

## **ENSAYO DE DOSIFICACIONES PARA BLOQUES, LADRILLOS Y CONTRAPISOS DE HORMIGON CON DESECHOS PLASTICOS Y FINOS DE PERLITAS**

**Andrés E. Díaz<sup>1</sup> y Alejandro L. Hernández<sup>2</sup>**

Instituto de Investigaciones de Energía No Convencional (INENCO)  
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)  
Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta –CIUNSa  
Av. Bolívia 5150, C.P. 4400 – Salta  
Tel. 0387- 4255579 – Fax: 0387- 4255489. E-mail: andresmadara86@gmail.com

*Recibido 09/08/18, aceptado 26/09/18*

**RESUMEN:** En Salta Capital se arrojan 58 toneladas diarias de plástico, se recuperan solo 5 toneladas diarias. Los cuales son reciclados por tres cooperativas y un programa provincial. En la producción de Perlita Expandida el 20% de la perlita cruda se desperdician. Se propone como solución el desarrollo de mezclas de hormigón para la fabricación de ladrillos, bloques y contrapisos con agregados de Polietileno de Alta y de Baja Densidad y Finos de Perlita. Los agregados gruesos y finos fueron reemplazados en diversos porcentajes de volumen de mezcla por los plásticos reciclados. Se utilizó Perlita cruda en sustitución de una parte del cemento. Se desarrollaron 7 probetas por cada dosificación bajo Normas IRAM para el ensayo mecánico correspondiente a 7 y 28 días de curado. La densidad del hormigón bajo con el agregado de plástico y perlita. Las dosificaciones con 19% de agregado plástico superaron la mínima requerida para la resistencia a la compresión.

**Palabras clave:** Dosificaciones de hormigón, Ladrillos y Bloques, Polietileno de Alta y Baja Densidad, Perlita, Reciclaje.

### **1. INTRODUCCION**

La construcción de la mampostería, que es una acumulación vertical de unidades de bloques o ladrillos y mortero, ha sido una técnica popular durante milenios porque otorga una construcción rápida, eficiente, duradera y económica. La continuación de esta tendencia histórica es posible siempre que la industria de mampostería siga siendo económica y sustentable. Para cumplir este objetivo, la industria de mampostería necesita explorar métodos alternativos que permitan la reducción de materiales no renovables, la energía utilizada en la producción de las unidades de bloque de hormigón y el costo de mano de obra, mientras se mantienen los mismos requisitos de rendimiento. Este estudio investiga el uso de materiales reciclados como alternativas para agregar y cementar en la producción de unidades de bloques y ladrillos de concreto, como así también en los contrapisos o pisos de hormigón.

El plástico es un material que forma parte en nuestra vida. Se usa en la industria automovilística, electrónica, edificios, etc. La producción de este material aumentó exponencialmente en los últimos años, lo cual ha llevado a un gran problema ambiental. El desecho de plástico no es un material biodegradable. Reciclar los desechos de plástico para producir nuevos materiales es una de las soluciones para deshacerse de las montañas de basura. Se realizaron varias investigaciones sobre el uso de diversos residuos de plástico como rellenos o agregados en hormigón, como el Tereftalato de polietileno (PET), (Choi, 2005), Poliestireno (PS), (Tang, 2008), Poliestireno Expandido, (Kan, 2009), Cloruro de Polivinilo (PVC), (Kou, 2009), Polietileno de Baja Densidad (LDPE, del inglés Low Density Polythene) (Chaudhary, 2014), Polietileno de Alta Densidad (HDPE, del inglés High Density Polythene) (Chaudhary, 2014).

---

<sup>1</sup> Becario Doctoral del CONICET.

<sup>2</sup> Investigador Independiente del CONICET.

Density Polythene) (Naik, 1996), en residuos de E-plastic (plástico de alto impacto), en morteros (PET). Las investigaciones indicaron que el plástico reciclado podría reutilizarse como sustitutos parciales de la arena o agregado grueso, (Albano, 2009).

Las investigaciones revelaron que la incorporación de cualquier tipo forma o tamaño de los plásticos reciclados como agregados disminuye la densidad seca o densidad aparente, (Choi, 2005). Se obtuvieron una disminución del 29% en la resistencia a la compresión cuando el 15% del agregado grueso fue reemplazado por un agregado de polímero de reciclado post consumo con una relación agua / cemento de 0,42; sin embargo. Cabe señalar que la mayoría de las investigaciones sobre el uso de agregados de polímeros se han realizado sobre tereftalato de polietileno, comúnmente conocido como PET; el polímero utilizado para fabricar botellas de plástico. Otros polímeros, como el polietileno de baja y alta densidad, que poseen diferentes propiedades, no se han estudiado a fondo en esta aplicación.

