



Uso de residuos plásticos para el desarrollo de hormigones sostenibles

UNMDP – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería en Materiales

Autor: Lucas Fernández Shepherd

DNI: 41.548.602 ; Legajo: 13.465

Mail de contacto: lu.ferna98@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, 7 de noviembre de 2022



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Uso de residuos plásticos para el desarrollo de hormigones sostenibles

UNMDP – Facultad de Ingeniería – Departamento de Ingeniería en Materiales

Autor: Lucas Fernández Shepherd

DNI: 41.548.602 ; Legajo: 13.465

Mail de contacto: lu.ferna98@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, 7 de noviembre de 2022

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| Listado de tablas y figuras | 2 |
| Agradecimientos | 4 |
| 1. Resumen | 5 |
| 2. Introducción | 6 |
| 3. Objetivos..... | 9 |
| 4. Trabajo experimental..... | 10 |
| 4.1. <i>Materiales de partida y caracterización</i> | 10 |
| 4.1.1. Cemento..... | 10 |
| 4.1.2. Agregados naturales..... | 10 |
| 4.1.3. Agregado plástico | 11 |
| 4.1.4. Agua de amasado..... | 12 |
| 4.1.5. Aditivo fluidificante | 12 |
| 4.2. <i>Procedimiento de diseño de mezclas de hormigón según método ICPA</i> | 13 |
| 4.3. <i>Preparación de mezclas y ensayos en estado fresco y endurecido</i> | 15 |
| 5. Resultados..... | 16 |
| 5.1. <i>Diseño de formulaciones</i> | 16 |
| 5.2. <i>Dosificaciones definitivas y efecto del agregado de residuo plástico molido</i> | 17 |
| 5.3. <i>Caracterización en estado fresco de las mezclas</i> | 19 |
| 5.4. <i>Caracterización en estado endurecido de las mezclas</i> | 21 |
| 5.5. <i>Aplicación de la formulación para la construcción de cordones para ciclovías</i> | 24 |
| 6. Evaluación económica | 27 |
| 7. Conclusiones | 29 |
| 8. Referencias bibliográficas | 31 |
| Anexos..... | 34 |
| 1. <i>Metodologías de ensayo de áridos y ensayos de hormigón fresco y endurecido</i> | 34 |
| 1.1. Método de cuarteo..... | 34 |
| 1.2. Cálculo de absorción y densidad de los agregados | 34 |
| 1.3. Granulometría, tamaño máximo nominal y módulo de finura | 37 |
| 1.4. Determinación del peso por unidad de volumen (PUV) | 38 |
| 1.5. Medida del asentamiento..... | 39 |
| 1.6. Medida del contenido de aire con aparato de Washington..... | 40 |
| 1.7. Método de preparación y curado de probetas para ensayo | 41 |
| 1.8. Medida de la resistencia a la compresión de probetas normalizadas de hormigón | 43 |
| 2. <i>Tablas y ábacos método ICPA</i> | 45 |
| 3. <i>Fichas técnicas</i> | 49 |
| 3.1. Cemento..... | 49 |
| 3.2. Aditivo plastificante | 51 |

LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Residuos plásticos urbanos en el predio de Disposición Final de Mar del Plata..... | 7 |
| Figura 1. Agregados naturales utilizados | 10 |
| Tabla 1. Características de los agregados naturales | 11 |
| Figura 2. Granulometrías de los agregados | 11 |
| Figura 3. Residuo plástico molido | 12 |
| Tabla 2. Características de agregado plástico..... | 12 |
| Figura 6. Diagrama de flujo del Método ICPA | 14 |
| Figura 7. Trompo mezclador | 15 |
| Tabla 3. Nomenclatura de las formulaciones objetivo..... | 16 |
| Tabla 4. Dosificaciones en kg por m ³ de hormigón..... | 17 |
| Figura 8. Curva granulométrica del agregado total con 0% de RP | 18 |
| Figura 9. Curva granulométrica del agregado total con 10% de RP | 18 |
| Figura 10. Curva granulométrica del agregado total con 20% de RP | 19 |
| Tabla 5. Propiedades en estado fresco | 19 |
| Figura 13. σ_c 7d de cada formulación..... | 21 |
| Figura 14. σ_c 28d de cada formulación..... | 22 |
| Figura 15. Pérdida de resistencia respecto a la formulación base..... | 23 |
| Figura 16. Interfase plástico-pasta cementicia para la muestra H13P10 | 23 |
| Figura 17. Dimensiones del cordón de ciclovía: a) corte longitudinal; b) corte transversal | 24 |
| Figura 18. Llenado de molde con mezcla H13P10 | 25 |
| Figura 19. Cordones desmoldados apilados | 26 |
| Figura 18. Cordones pintados y colocados | 26 |
| Tabla 6. Precio de materiales de partida | 27 |
| Figura 18. Precio de cada formulación por metro cúbico de hormigón..... | 28 |
| Figura 19. Precio de cada formulación por unidad de resistencia del hormigón | 29 |
| Figura 1A. Método de cuarteo..... | 34 |
| Figura 2A. a) condición saturada; b) condición SSS; c) condición seca | 35 |
| Ecuación 1A. Densidad relativa SSS arena | 35 |
| Ecuación 2A. Absorción arena | 36 |
| Figura 3A. Muestra en cesta de alambre | 36 |
| Ecuación 3A. Densidad relativa SSS piedra..... | 37 |
| Ecuación 4A. Absorción arena | 37 |
| Figura 4A. Tamices normalizados | 37 |
| Ecuación 5A. Cálculo PUV..... | 38 |
| Figura 5A. Recipiente calibrado lleno para obtención de PUV | 39 |
| Figura 6A. Medida de asentamiento con cono de Abrams | 40 |
| Figura 7A. Recipiente con medidor de aire tipo B | 40 |
| Figura 8A. Moldes para confección de probetas | 41 |
| Figura 9A. Moldes llenos para confección de probetas | 42 |

| | |
|--|----|
| Figura 10A. Curado de probetas | 43 |
| Ecuación 6A. Resistencia a la compresión ($\sigma_{\text{compresión}}$) de probetas de ensayo..... | 44 |
| Figura 11A. Ensayo de compresión..... | 44 |
| Tabla 1A. Distribución granulométrica de la mezcla de agregados y límites de referencia establecidos por la norma IRAM 1627:1997 correspondiente a 19 mm de tamaño máximo..... | 45 |
| Tabla 2A. Tabla de proporciones de la mezcla | 45 |
| Tabla 3A. Razones agua/cemento máximas especificadas por razones de durabilidad o por otros motivos | 46 |
| Tabla 3A. Continuación | 47 |
| Figura 13A. Ábaco 1: demanda de agua del hormigón en función del asentamiento y el MF del agregado total..... | 48 |
| Figura 14A. Ábaco 2: relación a/c vs resistencia del hormigón a la edad de 28 días para distintas categorías de cemento | 48 |

AGRADECIMIENTOS

Son muchas las personas que han contribuido al proceso y conclusión de este trabajo. En primer lugar, quiero agradecer al Dr. Pablo Stefani, director de esta tesis; él fue fundamental en la elaboración del proyecto, aportando ideas y motivación. Me apoyó de manera personal e institucional y me alentó para que concluyera esta investigación.

Agradezco al EMVIAL por prestar sus instalaciones y materiales. A los ingenieros Ariel Pérez y Facundo Saravi, codirectores de la tesis y encargados del laboratorio de EMVIAL; ellos me guiaron en mis primeros pasos en la vida laboral y me hicieron sentir cómodo en todo momento. Su amplia experiencia en el campo del hormigón fue muy enriquecedora. Ambos me alentaron constantemente a avanzar con este proyecto y contribuyeron en los ensayos realizados para esta investigación.

Gracias a la empresa Suergeoncar y a Fabio Lorenzo por la provisión y molienda del residuo plástico.

Gracias a la Facultad de Ingeniería de Mar del Plata. A lo largo de estos cinco años he conocido personas increíbles, quienes se han convertido en mis amigos. Agradezco a todos y cada uno de los profesores de la carrera de Ingeniería en Materiales de la UNMdP. Son personas que han dedicado su vida a la investigación, y transmiten su conocimiento a los alumnos de manera apasionada. Gracias por contagiarme esa pasión por la ingeniería.

Por último, quiero agradecer profundamente a mis padres. Han sido un pilar fundamental como en cada etapa de mi vida. Son realmente ejemplares y mi modelo a seguir.

1. RESUMEN

El presente trabajo explora una alternativa ambientalmente sostenible para el reciclado de residuos plásticos (RP), obtenidos a partir de la molienda de paragolpes de autos en desuso, como sustituto parcial de agregados naturales en formulaciones de hormigón. Es importante destacar, que los paragolpes no pueden ser reciclados por los métodos habituales de transformación de plásticos debido a la presencia de impurezas y restos de pintura. Se diseñaron tres formulaciones base de hormigón (utilizando solo agregados naturales) con diferente resistencia característica (H13, H21 y H30) y un asentamiento objetivo de 9 cm. Luego se evaluó el efecto sobre las propiedades en estado fresco y endurecido al sustituir parcialmente al agregado natural por 10 y 20% en volumen de RP. Como era de esperar, el peso de la unidad de volumen de la mezcla fresca (PUV) disminuyó con la incorporación del RP debido a su menor densidad respecto al agregado natural. Además, la incorporación del RP incrementó levemente el contenido de aire de las mezclas frescas. Se observó para las tres formulaciones una disminución en la resistencia a la compresión a medida que aumentó el porcentaje de RP (al utilizar un 20% de RP la resistencia a la compresión decreció 41,5, 34,9, y 20,2% respecto a las formulaciones base H30, H21 y H13, respectivamente). Este resultado estaría asociado a la baja rigidez y adherencia del RP con la matriz cementicia. Sin embargo, para la formulación H13 con 10% de RP la resistencia a la compresión se redujo sólo un 11%, siendo viable su uso para hormigones de relleno o piezas de hormigón destinados a señalética. Finalmente, esta última formulación se probó para la construcción de cordones que se utilizan para la señalización de la bicisenda en la ciudad de Mar del Plata y se comparó el costo relativo del hormigón sostenible respecto al convencional.

2. INTRODUCCIÓN

El hormigón es el material estructural más utilizado en el mundo debido a su disponibilidad, versatilidad, durabilidad, resistencia y bajo costo. En el año 2021 la producción mundial de cemento fue de 4100 millones de toneladas y se estima que 27.000 millones de toneladas de hormigón se fabricaron en el mismo período [1]. Sin embargo, el proceso productivo del cemento involucra la emisión de gases con efecto invernadero (8% de las emisiones globales de CO₂) y un elevado consumo de agregados naturales, afectando de modo directo a nuestro hábitat [2]. Las arenas y agregados gruesos representan el mayor volumen de sólidos inorgánicos que se extraen del planeta, de los cuales un 46% es utilizado en combinación con cemento Portland [3]. Todo tipo de minería que conocemos infringe una seria degradación ambiental y aún más si es sobreexplotado. La demanda actual es tan enorme que los expertos empiezan a preocuparse por el futuro de este recurso menospreciado, así como de las consecuencias ambientales que acarrea tal tipo de minería sobre los suelos [4].

Las actuales políticas vinculadas al cuidado del medio ambiente, están impulsando a la industria elaboradora del hormigón al desarrollo de productos innovadores siguiendo los criterios de la economía circular [5]. En este sentido la industria está en la constante búsqueda de hormigones sostenibles que reduzcan el consumo de energía durante su producción y uso e incorporen residuos sólidos (propios o de otras industrias) en su diseño [1,6,7]. El reciclado del hormigón es una práctica necesaria para otorgar sostenibilidad a las plantas elaboradoras. Reciclar hormigón implica reducir el consumo de agregados naturales y sus costos de transporte asociados, generar una menor cantidad de desechos, mitigar la degradación de los ecosistemas y la contaminación del suelo, agua y aire [8]. Disminuir la cantidad de cemento, utilizar agregados reciclados, rellenar bases viales con hormigón triturado, incluir desechos de otras industrias y filtrar el agua de lavado son algunas opciones que otorgan sostenibilidad a la producción de hormigón [12].

Los residuos plásticos urbanos conforman otro de los residuos de mayor impacto al ser arrojados a vertederos, causando contaminación ambiental y problemas de salud pública (Figura 1). Muchos de estos desechos pueden permanecer en el medio ambiente durante décadas. La Organización de las Naciones Unidas informa que cada año se producen más de 400 millones de toneladas de plástico en el mundo y sólo un 9% de los desperdicios producidos son reciclados [10]. En particular, el mercado de reciclado de plásticos local está conformado básicamente por polietilentereftalato (PET), mientras que otros plásticos en muchos casos pasan a formar el rechazo de las plantas de reciclaje [45].



