 0,017	1,57 ± 0,06
Arena	2,685 ± 0,023	0,89 ± 0,02
Proconcrete	2,561 ± 0,031	1,15 ± 0,03

### 4.1.2. Resultados de ensayos de granulometría, TM y MF

De la misma muestra extraída en 4.1.1. se determinó el TM y MF de los agregados (IRAM 1505:2019). En la figura 35 y tabla 2 se muestran las curvas granulométricas de todos los agregados evaluados y los resultados de TM y MF, respectivamente.

*Tabla 2. Resultados de los ensayos de tamaño máximo y módulo de finura*

Agregado	Tamaño máximo (mm)	Módulo de Finura
Piedra 10-30	25	7,75
Piedra 6-20	19	6,66
Arena	4,75	1,89
Proconcrete	9,5	3,10

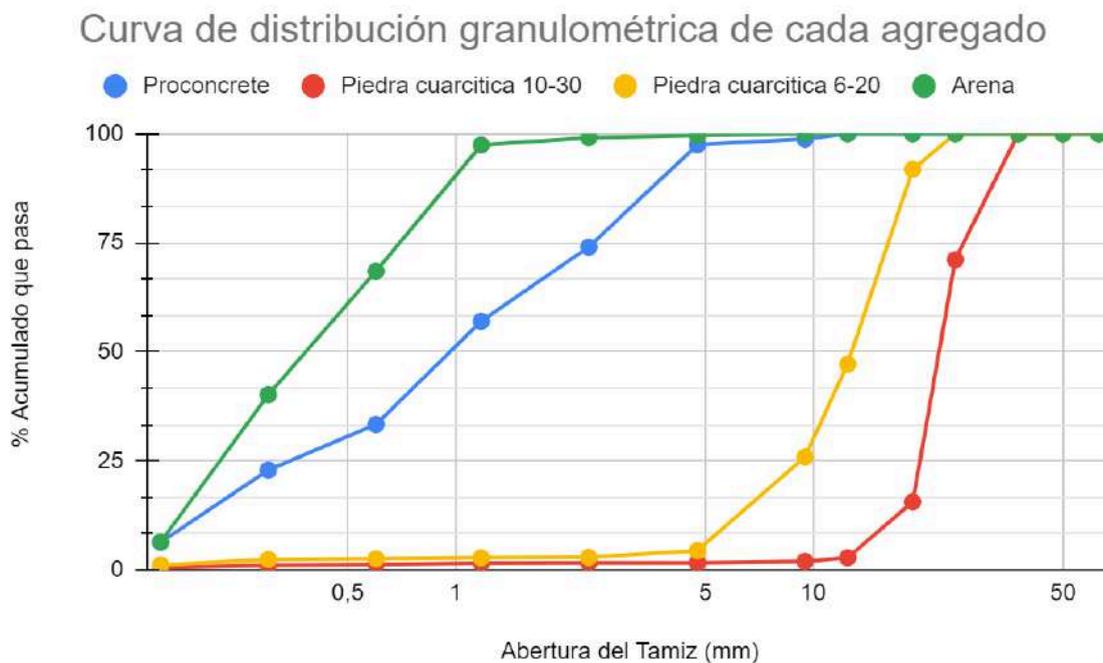


Figura 35. Distribución granulométrica de los agregados utilizados en hormigones de rápida habilitación

#### 4.2. Determinación de la contribución de cada agregado en la mezcla

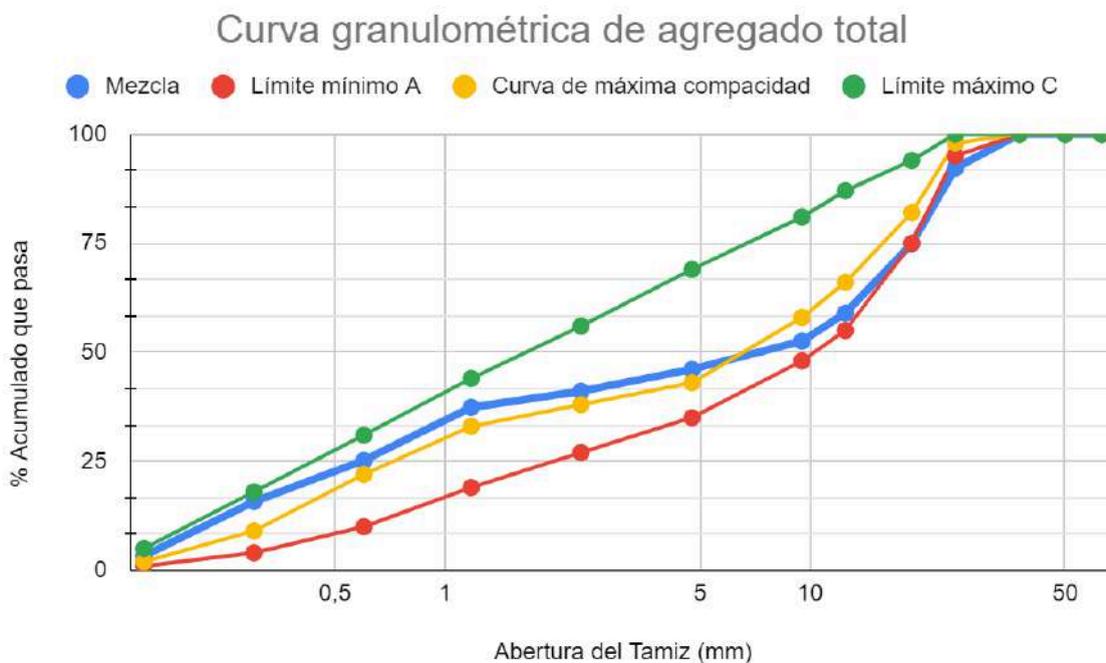


Figura 36. Curvas granulométricas de los agregados totales para hormigones de rápida habilitación

La granulometría ejerce una influencia decisiva en las características de la mezcla de los agregados, que abarca tanto el tamaño y la distribución de las partículas como la naturaleza de éstas en términos de forma, porosidad y textura superficial. Para optimizar la distribución de tamaños de los agregados, se recurre a diversas estrategias, siendo esencial tener en cuenta el concepto de la curva granulométrica total. En este contexto específico, se utilizó el criterio de ajuste de proporciones de diferentes fracciones según el método ICPA, el cual se fundamenta en el empleo de curvas teóricas de máxima compacidad. Las curvas granulométricas definidas por el reglamento CIRSOC 201, establecen los límites mínimo y máximo del porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz. En la figura 36 se muestra la curva del agregado total (curva color azul) obtenidas por combinación de los cuatro agregados junto a los límites sugeridos por el reglamento CIRSOC 201. La curva B (amarillo) representa la máxima compacidad, mientras que las curvas A (roja) y C (verde) fijan los límites mínimos y máximos del porcentaje de material que pasa en cada tamiz, respectivamente.

En la tabla 3 se muestran los porcentajes de contribución de los agregados que muestran una mejor distribución.

*Tabla 3. Contribución de cada agregado a agregado total*

Piedra 10-30	Piedra 6-20	Arena	Proconcrete
27%	28%	26%	19%

### 4.3. Dosificaciones

Con el fin de evaluar se planteó la realización de tres dosificaciones diferentes (ver figura 34): la primera con únicamente un aditivo fluidificante (Sikacrete plus), y las otras dos con el mismo aditivo fluidificante junto con un superplastificante de alto rango (viscocrete 20 HE). Cabe destacar que se utilizó el máximo porcentaje recomendado por la hoja técnica del aditivo Sikacrete Plus para todas las dosificaciones, a su vez se utilizó lo mínimo y lo máximo recomendado de Viscocrete 20 HE en las dosificaciones SV. La tabla 4 especifica la cantidad de aditivo utilizada en porcentaje respecto al peso del cemento.

*Tabla 4. Cantidad de aditivos según la dosificación*

Dosificación	S	SV1	SV2
Sikacrete plus	0,9%	0,9%	0,9%
Viscocrete 20 HE	-	0,2%	0,8%

Para cada una de estas dosificaciones, se llevaron a cabo los mismos ensayos, tanto en estado fresco como en estado endurecido, con el fin de comparar las diferentes mezclas.

Previo a la preparación de las mezclas mencionadas, se estableció un objetivo de trabajabilidad, que serviría como referencia al diseñar la mezcla. Este objetivo fue de  $9 \pm 2$  cm. Se siguió este esquema para cada pastón con el propósito de eliminar la variabilidad en el contenido de agua.

El proceso para obtener las dosificaciones fue diferente al método ICPA convencional, que establece un objetivo de trabajabilidad para calcular la cantidad de cemento y agua en función de la resistencia deseada. Esto se debió a que, inicialmente, se determinaron las proporciones de agregados con el objetivo de lograr la mayor compacidad, como se explicó anteriormente. Se decidió fijar la cantidad de cemento en 400 kg por metro cúbico de hormigón. Con esta variable establecida, sólo faltaba determinar la cantidad de agua.

Dado que el contenido de agua total no se puede conocer con exactitud de antemano debido a la contribución por la humedad de los agregados así como la reducción por los aditivos, se optó por mantener constante la cantidad de cemento y aditivos. De esta manera, al momento de realizar un pastón, se calcula previamente la humedad de los agregados y se registra durante la realización de la mezcla la cantidad de agua agregada con el objetivo de obtener  $9 \pm 2$  cm de asentamiento. Se realizó este proceso en cada una de las dosificaciones con el fin de determinar la cantidad de agua para cada una de las mezclas.

#### 4.3.1. Dosificación S

En la tabla 5 se muestran las especificaciones de la dosificación S.

Tabla 5. Dosificación S

Dosificación para m <sup>3</sup>	Peso seco (kg)	Densidad (kg/dm <sup>3</sup> )	Volumen (dm <sup>3</sup> )	Absorción (%)	Peso (SSS) (kg)
Cemento	400,0	3,100	129,03	-	400,0
Agua	192,2	1,000	192,21	-	192,2
10-30	435,6	2,488	175,10	1,63%	442,7
6-20	452,0	2,489	181,58	1,63%	459,3
Arena	452,7	2,685	168,61	0,89%	456,8
Proconcrete	315,6	2,561	130,22	1,15%	319,2
Aire	0,0	-	20,00	-	0,0
Sikacrete plus	3,6	1,110	3,24	-	3,6
Viscocrete	0,0	0,000	0,00	-	0,0
Suma	2251,7	-	1000,00	-	2273,8

### 4.3.2. Dosificación SV1

En la tabla 6 se muestran las especificaciones de la dosificación SV1.