(Ismail, 2008) propuso el uso de plásticos reciclados como reemplazo de agregados finos en concreto en un 10, 15 y 20%. Los resultados muestran que la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión disminuyen al aumentar la cantidad de agregados de plástico reciclado. (Da Silva, de Brito, R. Veiga, 2014) estudiaron la utilización de residuos de plástico de alto impacto como áridos finos y gruesos en concreto con un porcentaje de reemplazo que varía entre 0%, 10%, 20 y 30%, el estudio también muestra que las propiedades mecánicas del concreto contienen los desechos de plásticos E son más bajos que el concreto sin estos desechos.

Varios review están disponibles sobre el uso de los plásticos reciclados en la fabricación de hormigón o mortero, (Sharma R., 2016). En este trabajo se ensayó hormigón con agregados de HDPE y LDPE, también se propone el estudio sobre elementos cementicios con la incorporación de adiciones residuales como el uso de perlita natural sin procesar, (Burgos, Fernández y Aramayo, 2015).

Los estudios relacionados con hormigón sustentable, con sustitución del agregado grueso y fino por plásticos reciclados de Polietileno de Alta y Baja Densidad más finos de Perlita, se caracterizan por ser innovadores ya que existe una deficiencia de investigaciones con este tipo de residuo plástico y poca bibliografía al respecto.

## **2. METODOLOGÍA Y MATERIALES**

El desafío de este ensayo es realizar una mezcla con la incorporación de plástico reciclado y perlita sin expandirse, como reemplazo del agregado grueso, fino y de cemento, y que conserve sus características reológicas en estado fresco, aplicando las normas IRAM 1536, 1562 y 1662. En estado endurecido el objetivo es lograr un hormigón estructural que es el ingrediente de los bloques de hormigón, siguiendo las normas IRAM 11556 “Mampostería de bloques de hormigón” y la Norma IRAM 11561 “bloques huecos de hormigón” en donde especifican una resistencia mínima a la compresión en la sección bruta de los bloques de 50 Kg/cm<sup>2</sup> (5 MPa) a la edad de 28 días. Con la norma IRAM 1546:1992 se realizó el ensayo de compresión axial a los 7 días y 28 días.

Se fabricaron varias familias de hormigones en función de los plásticos y perlita disponibles, para poder estudiar el efecto que tienen dentro de la mezcla cementicia. Variando en la relación agua/cemento, porcentaje de áridos gruesos y finos, y finalmente el reemplazo de cemento por perlita; se orientó más específicamente en la trabajabilidad de la mezcla, ya que el hormigón será destinado para la fabricación de ladrillos de hormigón prensados y bloques diseñados en máquinas de alta vibración. También prestando atención a la disminución de la densidad y la conductividad térmica.

*Cemento pórtland*; Se trabajó con el tipo de cemento denominado según la norma IRAM 50000 (2010) como cemento portland compuesto (CPC30), cuya elección se debe a la disponibilidad y fácil acceso en el mercado local. Se obtiene mediante la molienda de Clinker pórtland y pequeñas cantidades de sulfato de calcio, más un porcentaje máximo de hasta 35% de una combinación de al menos dos de las siguientes adiciones Minerales: Escoria granulada de Alto Horno, Puzolanas y/o Filler Calcáreo. Entre sus usos están estructuras en general, albañilería, suelo cemento, elementos

prefabricados, bloques, Tejas de hormigón, etc. Se analizaron mezclas con contenidos de 260 Kg de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón, su densidad es 3,10 Kg/dm<sup>3</sup>.

*Materiales reciclados*; Para este trabajo se utilizaron dos tipos de plásticos reciclados provenientes de dos plantas recicladoras situadas en la ciudad de Salta Capital. A continuación, se detallan las características de los plásticos utilizados:

*Polietileno (PE)*; Es químicamente el polímero más simple. Se obtiene de la polimerización del etileno, de fórmula química CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub> y llamado eteno por la IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada), del que deriva su nombre. Según el proceso de polimerización pueden producirse resinas plásticas de alta o baja densidad. Es una poliolefina, un termoplástico semicristalino, que se caracteriza por una buena resistencia química y buen aislamiento eléctrico. La dureza del polietileno es una consecuencia de su estructura cristalina. Cuanto mayor es su estructura cristalina, tanto más duro y rígido es el producto. Se puede transformar con facilidad por los sistemas convencionales de producción. Es uno de los grupos de plásticos más utilizados en diferentes aplicaciones.