Figura 1. Residuos plásticos urbanos en el predio de Disposición Final de Mar del Plata

Por lo tanto, siguiendo los principios de economía circular es necesaria la generación de nuevas políticas ambientales locales que aumenten el porcentaje de recuperación y/o amplíen el mercado de reciclados. Una de las estrategias más eficientes para abordar problemas relacionados con los desechos plásticos sólidos consiste en usarlos como nueva materia prima en el diseño y producción de materiales. Este enfoque puede aplicarse al uso de residuos plásticos (que no pueden ser fácilmente reciclados por los métodos habituales de transformación de la industria plástica) como sustituto parcial de agregados naturales en la fabricación de hormigón [11].

Se ha informado que la incorporación de residuos plásticos como agregados mejora la capacidad como aislante térmico y acústico de los hormigones, pero reduce su resistencia mecánica [12,13]. Varios autores informaron una disminución en la resistencia (a la compresión, a la tracción y a la flexión), módulo de elasticidad y rigidez [14,15]. Este comportamiento se atribuye a la menor resistencia y rigidez del agregado plástico en comparación con uno natural y la unión débil en la zona de transición interfacial entre el agregado plástico y la pasta cementicia. Sin embargo, otros autores describen que las propiedades mecánicas son levemente afectadas para bajos porcentajes de sustitución y reducido tamaño del residuo [5,13,16-19]. En la literatura existen investigaciones que concluyen en la factibilidad del uso de hormigones con sustitución parcial de agregados

naturales por residuos plásticos reciclados para aplicaciones de baja resistencia de diseño, como relleno y señalética. Existen experiencias de formulaciones con sustitución de 20% en volumen de agregado grueso por PET que lograron cumplir todas las normativas para la realización de cordones viales en Australia [16]. Azhdarpour, Nikoudeh y Taheri [20], también informaron mejoras en la resistencia a la compresión para porcentajes de sustitución inferiores a un 10% del agregado natural por PET molido. Sin embargo, como se explicó antes, el PET tiene afortunadamente una alta tasa de reciclado directo, haciendo que su uso en hormigón no sea viable al menos en el mercado local.

La incorporación de agregados plásticos además afecta otras propiedades físicas del hormigón. Debido a su menor densidad se obtienen hormigones más livianos. Esto último, podría ser de interés cuando el peso es una variable crítica en el diseño [8]. Por otra parte, se han informado resultados contradictorios en cuanto los cambios en la fluidez y contenido de aire del hormigón en estado fresco por efecto de la incorporación de agregados plásticos [21,22].

En este contexto, se propone el diseño y evaluación de sus propiedades en estado fresco y endurecido de formulaciones de hormigones con diferente resistencia de diseño que incorporen agregados de desechos plásticos de bajo interés comercial para su reciclado directo. Se propone además probar una formulación de hormigón sostenible para una aplicación específica en el ámbito de la ciudad de Mar del Plata.

3. OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto consiste en el desarrollo de hormigones utilizando residuos plásticos de bajo interés comercial como agregado.

Los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Acondicionar desechos plásticos de bajo interés comercial, de modo tal de obtener un agregado bien graduado para su aplicación en hormigón. Caracterizar los agregados naturales y materiales de partida requeridos.
- Diseñar formulaciones de hormigones con diferente resistencia característica.
- Evaluar el efecto de incorporar agregados basados en residuos plásticos en las formulaciones de hormigón previamente diseñadas.
- Usar los hormigones sostenibles en una aplicación específica y estimar los costos de producción

4. TRABAJO EXPERIMENTAL

Las tareas experimentales del proyecto se realizaron en el laboratorio e instalaciones de EMVIAL e INTEMA en el marco de los convenios vigentes con la UNMdP.

4.1. Materiales de partida y caracterización

4.1.1. Cemento

Se utilizó cemento CPC 40 (Cementos Loma Negra) que cumple con los requisitos exigidos por las normas IRAM 50000 [23] y 50001 [24]. En el Anexo 3.1 se adjunta la ficha técnica del proveedor.

4.1.2. Agregados naturales

Como agregado fino se utilizó arena silícea lavada (AS), proveniente de zona Camet. Como agregado grueso se utilizó piedra cuarcítica de trituración 6-20 mm (PCT), proveniente de canteras Yaraví y Pasalto Materiales S.R.L. En la Figura 1 se presenta una imagen de la arena y la piedra utilizadas.

Figura
1.



Agregados naturales utilizados

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 (Anexo 1.1). En la Tabla 1 se resumen los valores de densidad saturado superficie seca (SSS), porcentaje de absorción (IRAM 1520:2002, IRAM 1533:2002) (Anexo 1.2 y Anexo 1.3), tamaño máximo nominal (TM) y módulo de finura (MF) (IRAM 1505:2019) (Anexo 1.3) de los dos agregados

naturales. En la Figura 2 se muestra la distribución granulométrica de los agregados naturales (IRAM 1505:2005) (Anexo 1.3) junto con la del residuo plástico molido.

Tabla 1. Características de los agregados naturales

| Característica | AS | PCT |
|-------------------------|------|-------|
| ρ_{rel} SSS (kg/l) | 2,48 | 2,45 |
| Abs (%) | 1,00 | 1,40 |
| MF | 2,44 | 6,37 |
| TM (mm) | 2,36 | 19,00 |

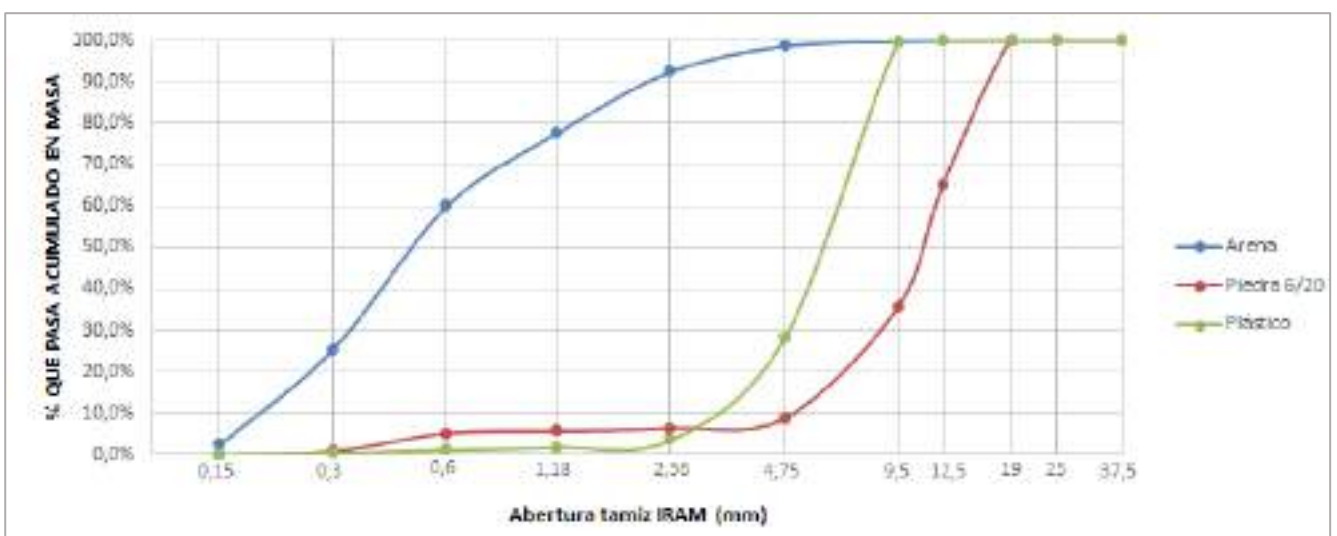


Figura 2. Granulometrías de los agregados

4.1.3. Agregado plástico

El residuo plástico (RP) se muestra en la Figura 3. Se obtuvo a partir de la molienda de paragolpes de autos en desuso provistos por la empresa Suergeoncar (Mar del Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina).



Figura 3. Residuo plástico molido

En el laboratorio de EMVIAL se determinó la distribución granulométrica utilizando los mismos tamices que indica la norma IRAM 1505:2005 (Anexo 1.3), para realizar una comparación coherente con los agregados naturales (Figura 2). Se supuso una absorción igual a cero y el valor de densidad (ρ_{rel}) fue extraído de una fuente externa [25].

En la Tabla 2 se resumen los valores de densidad, absorción, módulo de fineza y tamaño máximo nominal.

Tabla 2. Características de agregado plástico

| Característica | RP |
|---------------------|------|
| ρ_{rel} (kg/l) | 0,90 |
| Abs (%) | 0,00 |
| MF | 5,64 |
| TM (mm) | 9,50 |

4.1.4. Agua de amasado

El agua empleada para la dosificación de todas las mezclas cumple con los requisitos de la norma IRAM 1601:2012 [26].

4.1.5. Aditivo fluidificante

Para todas las mezclas se utilizó un aditivo fluidificante (F, Sikacrete® Plus). Es un aditivo reductor de agua de medio rango que cumple los requisitos de la norma IRAM 1663:2002 [27]. Este aditivo se incorporó con la finalidad de aumentar la trabajabilidad con igual

contenido de agua y/o aumentar la resistencia del hormigón con igual contenido de cemento. En el Anexo 3.2 se presenta su ficha técnica.

4.2. Procedimiento de diseño de mezclas de hormigón según método ICPA

El Instituto del Cemento Portland Argentina (ICPA) propone un método para determinar las proporciones de los componentes de un hormigón (ventana de composición), de modo tal que se satisfagan los requerimientos exigidos por el Reglamento 2005 CIRSOC 201 para un determinado uso. Se considera como un diseño exitoso uno que satisfaga las condiciones de trabajabilidad en estado fresco y de resistencia y durabilidad en estado endurecido.

Las etapas del método son las siguientes:

1. Elección del cemento a emplear (categorización por resistencia).
2. Elección de una consistencia adecuada y deseada.
3. Decidir si se incorporará aire en forma intencional o no.
4. Seleccionar una curva o ámbito granulométrico apropiado para el agregado total (Anexo 2, Tabla 1), ajuste de las fracciones de agregados disponibles y cálculo del Módulo de finura total (Anexo 1.3).
5. Estimación de la cantidad de agua de amasado, en función del asentamiento elegido y del Módulo de finura del agregado total (MF) (Anexo 2, Figura 14A).
6. Cálculo de la resistencia de diseño, f'_{cm} , a 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 (Anexo 2, Tabla 3A).
7. Estimación de la relación a/c necesaria en función de la resistencia media a la edad de 28 días para las distintas categorías de cemento (Anexo 2, Figura 15A). Verificación del cumplimiento de eventual relación a/c máxima por razones de durabilidad (Anexo 2, Tabla 3A).
8. Cálculo del contenido unitario de cemento (CUC) y verificación del cumplimiento de eventual contenido de cemento mínimo por razones de durabilidad.
9. Determinación de la cantidad de agregado (fino y grueso) para obtener $1m^3$ de hormigón.

10. Mezcla solución: se construye una tabla donde las proporciones de la mezcla se expresan para agregados en condición de saturados y superficie seca (Anexo 2, Tabla 2A).

En la Figura 6 se presenta el diagrama de flujo aplicado para el método ICPA.