*Tabla 6. Dosificación SV1*

Dosificación para m3	Peso seco (kg)	Densidad (kg/dm3)	Volumen (dm3)	Absorción (%)	Peso (SSS)
Cemento	400,0	3,100	129,03	-	400,0
Agua	182,3	1,000	182,33	-	182,3
10-30	440,4	2,488	177,03	1,63%	447,6
6-20	456,9	2,489	183,58	1,63%	464,4
Arena	457,7	2,685	179,47	0,89%	461,8
Proconcrete	319,0	2,561	124,57	1,15%	322,7
Aire	0,0	-	20,00	-	0,0
Sikacrete plus	3,6	1,110	3,24	-	3,6
Viscocrete	0,8	1,090	0,73	-	0,8
Suma	2260,9	-	1000,00	-	2283,2

### 4.3.3. Dosificación SV2

En la tabla 7 se muestran las especificaciones de la dosificación SV2.

*Tabla 7. Dosificación SV2*

Dosificación para m3	Peso seco (kg)	Densidad (kg/dm3)	Volumen (dm3)	Absorción (%)	Peso SSS (kg)
Cemento	400,0	3,100	129,03	-	400,0
Agua	157,4	1,000	157,38	-	157,4
10-30	453,2	2,488	182,16	1,63%	460,6
6-20	470,2	2,489	188,90	1,63%	477,8
Arena	471,0	2,685	175,41	0,89%	475,2
Proconcrete	328,2	2,560	128,18	1,15%	331,9
Aire	0,0		32,00	-	0,0
Sikacrete plus	3,6	1,110	4,00	-	3,6
Viscocrete	3,2	1,090	2,94	-	3,2
Suma	2286,7	-	1000,00	-	2309,7

### 4.3.4. Comparación Dosificaciones

Si se comparan las dosificaciones solo observando la cantidad de materia prima que utiliza cada una, se pueden identificar varias diferencias:

- Cantidad de aditivo utilizada.
- Relación agua-cemento.
- Cantidad de agregados en relación a la pasta.
- Densidad.

Con respecto a la cantidad de aditivos de cada una de las dosificaciones, esta información no será proporcionada, ya que fue presentada en el apartado 4.3. Por lo tanto, se omitirá esta explicación.

En la tabla 8, se pueden apreciar los valores de la relación agua-cemento.

*Tabla 8. Relación agua cemento de cada una de las dosificaciones*

Dosificación	S	SV1	SV2
Relación A/C	0.48	0.45	0.39

Los resultados obtenidos revelan que a medida que aumenta el contenido de superplastificante, la relación agua-cemento disminuye. Este hallazgo concuerda con lo explicado en el apartado de aditivos de alto rango, donde se señala que su uso puede ocasionar cambios significativos en la reducción del agua-cemento o en la mejora de la trabajabilidad si se mantiene dicha proporción. Al analizar los datos, se observa que la dosificación SV1 experimentó una reducción del 6.25%, mientras que la SV2 presentó una reducción del 18.75%, ambas en comparación con la mezcla S.

Con respecto a la relación pasta-agregados, a continuación se presenta en la tabla 9 los resultados:

*Tabla 9. Resultados relación pasta agregados para cada dosificación*

	S	SV1	SV2
Relación pasta agregado	0.542	0.526	0.483

Se observa que a medida que aumenta la cantidad de superplastificante en la dosificación, la relación pasta-agregado disminuye. Esto se debe a que, conforme aumenta el contenido de aditivo de Viscocrete 20 HE, la cantidad de agua utilizada disminuye, lo que reduce considerablemente el volumen de la pasta, ya que se reemplaza parte del agua con el aditivo.

Finalmente, en cuanto a la consideración sobre la densidad, se evidencia claramente que esta aumenta a medida que aumenta la cantidad de aditivos. Este fenómeno será explicado en el siguiente apartado, que abordará los resultados de PUV y el porcentaje de aire.

#### 4.3.4.1. Resultados PUV y porcentaje de aire

*Tabla 10. Resultados de peso por unidad de volumen*

	S	SV1	SV2
Peso por unidad de volumen [kg/m <sup>3</sup> ]	2286,04	2301,50	2323,93

En la tabla 10, se observa que las densidades aumentan a medida que se incrementa la cantidad de aditivos. Esta tendencia se explica porque al agregar estos productos químicos, como se puede apreciar en las tablas de las diferentes dosificaciones, la cantidad de agua disminuye, pero la trabajabilidad no se reduce. En otras palabras, la proporción de materiales de mayor densidad aumenta en relación al agua.

La tabla 11 muestra los resultados del porcentaje de aire en cada una de las dosificaciones. Como se puede apreciar, a medida que aumenta la cantidad de aditivos, también lo hace el porcentaje de aire. Esta relación tiene sentido, ya que al utilizar una mayor cantidad de aditivos fluidificantes, los cuales también actúan como agentes surfactantes, se facilita la inclusión de aire.

*Tabla 11. Resultados de porcentaje de aire*

	S	SV1	SV2
% de aire	2,7	2,9	3,2

#### 4.3.4.2. Resultados ensayo de fragüe

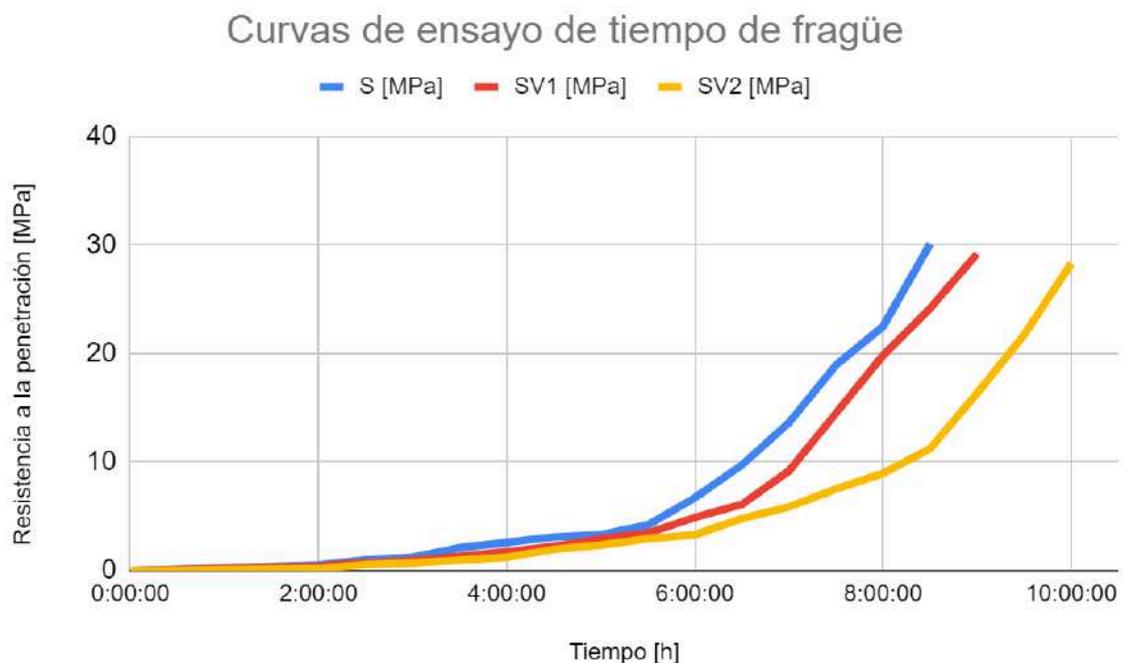


Figura 37. Gráfico Resistencia a la penetración vs tiempo

Tabla 12. Tiempos iniciales y finales de fraguado según el tipo de hormigón

	S	SV1	SV2
Tiempo inicial de fragüe	5:10:00	5:32:00	6:06:00
Tiempo final de fragüe	8:20:00	8:50:00	9:57:00

En el ensayo de tiempos de fraguado del hormigón, se observó un aumento en el tiempo de fraguado a medida que se utiliza mayor cantidad de aditivo superfluidificante en la mezcla. Los superfluidificantes son aditivos que se utilizan para mejorar la fluidez del hormigón, lo que facilita su colocación y compactación. Sin embargo, al aumentar la fluidez del hormigón, estos aditivos también pueden interferir en la reacción de fraguado al prolongar el tiempo de trabajabilidad de la mezcla. Esta mayor fluidez puede retardar (aunque levemente) la reacción de hidratación del cemento, lo que a su vez retrasa el proceso de fraguado del hormigón.

#### 4.3.4.3. Resultados de ensayos de compresión

Finalmente, en la tabla 13 se presenta la evolución de la resistencia de las distintas dosificaciones a 1, 2, 3, 7 y 28 días.