*Polietileno de Alta Densidad (HDPE)*: Se produce por proceso de polimerización a bajas presiones. Actualmente se define solamente por su rango de densidad que va desde 0,941 g/cm<sup>3</sup> hasta 0,965 g/cm<sup>3</sup>. Es una poliolefina de cadenas lineales; utilizado para fabricar botellas de leche, jugo, agua y productos de limpieza. Las botellas de PEAD no pigmentadas son translúcidas, muy buenas barreras al vapor de agua y duras. Las pigmentadas son de mayor resistencia química que las no pigmentadas, propiedad necesaria para el envasado de artículos de limpieza. Los productos de HDPE fabricados por inyección son resistentes a quebraduras y deformación, (Sánchez, 2015). En este trabajo se utilizó el HDPE reciclado proveniente de la planta recicladora de PETIT Salta. En la Figura 1 se muestra el tamaño de ambos polietilenos.

*Polietileno de Baja Densidad (LDPE)*: Se produce por el proceso de polimerización a alta presión. Según este proceso se fabrica la mayor parte del polietileno. Actualmente se define solamente por su rango de densidad que va desde 0,910 g/cm<sup>3</sup> hasta 0,925 g/cm<sup>3</sup>. Es un plástico que se utiliza principalmente para la fabricación de películas (films) debido a su tenacidad, flexibilidad y relativa transparencia. El LDPE alcanza un punto de fusión elevado, lo cual le otorga preferencia en la opción para aplicaciones donde se necesita sellado térmico, (Sánchez, 2015). Se usa comúnmente para fabricar películas flexibles para bolsas de venta por menor u otras. EL LDPE también se utiliza en diferentes películas coextrudadas o laminadas que se utilizan para el envasado de diferentes productos alimenticios, cosméticos, etc.). El LDPE utilizado proviene de la planta recicladora ECO NORTE S.R.L., Figura 1.

En el vertedero San Javier de la Ciudad de Salta, tres Cooperativas de Reciclado e Inclusión trabajan para la recogida y clasificación de materiales reciclables, como así también para el procesamiento y el envío a las plantas recicladoras. La mayor parte del material recogido procede del trabajo informal de los cartoneros o la recogida selectiva de los programas municipales como el programa “Separemos Juntos”.



Figura 1; A la izquierda el LDPE y a la derecha de color verde el HDPE.

Las cooperativas del Vertedero reciclan los materiales y vende el material a recicladores privados como ECONORTE SRL y PETIT Salta, quienes realizan el siguiente proceso:

- Selección manual.
- Trituración bajo chorro de agua.
- Extrusión.
- Granulado (rigidez, fluidez, color).

El sistema se inicia con una selección manual de los plásticos; luego se alimenta con esta materia prima la trituradora, se realiza la trituración y desmenuzamiento mediante calor y chorro de agua; luego el material se transporta hasta un recipiente donde se distribuye y enfría. Una vez enfriado el material es introducido en la extrusora que ablanda el material convirtiéndolo en rolos de plástico. El material sale caliente y es transportado en un medio refrigerante, luego se lo introduce en un molino donde se tritura hasta la forma final de pellets, para ser envasado y suministrado como materia prima, Fig. 1.

*Granulometría del plástico;* La granulometría de los plásticos reciclados se procedió de igual manera que para los agregados de peso normal según norma IRAM 1505, 2005.

*Adiciones minerales;* El mineral de Perlita es una roca de origen volcánico, con la propiedad saliente de tener del 2 al 7 % de agua en estado de adsorción. Este mineral tiene la propiedad de expandirse cuando se lo calienta lo suficiente. En la provincia de Salta están asentada 9 de las 10 compañías que la producen (la otra esta en Mendoza). Por esta capacidad de multiplicar su tamaño varias veces, la perlita pierde densidad y permite ser utilizada como filtrante para vinos, jugos y aceites comestibles, también como aislante térmico para obras de ingeniería y como sustrato en la agricultura.

La perlita cruda, tal cual se extrae del suelo, es sometida a altas temperaturas de entre 850 y 900 °C durante su industrialización, esto provoca que el agua atrapada en su interior se convierta en vapor y escape, esto produce la perlita expandida, que se utiliza como árido liviano. Por esta razón física es que el material se expande de siete a dieciséis veces con respecto a su volumen original. La perlita utilizada en este trabajo viene de la ciudad de San Antonio de Los Cobres provincia de Salta y su obtención viene a partir de un origen volcánico, se obtiene de canteras, donde trabaja actualmente la minera IMERYS, y la cual extrae en forma diaria aproximadamente 100 Tn/día. De dicha extracción de las canteras el 20 % es residuo y es lo que se utilizara como agregado a la mezcla cementicia. En el presente trabajo se utilizaron finos de perlitas desechados por la industria minera y como puede verse en la Figura 2, en estado pulverulento y con finura similar al cemento.



*Figura 2; finos de perlita utilizados en esta investigación.*

La perlita residual tiene una densidad cercana a 2600 Kg/m<sup>3</sup> y un porcentaje de absorción de los 30 %, en cambio la perlita expandida tiene típicamente una densidad de 30–150 Kg/m<sup>3</sup>.