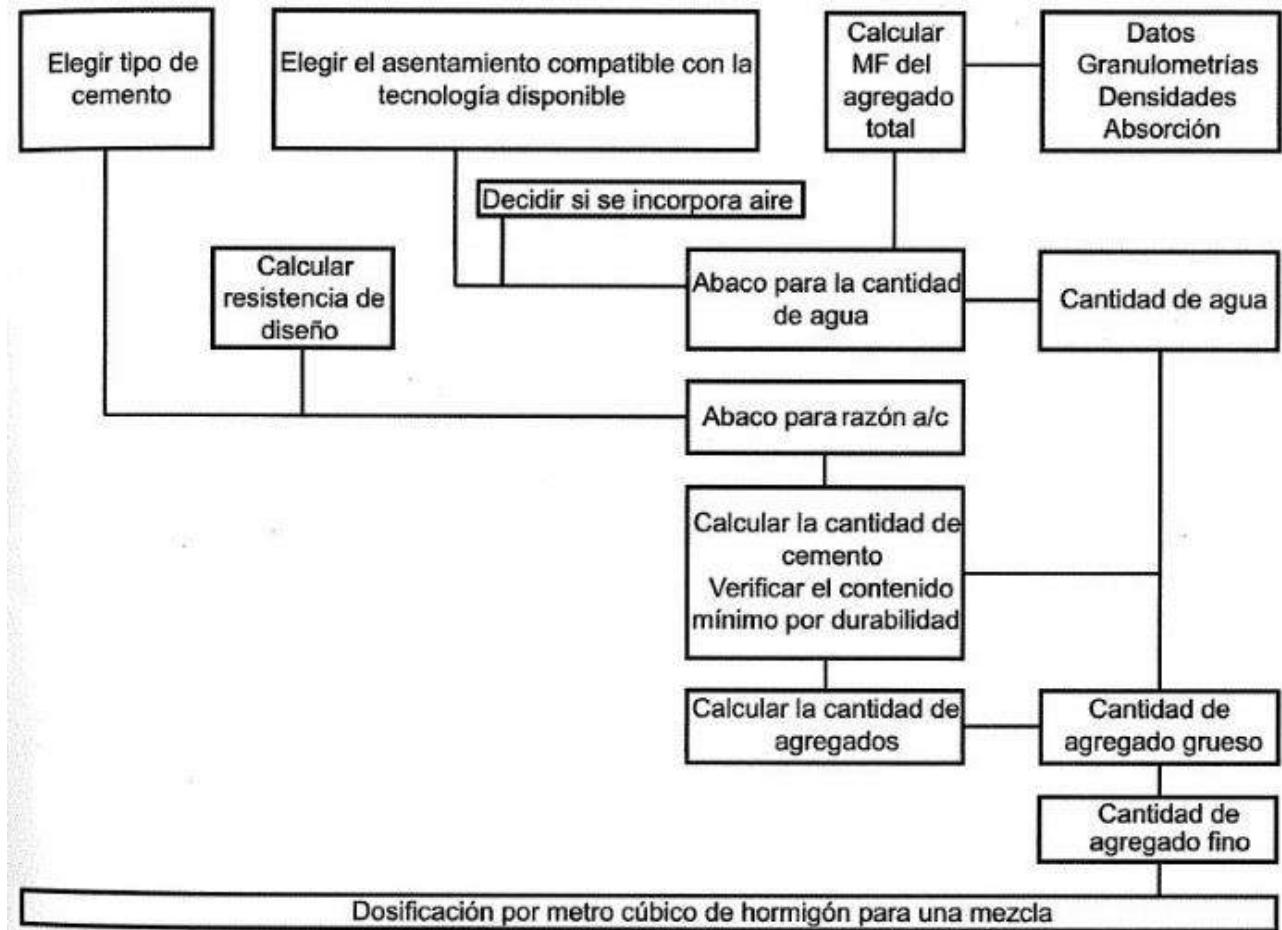


Figura 6. Diagrama de flujo del Método ICPA

Sin embargo, el proceso de diseño de una mezcla de hormigón no se reduce al empleo de un determinado método racional, sino que es mucho más abarcativo y debe, inexorablemente, incluir el ajuste de pastones de prueba para verificar las suposiciones efectuadas en el desarrollo analítico del diseño de la mezcla.

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 se debe a la notable influencia que ejercen los cambios en las cantidades de agregado fino y grueso en la demanda de agua.

4.3. Preparación de mezclas y ensayos en estado fresco y endurecido

Para cada formulación se mezclaron los agregados naturales, residuo plástico (RP), agua, cemento (C) y aditivo fluidificante (F) en un trompo mezclador e inmediatamente se evaluaron sus propiedades en estado fresco: asentamiento con tronco cono de Abrams (Anexo 1.5), densidad PUV (Anexo 1.4) y contenido de aire con el aparato de Washington (Anexo 1.6). Previo a la preparación de cada pastón, se determinó el contenido de humedad del agregado para realizar las correcciones correspondientes. Luego, se confeccionaron muestras para compresión y se curaron bajo condición húmeda (Anexo 1.7). Sobre las muestras curadas a 7 y 28 días se evaluó la resistencia a la compresión (Anexo 1.8).



Figura 7. Trompo mezclador

5. RESULTADOS

5.1. Diseño de formulaciones

Se diseñaron tres formulaciones de hormigón simple con resistencias características de 13, 21 y 30 MPa (dos formulaciones estructurales H21 y H30 y una no estructural H13) y con un asentamiento objetivo en todos los casos de 9 ± 1 cm. Luego se sustituyó en cada formulación base un 10% y 20% en volumen de agregado total (arena y piedra) por el residuo plástico molido. En total se diseñaron nueve formulaciones las cuales se etiquetan en la Tabla 3.

Tabla 3. Nomenclatura de las formulaciones objetivo

| | | Resistencia a la compresión de diseño | | |
|--|-----|---------------------------------------|--------|--------|
| | | H13 | H21 | H30 |
| Porcentaje de sustitución en volumen de agregados naturales por plástico | 0% | H13P0 | H21P0 | H30P0 |
| | 10% | H13P10 | H21P10 | H30P10 |
| | 20% | H13P20 | H21P20 | H30P20 |

Como punto de partida se llevó a cabo la formulación de la mezcla H30P0, que es la más restrictiva en cuanto a las condiciones de resistencia y durabilidad. Para ello, se utilizó el método ICPA para mezclas de hormigón (Sección 3.2). Al aplicarlo, se obtuvo una formulación probable H30P0, con una relación a/c de 0,45 y un 60% de piedra 6-20 y 40% de arena. Sin embargo, al someter al pastón de prueba al ensayo de asentamiento (Anexo 1.5) se obtuvo un resultado de 5 cm, por lo que se modificó esta primera formulación para lograr alcanzar el asentamiento objetivo de 9 ± 1 cm. En base a este resultado inicial se aumentó el contenido de aditivo plastificante y se variaron levemente las cantidades relativas de arena y piedra, ya que la mezcla tenía un aspecto pedregoso. Con estas dos variaciones se obtuvo una mezcla satisfactoria.

Una vez alcanzada la formulación H30P0, se obtuvieron las mezclas H21P0 y H13P0 disminuyendo el contenido unitario de cemento (y aumentando la relación a/c según corresponda). Finalmente, contando ya con las formulaciones de hormigón convencionales, se reemplazó en volumen el porcentaje de agregado natural propuesto (10% y 20%) por el residuo plástico molido. De esta manera se obtuvieron las formulaciones restantes.

5.2. Dosificaciones definitivas y efecto del agregado de residuo plástico molido

En la Tabla 4 se muestran las dosificaciones en kg por m³ de hormigón, con los agregados en estado saturado superficie seca. Como era de esperar, la relación agua cemento (a/c) aumentó a medida que crece la resistencia de diseño. Debido a la menor densidad del plástico respecto los agregados naturales, el PUV teórico disminuyó significativamente a medida que creció el porcentaje de plástico, obteniendo formulaciones más livianas. Para las muestras con 10 y 20% en volumen de plástico, el PUV teórico se redujo aproximadamente un 5 y 10% respectivamente.

Tabla 4. Dosificaciones en kg por m³ de hormigón

| Formulación | H13P0 | H13P10 | H13P20 | H21P0 | H21P10 | H21P20 | H30P0 | H30P10 | H30P20 |
|--------------------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| C | 282 | 282 | 282 | 350 | 350 | 350 | 389 | 389 | 389 |
| Agua | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 | 175 |
| PCT | 884 | 796 | 707 | 869 | 771 | 685 | 853 | 756 | 672 |
| AS | 892 | 802 | 713 | 876 | 777 | 691 | 860 | 763 | 678 |
| RP | 0 | 64 | 128 | 0 | 62 | 124 | 0 | 61 | 122 |
| F | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 3,0 | 3,0 | 3,0 | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| a/c | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,45 | 0,45 | 0,45 |
| PUV _{teo} | 2235 | 2121 | 2007 | 2273 | 2138 | 2034 | 2280 | 2147 | 2038 |

La granulometría de los agregados (tamaño de partículas y distribución) y la naturaleza de las partículas (forma, porosidad y textura superficial) tiene una influencia decisiva sobre las características de la mezcla. Existen diferentes criterios para optimizar la distribución de tamaños del agregado, pero siempre se debe tener en cuenta el concepto de curva del agregado total. El criterio de ajuste de las proporciones de las distintas fracciones utilizado en este caso, tal como lo indica el método ICPA, fue el uso de las curvas teóricas de máxima compacidad según Fuller. La parábola de Fuller y las curvas límites establecidas por el reglamento CIRSOC 201, siendo la curva B la de máxima compacidad, y las curvas A y C las que imponen los límites mínimos y máximos del porcentaje pasante en cada tamiz.

En las Figuras 8, 9 y 10 se muestran las curvas granulométricas del agregado total con 0, 10 y 20% en volumen de RP (0, 3,85 y 8,27% en masa de RP, respectivamente). Cabe aclarar que las formulaciones con diferente resistencia de diseño tienen el mismo agregado total, el cual solo cambia con el contenido de RP. Al comparar las tres curvas granulométricas, se nota que mientras mayor porcentaje de RP contiene la mezcla, mejor

se adapta a la curva teórica de máxima compacidad de Fuller. De todos modos, en ningún caso la curva de agregado total logra cumplir con el límite máximo impuesto por el Reglamento en el tamiz de 0,6 mm.