Tabla 13. Resultado de resistencia a la compresión de las distintas dosificaciones

Edad [días]	S [MPa]	SV1 [MPa]	SV2 [MPa]
1	4,52 ± 0,42	5,04 ± 0,28	5,75 ± 0,70
2	9,73 ± 0,56	11,59 ± 1,83	17,25 ± 1,21
3	15,86 ± 2,26	18,88 ± 2,96	22,21 ± 1,93
7	22,02 ± 2,50	27,09 ± 3,36	37,31 ± 4,35
28	38,35 ± 3,25	40,15 ± 4,87	42,90 ± 4,41

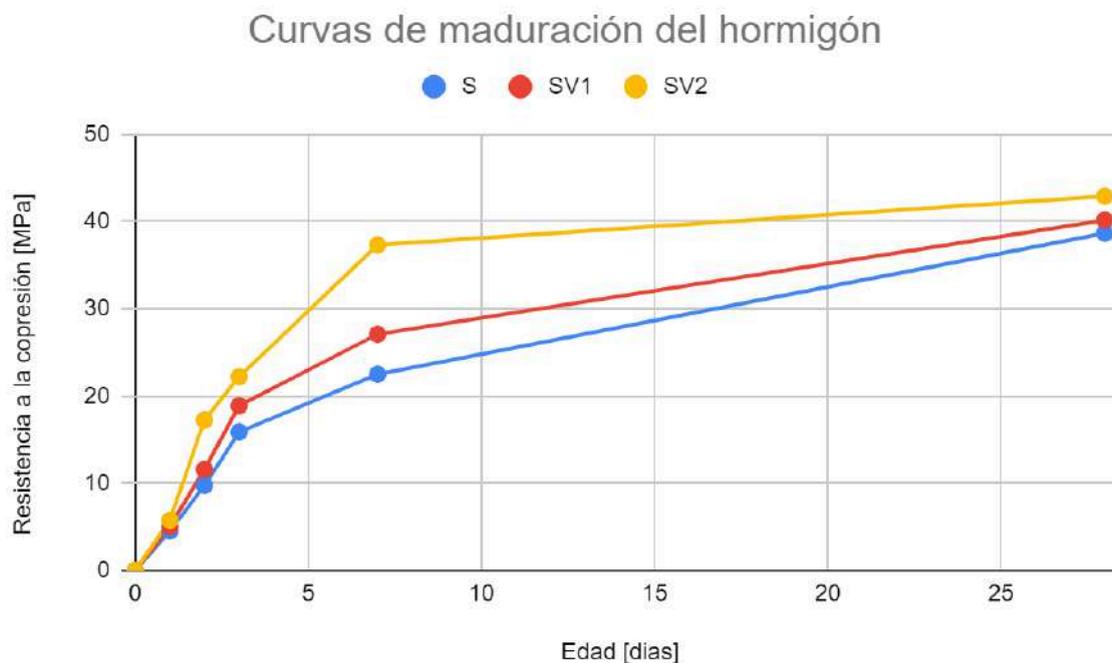


Figura 38. Gráfico comparativo de resistencia vs edad

Como se puede apreciar en el gráfico de la figura 38, la dosificación SV2 supera en términos de resistencia a las otras dos dosificaciones, y lo mismo ocurre con la SV1 en comparación con la dosificación S. Este comportamiento es coherente con las expectativas, ya que al utilizar una mayor cantidad de aditivos en el hormigón, se reduce significativamente la relación agua-cemento y por ende aumenta la resistencia del hormigón a una edad dada. Esta última es una propiedad crucial para determinar la resistencia de los hormigones, y una menor relación agua-cemento generalmente conduce a una mayor resistencia.

Al analizar los aumentos en las resistencias con respecto a la dosificación S, se obtienen los siguientes resultados:

*Tabla 14. Porcentajes de aumento de las dosificaciones con Viscocrete respecto a S*

Edad	SV1	SV2
1	11,57%	27,29%
2	19,09%	77,23%
3	19,02%	39,98%
7	23,01%	69,44%
28	4,72%	11,87%

#### **4.4. Discusión de resultados**

A la luz de los resultados obtenidos, especialmente en los ensayos de resistencia a la compresión, es evidente que la mezcla SV2 se presenta como la elección preferida para constituir hormigones de bajo tiempo de habilitación. Esto se debe a que logró una resistencia a la compresión de 22 MPa a los tres días de maduración, superando el objetivo mínimo de 20 MPa para la habilitación al tránsito.

Por otro lado, las otras dos dosificaciones exhibieron una resistencia menor en los primeros días en comparación con la SV2, siendo esta última cumplió con las especificaciones.

En resumen, podemos concluir que la mezcla SV2 cumple con los requisitos de un hormigón de rápida habilitación al tránsito.

## **5. Análisis económico**

### **5.1. Costos de elaboración**

#### **5.1.1 Matriz de costos de materiales**

A continuación se presenta los costos de materiales utilizados para la elaboración de hormigones de rápida habilitación al tránsito (tabla 15):

Tabla 15. Costos de los materiales para la elaboración de hormigones de rápida habilitación al tránsito

Material	Características	Costo unitario (U\$D)	Unidad	Proveedor
Cemento (Incluye transporte)	CPC 40	55,98	Tonelada	Cemento avellaneda
Piedra cuarcítica	10-30	10,55	Tonelada	Canteras Yaraví
Piedra cuarcítica	6-20	11,54	Tonelada	Canteras Yaraví
Polvo de piedra cuarcítica lavado (Proconcrete)	0-6 (lavada)	6,07	Tonelada	Canteras Yaraví
Transporte de agregados cuarcíticos	Desde Batán hasta el EMVIAL	0,67	Tonelada	Canteras Yaraví
Arena	Silicea de Necochea	3,40	Tonelada	Cantera Fatima
Transporte de arena desde Necochea	Desde Necochea hasta el EMVIAL	4,63	Tonelada	Cantera Fatima
Sikacrete	Aditivo acelerante	1,23	Litro	Sika Argentina
Viscocrete	Aditivo superfluidificante	10,52	Litro	Sika Argentina

Todos los datos fueron proporcionados por el Departamento de Compras y Departamento de Laboratorio del EMVIAL el día 30 de agosto de 2023.

### 5.1.2. Otros costos de producción

Además de los costos de materiales, se consideraron otros costos de producción, los cuales se detallan en la tabla 16.

Tabla 16. Costos varios

Componentes de los costos varios	Costo (U\$D/m <sup>3</sup> )
Mano de obra	3,06
Pala cargadora	5,10
Energía eléctrica	0,37
Mantenimiento	0,60

Todos los datos fueron proporcionados por el Departamento de Compras y Departamento de Laboratorio del EMVIAL el día 30 de agosto de 2023.

### 5.1.3. Costo para la fórmula actual

La dosificación que se utiliza actualmente se especificará en la tabla 17:

*Tabla 17. Dosificación utilizada actualmente en la planta de EMVIAL*

Material	Dosificación en kg por m <sup>3</sup> de hormigón	Costo (USD)
Cemento	340,00	19,03
Piedra 10-30	750,00	7,91
Piedra 6-20	250,00	2,88
Arena	575,00	1,96
Proconcrete	175,00	1,06
Sikacrete Plus	1,65	1,82
Viscocrete 20 HE	0,00	0,00
Total		34,67

### 5.1.4. Costo de la fórmula de rápida habilitación

Se calcularon los costos de la fórmula del hormigón de rápida habilitación realizadas (tabla 18):

*Tabla 18. Costos de la dosificación SV2*

Material	Dosificación en kg por m <sup>3</sup> de hormigón	Costo
Cemento	400,00	22,39
Piedra 10-30	452,84	4,78
Piedra 6-20	469,80	5,42
Arena	470,59	1,60
Proconcrete	327,88	1,99
Sikacrete Plus	3,60	3,98
Viscocrete 20 HE	3,20	30,88
Total		71,03

## 5.2. Costos de vallado

Los costos de vallado son idénticos para todos los tipos de hormigones; sin embargo, lo que difiere es la cantidad de días durante los cuales se utiliza. Este valor se estima en 90 \$/m<sup>2</sup>.día. Por lo tanto, el cálculo realizado para estimar los costos de vallado es el siguiente:

$$\text{Costo de vallado por m}^3 = \frac{0.122 \text{ [USD/m}^2 \cdot \text{día]}}{\text{espesor de la losa [m]}} * \text{Cantidad de días hasta habilitar [día]}$$

En cuanto al espesor de la losa, se supone que será el mínimo necesario para una losa de hormigón, es decir, 0,18 m. Por lo tanto, si comparamos los costos de vallado entre la fórmula de hormigón actual y la de hormigón *para rápida habilitación al tránsito*, podemos calcularlos de la siguiente manera (tabla 19):

Tabla 19. Comparación de costos de vallado

Tipo de hormigón	Días para la habilitación	Costo de vallado (USD/m <sup>3</sup> )
Dosificación Planta	7	4,76
Dosificación SV2	3	2,04



Figura 39. Vallado utilizado bacheos

### 5.3. Costo total de ambas fórmulas

Para finalizar este capítulo, se presenta en la tabla 20 una comparación de los costos de los diferentes tipos de hormigones, teniendo en consideración todos los aspectos mencionados anteriormente en esta sección.

Tabla 20. Comparación de los costos totales

Costos (USD)	Hormigón Actual	Hormigón SV2
Costo de la formulación	34,67	71,03
Costos Varios	9,13	9,13
Costos de Vallado	4,76	2,04
Costo de Transporte	3,45	3,02
Total	52,01	85,22

Al comparar ambos valores, se observa que el costo del hormigón SV2 es considerablemente mayor en comparación con el hormigón actual utilizado en la planta, siendo un 74,6% superior. La mayor diferencia se encuentra en los costos de formulación.

Tabla 21. Diferencia de costos entre dosificaciones

Items	SV2 (U\$/m <sup>3</sup> )	Planta (U\$/m <sup>3</sup> )	Diferencia (U\$/m <sup>3</sup> )
Cemento	22,39	19,03	3,36
Piedra 10-30	4,78	7,91	(3,13)
Piedra 6-20	5,42	2,88	2,54
Arena	1,60	1,96	(0,36)
Proconcrete	1,99	1,06	0,93
Sikacrete Plus	3,98	1,82	2,15
Viscocrete 20 HE	30,88	0,00	30,88
Costos Varios	9,13	9,13	0,00
Costos de Vallado	2,04	4,76	(2,72)
Costo de Transporte	3,02	3,45	(0,43)
Total	85,22	52,01	33,21

Como se observa en la tabla 21, al comparar los costos de los materiales que no son aditivos, la diferencia es mínima. No obstante, al analizar los costos de los aditivos, la disparidad se vuelve significativa, especialmente debido a la utilización de Viscocrete 20HE, que es el material más costoso en la formulación SV2.

Para aclarar, los números en la columna “diferencia” que están dentro de paréntesis indican que la diferencia favorece a la dosificación utilizada en la planta. Por el contrario, si no están entre paréntesis, favorecen a la dosificación SV2.

Los costos diversos son idénticos para ambos tipos de hormigón, ya que son independientes de los materiales utilizados en la mezcla; solo dependen del tamaño del bache.