*Aditivos;* Se utilizó un superligante cuya característica de elección se basó en el tipo de consistencia de la mezcla que se realizó. El superligante es una emulsión sintética de color blanco, a base de polímeros acrílicos deseada para brindar una óptima adherencia e incrementar las propiedades mecánicas en

mezclas de cemento, no es corrosivo. Su densidad es  $1,02 \text{ Kg/dm}^3$ , el intervalo de dosis recomendada es 0.1 % a 5 % por los Kg totales de cemento utilizado por  $\text{m}^3$  de hormigón, en este trabajo se utilizó una dosis del 0,63 % de superligante.

*Agua;* Las mezclas se realizaron utilizando agua potable de red basadas en la norma IRAM 1601,2012. El reglamento CIRSOC 201 (2005), normaliza que el agua empleada para lavar los agregados y mezclar y curar el hormigón, cumplirá con los requisitos establecidos en dicha norma.

*Agregado grueso y agregado fino;* En cuanto a los agregados gruesos y finos se utilizaron los provenientes del río Rosario de la provincia de Salta, se escogieron estos agregados por lo común que son utilizados en nuestra zona, los mismos se muestran en Figura 3.

*Granulometría;* La granulometría de los agregados gruesos se llevó a cabo aplicando la norma IRAM 1505, 2003 para el tamaño máximo de agregados, la norma IRAM 1533, 2002 para sacar las densidades y finalmente la absorción con dicha norma. Para la granulometría de los agregados finos se aplicaron las normas IRAM 1505, 2003 para el Módulo de Finura, la norma IRAM 1520, 2002 para el cálculo de la densidad relativa y la absorción del agregado fino.



*Figura 3; Agregado grueso y agregado fino.*

*Probetas;* Se fabricaron 7 probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro por 20 cm de alto para cada tipo de dosificación. Todas las probetas se moldearon según procedimiento de la norma IRAM 1534, 2004, los moldes utilizados se muestran en figura 4. Una vez preparadas las probetas se mantuvieron en sus moldes por 24 hs cubiertas para no perder humedad. Pasadas las 24 hs se desmoldaron e introdujeron en una pileta de curado, hasta la edad de ensayo correspondiente.



*Figura 4; preparación de las probetas y pileta de curado de las muestras.*

*Procedimiento de mezclado;* la mezcla se amasó en una hormigonera de tambor basculante de 60 litros de capacidad, Figura 5. El procedimiento de mezclado tuvo el primer lugar la humectación de la

hormigonera para que no afecte en la dosificación, luego se comenzó con el procedimiento de mezclado se introdujo el agregado grueso, luego se colocó el agregado plástico, posteriormente el agregado fino ambos en condición de superficie seca y saturada. Luego se agregó un tercio del agua de mezclado y se mezcló por unos minutos hasta lograr que se unificaran. Luego se agregó el cemento y la adición mineral, en caso de corresponder, y se mezcló para homogeneizar la mezcla durante un minuto. A continuación, se añadió el agua de mezclado restante en dos etapas. Una primera, aproximadamente 60% del agua de dosificación y el otro 20% restante junto con el aditivo superligante. Se amasó todo durante 7 minutos, se verificó la homogeneidad de la mezcla, y finalmente se procedió a realizar la medida del asentamiento del cono de Abram, IRAM 1536, 1978.



Figura 5; balanza utilizada para las dosificaciones y a la derecha la hormigonera.

#### Resistencia a compresión axial

Se determinó la resistencia a compresión axial según norma IRAM 1546, 2013. Las probetas permanecieron en cámara de curado hasta ser ensayadas para ambos días, antes del ensayo. Se ensayaron con prensa hidráulica, antes del ensayo las probetas fueron llevadas a horno (aplicando norma IRAM 1553:1983) para encabezarlas con un agregado compuesto por azufre y arena fina, el cual consiste en ponerle una tapa y base muy fina de espesor, pero de igual diámetro que la probeta, el objetivo es que ambas bases de la probeta sean paralelas y perpendiculares al eje de aplicación de la fuerza de compresión ejercida por la prensa de ensayo. En la Figura 6 se muestran la prensa durante el ensayo y las probetas después del encabezado. La resistencia a la compresión está dada por la relación entre la carga máxima de rotura y la sección transversal de la probeta. Con la ec. (1) calculamos la carga de rotura:

$$P = Div * 203.5 \frac{Kg}{Div} \quad (1)$$

Finalmente con ec (2) obtenemos la resistencia a la compresión:

$$F'_b = \frac{P}{3,14 * d^2/4} * 10^{-1} \quad (2)$$

Donde:

$F'_b =$  Resistencia a la compresión [MPa]

$P =$  Carga de rotura  $\left[ \frac{Kg}{Div} \right]$

$d =$  diametro [cm]



Figura 6; prensa hidráulica de medida de resistencia a la compresión y probetas encabezadas.