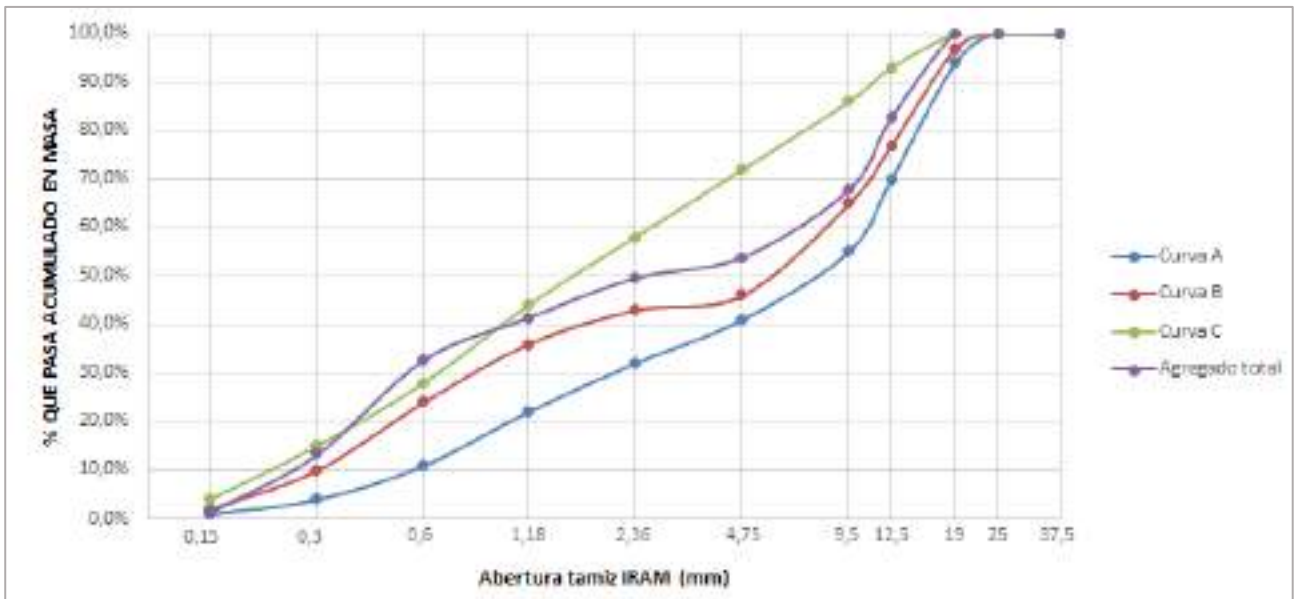


Figura 8. Curva granulométrica del agregado total con 0% de RP

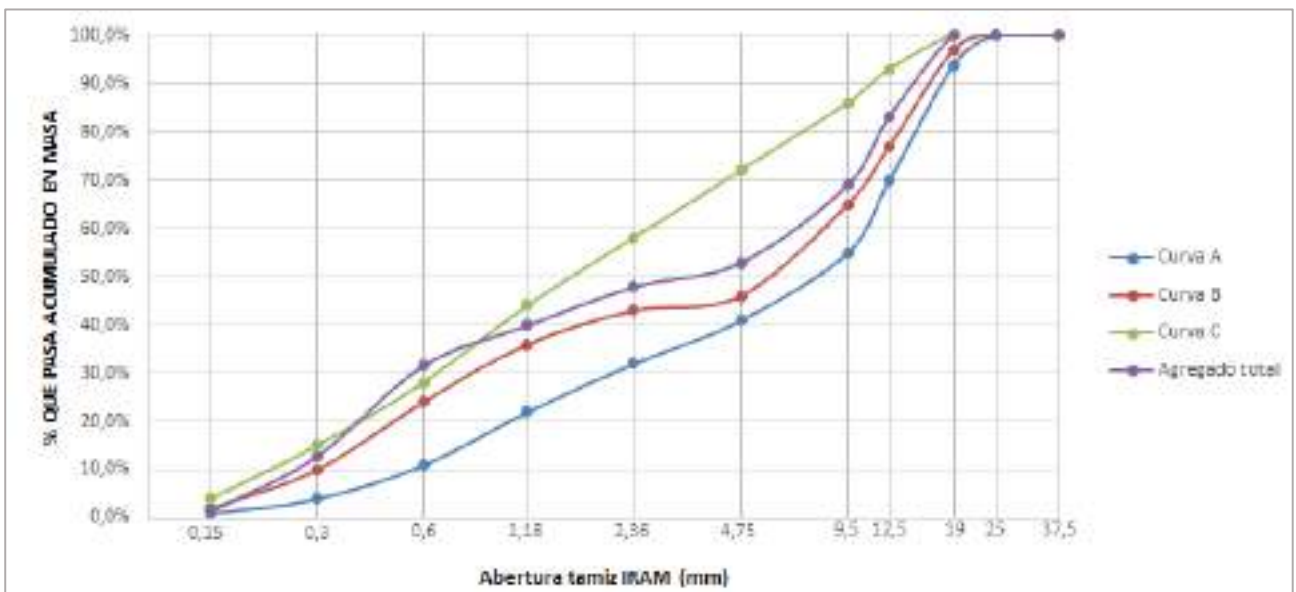


Figura 9. Curva granulométrica del agregado total con 10% de RP

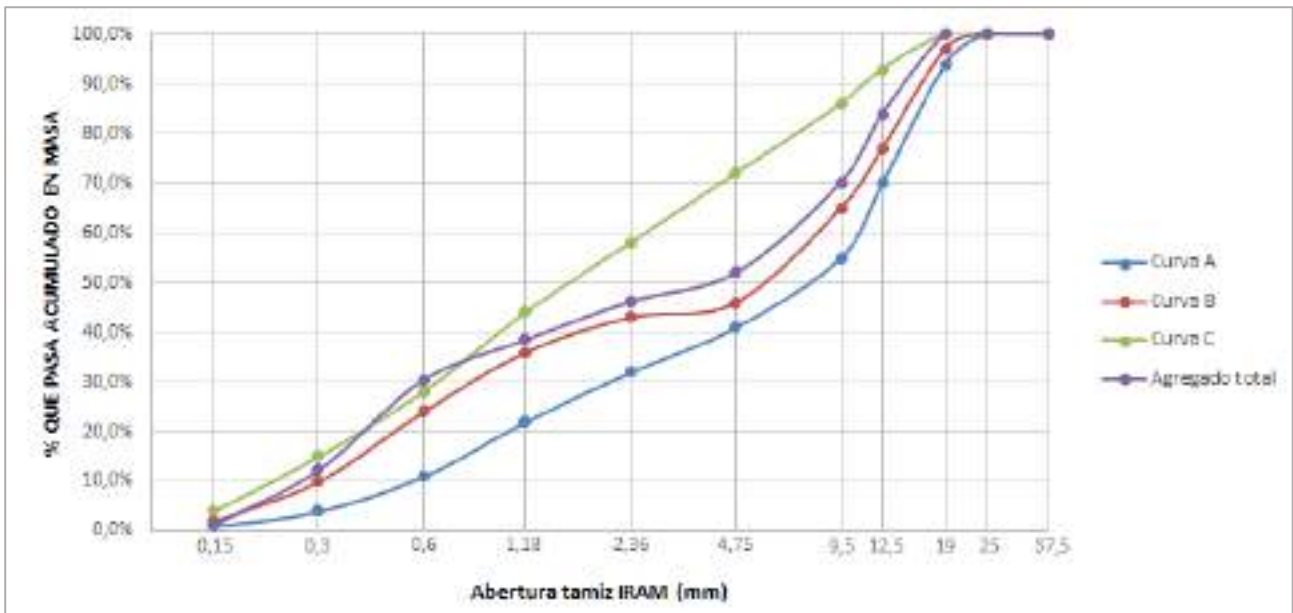


Figura 10. Curva granulométrica del agregado total con 20% de RP

Para los tamices de tamaño 12,5 mm y 9,5 mm aumenta levemente el porcentaje pasante acumulado en masa con el contenido de RP, mientras que se observa el comportamiento inverso para los tamices 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm y 0,6 mm.

5.3. Caracterización en estado fresco de las mezclas

En la Tabla 5 se resumen los valores de asentamiento, el peso por unidad de volumen medido experimentalmente (PUV_{exp}) y el contenido porcentual de aire para cada formulación estudiada.

Tabla 5. Propiedades en estado fresco

| Propiedad en estado fresco | Formulaciones | | | | | | | | |
|----------------------------|---------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | H13P0 | H13P10 | H13P20 | H21P0 | H21P10 | H21P20 | H30P0 | H30P10 | H30P20 |
| Asent. (cm) | 9 | 10 | 10 | 9 | 9 | 10 | 8 | 8 | 11 |
| PUV_{exp} (kg/m^3) | 2226 | 2114 | 1.990 | 2260 | 2131 | 2015 | 2305 | 2143 | 2014 |
| Cont. aire (%) | 2,0 | 2,3 | 2,6 | 2,1 | 2,2 | 2,5 | 2,0 | 2,1 | 2,7 |

Los valores de asentamiento resultaron dentro del valor objetivo de diseño (9 ± 1 cm), excepto para la formulación H30P20 que fue ligeramente mayor (11 cm), posiblemente asociado a su mayor contenido de aire en la mezcla. Los factores que pueden afectar la trabajabilidad del hormigón son el contenido de aire, tamaño, textura, y forma de la partícula,

proporción y viscosidad de la pasta, entre otros [12]. Dado el gran número de variables en juego se han informado en la literatura resultados contradictorios en cuanto al efecto del contenido de RP sobre la trabajabilidad del hormigón [25,26]. En este estudio el RP está conformado por polipropileno, cuya absorción de agua es despreciable y presenta una textura suave no rugosa. De todos modos, la incorporación de RP para los porcentajes de analizados no provocó un incremento en la fluidez significativo del sistema que pueda afectar su uso.

Independientemente del tipo de formulación y grado de sustitución, la incorporación de un agregado plástico liviano reduce la densidad en estado fresco y endurecido del hormigón [8]. Los valores de PUV_{exp} (Tabla 5) siguieron la misma tendencia que los valores de PUV_{teo} (Tabla 4), disminuyendo con el contenido de RP, con algunas diferencias en los valores asociados a la condición experimental. El PUV_{exp} disminuyó alrededor del 5,6% al agregar 10% de RP y un 10,4% con 20% de RP.

El contenido de aire se mantuvo en valores superiores al 2% para todas las formulaciones, con un aumento leve respecto a cada formulación base a medida que crece la sustitución de los agregados naturales por RP (Tabla 5). El contenido de aire es un parámetro importante, ya que una elevada porosidad puede provocar un aumento de la absorción de agua, que tiene un efecto perjudicial para el hormigón. Los resultados obtenidos concuerdan con los informados por otros autores, quienes no encontraron ningún cambio notable en los valores del contenido de aire [22] o un ligero aumento [23]. Se ha informado que en general los hormigones con más alto contenido de agregados plásticos presentan contenidos de aire superiores debido a la forma plana con bordes afilados del agregado plástico, lo que facilitaría que el aire quede atrapado en el proceso de mezclado [24].

Tanto el asentamiento como el contenido de aire obtenidos siguen la misma tendencia levemente creciente a medida que aumenta el porcentaje de residuo plástico en las mezclas. En estado fresco las burbujas de aire se comportan como un agregado fino, cuyas partículas tienen gran flexibilidad de forma y coeficiente de frotamiento prácticamente igual a cero, actuando como lubricante de la mezcla y mejorando la trabajabilidad. Desde este punto de vista, a la formulación H30P20, cuyo asentamiento medido fue de 11 cm, podría re-dosificarse utilizando menor cantidad de agua para cumplir con el asentamiento objetivo. En consecuencia, descendería el contenido unitario de cemento reduciendo el costo y/o si dejamos el mismo contenido de cemento podría aumentar la resistencia del hormigón en estado endurecido.

5.4. Caracterización en estado endurecido de las mezclas

En las Figuras 13 y 14 se resumen los valores de resistencia a la compresión a 7 días (σ_c 7d) y a 28 días (σ_c 28d). Como era de esperar la resistencia a la compresión de todas las formulaciones aumentó con la edad de ensayo [5,22].

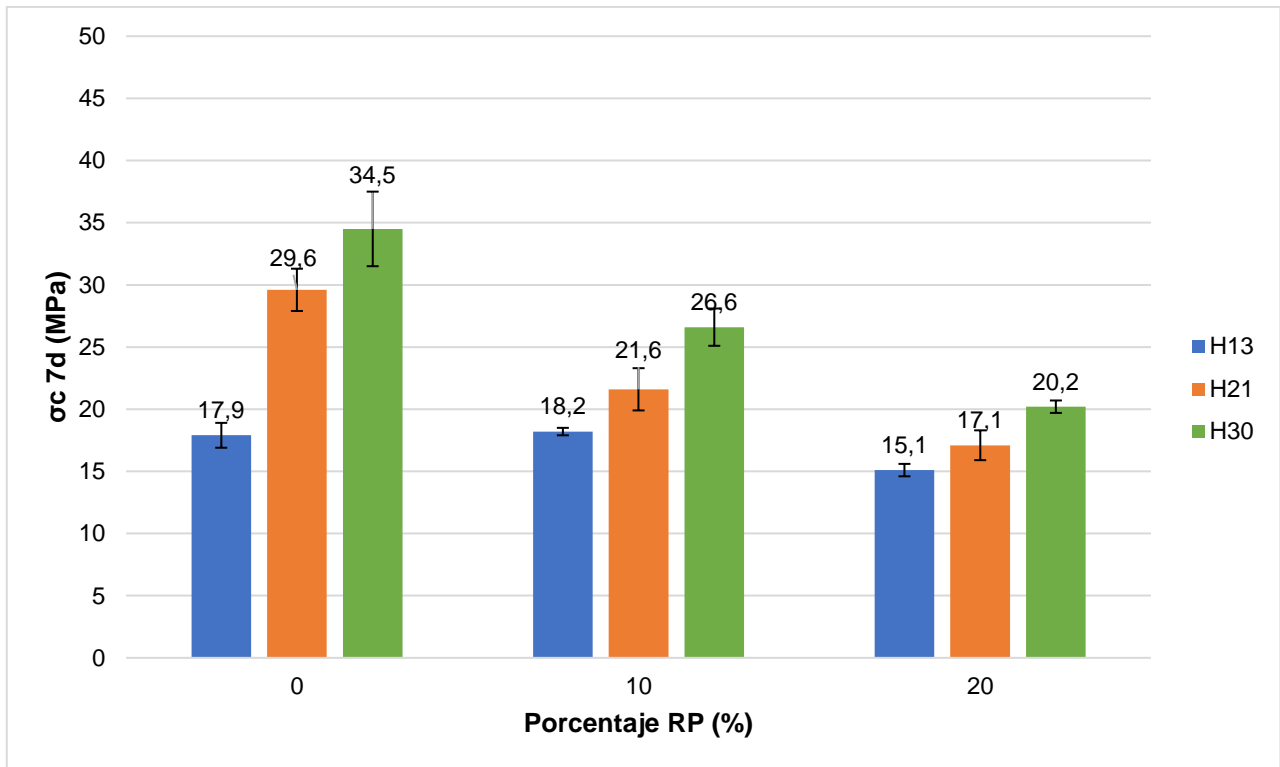


Figura 13. σ_c 7d de cada formulación

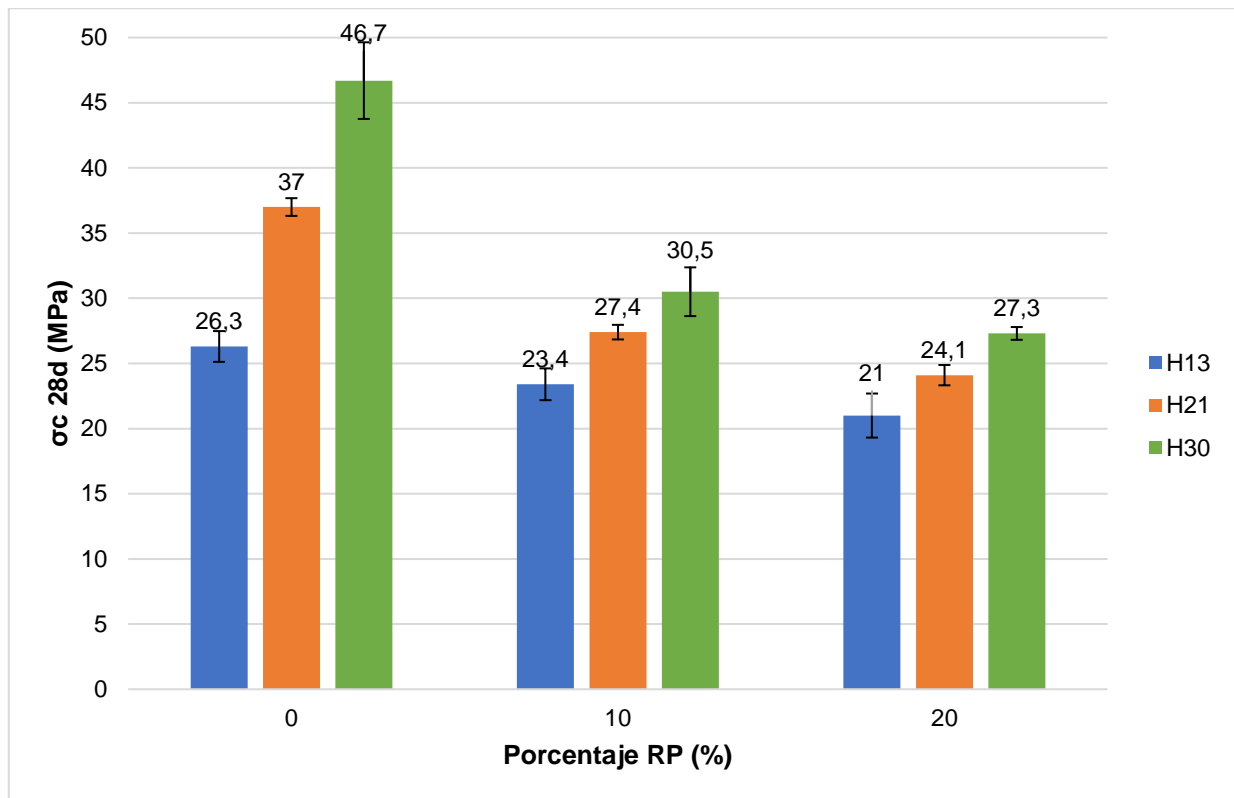


Figura 14. σ_c 28d de cada formulación

Para todas las formulaciones base, independientemente de la resistencia característica de diseño (13, 21 y 30 MPa) se observó una disminución en la resistencia a la compresión a medida que aumentó el porcentaje de RP. La misma tendencia fue informada por numerosos autores para la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad [14,15].