Finalmente, el costo de bacheo se reduce a más de la mitad en los hormigones de rápida habilitación al tránsito, como era de esperar, dado que requieren menos tiempo para el fraguado.

Es importante destacar que aunque los costos asociados a la producción de hormigón de rápida habilitación son mayores en comparación con la dosificación actual, existen beneficios para los usuarios de calles pavimentadas. Esto se debe a la reducción de los

tiempos de desvío, lo que disminuye el gasto de combustible. Además, se ahorra en material de seguridad al evitar que los baches y el proceso de bacheo duren menos tiempo, lo que reduce la exposición de los usuarios a sectores riesgosos de accidentes.

## **6. Casos de aplicación**

### **6.1. Ensayos de campo**

Para verificar la funcionalidad del hormigón de rápida habilitación desarrollado, se llevó a cabo la construcción de una platea de hormigón de 5 x 3 metros y 20 centímetros de espesor con el fin de analizar su resistencia in situ y comprobar su reproducibilidad fuera del laboratorio. La estructura se realizó con la mezcla SV2, ya que, como se demostró previamente en el apartado 4.5, esta mostraba las mejores propiedades en resistencia a la compresión y requería el menor tiempo de habilitación.

El proceso inició con la preparación del área donde se colocaría posteriormente el hormigón. Luego, se procedió a la elaboración del hormigón dentro de la planta de hormigón de EMVIAL para luego ser vertido sobre el área previamente preparada. Una vez vertido, se niveló para que quedara uniforme y se compactó con varillas para evitar la formación de burbujas de aire que pudieran comprometer la resistencia del hormigón. Finalizado el proceso de colocación, se dejó fraguar y curar.

Una vez alcanzado el estado endurecido del hormigón, se procedió a ensayarlo mediante esclerometría, como se ve en la figura 40, de acuerdo con la norma IRAM 1694:1989, en los mismos intervalos de tiempo que se realizó el ensayo de resistencia a la compresión (1, 2, 3, 7 y 28 días).



Figura 40. Proceso de ensayo de esclerometría

Los resultados obtenidos de estos ensayos se presentarán en la tabla 22 para su análisis detallado:

Tabla 22. Resultados ensayos de esclerometría

Edad [días]	Lectura promedio	Resistencia esclerómetro [MPa]	Resistencia ensayo de compresión [MPa]
1	13,375	Fuera de rango	5,8
2	22,857	18,1	17,3
3	24,625	20,6	22,2
7	34,000	35,3	37,3
28	39.857	46,5	42,9

Como se vio en la tabla 22, los resultados del ensayo de esclerometría concuerdan adecuadamente con los valores obtenidos en los ensayos de compresión realizados en el laboratorio. Se observó una mínima discordancia entre ambos conjuntos de datos, lo cual indica una consistencia notable en las propiedades de resistencia del hormigón evaluado. Esto refuerza la confiabilidad de los métodos de evaluación empleados, destacando la coherencia entre los resultados obtenidos tanto en condiciones de campo como en entornos controlados de laboratorio. Tal consistencia fortalece la validez de las

conclusiones derivadas de estos análisis y subraya la importancia de emplear metodologías diversas para una evaluación integral de la calidad y resistencia del material.

Otra conclusión que puede extraerse del ensayo de esclerometría es que demuestra la validez de este método para determinar la idoneidad del pavimento antes de habilitar al tránsito trabajos de bacheo. Los resultados obtenidos indican que, para garantizar la adecuada resistencia del pavimento, el valor obtenido por el esclerómetro no debe ser inferior a 24. Esto sugiere que el ensayo de esclerometría proporciona una herramienta confiable y precisa para evaluar la calidad del pavimento y determinar si es posible o no la habilitación del bache.

## 6.2. Balaustrada de la escalera imperial

Durante mi pasantía en EMVIAL, surgieron varios proyectos en el seno de la institución. Uno de estos proyectos fue la restauración de la balaustrada de la escalera imperial ubicada en la costa de Mar del Plata (figura 41). Este proyecto implicaba la producción de balaustres de hormigón utilizando moldes (figura 42).



*Figura 41. Escalera imperial previa a las reparaciones*



*Figura 42. Molde balaustre*

El hormigón que se planeaba emplear consistía en una mezcla de cemento, agregados finos como la arena de Necochea y proconcrete, y agua. Sin embargo, debido a la forma de estas piezas, que presentaban un cuello delgado en la parte superior y muchas hendiduras en la parte inferior, el hormigón presentaba defectos al ser desmoldado al día siguiente. La solución a este problema era dejar el hormigón en el molde durante un período más prolongado para permitir que madurara y ganará mayor resistencia antes de su desmoldeo. La desventaja de este enfoque era que no se podría alcanzar la cantidad de piezas requeridas para la fecha estimada de entrega debido a la limitada cantidad de moldes disponibles.

Por lo tanto, se planteó como un desafío para el laboratorio de EMVIAL la creación de un hormigón que pudiera ser desmoldado al día siguiente sin dificultades. Ante esta dificultad, se consideró la opción de utilizar un hormigón de rápida habilitación para lograr un desmoldeo rápido. A diferencia del hormigón mencionado anteriormente en este trabajo, este nuevo hormigón no debía contener agregado grueso debido a las hendiduras en el molde y a la necesidad de que el hormigón mantuviera la forma del molde.

Antes de llevar a cabo las pruebas, fue necesario determinar los agregados a utilizar. En este caso, se optó por utilizar los mismos agregados finos utilizados para los hormigones de rápida habilitación, es decir, arena de Necochea y proconcrete de Canteras Yaravi S.A. Se realizaron pruebas de granulometría con el fin de lograr una mezcla que se

ubicara entre las líneas A y B que se ven en la figura 43, obteniendo así la mayor compacidad posible.

Curva granulométrica de agregado total para balaustrada

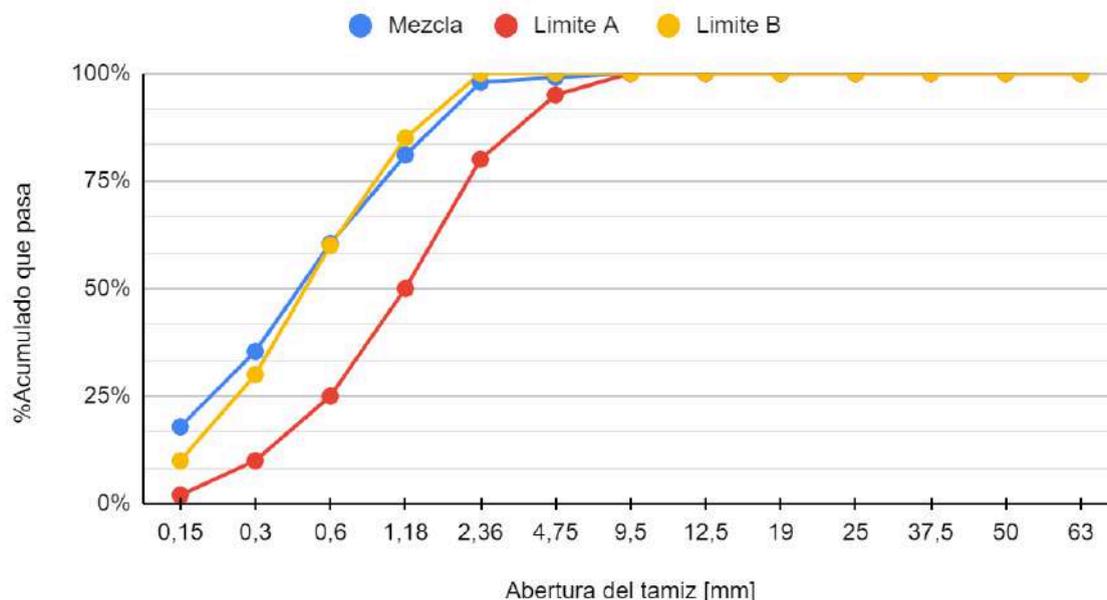


Figura 43. Curva granulométrica de los agregados totales para la balaustrada

Es importante destacar que los límites de granulometría utilizados en este caso no son los mismos que se emplearon para los hormigones previamente ensayados en el apartado 4 con agregados gruesos. Esto se debe a que en este caso el tamaño máximo de los agregados es de 4.75 mm. En consecuencia, se logró las proporciones que se ven en la tabla 23:

Tabla 23. Proporción de los agregados para dosificación a utilizada en la balaustrada

% proconcrete	% arena
70	30

Finalmente el hormigón que se propuso fue el que se presenta en la tabla 24:

Tabla 24. Dosificación para balaustrada

Dosificación para m3	Peso seco (Kg)	Densidad (kg/dm3)	Volumen (dm3)	Absorción	Peso SSS (kg)
Cemento	400,0	3,10	129,03	-	400,0
Agua	170,0	1,00	170,00	-	170,0
Proconcrete	1200,7	2,56	468,85	1.15%	1214,5
Arena	539,5	2,69	200,94	0,89%	544,3
Sikacrete Plus	3,6	1,11	3,24	-	3,6

Viscocrete 20 HE	3,2	1,09	2,94	-	3,2
Aire	-	-	25,00	-	0,0
Total	2317,0	-	1000,00	-	2335,7

Se utilizó la misma cantidad de aditivos que se empleó en el SV2. Sin embargo, a diferencia de este último, la cantidad de agua fue mayor, ya que se requería una mayor trabajabilidad de  $9 \pm 2$  cm. Esto se debió a la necesidad de que el hormigón reprodujera con precisión la forma del molde. Además, dado que se trataba de un hormigón compuesto únicamente por agregados finos, se necesitó una mayor cantidad de agua.

Una vez que se desarrolló la mezcla, se realizaron pruebas en los moldes para determinar si se podría desmoldar al día siguiente. Como resultado de estas pruebas, se decidió implementar este tipo de hormigón en la creación de la balaustrada para la escalera imperial (figura 44).



*Figura 44. Balaustres desmoldados*

## **7. Conclusiones**

A partir de los resultados experimentales, se concluye que es posible lograr pavimentos de rápida habilitación con el uso de aditivos reductores de agua de medio y alto rango.