### Dosificación

Los cálculos de las dosificaciones de las mezclas se basaron en el “diseño racional de mezclas de hormigón” método desarrollado por el Instituto de Cemento Portland Argentino (ICPA, 2018)”.

## RESULTADOS

*Elección del cemento a emplear;* se trabajó con el cemento portland compuesto (CPC30), cuya elección se debe a la disponibilidad y fácil acceso en el mercado local.

*Consistencia adecuada;* se eligió de  $2 \pm 1$  cm, la elección de la consistencia se basó en hecho de que la mezcla será utilizada para la fabricación de bloques por vibración y para ladrillos prensados. En la figura 7 se muestra el ensayo por el cono de Abrams.



1.

Figura 7; prueba del cono de Abrams

### Distribución granulométrica de agregados

*Agregado grueso;* el cálculo de la densidad y la absorción se muestran en Tabla 1.

Propiedades	Agregado grueso
Tamaño máximo [mm] (IRAM 1505:2003)	19,1
Densidad relativa (IRAM 1533:2002)	2,646
Densidad relativa (IRAM 1533:2002)	0,7

Tabla 1; propiedades físicas del agregado grueso.

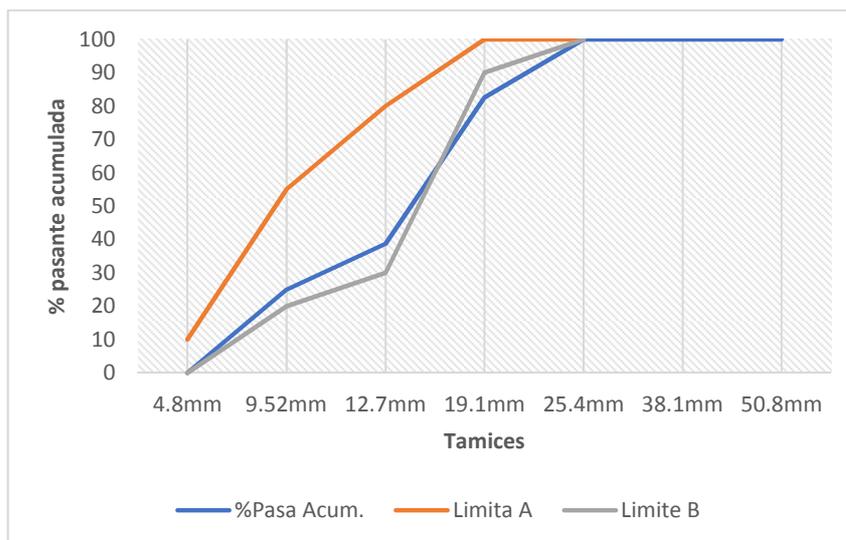


Gráfico 1; curva granulométrica del agregado grueso.

En los gráficos 1, 2 se presentan las curvas granulométricas de los agregados gruesos, finos, todas las curvas cumplen con los límites establecidos por el reglamento CIRSOC 201 (2005) y la Norma IRAM 1627, 1997. Las curvas granulométricas son continuas y están comprendidas entre las curvas límites. En el caso del agregado grueso, grafico 1, se observa que en el tamiz de 19,1 mm el porcentaje de acumulados es más bajo que el de las curvas límites.

Agregado fino; en el Grafico 2 se muestran los resultados de la granulometría del agregado fino, la curva es continua y cumple la norma 1627, 1997, tenemos que para el tamiz 2,4mm del agregado fino es un poco bajo para el limite A. En la Tabla 2 se detallan los resultados del cálculo de la densidad, módulo de finura y porcentaje de absorción.

Propiedades	Agregado fino
Módulo de Finura (IRAM 1505:2003)	3,75
Densidad relativa (IRAM 1520:2002)	2,645
Absorción [%] (IRAM 1520:2002)	0,8

Tabla 2; propiedades físicas del agregado fino.