En la Figura 15 se muestra la variación de la resistencia a 28 días de cada formulación base (H13, H21, y H30) al sustituir parcialmente el agregado total por 10 y 20 en volumen de RP.

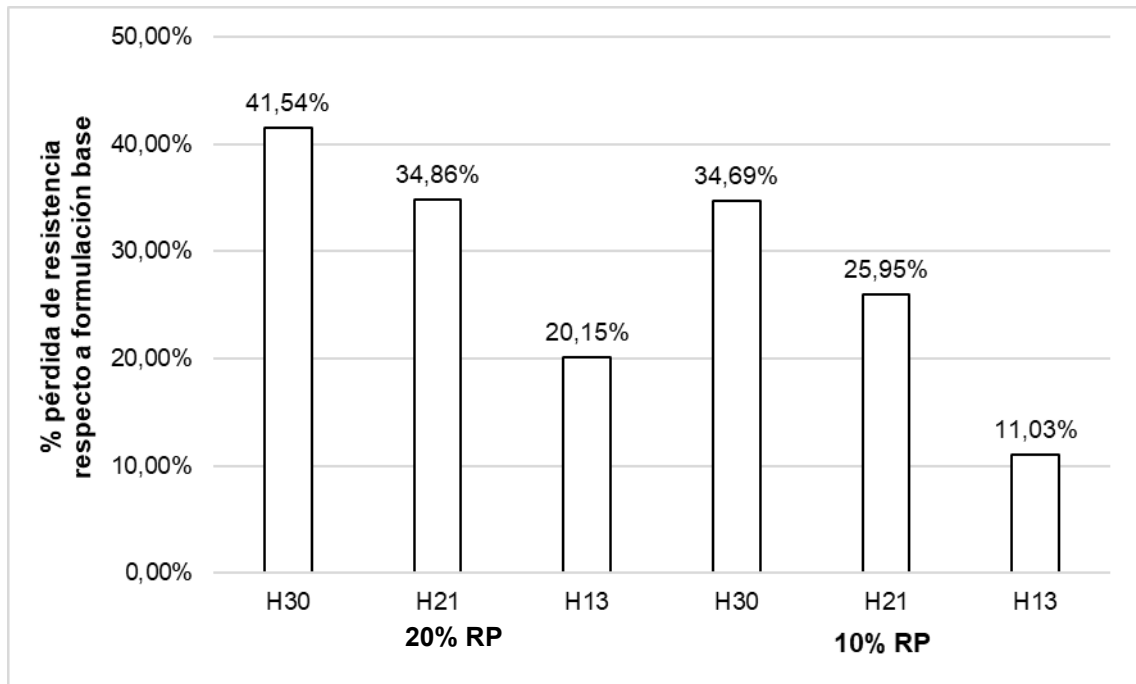


Figura 15. Pérdida de resistencia respecto a la formulación base

Como se observa en la Figura 16, para las formulaciones con 20% en volumen de RP la resistencia a la compresión a 28 días decreció 41,5, 34,9, y 20,2% respecto a las formulaciones base H30, H21 y H13, respectivamente. Este resultado estaría asociado a la baja rigidez y adherencia del RP con la pasta cementicia, donde se genera una zona interfacial débil (ver Figura 15) y en consecuencia una reducción en la resistencia [6, 18].



Figura 16. Interfase plástico-pasta cementicia para la muestra H13P10

Para compensar la pérdida de resistencia a la compresión en las formulaciones de hormigón H30 y H21 con RP, sería necesario aumentar el contenido de cemento y/o disminuir la relación a/c y/o aumentar la dosis de aditivo reductor de agua. Cualquiera de estas situaciones no sería ambientalmente favorable, porque genera un mayor consumo de materiales y energía. Sin embargo, para la formulación H13P10 la resistencia a la compresión disminuyó sólo un 11%, haciendo posible su uso en aplicaciones no estructurales acordes a este valor de resistencia de diseño.

5.5. Aplicación de la formulación para la construcción de cordones para ciclovías

La formulación H13P10 demostró ser la más adecuada para una aplicación de carácter no estructural. Esto se debe a que las propiedades no son afectadas en gran medida al agregar el residuo plástico. En cambio, en el caso de las mezclas de hormigón sostenible con base H21 y H30, la resistencia a la compresión del hormigón desciende apreciablemente al sustituir los agregados naturales.

A principio del presente año surgió el proyecto municipal de generar una ciclovía en Mar del Plata, que une a La Perla con Plaza Mitre [39]. Esto inspiró la idea del uso de alguna de las mezclas de hormigón sostenible para dicha aplicación.

Para la conformación del premoldeado se utilizó un molde de hierro. Previo a colocar la mezcla se lubricaron las paredes del molde con aceite. Se confeccionó la mezcla en un trompo mezclador y se llenó el molde de forma manual. Luego se varilló el hormigón dentro del molde, con la finalidad de reducir oquedades existentes dentro de la mezcla. Posterior a las 24 horas de llenado, con la mezcla ya fraguada, se desmoldó y se apilaron los premoldeados. Finalmente, luego de siete días se pintaron con pintura para demarcación vial color amarillo con un rodillo. En la Figura 17 se muestran dos vistas del cordón de ciclovía desarrollado y se especifican sus dimensiones.

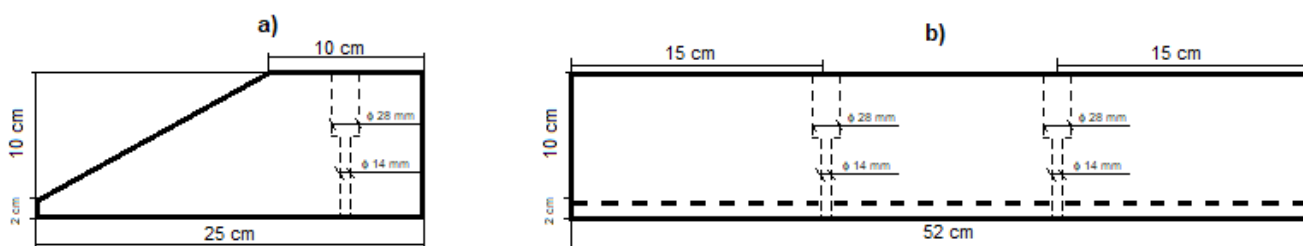


Figura 17. Dimensiones del cordón de ciclovía: a) corte longitudinal; b) corte transversal

Todo el procedimiento se realizó en las instalaciones de EMVIAL. A continuación, se muestran imágenes del proceso de confección (Figura 18, 19 y 20). Cada cordón consume 11,7 litros de hormigón. Al ser fabricado con la formulación H13P10 pesa 23,5 kg cada unidad.



Figura 18. Llenado de molde con mezcla H13P10



Figura 19. Cordones desmoldados apilados



Figura 18. Cordones pintados y colocados

6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

En la Tabla 6 se presentan los costos por tonelada de los materiales de partida. La piedra 6-20 (PCT) y la arena (AS) son dispuestos en planta a granel y el fluidificante en tambores de 200 litros. Los costos incluyen el flete, ya que la piedra se trae desde las canteras de Batán y la arena desde Necochea. El costo del residuo plástico corresponde al valor estimado de acondicionamiento del residuo plástico con un molino de 10 HP propio. Dentro de este costo se incluye el gasto eléctrico, el sueldo de un operario y la compra de los residuos plásticos de bajo interés comercial.

Tabla 6. Precio de materiales de partida

| Material | Costo (USD/tn) |
|----------|----------------|
| C | 130,78 |
| Agua | 0,19 |
| PCT | 22,73 |
| AS | 10,85 |
| RP | 60,00 |
| F | 1486,16 |

La diferencia de costo entre formulaciones con la misma resistencia de diseño es despreciable, independientemente del porcentaje de sustitución de RP (Figura 18). Para un mismo porcentaje de RP, las mezcla con una resistencia objetivo de 13 MPa son las más económicas, ya que contienen menor cantidad de cemento por metro cúbico.

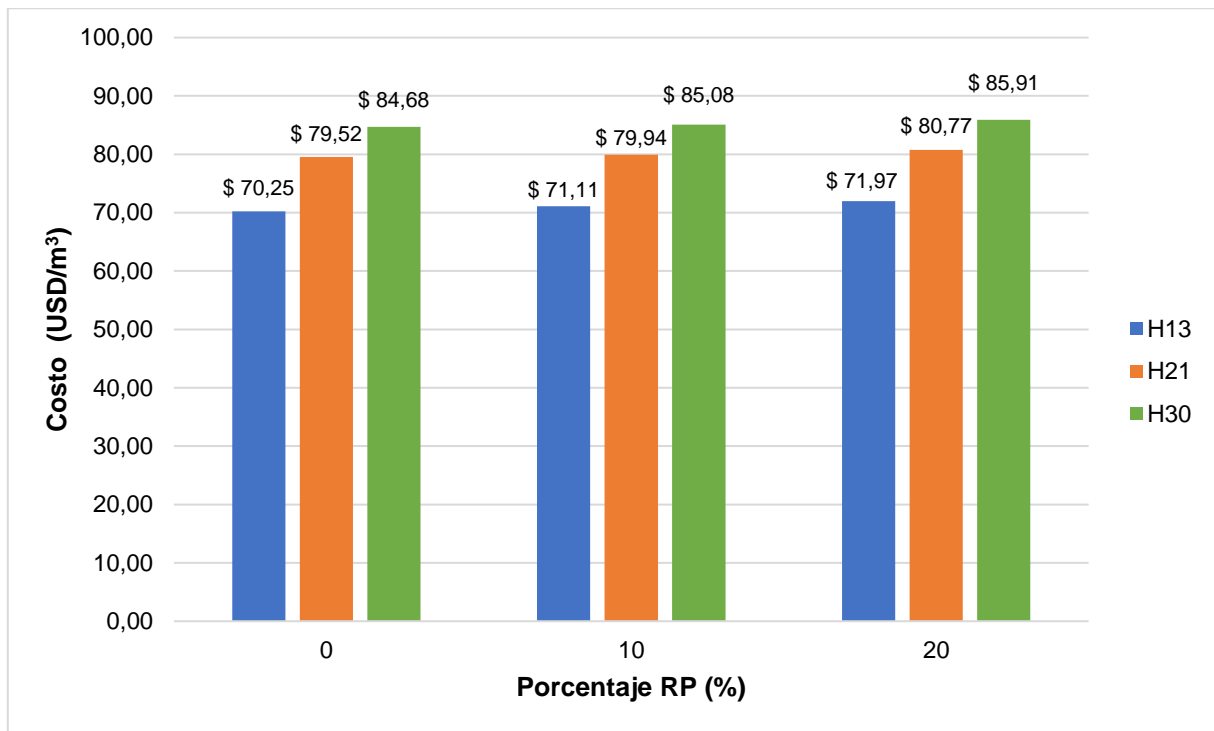


Figura 18. Precio de cada formulación por metro cúbico de hormigón

Como se muestra en la Figura 19, las formulaciones sin RP que tienen mayor resistencia de diseño, son las más eficientes en términos de la resistencia a la compresión por costo de un metro cúbico del hormigón (σ_c/Costo). Sin embargo, al aumentar el contenido de RP disminuyeron las diferencias en la relación σ_c/Costo para las formulaciones con diferente resistencia de diseño.

La tasa resistencia/costo para las mezclas base H21 y H30 denota un marcado detrimento al aumentar el contenido de residuo plástico, mientras que para las formulaciones H13 sufre un impacto mucho menor. Esto se debe a que la incorporación del RP disminuye en mayor medida la resistencia de las formulaciones con mayor resistencia de diseño (Figura 15), mientras que el precio se mantiene prácticamente invariable (Figura 18).