Al analizar en conjunto las propiedades en estado endurecido, se puede concluir que la dosificación SV2 es óptima para la utilización de hormigón de rápida habilitación, logrando un tiempo de arreglo de 3 días. Sin embargo, al emplear aditivos superfluidificantes, el costo aumenta en comparación con el utilizado actualmente en la Ciudad de Mar del Plata. A pesar de esto, la reducción de los tiempos de habilitación disminuye el tiempo de desvío, el gasto de combustible y el riesgo de accidentes. Además, la menor duración del proceso de bacheo mejora la seguridad vial y la experiencia del usuario.

A su vez, se aplicó con éxito la formulación SV2 para la construcción de la balaustrada de la escalera imperial, así como para la utilización en pavimentos urbanos.

Como principal conclusión de este trabajo, la formulación de hormigón diseñada permitió obtener un pavimento de rápida habilitación aplicable en la Ciudad de Mar del Plata.

## 8. Bibliografía

- [1] Schust C., Ramos M., Stefani P., “Reciclado de hormigón fresco mediante el uso de adición pelletizante”. Revista Hormigón, 61, (2022), 72-87
- [2] United States Geological Survey. 10 de noviembre de 2023. Cement Statistics and Information.  
<https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/cement-statistics-and-information>
- [3] Ingenieros Asesores (2021). “Usos del hormigón armado en la construcción”. [en línea]. Consultado el 19 de noviembre de 2023 en  
<https://ingenierosasesores.com/actualidad/usos-del-hormigon-armado-en-la-construccion/>
- [4] Arq. Souza, E. y Brunatti, C.(2013) “Pavimentos de hormigón: una opción sostenible”. Hormigonar, volumen N° 29, 4 - 8.
- [5] Universidad Tecnológica Nacional. [en línea]. Consultado el día 29 de noviembre de 2023 en  
[https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1\\_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf](https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/1_ano/civil1/files/IC%20I-Pavimentos.pdf)
- [6] Departamento de administración y evaluación de pavimentos, Ministerio de obras públicas y comunicaciones de República Dominicana (1990). “Identificación de fallas en pavimentos y técnicas de reparación”.
- [7] Calo, D. (2018). “Reparación de Pavimentos de Hormigón”. Instituto del Cemento Portland Argentino.
- [8] Toxement (2021) Guía de reparación de pavimentos rígidos [en línea]. Consultado el día 29 de noviembre de 2023 en  
[https://www.toxement.com.co/media/5305/reparacion\\_pavimentos\\_rigidos.pdf](https://www.toxement.com.co/media/5305/reparacion_pavimentos_rigidos.pdf)
- [9] Unidad de Auditoría Técnica - LanammeUCR (2021). Guía para la inspección y reparación de deterioros en pavimentos de concreto hidráulico. Costa Rica. Primera edición. Consultado el día 29 de noviembre de 2023  
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/2223/gu%C3%ADa%20reparaci%C3%B3n.pdf?sequence=8&isAllowed=y>
- [10] Guerrero Aguilera, S., Castillo Ulate, A., Loria, L. G., Chaves Salas, M. y Sequeira Rojas, W. Reparación espesor parcial en pavimentos rígidos. Volumen 9, N°1, 2018. DOI:[10.13140/RG.2.2.35021.95209](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35021.95209)
- [11] Calo, D. (2020). “Reparación de Pavimentos de Hormigón”. Instituto del Cemento Portland Argentino. Consultado el día 12 de febrero de 2023  
[https://web.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/Reparacion-y-Mantenimiento-de-Pavimentos-Diego\\_Calo.pdf](https://web.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/Reparacion-y-Mantenimiento-de-Pavimentos-Diego_Calo.pdf)

- [12] Kamran M. Nemati, Jeff S. Uhlmeier, Accelerated construction of urban intersections with Portland Cement Concrete Pavement (PCCP), *Case Studies in Construction Materials*, 14, 2021, e00499, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00499>
- [13] CEMEX. “Concreto para Pavimentos Fast Track”
- [14] (2022,diciembre). “Proponen destinar la recaudación del estacionamiento medido a mejorar las calles”. *Diario La Capital* [en línea]. Consultado el 10 de octubre de 2023 en <https://www.lacapitalmdp.com/proponen-destinar-la-recaudacion-del-estacionamiento-medido-a-mejorar-las-calles/>
- [15] 18 de febrero de 2023. “Balance De Obra Llevadas Adelante Por Vialidad Municipal”. *Municipalidad de Gral Pueyrredón* (en línea). Consultado el día 9 de noviembre de 2023 en <https://www.mardelplata.gob.ar/Noticias/resumenvialidad>
- [16] *Municipalidad del Partido de General Pueyrredon, Departamento Deliberativo*. “Ordenanza N° 19019” (en línea). Consultado el día 9 de noviembre de 2023 en <https://www.concejomdp.gov.ar/biblioteca/docs/o19019.pdf?v=c829dca1f8b1acc9b2b0da2a5c3fc95c>
- [17] Eterovic Raznatovic, Y. A. (2019). “Métodos y recomendaciones de diseño y optimización de hormigones de rápida habilitación al tráfico, para su aplicación en reparaciones, mantenimientos y rehabilitación de pavimentos de hormigón (fast-track concrete)”.
- [18] Ing. Fava, C. “Innovaciones y mejoras tecnológicas en el área de los pavimentos de hormigón”. *Centro técnico Loma Negra*.
- [19] Guevara, G; Hidalgo, C; Pizarro, M; Rodríguez, I; Rojas, L; Segura, G. Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*. Vol. 25, N° 2. Abril-Junio 2012. Pág 80-86
- [20] Calo, D. y Polzinetti, M. (2016). *Manual de Pavimentos Urbanos de Hormigon* (Primera edición). Ciudad Autónoma de Buenos Aires
- [21] Calla Salcedo, R. (2022). CONCRETO FAST TRACK CON ADITIVOS SUPERPLASTIFICANTE Y ACELERANTE DE RESISTENCIAS INICIALES CON CEMENTO PORTLAND TIPO HE. *REVISTA CIENTIFICA ANDINA "science & Humanities"*, 1(1), 1–16. <https://doi.org/10.57261/rcash.v1i1.8>
- [22] Alfaro Gaspar, M. (2020). *Diseño De Mezcla De Un Concreto Fast Track Para Uso En Pavimento De Concreto Rígido - Aeropuerto Jorge Chávez*. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad César Vallejo, Lima, Perú.
- [23] Guzman, D., Yvett, E., Capuñay, Y. y Carolina, T. (2016). *Comparación Del Concreto Fast Track Y El Concreto Convencional Para El Diseño De Pavimentos Rígidos*. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.
- [24] Onofre Bendezu, W. H. (2021). *Reducción Del Impacto Socioeconómico En La Rehabilitación De Pavimentos Rígidos Con Concreto Fast Track En La Ciudad De*

- Huancayo, 2016. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.
- [25] Pucutini Yapura, S. y Arias Aquino, E. (2019). Diseño De Concreto Fast Track Con Fines De Uso Para Rehabilitación De Pavimentos Rígidos En La Ciudad De Juliaca. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad Peruana Unión, Chosica, Perú.
- [26] Eterovic, Yerko. (2019). Métodos y recomendaciones de diseño y optimización de hormigones de rápida habilitación al tráfico, para su aplicación en reparaciones, mantenimientos y rehabilitación de pavimentos de hormigón (fast-track concrete).
- [27] Ramseyer, Chris & Chancellor, Brent & Kang, Thomas. (2008). Economic and Fast-track Rehabilitation of Concrete Pavements and Bridge Decks. *International Journal of Concrete Structures and Materials*. 2. 10.4334/ijcsm.2008.2.2.107.
- [28] Mendoza Ramos, E. P. y Perez Mamani, B. C. (2022). Evaluación De Un Concreto Fast Track Y Un Concreto Convencional En La Construcción De Pavimentos Rígidos, Juliaca, Puno, 2022. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad César Vallejo, Callao, Perú.
- [29] Carhuaricra Santos, J. D. y Rodriguez Palacios, J. J. (2022). Análisis del Concreto Fast Track Aplicado En La Reparación De Pavimentos Rígidos Para La Evaluación De Las Propiedades Mecánicas, Pucallpa 2022. Tesis de grado de Ingeniería Civil. Universidad César Vallejos, Callao, Perú.
- [30] Laffert Castillo, F. (2002). Hormigones de Alta Resistencia Inicial. Seminario para optar al Título de Técnico Universitario en Construcción. Universidad Nacional Andrés Bello, Santiago, Chile.
- [31] Sanchez Montecinos, C. E. (2007). Técnica de Rápida Habilitación al Tránsito en Pavimentos Rígidos Fast-Track. Tesis de grado para Ingeniero Constructor. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- [32] Yang, Quan-Bing & Wu, Xueli. (1999). Factors influencing properties of phosphate cement-based binder for rapid repair of concrete. *Cement and Concrete Research*. 29. 389-396. 10.1016/S0008-8846(98)00230-0.
- [33] Alanazi, Hani & Yang, Mijia & Zhang, Dalu & Gao, Zhili. (2016). Bond strength of PCC pavement repairs using metakaolin-based geopolymer mortar. *Cement and Concrete Composites*. 65. 75-82. 10.1016/j.cemconcomp.2015.10.009.
- [34] Paniura Venero, B. y Vargas Tapia, L. M. (2023). "Influencia De Cenizas De Bagazo De Caña De Azúcar Como Agregado Fino En La Resistencia A La Compresión Del Concreto Fast Track". Universidad Nacional Bastidas de Apurímac. Abancay, Perú.
- [35] Roh, In-Taek & Jung, Kyung-Chae & Chang, Seung-Hwan & Cho, Yoon-Ho. (2015). Characterization of compliant polymer concretes for rapid repair of runways. *Construction and Building Materials*. 78. 10.1016/j.conbuildmat.2014.12.121.
- [36] Chen, Ying-Liang & Lin, Chien-Jung & Ko, Ming-Sheng & Lai, Yi-Chieh & Chang, Juu-En. (2011). Characterization of mortars from belite-rich clinkers produced from

inorganic wastes. Cement and Concrete Composites. 33. 261-266.  
10.1016/j.cemconcomp.2010.10.012.