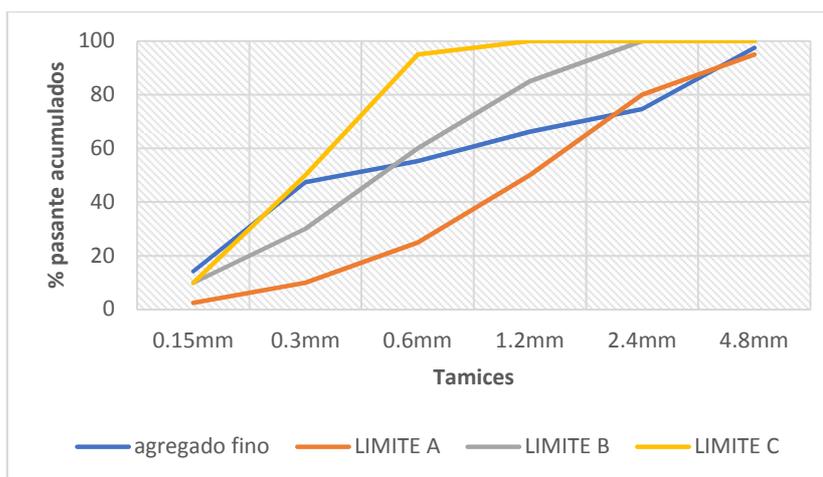


Gráfico 2; curva granulométrica del agregado fino.

Granulometría del plástico; Para conocer la granulometría de los plásticos reciclados se procedió de igual manera que para los agregados de peso normal según norma IRAM 1505 (2005). Las propiedades físicas se detallan en Tabla 3.

Propiedades	HDPE	LDPE
Tamaño máximo mm	5	5
Densidad relativa	0.92	0.89
% absorción	11	10

Tabla 3; propiedades físicas de los plásticos reciclados.

*Determinación de la cantidad de agua estimada de la mezcla;* la cantidad de agua de la mezcla viene dada por en función del asentamiento elegido y el Módulo de Finura (MF) del agregado total, (ICPA Abaco 1, 2018). El asentamiento seleccionado fue  $2\pm 1$  cm y el MF del agregado total resulto 5,97.

*Estimación de la relación a/c máxima;* la relación agua/cemento necesaria fue calculada en función de la resistencia media a la edad de 28 días para las distintas categorías de cemento, (ICPA Abaco 2, 2018), la relación ensayada fue 0,45.

El Cálculo del contenido unitario de cemento y la determinación de la cantidad de agregado (fino, grueso, de perlita y de plástico) por diferencia a 1000 de los volúmenes de agua, cemento y aire estimado se detallan en la tabla 6. Este volumen se integra con los agregados en las proporciones establecidas en el paso 4. Para obtener la columna del peso SSS (Superficie Seca y Saturada) se multiplica cada peso del agregado por el término  $(1+A\%/100)$ . Los valores correspondientes al cemento y el agua no cambian, es decir, se transcriben los de la primera columna. La tabla 6 detalla los valores calculados para las dosificaciones de la probeta de control (CA) y la probeta con 19% de agregado plástico (P19A).

componentes	CA (Kg)	CA Volumen solido (dm <sup>3</sup> )	CA Peso SSS (Kg)	P19A Volumen solido (dm <sup>3</sup> )	P19A Peso SSS (Kg)
Agua	155	155	155	155	155
Cemento	344,5	111,13	344,5	111,1	344,5
Ag. grueso	1032,75	389,72	1105,05	315,7	895,17
Ag. fino	876,22	331,9	955,08	331,99	955,31
Ag. Plástico	0	0	0	74	73,26
Aire	10	10	10	10	10
Aditivo	2,17	2,21	2,17	2,2	2,24
SUMA	2420,64	1000	2571,79	1000	2435,48

Tabla 6; dosificaciones calculadas para cada Probeta.

componentes	control	19% PL AG	37% PL	19% PL y AF	19% PL y PE
Agua	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Cemento	2,60	2,60	2,59	2,59	2,10
Ag. grueso	13,64	10,33	8,03	10,94	9,99
Ag. fino	8,16	7,49	7,49	7,52	7,21
Ag. Plástico	0	0,78	1,52	0,60	0,079
Aire	0	0	0	0	0,1
Aditivo	0,02	0,016	0,016	0,016	0,013
perlita	0	0	0	0	0,49
SUMA	25,81	22,60	21,0	23,08	22,10

Tabla 7; peso en Kg de cada componente de la mezcla.

La tabla 7 muestra el peso de cada componente de las mezclas con que se formaron las probetas, para 19% de agregado plástico (19% PL AG), 37% de agregado plástico (37% PL), 19% de agregado plástico con 31% de agregado fino y 50% de agregado grueso (19% PL y AF), finalmente 19% de agregado plástico más el remplazo del 19% de cemento por finos de perlita (19% PL y PE). Se puede

apreciar como la densidad de la mezcla va disminuyendo conforme aumenta la cantidad de agregado plástico.