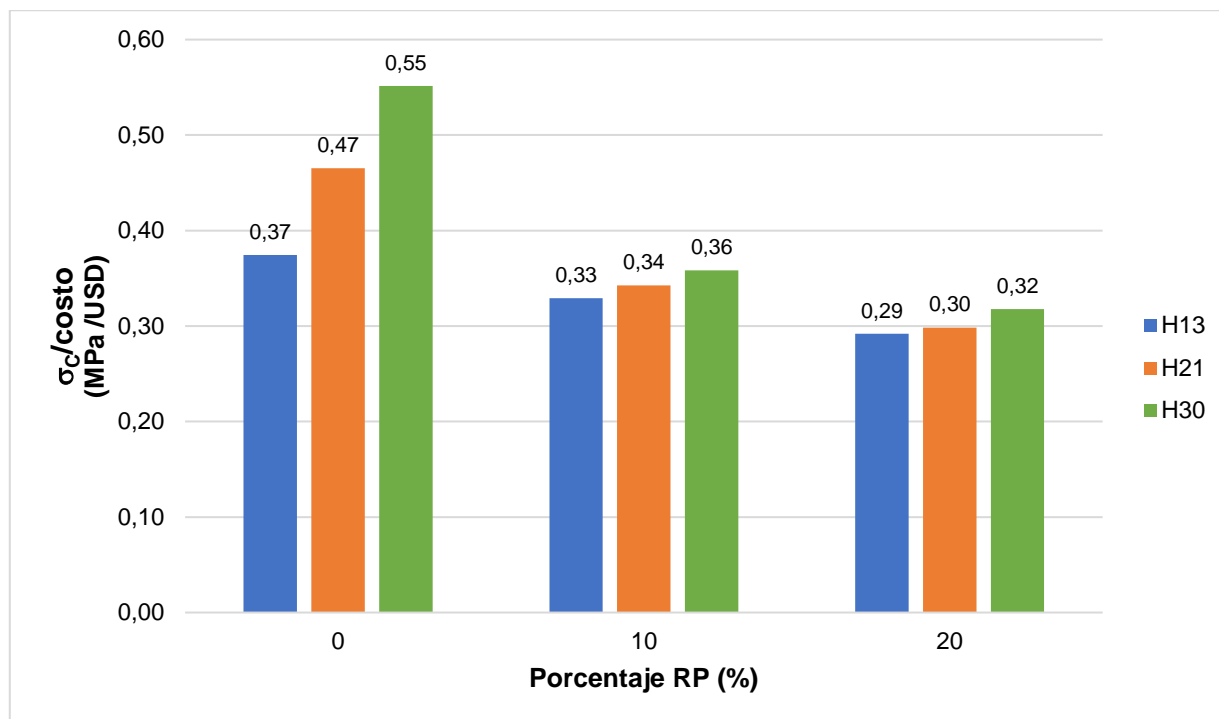


Figura 19. Relación resistencia a la compresión sobre el costo de 1 m³ de hormigón (σ_c /Costo)

7. CONCLUSIONES

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de incorporar residuos plásticos provenientes de autopartes en desuso sobre tres formulaciones de hormigón con diferente resistencia de diseño (H13, H21, y H30). A partir de los resultados experimentales se concluye que este residuo es un material alternativo a los agregados naturales en hormigones no estructurales para aplicaciones con baja resistencia de diseño como relleno o señalética.

Adicionalmente, el peso propio del hormigón se redujo al aumentar el porcentaje de residuo plástico, por lo cual puede ser utilizado de manera efectiva en aplicaciones en las que se requiere un menor peso.

Al analizar en conjunto las propiedades en estado fresco y endurecido y las características económicas de las mezclas se concluye que la formulación H13P10 es la que cuenta con mayor potencial de aplicaciones a escala industrial. Esto se debe a que tan solo sufrió una disminución del 11% en la resistencia con respecto a la mezcla base H13P0.

La producción de hormigón sostenible es factible tecno-económicamente, ya que la sustitución de agregados naturales por residuos plástico prácticamente no altera el precio por unidad volumétrica del hormigón.

Se aplicó de manera exitosa la formulación H13P10 en la confección de cordones para ciclovías, cumpliendo con las normas viales para dicha aplicación en la ciudad de Mar del Plata.

Más trabajo debe realizarse para estudiar residuos plásticos con diferente módulo finura sobre las propiedades en estado fresco y endurecido.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Schust C., Ramos M., Stefani P., “Reciclado de hormigón fresco mediante el uso de adición pelletizante”. *Revista Hormigón*, 61, (2022), 72-87.
- [2] Sánchez Soloaga I., Oshiro A., Positieri M., “The use of recycled plastic in concrete: An alternative to reduce the ecological footprint”, *Revista de la Construcción*, 13, 3, (2014), 19-26.
- [3] United States Geological Survey, “Construction Sand and Gravel Statistics and Information”. Disponible online en: <https://www.usgs.gov/centers/nmic/construction-sand-and-gravel-statistics-and-information> (acceso: 1 de noviembre de 2021).
- [4] United Nations Environment Programme (2019). Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources. United Nations Environment Programme. Disponible Online en: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28163/SandSust.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [5] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible Argentina, “Estrategia nacional de consumo y producción sostenibles”, disponible Online en: <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/encps.pdf>, (Acceso: 15 de noviembre de 2021).
- [6] Robles A., Arenas G., Stefani P., “Light Transmitting Cement-based Material (LTCM) as a green material for building”, *J Appl Res Eng Technol Eng*, 1, (2020), 9-14.
- [7] Karthikeyan M., Balamurali K., Barath Kumar V., Manoj Prabakar S. and Janarthanan R., “Utilization of Waste Plastic in Concrete” *IRJET*, 6, (2019), 1400-1405.
- [8] Kleijer A. L., Lasvaux S., Citherlet S., Viviani M., “Product-specific Life Cycle Assessment of ready mix concrete: Comparison between a recycled and an ordinary concrete”, *Resources, Conservation and Recycling*, 122, (2017), 210-218.
- [9] Tang W., Khavarian M., Yousefi A., y Cui H., “Self-Compacting Concrete: Materials, Properties and Applications”, *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, 1, (2020), 219-248.
- [10] Gardner S., Rolph P. (21 de octubre de 2021). “Drowning in Plastics – Marine Litter and Plastic Waste Vital Graphics”. UN Environment Programme. Disponible Online en: <https://www.unep.org/resources/report/drowning-plastics-marine-litter-and-plastic-waste-vital-graphics>
- [11] Abu-Saleem M., Zhuge Y., Hassanli R., Ellis M., Rahman M., Levett P., “Evaluation of concrete performance with different types of recycled plastic waste for kerb application” *Construction and Building Materials*, 293, (2021), 123477.
- [12] Belmokaddem M., Mahi A., Senhadji Y., Pekmezci B., “Mechanical and physical properties and morphology of concrete containing plastic waste as aggregate”, *Construction and Building Materials*, 257, (2020).
- [13] Hama S. M., Hilal N. N., “Fresh properties of self-compacting concrete with plastic waste as partial replacement of sand”, *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6, (2017), 299-308.
- [14] Safi B, Saidi M., Aboutaleb D., Maallem M., “The use of plastic waste as fine aggregate in the self-compacting mortars: Effect on physical and mechanical properties”, *Construction and Building Materials*, 43, (2013), 436–442.
- [15] Saikia N., De Brito J., “Mechanical properties and abrasion behavior of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate”, *Construction and Building Materials*, 52, (2014), 236–244.
- [16] Li X., Ling T., Mo K. H., “Functions and impacts of plastic/rubber wastes as eco-friendly aggregate in concrete - A review”, *Construction and Building Materials*, 240, (2020), 117869.
- [17] Treasa Shinu N. M., Needhidasan S., “An experimental study of replacing conventional coarse aggregate with E-waste plastic for M40 grade concrete using river sand”, *Materials Today: Proceedings*, 22, (2020), 633–638.
- [18] Arivalagan S., “Experimental Study on the Properties of Green Concrete by Replacement of EPlastic Waste as Aggregate”, *Procedia Computer Science*, 172, (2020), 985–990.
- [19] Needhidasan S., Vigneshwar C. R., Ramesh B., “Amalgamation of E-waste plastics in concrete with super plasticizer for better strength”, *Materials Today: Proceedings*, 22, (2020), 998–1003.

- [20] Azhdarpour A. M., Nikoudel M.R., Taheri M., "The effect of using polyethylene terephthalate particles on physical and strength-related properties of concrete; a laboratory evaluation", *Construction and Building Materials*, 109, (2016), 55–62.
- [21] Wawrzenczyk J., Molendowska A., Klak A., "Evaluation of the causes of concrete kerbs fast damage", *MS&E*, 471, (2019), 032023.
- [22] Soroushian J. P., Siavosh R., "Assessment of reinforcing effects of recycled plastic and paper in concrete", *ACI Mater. J.*, 100, (2003).
- [23] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2017). IRAM 50000. Cementos. Cementos para uso general. Composición y requisitos.
- [24] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2019). IRAM 50001. Cementos. Cementos con propiedades especiales. Requisitos.
- [25] García Pardo S., "Fractura y mecanismos de deformación de un polipropileno reforzado con cenizas y modificado con un copolímero de bloque", *Universidad de Coruña*, (2011), 120.
- [26] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2012). IRAM 1601. Agua para morteros y hormigones de cemento.
- [27] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2002). IRAM 1663. Hormigón de cemento. Aditivos químicos.
- [29] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2002). IRAM 1520. Agregados finos. Métodos de laboratorio para la determinación de la densidad relativa real, de la densidad relativa aparente y de la absorción de agua.
- [33] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2020). IRAM 1536. Hormigón fresco de cemento. Método de ensayo de la consistencia utilizando el tronco de cono.
- [34] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1988). IRAM 1602-2. Hormigón de cemento Portland. Método por presión para la determinación del contenido de aire en mezclas frescas de hormigones y morteros. Método B.
- [35] 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.
- [36] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1992). IRAM 1546. Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión.
- [37] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2013). IRAM 1512. Agregado fino para hormigón de cemento. Requisitos.
- [38] Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1996). IRAM 1531. Agregado grueso para hormigón de cemento. Requisitos y métodos de ensayo.
- [39] Sanchez C. (21 de junio). "Ultiman detalles para inaugurar la primera ciclovía". *La Capital*. Disponible Online en: <https://www.lacapitalmdp.com/ultiman-detalles-para-inaugurar-la-primera-ciclovía-en-mar-del-plata/>
- [40] Choi Y.W., Moon D.J., Chung J.S., Cho S.K. "Effects of pet waste bottles aggregate on the properties of concrete". *Cem Concr Res* 35, (2016), 776–81.
- [41] Mustafa M, Hanafi I, Mahmoud R, Tayeh B. "Effect of partial replacement of sand by plastic waste on impact resistance of concrete: experiment and simulation", *Structures*, 20, (2019), 519-526
- [42] Naciones Unidas, "Compromiso mundial para reducir los plásticos de un solo uso". Disponible Online en: <https://news.un.org/es/story/2019/03/1452961> (Acceso: 22 de noviembre de 2021).
- [43] Richardson A.R., "Compressive strength of concrete with polypropylene fibre additions, *Structural Survey*", 24, (2006), 138-153.
- [44] Akinyel J., Ajede A., "The use of granulated plastic waste in structural concrete", *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 10, (2018), 169-175.
- [45] Calvo Rosales I., "Estudio de la gestión de RSU y el circuito de plásticos post consumo en Mar del Plata", Trabajo Final de Ingeniería en Materiales, UNMdP, (2021), 25.
- [46] Colangelo F., Cioffi R., Liguori B., Iucolano F., "Recycled polyolefins waste as aggregates for lightweight concrete", *Composites Part B: Engineering*, 106, (2016), 234–241.

- [47] Aldahdooh M.A.A., Jamrah A., Alnuaimi A., Martini M.I., Ahmed M.S.R., Ahmed A.S.R., "Influence of various plastics-waste aggregates on properties of normal concrete", *Journal of Building Engineering*, 17, (2018), 13–22.
- [48] Islam M.J., Meherier M.S., Islam A.K.M.R., "Effects of waste PET as coarse aggregate on the fresh and harden properties of concrete". *Construction and Building Materials*, 125, (2016), 946–951.
- [49] Tamajón-Reyes, Carlos Héctor, Quevedo-Lora, Fidel Raúl, "Estudio del impacto ambiental de un colector solar de polipropileno". *Ciencia en su PC*, 2007, (4), 53-66. ISSN: 1027-2887. Disponible Online en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181320170006>

ANEXOS

1. Metodologías de ensayo de áridos y ensayos de hormigón fresco y endurecido

1.1. Método de cuarteo

Las muestras de árido para realizar los ensayos fueron tomadas de la norma IRAM 1509:2006 [28]. Se realiza el cuarteo para conseguir que las muestras sean lo más representativas y homogéneas posible.

El método consiste en colocar la muestra sobre una superficie dura y limpia, formando una pila cónica mediante sucesivos vertidos del material sobre el vértice del cono que se va formando. Con el reverso de la pala se aplana el cono hasta lograr un espesor uniforme. Luego se divide la muestra en cuatro cuartos, trazando dos diámetros perpendiculares. Se extraen dos cuartos opuestos y se mezclan los dos cuartos remanentes. Se repite este proceso hasta alcanzar el volumen de muestra deseado. En la Figura 1A se resume gráficamente el método.