- [37] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (2017). IRAM 50000. Cementos. Cementos para uso general. Composición y requisitos
- [38] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (2019). IRAM 50001. Cementos. Cementos con propiedades especiales. Requisitos
- [39] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2012). IRAM 1601. Agua para morteros y hormigones de cemento
- [40] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (2006). IRAM 1509. Agregados para hormigones. Muestreo.
- [41] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (2006). IRAM 1520. Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
- [42] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (2002). IRAM 1533. Agregados gruesos. Método de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
- [43] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (2019). IRAM 1505. Análisis granulométrico.
- [44] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (2020). IRAM 1536. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono.
- [45] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (2012). IRAM 1562. Método para la determinación de la densidad (masa de la unidad de volumen) y el cálculo del rendimiento y del contenido de aire (gravimétrico).
- [46] Instituto Argentino de Normalizacion y Certificacion (1988). IRAM 1602-2. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas de hormigones y morteros - Método B.
- [47] Instituto Argentino de Normalizacion Y Certificacion (1995). IRAM 1662. Hormigones y morteros. Determinación del tiempo de fraguado. Método de resistencia a la penetración.
- [48] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2004). IRAM 1534. Hormigón de cemento. Preparación y curado de probetas en laboratorio para ensayos de compresión y de tracción por compresión diametral.
- [49] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1992). IRAM 1546. Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión.
- [50] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1989). IRAM 1694. Hormigón de cemento. Método de ensayo de la dureza superficial del hormigón endurecido

mediante la determinación del número de rebote empleando el esclerómetro de resorte.

- [51] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). IRAM 1512. Agregado fino para hormigón de cemento. Requisitos.
- [52] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1996). IRAM 1531. Agregado grueso para hormigón de cemento. Requisitos y métodos de ensayo.
- [53] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (1986). IRAM 1663. Hormigón de cemento. Aditivos químicos.
- [54] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2009). IRAM 50002. Cementos. Cemento para hormigón de uso vial, aplicable con tecnología de alto rendimiento (TAR). Composición, requisitos y evaluación de la conformidad.
- [55] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (1988). IRAM 1627. Granulometría de los agregados para hormigones.
- [56] Instituto Argentino de Normalización y Certificación (1991). IRAM 1541. Hormigón fresco. Muestreo.
- [57] Fernandez Shepherd L. (2022) "Uso de residuos plásticos para el desarrollo de hormigones sostenibles", Trabajo final de Ingeniería en Materiales. Universidad Nacional de Mar del Plata, Ciudad de Mar del Plata, Pcia de Buenos Aires.
- [58] Ing. Becker, E. (2009) "Técnicas de Rápida Habilitación al Tránsito en Pavimentos Rígidos - Fast Track".
- [59] Garnica, N., & Sánchez, J. (2009). Control de Calidad en Obra para Hormigones de Alto Desempeño. Trabajo final para la obtención del título: Ingeniero Civil. ESPOL. FICT, Guayaquil.
- [60] Jiménez Déleg, J. C. y Ortiz Mancero, J. R. (2002). "Elaboración de Hormigones de Alta Resistencia Inicial". Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito.
- [61] Kurtz, S., Balaguru, P., Consolazio, G. y Maher, A. (1997). "Fast Track Concrete for Construction Repair". Center for Advanced Infrastructure & Transportation. Rutgers, The State University.

## 9. Anexo

### 9.1. Fichas técnicas

#### 9.1.1. Cemento

## CEMENTO AVELLANEDA COMPUESTO OLAVARRÍA

Cemento Pórtland Compuesto CPC40



### DEFINICIÓN

El *cemento pórtland compuesto CPC40*, desarrollado por Cementos Avellaneda, es obtenido por la molienda de clinker pórtland, rocas calcáreas de alta pureza, puzolanas artificiales, pequeñas cantidades de yeso y aditivos mejoradores de la calidad, y se halla destinado a aquellas aplicaciones en las que no es necesario un requisito especial.

### PROPIEDADES

En el cuadro adjunto se indican las propiedades del *cemento Pórtland compuesto Avellaneda* granel.

REQUISITOS FÍSICOS	UNIDAD	IRAM 50000		Avellaneda CPC40*
		Mínimo	Máximo	
Finura (retenido sobre tamiz 75 $\mu$ m)	%	-	15	0,6
Finura (por permeametría Blaine)	m <sup>2</sup> /kg	250	-	398
Tiempo de fraguado inicial	Minutos	60	-	178
Resistencia a compresión	1 día	MPa	-	16,0
	2 días	MPa	10	27,0
	7 días	MPa	-	41,0
	28 días	MPa	40	60
Expansión en autoclave	%	-	0,8	0,07
<b>REQUISITOS QUÍMICOS</b>				
Residuo insoluble	%	-	35	7,5
Óxido de magnesio (MgO)	%	-	-	0,8
Pérdida por calcinación	%	-	14,5	7,5
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> )	%	-	3,5	2,4
Cloruros (Cl <sup>-</sup> )	%	-	0,10	< 0,10
Sulfuros (S <sup>2-</sup> )	%	-	0,50	< 0,10
<b>REQUISITOS DE COMPOSICIÓN</b>				
Contenido total de adiciones	%	-	35	22

\* Valores objetivos correspondientes a este producto.

De la comparación, surge que las propiedades del cemento compuesto Avellaneda cumplen ampliamente los requisitos indicados en la norma IRAM 50000, para la categoría 40.

Se destaca, por su importancia, la resistencia a compresión (*figura 1*) que, a la edad de 2 días, supera al requisito normativo en un 170%, en promedio. Este hecho se extiende a los 28 días,

Centro de Atención al Cliente  
0800-333-2363  
atencionalcliente@cavellaneda.com.ar

[www.cementosavellaneda.com.ar](http://www.cementosavellaneda.com.ar)

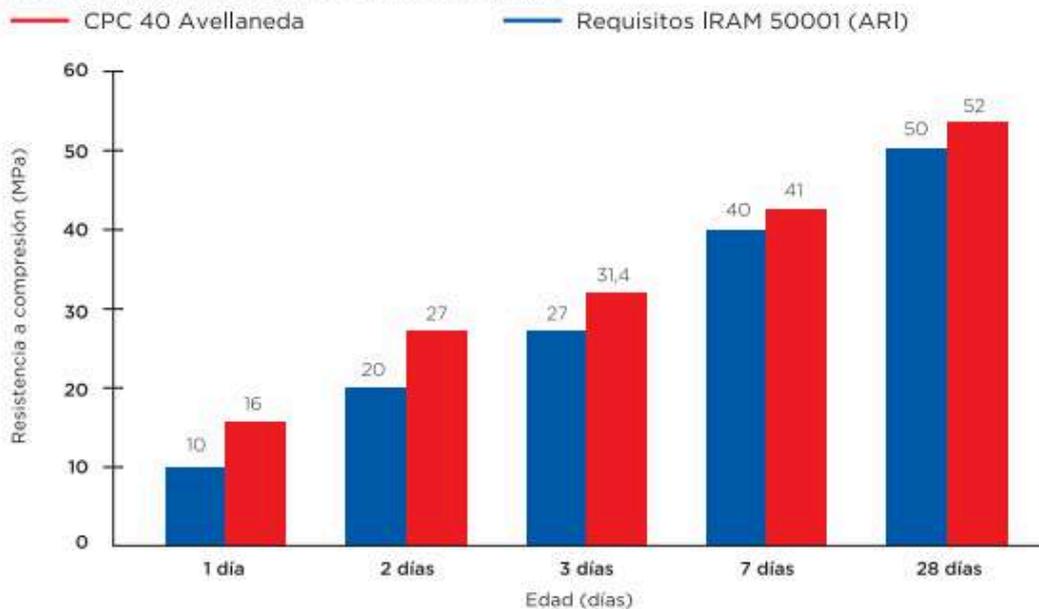
## CEMENTO AVELLANEDA COMPUESTO OLAVARRÍA

Cemento Pórtland Compuesto CPC40



superando el límite normativo en un 30%. De este modo, los valores medios de la resistencia del cemento CPC40 Avellaneda logran los límites mínimos que exige la norma IRAM 50001 para los cementos de alta resistencia inicial (ARI).

Figura 1. Evolución de la resistencia a compresión del cemento Avellaneda CPC 40 a granel (Olavarría) y requisitos normativos IRAM



Por su bajo contenido de aluminato tricálcico ( $C_3A < 8\%$ ), el cemento compuesto Avellaneda podría considerarse de moderada resistencia a los sulfatos (MRS).

## USOS

El cemento pórtland compuesto Avellaneda CPC40 se emplea en todo tipo de obra que no requiera de un cemento especial, a saber:

- Hormigón elaborado
- Estructuras de hormigón armado, pretensado y postesado
- Pavimentos, pistas de aeropuertos y puentes
- Canales y alcantarillas
- Bloques y elementos premoldeados
- Trabajos de albañilería
- Suelo-cemento

Centro de Atención al Cliente  
0800-333-2363  
atencionalcliente@cavellaneda.com.ar

[www.cementosavellaneda.com.ar](http://www.cementosavellaneda.com.ar)

## CEMENTO AVELLANEDA COMPUESTO OLAVARRÍA

Cemento Pórtland Compuesto CPC40



Por su rápida evolución y su elevada resistencia final, se recomienda especialmente en:

- Hormigones de alta resistencia
- Pavimentos de hormigón en general
- Estructuras elaboradas con encofrados deslizantes
- Hormigones autocompactantes (HAC).