*Resistencia a compresión axial;* en las Tablas 8 y 9 se muestran los resultados de las probetas ensayadas para los días 7 y 28 de curado.

probeta	Peso (Kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	División medida a los 7 días	Carga de Rotura [ $\frac{Kg}{Div}$ ]	F' <sub>b</sub> [MPa] a los 7 días
CA	3,605	20,05	10,03	2296	20	4070	5,2
P19A	3,302	20,05	10,10	2103	19	3866.5	4,8
P1A	3,054	20,15	9,98	1945	7	1424.5	1,8
P3A	2,981	20,05	10,10	1898	8	1628	2,0
PA	3,137	20,05	10,05	1998	7	1424.5	1,8
CB	3,630	20,20	10,05	2312	21	4273.5	5,4
P19B	3,322	19,95	10,10	2115	13	2645.5	3,3
P1B	2,947	20,15	9,53	1877	4	814	1,1
P3B	3,094	20,05	10,03	1970	11	2238.5	2,8
PB	3,147	20,10	10,03	2004	10	2035	2,6

Tabla 8; valores medidos de resistencia a la compresión a los 7 días de curado y densidades de las probetas.

De Tabla 8 se aprecia que a los 7 días de curado las probetas de control (CA, CB) son las que más resistencia a la compresión tienen como era de esperarse, les siguen las probetas con 19% de agregado de plástico (P19A, P19B), las probetas con 37% de agregado plástico (P3A, P3B), las probetas con agregado de 19% de plástico con 19% de perlita (PA, PB) y finalmente las que menos resistencia a la compresión presentan son las probetas con 19% de agregado plástico con 31% de agregado fino y 50% de agregado grueso (P1A, P1B).

probeta	Peso (Kg)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	División medida a los 28 días	Carga de Rotura [ $\frac{Kg}{Div}$ ]	F' <sub>b</sub> [MPa] a los 28 días
CA	3,589	20,15	10,03	2286	39	7936.5	10,3
CB	3,564	20,25	10,00	2270	30	6105	7,9
P19A	3,380	20,05	10,04	2152	40	8140	10,6
P19B	3,383	20,15	10,03	2155	25	5087.5	6,6
P1A	3,156	19,85	9,90	2010	11	2238.5	2,9
P1B	3,025	20,25	9,10	1927	8	1628	2,1
P3A	3,092	20,25	10,03	1969	15	3052.5	4,0
P3B	3,312	20,05	10,05	2110	18	3663	4,8
PA	3,199	20,05	10,00	2038	15	3052.5	4,0
PB	3,176	20,15	9,90	2023	15	3052.5	4,0

Tabla 9; valores medidos de resistencia a la compresión a los 28 días de curado y densidades de las probetas.

De la Tabla 9 las probetas que superaron la resistencia a la compresión mínima requerida por la norma IRAM 11561 a los 28 días de curado, fueron las probetas CA, CB, P19A y P19B, mientras que las probetas P3A, P3B, PA y PB están a 1 MPa de superar la mínima requerida por la norma. Las probetas P1A y P1B fueron las que menos resistencia registró y por ende no llegan a la mínima requerida por la Norma.

La Densidad de las mezclas de hormigón bajó conforme se agregaron plástico y perlita cruda en sustitución de agregados grueso, fino y de cemento, Tablas 8 y 9. La densidad de las mezclas de control CA y CB se redujeron en un 18% respecto a las probetas P3A, P3B, P1A y P1B, mientras que la misma bajo un 13% en las mezclas PA y PB. Finalmente las probetas P19A y P19B mostraron una reducción del 9% con respecto a las probetas de control.



*Figura 8; probetas después del ensayo.*

En la figura 8 se aprecia como quedaron las probetas luego del ensayo de resistencia a la compresión axial. La foto de la izquierda es la probeta de control mientras que la foto de la derecha es la probeta con agregado plástico, ambas presentan una buena distribución de los agregados como así también muy buena adherencia.

## CONCLUSIONES

- 1.El reemplazo de arena y piedra por agregados de polímero reciclados al 19% mostro el doble de la resistencia a la compresión axial exigida por la Norma, mientras que la sustitución del 37% de agregado plástico no llego a la mínima requerida por dicha Norma. Una mayor adición de plásticos da como resultado el agrietamiento de partes de la probeta, debido a la naturaleza hidrófoba de los polímeros.
- 2.La adición de agregados de polímero al 37% afectó adversamente la resistencia de las probetas reduciéndola en un 50%. Con un contenido de agregados plástico del 19%, la resistencia de la probeta disminuyó entre 10% y 30%, dependiendo del tipo de polímero.
- 3.La densidad de las mezclas disminuyó con el reemplazo de arena y piedra por agregado de polímero, incluso con bajos reemplazos de los agregados finos y gruesos. Se redujo en un 18% para las mezclas con 37 % de agregados plásticos y en un 9% para las mezclas con 19% de plástico.
- 4.El agregado de perlita cruda en remplazo de una parte de cemento tuvo un buen comportamiento, ya que las mezclas con este mineral tuvieron la resistencia a la compresión exigida por la Norma y también acompañó a la reducción de la densidad del hormigón.
- 5.Se recomienda la sustitución de agregado grueso por agregado Plástico y de Perlita cruda al 19% de la mezcla de hormigón, para la realización de Bloques, ladrillos y contrapisos de hormigones.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al GIMCO, Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Salta, al Ingeniero Lucas Burgos y al Técnico Oscar Recalde, también se agradece al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y al Consejo de Investigación de la UNSa por el financiamiento de este trabajo de investigación. Por ultimo agradecer al investigador Ricardo Echazú del INENCO y a la alumna Karen Díaz por su participación.