Figura 1A. Método de cuarteo

1.2. Cálculo de absorción y densidad de los agregados

1.2.1. Agregado fino

La normativa que rige la obtención de la densidad y absorción del árido fino es la IRAM 1520:2002 [29].

Se preparan 500 g de muestra utilizando el método de cuarteo (Anexo 1) y se estaciona la arena sumergida en agua durante 24hs. Una vez saturada, se decanta el exceso de agua con cuidado para evitar la pérdida de material. Se esparce la muestra en una superficie

plana, no absorbente. Se seca la arena con corriente de aire caliente y se remueve constantemente hasta lograr la condición de saturado superficie seca (SSS). Este estado se refiere a la condición en la que los poros permeables se encuentran saturados de agua y la superficie de las partículas se encuentra seca. Se llega a esta condición cuando se forma una pila de arena de forma cónica y con generatriz recta luego de retirar el molde troncocónico y golpear la muestra con la varilla de compactación.

Se sujeta el molde firmemente con el diámetro mayor hacia abajo, se coloca hasta el desborde el agregado fino parcialmente seco y suelto dentro del molde. Se apisona la arena dentro del molde con 25 golpes ligeros del pisón. Se remueve la arena suelta de la base y se levanta el molde verticalmente. Un desplome ligero del agregado indica que ya ha alcanzado la condición SSS. En la Figura 2A se muestran las tres condiciones posibles.



Figura 2A. a) condición saturada; b) condición SSS; c) condición seca

Se pesan 50 ± 10 g en condición SSS y se registra la masa (m_s). Se coloca la muestra en un matraz aforado; se pesa el conjunto y se registra la masa (m_1). Luego se llena de agua a 20 ± 2 °C hasta alcanzar la marca de 500 cm^3 . Se remueve periódicamente durante una hora para eliminar el aire retenido. Se completa con agua hasta el aforo y se pesa el conjunto, se registra la masa (m_2). Se retira el material del recipiente y se deja secar en estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta peso constante. Finalmente, se pesa y se registra la masa de agregado seca (m).

La densidad relativa SSS ($\rho_{rel \text{ SSS}}$) y la absorción (Abs) se obtienen según las siguientes ecuaciones (Ecuación 1A y Ecuación 2A respectivamente).

Ecuación 1A. Densidad relativa SSS arena

$$\rho_{relSSS} = \frac{m_s}{\left(500 \text{ cm}^3 - \frac{m_2 - m_1}{\rho_{agua}}\right) \cdot \rho_{agua}}$$

Ecuación 2A. Absorción arena

$$Abs(\%) = \frac{ms - m}{m} \cdot 100\%$$

1.2.2. Agregado grueso

La normativa que rige la obtención de la densidad y absorción del árido grueso es la IRAM 1533:2002 [30].

En primer lugar, se realiza el cuarteo de la muestra de piedra hasta obtener una masa adecuada según el tamaño máximo nominal (Anexo 1). Luego, se procede al lavado de los áridos hasta eliminar completamente los polvos y se sumergen en agua durante 24 hs. Una vez las piedras se encuentran en condición saturada se procede a secar superficialmente con paño absorbente hasta alcanzar el estado saturado superficie seca (SSS), en el cual las piedras permanecen húmedas, pero sin restos de agua libre en la superficie y se pesa una muestra del agregado en la condición SSS (ms).

A continuación, se pesan los áridos dentro de una cesta de alambre sumergida en agua, como se muestra en la Figura 3A (ma).



Figura 3A. Muestra en cesta de alambre

Finalmente, se seca la muestra en estufa a 110 ± 5 °C hasta peso constante y se registra el valor m .

El cálculo de densidad se basa en el Principio de Arquímedes.

La densidad relativa SSS (ρ_{rel} SSS) se calcula como indica la Ecuación 3A.

Ecuación 3A. Densidad relativa SSS piedra

$$\rho_{rel}SSS = \frac{ms}{ms - ma}$$

La absorción de la piedra (Abs) se calcula como indica la Ecuación 4A.

Ecuación 4A. Absorción arena

$$Abs(\%) = \frac{ms - m}{m} \cdot 100\%$$

1.3. Granulometría, tamaño máximo nominal y módulo de finura

La distribución de tamaños de agregados se determina según la normal IRAM 1505:2005 [31]. En primer lugar, se realiza el proceso de cuarteo de una muestra seca hasta obtener la masa necesaria (aproximadamente 1 kg) según el tamaño del agregado (Anexo 1). A continuación, se vierte la muestra del árido sobre los tamices normalizados ordenados en tamaño decreciente de abertura (Figura 4A), conformados por los tamices IRAM 37,5 mm, IRAM 25 mm, IRAM 19 mm, IRAM 12,5 mm, IRAM 9,5 mm, IRAM 4,75 mm, IRAM 2,36 mm, IRAM 1,18 mm, IRAM 600 μ m, IRAM 300 μ m, IRAM 150 μ m y el fondo.



Figura 4A. Tamices normalizados

Se agita el conjunto con una máquina vibradora o manualmente durante diez minutos.

Se debe pesar y registrar el material retenido en cada tamiz. Finalmente, se calcula el porcentaje retenido, porcentaje retenido acumulado y porcentaje pasante acumulado de cada tamiz. A partir de estos datos se construye la curva granulométrica y se determina el tamaño máximo nominal (TM) y módulo de finura (MF).

El tamaño máximo nominal (TM) corresponde a la abertura del menor tamiz inmediatamente menor que el tamaño máximo absoluto del árido, cuando por dicho tamiz pase el 90% o más de la masa de un árido.

El módulo de finura (MF) es un índice de la finura de un agregado. Entre mayor sea el MF, más grueso será el agregado. Se calcula como la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices IRAM 150 µm, IRAM 300 µm, IRAM 600 µm, IRAM 1,18 mm, IRAM 2,36 mm, IRAM 4,75 mm, IRAM 9,5 mm, IRAM 19 mm, IRAM 37,5 mm y más grandes, aumentando en la proporción de 2 a 1. Luego, se divide la suma por 100.

1.4. Determinación del peso por unidad de volumen (PUV)

Se determina según la norma IRAM 1562:2012 [32]. En primer lugar, se debe calibrar y tarar un recipiente de volumen conocido (V). Luego se procede al llenado del recipiente con tres capas de mezcla. Cada capa debe ser varillada 25 veces y se golpea al molde de forma lateral con un martillo de goma. Se enrasa el recipiente y se pesa el conjunto (P). El PUV se obtiene según la Ecuación 5A.

Ecuación 5A. Cálculo PUV

$$PUV = \frac{P}{V}$$

En la Figura 5A se observa un recipiente calibrado lleno con la mezcla.



Figura 5A. Recipiente calibrado lleno para obtención de PUV

1.5. Medida del asentamiento

La norma IRAM 1536:2020 [33] estipula la manera de determinar el asentamiento de una mezcla de hormigón en estado fresco. Se necesita una varilla de compactación, una regla y un cono de Abrams.

Se moja la superficie interna del cono de Abrams, se lo coloca sobre una superficie firme con el diámetro mayor hacia abajo y se llena en tres capas, varillando 25 veces cada una. Se enrasa la superficie y se retira el cono a velocidad constante en dirección vertical. Se voltea el cono a un lado y se mide la diferencia de altura, en cm, entre el cono de hormigón en estado fresco obtenido y el molde, tal como muestra la Figura 6A.



Figura 6A. Medida de asentamiento con cono de Abrams

1.6. Medida del contenido de aire con aparato de Washington

Se determina el contenido de aire de una mezcla de concreto según indica la norma IRAM 1602-2:1988 [34]. Se llena (en 3 capas) consolidando a tope el hormigón, de modo normalizado, un recipiente de volumen conocido. El recipiente es conocido como aparato de Washington y se muestra en la Figura 7A.



Figura 7A. Recipiente con medidor de aire tipo B

Luego se coloca y se sella la tapa. A continuación, se agrega agua a de modo de llenar completamente el espacio entre el hormigón y la tapa, hasta que salga agua por el rubinete opuesto. Se presuriza la cámara de aire, regulando hasta alcanzar la presión inicial P_0 con la aguja del manómetro. Se cierran los rubinetes y finalmente se ponen en comunicación la cámara de presión con el recipiente, bajando de P_0 a P_f . La caída de presión en la cámara de aire ($P_0 - P_f$) será mayor cuanto mayor sea el contenido de aire (fase compresible).

Este ensayo aplica la ley de Boyle, que establece que, a temperatura constante, el volumen de una masa fija de gas es inversamente proporcional a la presión que este ejerce. Por eso al conocer la presión de aire necesaria para correr el volumen de agua que está ocupando los huecos, se puede calcular el porcentaje de aire en la mezcla.

1.7. Método de preparación y curado de probetas para ensayo

La norma IRAM 1534:2004 [35] establece la manera de preparar y curar las probetas para ensayos de laboratorio. Se debe engrasar la superficie interna de los moldes. Se pueden utilizar tanto los de 10 cm de diámetro por 20 cm de alto como los de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto (Figura 8A). Las probetas para ensayo, por lo tanto, tienen una relación de esbeltez igual a dos.



Figura 8A. Moldes para confección de probetas

Se llenan los probeteros con dos capas de material, cada una compactada con 25 varillados y golpes laterales del molde con martillo de goma. Este paso es importante porque logra asimilarse la compactación de la probeta con la que tendrá el hormigón una vez colocado para sus aplicaciones habituales. Luego se enrasa el molde y se deja reposar 24 hs al resguardo de la intemperie, tiempo en el que sucede el fraguado (Figura 9A).



Figura 9A. Moldes llenos para confección de probetas

Una vez fraguado, se procede a desmoldar. Finalmente, se curan las probetas en una pileta hasta el momento del ensayo. En la Figura 10A se muestra el curado de las probetas.



Figura 10A. Curado de probetas

1.8. Medida de la resistencia a la compresión de probetas normalizadas de hormigón

La norma IRAM 1546:1992 [36] indica los pasos a seguir para obtener la resistencia mecánica de probetas de hormigón. En primer lugar, se registran las medidas de las probetas (diámetro d y altura h). Se apoyan las probetas sobre los cabezales de caucho y se coloca la probeta en la prensa, asegurándose que las superficies de apoyo de la prensa estén limpias. Luego se aplica carga de forma constante con la prensa hidráulica hasta la rotura de la muestra. Finalmente, se registra la carga máxima alcanzada ($F_{m\acute{a}x}$) y el tipo de rotura que sufrió la probeta.

La resistencia a la compresión se obtiene según la Ecuación 6A.

Ecuación 6A. Resistencia a la compresión ($\sigma_{compresión}$) de probetas de ensayo

$$\sigma_{compresión} = \frac{F_{máx}}{\pi \cdot d^2}$$

En la Figura 11A se muestra la rotura de una probeta ensayada por compresión.



Figura 11A. Ensayo de compresión

Como medida estándar se mide la resistencia de probetas pasados 7 o 28 días de su conformación.

2. Tablas y ábacos método ICPA

Tabla 1A. Distribución granulométrica de la mezcla de agregados y límites de referencia establecidos por la norma IRAM 1627:1997 correspondiente a 19 mm de tamaño máximo.

| Abertura (mm) | Norma IRAM 1627:1997 | | TM 19 mm |
|---------------|----------------------|---------|----------|
| | % QUE PASA | | |
| | Curva A | Curva B | Curva C |
| 75 | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 63 | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 50 | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 37,5 | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 25 | 100,0% | 100,0% | 100,0% |
| 19 | 94,0% | 97,0% | 100,0% |
| 12,5 | 70,0% | 77,0% | 93,0% |
| 9,5 | 55,0% | 65,0% | 86,0% |
| 4,75 | 41,0% | 46,0% | 72,0% |
| 2,36 | 32,0% | 43,0% | 58,0% |
| 1,18 | 22,0% | 36,0% | 44,0% |
| 0,6 | 11,0% | 24,0% | 28,0% |
| 0,3 | 4,0% | 10,0% | 15,0% |
| 0,15 | 1,0% | 2,0% | 4,0% |

Tabla 2A. Tabla de proporciones de la mezcla

| Componente | Peso para 1 m ³ de hormigón (kg) | ρ (kg/l) | Volumen sólido (l) | Peso(sss) por m ³ de hormigón (kg) | Peso húmedo para 1 m ³ (kg) | Abs (%) | Hum (%) |
|------------|---|---------------|--------------------|---|--|---------|---------|
| Agua | | | | | | | |
| Cemento | | | | | | | |
| Agregado 1 | | | | | | | |
| Agregado 2 | | | | | | | |
| Agregado 3 | | | | | | | |
| Aire | | | | | | | |
| Aditivo | | | | | | | |
| SUMA | | | | | | | |

Tabla 3A. Razones agua/cemento máximas especificadas por razones de durabilidad o por otros motivos

| Condición de exposición | a/c máx (en peso) | Observaciones |
|--|----------------------|---------------|
| Frecuente o continuamente humedecido y expuesto a los efectos de la congelación y deshielo <ul style="list-style-type: none"> • secciones de espesor menor de 500 mm o con recubrimientos libres de las armaduras menores de 25 mm, y todo hormigón expuesto a la acción de sales descongelantes • Todo otro tipo de estructuras | 0,45 0,50 | (1) (2) |
| Estructuras expuestas al aire, a la intemperie, clima lluvioso o semiárido. Sólo por excepción temperaturas < 0 ° C | 0,53 | |