### RECOMENDACIONES

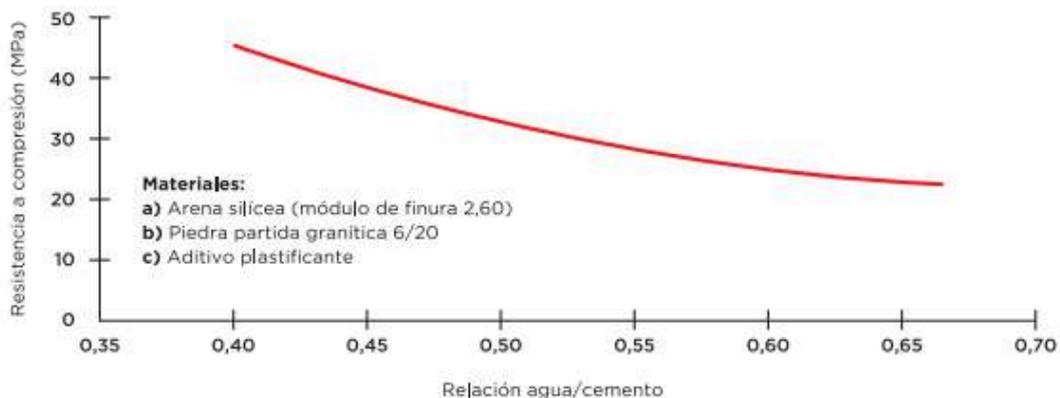
A efectos de lograr morteros y hormigones con adecuada resistencia, durabilidad y estabilidad volumétrica, se recomienda respetar estrictamente todas las especificaciones indicadas en el CIRSOC 201, empleando:

**a) Materiales de buena calidad.** Emplear agregados bien graduados, limpios e inocuos. Evitar el uso de agregados de forma lajosa y arenas muy finas, ya que incrementan la demanda de agua de las mezclas, con lo cual se reduce la resistencia e impermeabilidad del mortero u hormigón y se incrementa el riesgo de fisuración.

**b) Métodos de dosificación racional,** basados en el conocimiento de las características de los materiales componentes y el diseño de las mezclas en base a la relación agua/cemento (*figura 2*).

**En el caso de estar expuesto a un medio agresivo como sulfatos o cloruros, se debe elaborar un hormigón H30 o superior según las condiciones del medio (relaciones a/c menores a 0,45).**

Figura 2. Resistencia a compresión del hormigón a 28 días  
(hormigones de 15 cm de asentamiento)



Centro de Atención al Cliente  
0800-333-2363  
atencionalcliente@cavellaneda.com.ar

[www.cementosavellaneda.com.ar](http://www.cementosavellaneda.com.ar)

## CEMENTO AVELLANEDA COMPUESTO OLAVARRÍA

Cemento Pórtland Compuesto CPC40



**c) Métodos de elaboración, colocación y compactación adecuados.** El asentamiento del hormigón deberá ser compatible con el método de compactación utilizado en obra. Se recomienda emplear la menor cantidad posible de agua y evitar el uso de mezclas muy fluidas (con exceso de agua) ya que esto disminuye la resistencia e impermeabilidad del material y aumenta el riesgo de fisuración por contracción.

**d) Un buen método de curado,** cumpliendo los plazos mínimos indicados en el CIRSOC 201, especialmente durante las primeras edades y en períodos de altas temperaturas y baja humedad relativa ambiente.

**e) Use siempre elementos de protección** para manipular el producto: Se recomienda evitar el contacto del producto con la piel o su inhalación, empleando los elementos de protección personal adecuados (guantes, anteojos de seguridad, etc.). Si el producto entra en contacto con los ojos, enjuague rápidamente con abundante agua y consulte al médico.

Centro Nacional de Toxicología del Hospital Posadas: 0-800-333-0160.

## VENTAJAS

Por su **elevada resistencia mecánica**, los hormigones elaborados con  *cemento Compuesto Avellaneda CPC40* posibilitan, entre otras cosas:

- **Incrementar la seguridad**, si se mantiene la dosificación
- **Incrementar la producción**
- **Realizar prontamente el postesado y el desencofrado**
- **Lograr una mayor durabilidad**, al reducir la porosidad de la pasta
- **Reducir el costo**, si se reduce el contenido de cemento

**Por su adecuada composición**, el  *cemento compuesto Avellaneda CPC40* permite elaborar mezclas **más amigables con el medio ambiente**, en virtud de las posibilidades de este cemento desde el punto de vista de la sostenibilidad (menor cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente, menor uso de combustibles fósiles, mayor extensión de la vida útil de recursos no renovables). *Cementos Avellaneda S.A.*, además, ha certificado todos sus procesos de fabricación y control de proceso, bajo norma ISO 9001.

Es un producto certificado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI).

## PRESENTACIÓN

El  *cemento pórtland compuesto Avellaneda CPC40* se comercializa a granel.

Centro de Atención al Cliente  
**0800-333-2363**  
atencionalcliente@cavellaneda.com.ar

[www.cementosavellaneda.com.ar](http://www.cementosavellaneda.com.ar)

## 9.1.2. Aditivos

### 9.1.2.1. Sikacrete Plus



## HOJA TÉCNICA

# Sikacrete® PLUS

Aditivo reductor de agua y acelerante de endurecimiento, para hormigones estructurales

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikacrete® PLUS es un aditivo plastificante que ha sido desarrollado para su uso en hormigones estructurales y en hormigones utilizados en obras viales.

### USOS

- En hormigones de estructuras en general.
- En obras viales que requieren rápida habilitación para el tránsito.
- En hormigones donde se necesiten altas resistencias iniciales.
- Para facilitar la colocación y compactación en estructuras muy armadas o tabiques delgados.
- Para mejorar la trabajabilidad de hormigones elaborados con agregados mal graduados.
- Para desencofrar y habilitar más rápidamente una estructura

### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

#### En el hormigón fresco:

- Mejora la trabajabilidad del hormigón (plastificante), lográndose un mejor traslado, una más fácil colocación y compactación.
- Permite una reducción de la cantidad de agua de amasado del 7 al 10%.
- Retarda levemente el principio del fraguado, permitiendo un mejor desarrollo de resistencias mecánicas.

### INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

<b>Presentación</b>	Balde de 20 Kg. Tambor de 220 kg. Granel de 1.000 kg a pedido
<b>Apariencia / Color</b>	Líquido / Marrón oscuro
<b>Vida útil</b>	24 meses desde la fecha de fabricación.

Hoja técnica  
Sikacrete® PLUS  
Octubre 2019, Versión 01.01  
021403031000000054

1 / 4

#### En el hormigón endurecido:

- Aumenta las resistencias mecánicas iniciales y finales en función de la reducción de agua utilizada en la mezcla.
- De acuerdo al tipo de cemento utilizado, podría otorgar a los 3 días las resistencias equivalentes a las de un hormigón testigo sin aditivo con 7 días de edad.
- De acuerdo al tipo de cemento utilizado, podría otorgar a los 7/14 días las resistencias equivalentes a las de un hormigón testigo sin aditivo con 28 días de edad.
- Al aumentar la resistencia de la interfase mortero-agregado, permite mejorar la adherencia del hormigón a las armaduras.
- Permite desencofrar y habilitar más rápidamente una estructura

### NORMAS / APROBACIONES

Sikacrete® PLUS cumple con la Norma IRAM 1663 como aditivo plastificante.

Sikacrete® PLUS cumple con las especificaciones de la Norma ASTM C- 494 tipo A.

**Condiciones de almacenamiento** En envases de origen, bien cerrados y no deteriorados. En un lugar seco y fresco, a temperaturas entre + 5°C y + 30°C. Preservados del congelamiento y de la luz solar directa. Proteger de la corrosión. Se recomienda agitar el envase antes de usar.

<b>Densidad</b>	1,11 kg/l ( a 20° C)
<b>pH</b>	6 - 8

## INFORMACIÓN TÉCNICA

### Efecto del fraguado

### Ensayos de Tiempos de Fraguado y Resistencias a Compresión:

Hormigón con 300 Kg. de cemento CPN 40  
Dosis de Sikacrete® PLUS = 0,65%  
Reducción de agua: 8,0%  
Temperatura de ensayo: 23° C  
Normas de ensayo: IRAM 1536 / 1546 / 1662

	<b>Patrón</b>	<b>con Sikacrete® PLUS</b>
Asentamiento (cm)	8,5	8
Tiempo Inicial de fraguado	4h 15'	4h 45'
Tiempo Final de fraguado	7h 00'	7h 40'
Relación a/c	0,56	0,52
Resistencia a compresión 1 día (MPa)	5,4	6,3
Resistencia a compresión 3 días (MPa)	15,3	21,4
Resistencia a compresión 7 días (MPa)	24,2	31,4
Resistencia a compresión 14 días (MPa)	26,5	35,9
Resistencia a compresión 28 días (MPa)	31,2	42,5

## INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

### Dosificación recomendada

La dosis sugerida es de 0,65 % del peso del cemento, es decir 330 gramos (peso) ó 310 cm3 (volumen) de Sikacrete® PLUS por bolsa de cemento de 50 kg.  
Puede emplearse en un rango entre 0,50 % y 0,90% (entre 250 gr y 450 g.) dependiendo de las necesidades de uso, tipo de cemento y temperatura ambiente.

## INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

Sikacrete® PLUS se entrega listo para usar y se añade simultáneamente con el agua de amasado.

## DOCUMENTOS ADICIONALES

- Se deben respetar los aspectos técnicos necesarios para la elaboración de un buen hormigón cuando se usa Sikacrete® PLUS.
- El aumento de dosis de Sikacrete® Plus causa una

prolongación de los tiempos de fraguado. En estos casos es importante prever que el hormigón se mantenga húmedo, de forma tal que se eviten desecamientos perjudiciales del mismo antes que haya endurecido.

- Para lograr el efecto acelerante de la resistencia con Sikacrete® Plus es muy importante aprovechar la acción plastificante del mismo, disminuyendo la cantidad de agua de amasado.
- Para mantener el asentamiento hay que reducir entre 7 y 10% el agua total de mezclado.
- El uso de aditivos no implica que el hormigón no deba ser curado adecuadamente. Por el contrario, los mejores resultados del uso del aditivo se obtendrán siguiendo todas las medidas de curado necesarias.
- El resultado de obtener los efectos deseados en un hormigón con la incorporación de un aditivo como el Sikacrete® PLUS también depende de la granulometría y el tipo de agregados, y del contenido de cemento utilizados en su composición.

Ante cualquier duda, consultar con el departamento técnico de Sika Argentina.

### LIMITACIONES

- A bajas temperaturas, el desarrollo de altas resistencias iniciales en el hormigón se ve afectado.
- Para obtener un mejor resultado, se deben respetar los aspectos técnicos necesarios para la elaboración de un buen hormigón.
- Retarda levemente el principio del fraguado, permitiendo mejorar el desarrollo de resistencias mecánicas.
- Cuando las condiciones atmosféricas originan fisuras por contracción plástica que se producen antes del fraguado del hormigón, no deben esperarse mejoras sustanciales como consecuencia del uso de Sikacrete® PLUS.

### VALORES BASE

Todos los datos que se indican en esta Hoja Técnica, están basados en ensayos de laboratorio. Las mediciones en obra de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

### RESTRICCIONES LOCALES

Observe, por favor, que como resultado de regulaciones locales específicas desempeño de este producto puede cambiar de acuerdo a las regulaciones locales de país a país. Consultar la Hoja Técnica del producto para una descripción exacta de los campos de aplicación.

### ECOLOGÍA, SEGURIDAD E HIGIENE

El usuario debe leer las Fichas de Datos de Seguridad correspondientes más recientes antes de utilizar cualquier producto. Para obtener información y asesoramiento sobre la manipulación, el almacenamiento y la eliminación seguros de los productos químicos, los usuarios deberán consultar la Hoja de Datos de Seguridad (SDS) más reciente que contenga datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otros relacionados con la seguridad.

Hoja técnica  
Sikacrete® PLUS  
Octubre 2019, Versión 01.01  
021403031000000054

## NOTAS LEGALES

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento y la experiencia actual de Sika de sus productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil y de acuerdo con todas y cada una de las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede ofrecer de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno brindado, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. Corresponde al usuario evaluar la conveniencia del producto para la aplicación y la finalidad deseadas. Sika se reserva el derecho de modificar las propiedades de sus productos en cualquier momento y sin necesidad de notificación alguna. Se reservan los derechos de propiedad de terceras partes. Los pedidos son aceptados bajo las presentes condiciones y de conformidad con los términos de las Condiciones Generales de Venta y Suministro al momento de efectuarlos. Los usuarios deben obligatoriamente conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas Técnicas de Productos, copias de las cuales se mandarán a quién las solicite.

### Sika Argentina S.A.I.C.

www.sika.com.ar  
Juan Bautista Alberdi 5250  
(B1678CSJ) Caseros  
Teléfono: 4734.3500  
Asesoramiento Técnico: 4734-3502/3532  
info.gral@ar.sika.com



**Hoja técnica**  
**Sikacrete® PLUS**  
Octubre 2019, Versión 01.01  
021403031000000054

4 / 4

SikacretePLUS-es-AR-(10-2019)-1-1.pdf

BUILDING TRUST





## HOJA TÉCNICA

# Sika® ViscoCrete®-20 HE

Superplastificante de alto rango

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® ViscoCrete®-20 HE es un superplastificante de tercera generación para hormigones y morteros. Cumple los requerimientos para superplastificantes reductores de agua de alto rango de acuerdo a la norma EN 934-2

### USOS

Sika® ViscoCrete®-20 HE fue especialmente desarrollado para plantas de producción de hormigón donde se requiera desarrollo de resistencias tempranas, potente reducción de agua y mejoras en la fluidez.

Sika® ViscoCrete®-20 HE se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:

- Hormigón premoledado
- Hormigón Fast-track
- Hormigón in situ donde que requiera la utilización de encofrados deslizantes.
- Hormigón autocompactante (Self Compacting Concrete - SCC)

### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Sika® ViscoCrete®-20 HE es un potente superplastificante que actúa a través de diferentes mecanismos de acción: adsorción en la superficie de finos y efectos estéricos que separan las partículas de cemento mejorando su dispersión e hidratación.

Alcanza las siguientes ventajas y propiedades:

- Alto incremento en el desarrollo de resistencias tempranas, resultando muy recomendable para la habilitación o desencofrado rápido del hormigón colado in situ o premoledado.
- Reductor de agua extremadamente potente, dando como resultado una alta densidad, elevada resistencia y reducción de permeabilidad al agua.
- El efecto de superplastificante, mejora la fluidez, facilitando la colocación, la compactación y la terminación de la superficie.
- Especialmente adecuado para la producción de hormigón autocompactante. (Self Compacting Concrete SCC)
- Disminución de los efectos de contracción por la elevada reducción de agua.
- Reduce el tiempo de desencofrado.
- Reduce tiempos de curado.

Sika® ViscoCrete®-20 HE no contiene cloruros o cualquier otro componente que pudiera favorecer la corrosión del acero. Por ello puede utilizarse sin restricciones en estructuras armadas o estructuras de hormigón pretensado.

### NORMAS / APROBACIONES

Conforme a los requerimientos de EN 934 – 2, Tabla 3.1/3.2

### INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

<b>Base química</b>	Solución acuosa de policarboxilatos modificados
<b>Presentación</b>	Tambores de 220 kg. Tanques de 1000 kg.

**Hoja técnica**  
Sika® ViscoCrete®-20 HE  
Enero 2019, Versión 01.01  
02130101100000037

	Tanques por kg y a granel bajo pedido.
<b>Apariencia / Color</b>	Líquido poco viscoso color miel o ligeramente opaco.
<b>Vida útil</b>	12 meses desde la fecha de producción si se almacena en su envase original sin abrir y sin daños.
<b>Condiciones de almacenamiento</b>	Conservar a temperaturas entre +5°C y +30°C. Proteger de la acción solar directa y de la helada.
<b>Densidad</b>	~1.09 kg/l a +20 °C
<b>pH</b>	~4.5
<b>Contenido convencional de material seco</b>	~40.0 M.-%

## INFORMACIÓN TÉCNICA

<b>Guía de hormigonado</b>	En relación a la producción y colocación del hormigón, cuando se utiliza Sika® ViscoCrete®-20 HE, se deben seguir las reglas prácticas del correcto hormigonado de acuerdo a las normas y reglas de orden general. Se deben llevar a cabo ensayos de laboratorio antes del hormigonado in situ, especialmente cuando se usan nuevos diseños de mezcla, se incorporan nuevos materiales componentes o se producen cambios en los mismos. El hormigón fresco debe ser curado apropiadamente tan pronto como sea posible.
----------------------------	--

## INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

<b>Dosificación recomendada</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Para trabajabilidad media: 0.2 - 0.8% del peso del cemento.</li><li>• Para hormigones de alta trabajabilidad, muy baja relación agua/ cemento y para hormigón autocompactante: 1.0 - 2.0% del peso del cemento.</li></ul>
<b>Compatibilidad</b>	Sika® ViscoCrete®-20 HE puede ser combinado con otros productos de Sika®.  Importante: siempre realizar ensayos antes de combinar productos en mezclas específicas o contactar a nuestro Departamento Técnico para mayor información.
<b>Restricciones</b>	Sika® ViscoCrete®-20 HE no debe incorporarse sobre el cemento seco.

## INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

Sika® ViscoCrete®-20 HE se incorpora en el agua de amasado o en la mezcladora al mismo tiempo que se añade el agua.  
Para aprovechar la ventaja de la alta reducción de agua, recomendamos un preamasado húmedo cuidadoso del material sólido durante 60 segundos como mínimo antes de la incorporación del aditivo.  
Para evitar el exceso de agua en el hormigón, la dosificación final debe comenzar solo después de 2/3 del tiempo de mezclado húmedo.

## LIMITACIONES

Cuando se use Sika® ViscoCrete®-20 HE el diseño de la mezcla debe ser adecuado de acuerdo a los materiales utilizados a través de la realización de ensayos.  
La incorporación excesiva de agua o la sobre dosificación puede causar segregación.  
Hormigón autocompactante:  
Cuando se use Sika® ViscoCrete®-20 HE para elaborar hormigón autocompactante debe ser usado un diseño de mezcla adecuado.

#### Helada:

En caso de congelación del aditivo Sika® ViscoCrete®-20 HE, el producto puede ser utilizado si se descongela lentamente, a temperatura de unos 20 °C. y se agita en forma intensa.

### VALORES BASE

Todos los datos que se indican en esta Hoja Técnica, están basados en ensayos de laboratorio. Las mediciones en obra de estos datos pueden variar debido a circunstancias más allá de nuestro control.

### RESTRICCIONES LOCALES

Observe, por favor, que como resultado de regulaciones locales específicas desempeño de este producto puede cambiar de acuerdo a las regulaciones locales de país a país. Consultar la Hoja Técnica del producto para una descripción exacta de los campos de aplicación.

### ECOLOGÍA, SEGURIDAD E HIGIENE

El usuario debe leer las Fichas de Datos de Seguridad correspondientes más recientes antes de utilizar cualquier producto. Para obtener información y asesoramiento sobre la manipulación, el almacenamiento y la eliminación seguros de los productos químicos, los usuarios deberán consultar la Hoja de Datos de Seguridad (SDS) más reciente que contenga datos físicos, ecológicos, toxicológicos y otros relacionados con la seguridad.

### NOTAS LEGALES

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento y la experiencia actual de Sika de sus productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil y de acuerdo con todas y cada una de las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede ofrecer de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno brindado, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. Corresponde al usuario evaluar la conveniencia del producto para la aplicación y la finalidad deseadas. Sika se reserva el derecho de modificar las propiedades de sus productos en cualquier momento y sin necesidad de notificación alguna. Se reservan los derechos de propiedad de terceras partes. Los pedidos son aceptados bajo las presentes condiciones y de conformidad con los términos de las Condiciones Generales de Venta y Suministro al momento de efectuarlos. Los usuarios deben obligatoriamente conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas Técnicas de Productos, copias de las cuales se mandarán a quién las solicite.

#### **Sika Argentina S.A.I.C.**

www.sika.com.ar

Juan Bautista Alberdi 5250

(B1678CS) Caseros

Teléfono: 4734-3500

Asesoramiento Técnico: 4734-3502/3532

info.gral@ar.sika.com



#### **Hoja técnica**

**Sika® ViscoCrete®-20 HE**

Enero 2019, Versión 01.01

021301011000000037

3 / 3

SikaViscoCrete-20HE-es-AR-(01-2019)-1-1.pdf

CONSTRUYENDO CONFIANZA