Tabla 3A. Continuación

| Condición de exposición | a/c máx (en peso) | Observaciones |
|--|----------------------|-------------------|
| Cisternas y depósitos para agua, conductos, tuberías y toda estructura que deba resultar impermeable y estar destinada a contener agua o soluciones no agresivas : <ul style="list-style-type: none"> • espesores de 100 a 400 mm • espesores mayores | 0,48 0,53 | |
| Fundaciones de hormigón armado o pretensado y otras estructuras enterradas en contacto con : <ul style="list-style-type: none"> • aguas o suelos húmedos, no agresivos • agua de mar | 0,50 0,45 | (3) |
| Estructuras en ambientes cerrados con frecuentes contactos con aire muy húmedo y fuertes condensaciones a temperatura ambiente (cocinas industriales, baños públicos, lavaderos, ambientes húmedos de natatorios y establos) | 0,53 | |
| En contacto con sulfatos solubles en agua : <ul style="list-style-type: none"> • Ataque débil o moderado. Concentraciones de sulfato (como SO_4^{2-}), en muestras de suelos, comprendidas entre 0,10 y 0,20 % en masa (1000 y 2000 mg/kg), o entre 200 y 1500 ppm (mg/l) en muestras de agua • Ataque fuerte, idem, en muestras de suelos comprendidas entre 0,2 % y 2,0 % en masa (2000 a 20000 mg/kg), o entre 1500 y 10000 ppm (mg/l) en muestras de agua • Ataque muy fuerte. Idem, en muestras de suelos mayores de 2,0 % (20000 mg/kg) o de 10000 ppm (mg/l) en muestras de agua | 0,53 0,45 0,45 | (3) (4) (5) |
| • En contacto con otras sustancias o líquidos químicamente agresivos (agresión ácida, etc.) | 0,40 | (6) |
| • Hormigón colocado bajo agua mediante el método de tolva y tubería vertical | 0,45 | |

(1) y (2) Hormigón con aire intencionalmente incorporado

(3) Cemento Portland MRS

(4) Cemento Portland ARS

(5) Conviene CP Puzolánico + ARS

(6) Se recomienda que la estructura esté protegida por una membrana impermeable, capaz de resistir la agresión. En general, el hormigón no tiene capacidad de resistir la agresión ácida.

Figura 13A. Ábaco 1: demanda de agua del hormigón en función del asentamiento y el MF del agregado total

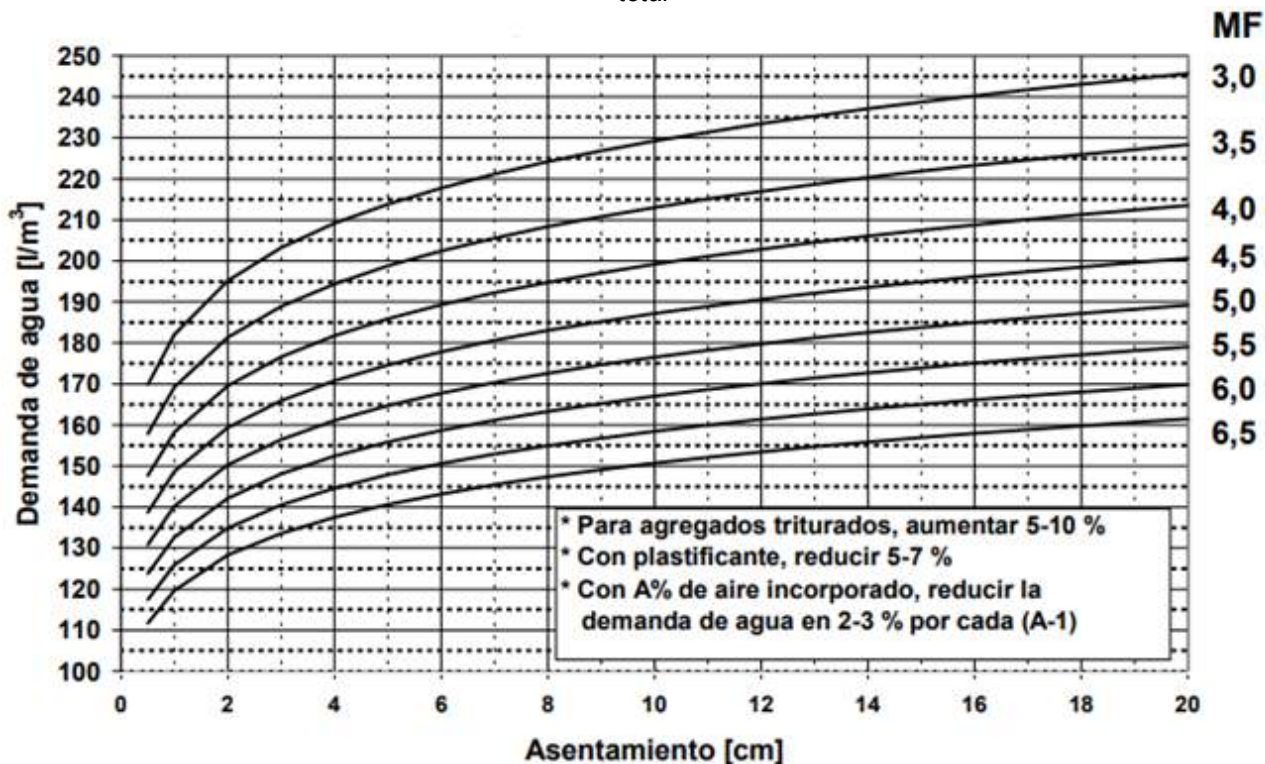
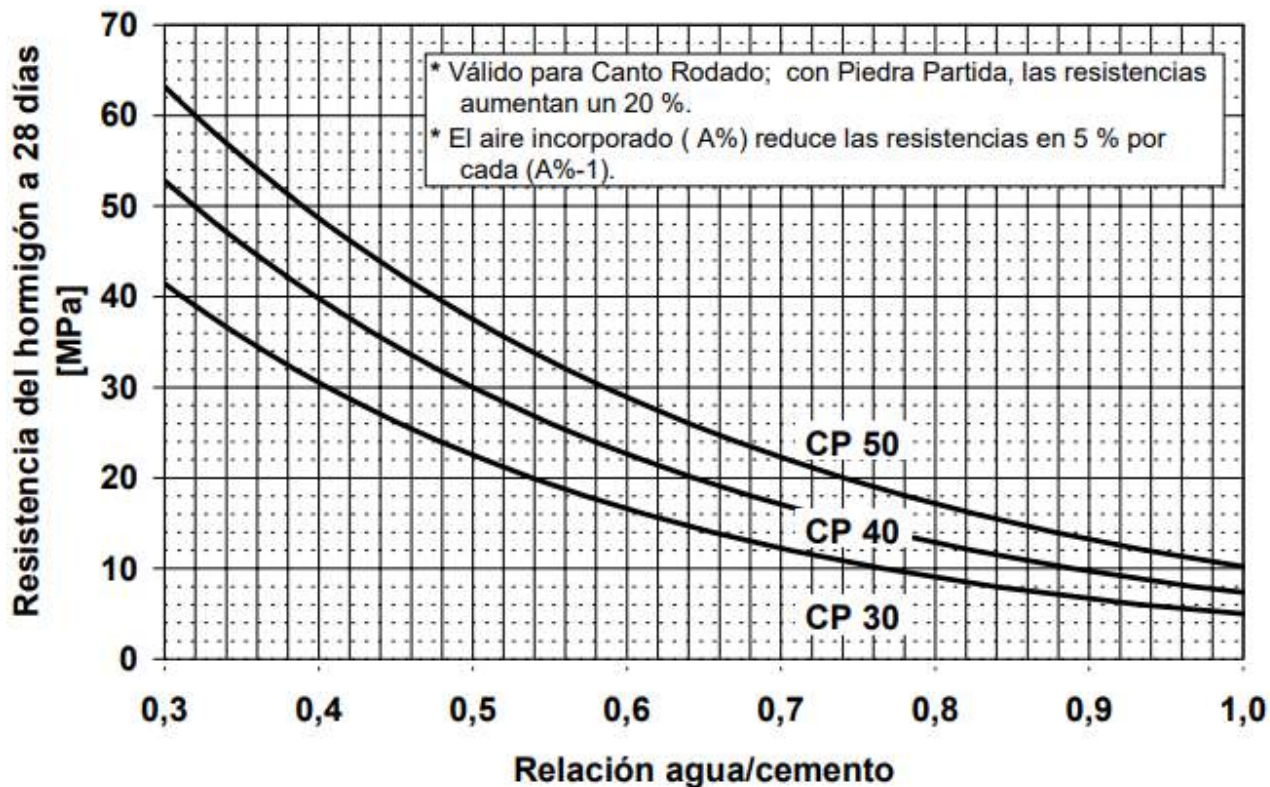


Figura 14A. Ábaco 2: relación a/c vs resistencia del hormigón a la edad de 28 días para distintas categorías de cemento



3. Fichas técnicas

3.1. Cemento



una empresa  InterCement

Ficha Técnica

CEMENTO PORTLAND COMPUESTO

CPC40 IRAM 50.000

DEFINICIÓN

Conglomerante hidráulico que contiene al clínker pórtland como constituyente necesario, pequeñas cantidades de sulfato de calcio, con hasta un 35 % de dos o más adiciones minerales. Es un material inorgánico finamente dividido que, una vez endurecido, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

PROPIEDADES

Cumple los requerimientos de resistencia de la categoría 40, es decir, se asegura la obtención de más de 40 MPa (408 kg/cm²) en las condiciones descriptas en la norma IRAM 50.000.

USOS

Este cemento pórtland es de uso general en la construcción siempre que no existan condiciones especiales de exposición que justifiquen el uso de cemento pórtland con propiedades especiales (ataque por sulfatos, utilización de agregados potencialmente reactivos en hormigones sometidos a ambientes húmedos, elementos masivos, etc.). Habitualmente se lo utiliza en obras convencionales (casas, edificios, pisos, pavimentos, etc.) y en la industria del hormigón elaborado.

CONSEJOS

Se aconseja dosificar en peso a fin de obtener resultados óptimos. En obras pequeñas, para la construcción de vigas de encadenado, dinteles, capas de compresión o elementos no estructurales, puede dosificarse los agregados en volumen aparente y el cemento pórtland en bolsas enteras. Luego de preparados los morteros u hormigones es necesario realizar un cuidadoso curado de los mismos. Si el curado se realiza a vapor se reducirá su tiempo de duración aumentando sensiblemente la resistencia temprana del hormigón.

PRESENTACIÓN

Bolsas de 50 kg de peso neto o a granel

01



una empresa  InterCement

Ficha Técnica

CEMENTO PORTLAND COMPUESTO

CPC40 IRAM 50.000

Para asegurar una buena conservación, el cemento pórtland envasado se debe estibar bajo techo, separado del piso y las paredes, y protegido de corrientes de aires húmedo.

SEGURIDAD

Evitar su inhalación. Evitar la formación de nubes de polvo. En ambientes pulverulentos se recomienda el uso de mascarillas. Evitar el contacto con la piel por medio de ropa protectora, guantes, anteojos y calzado de seguridad.



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 necesitan 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 amacado del 7 al 30%.
- Retarda levemente el principio del fraguado, permitiendo un mejor desarrollo de resistencias mecánicas.

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.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Presentación

Balde de 20 Kg.
Tambor de 220 kg.
Granel de 1.000 kg a pedido

Aspecto / Color

Líquido / Marrón oscuro

Vida útil

24 meses desde la fecha de fabricación.

Hoja técnica

Sikacrete® PLUS

02.04.04.0001, Versión 03.01.
02.04.04.001.00000000.0

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.

Densidad

1,11 kg/l (a 20° C)

pH

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

| | Patrón | con Sikacrete® PLUS |
|--|---------------|----------------------------|
| 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 330 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

Sika®
Sikacrete® PLUS
 Octubre 2008, versión 04.01.
 021.00001.00000000.0



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 fisuraciones 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
Sikacrete® PLUS, versión 03.01
0211-010101-010101010101010101

3 / 4

BUILDING TRUST



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 quien las solicite.

Sika Argentina S.A.S.

www.sika.com.ar

Avenida Saavedra 4560 - 1200

Buenos Aires, Capital Federal

Teléfono: 011-4300

Atención al Cliente: 011-4300/1010

sika.gps@argentina.sika.com



Asociación de
Usuarios de
Productos
Sika



Asociación de
Usuarios de
Productos
Sika



Asociación de
Usuarios de
Productos
Sika

Empresas

División PLUS

Av. Sarmiento 2000 - 1617 - Buenos Aires, Argentina

011-4300/1010

4 / 4

18A00007028-41-001 (30-01-2017) 1-4.pdf

BUILDING TRUST