## REFERENCIAS

- Akçaözöğlü, S., C.D. Atiş, and K. Akçaözöğlü, An investigation on the use of shredded waste PET bottles as aggregate in lightweight concrete. *Waste management*, 2010. 30(2): p. 285-290.
- Albano C, N. Camacho, M. Hernandez, A. Mathreus, A. Gutierrez, Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behaviour at different w/c ratios, *Waste Manage. (Oxford)* 29 (2009) 2707–2716.

- Albano, C., et al., Influence of content and particle size of waste pet bottles on concrete behavior at different w/c ratios. *Waste Management*, 2009. 29(10): p. 2707-2716.
- Aramayo A., Burgos L., Fernández M., 2016, Proyecto final de Ingeniería Civil, “Estudio de finos de perlita en la fabricación de ladrillos para su uso en viviendas sociales”, Universidad Nacional de Salta.
- Bárbara Belén Raggiotti, 2015, Tesis de doctorado en ingeniería – mención materiales, Hormigones con adiciones activas: diseño, optimización y caracterización con criterio de sustentabilidad, Universidad tecnológica nacional facultad regional córdoba.
- Chaudhary, M., V. Srivastava, and V. Agarwal, Effect of waste low density polyethylene on mechanical properties of concrete. *Journal of Academia and Industrial Research (JAIR)* Volume, 2014. 3: p. 123-126.
- Choi, Y.-W., et al., Effects of waste PET bottles aggregate on the properties of concrete. *Cement and Concrete Research*, 2005. 35(4): p. 776- 781.
- Instituto de Cemento Portland Argentino, “Diseño racional de mezclas de hormigón”, 2018”, <http://www.icpa.org.ar/>
- Ismail Z., E. Al-Hashmi, Use of waste plastic in concrete mixture as aggregate replacement, *Waste Manage. (Oxford)* 28 (2008) 1041–2047.
- Kan, A. and R. Demirboğa, A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates. *Journal of materials processing technology*, 2009. 209(6): p. 2994-3000.
- Kou, S., et al., Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes. *Waste Management*, 2009. 29(2): p. 621-628.
- Marzouk, O.Y., R. Dheilily, and M. Queneudec, Valorization of post-consumer waste plastic in cementitious concrete composites. *Waste management*, 2007. 27(2): p. 310-318.
- Naik, T.R., et al., Use of post-consumer waste plastics in cement-based composites. *Cement and concrete research*, 1996. 26(10): p. 1489- 1492.
- Saikia N., J. de Brito, Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate, *Constr. Build. Mater.* 52 (2014) 236–244.
- Saikia N., J. de Brito, Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: a review, *Constr. Build. Mater.* 34 (2012) 385–401.
- Sánchez Soloaga Iris Belén, 2015, Doctorado en Ingeniería, Mención Civil Ambiental, Envoltantes de hormigón liviano sustentable: diseño y propiedades para el ahorro energético, Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza.
- Sharma H., P.P. Bansal, Use of different forms of waste plastic in concrete – a review, *J. Cleaner Prod.* 112 (2016) 473–482.
- Tang, W., Y. Lo, and A. Nadeem, Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 2008. 30(5): p. 403-409.

## **TEST DOSAGES FOR BLOCKS, BRICKS AND CONCRETE SUBFLOORS WITH WASTE PLASTICS AND FINES PERLITAS**

### **ABSTRACT**

Salta Capital 58 daily tons of plastic are thrown, recover only 5 tons daily. Which they are recycled by three cooperatives and a provincial program. In the production of expanded perlite 20% of the crude perlite are wasted in boilers. It is proposed as a solution the development of concrete mixtures for the manufacture of bricks, blocks and subfloors with aggregates of High and Low Density Polyethylene and Fine Perlite. The coarse and fine aggregates were replaced in various percentages of volume of mixture by the recycled plastics. Crude Perlite was used to replace a part of the cement. Seven test tubes were developed for each dosage under IRAM Standards for the mechanical test corresponding to 7 and 28 days of curing. The density of the low concrete with the addition of plastic and perlite. Dosages with 19% plastic aggregate exceeded the minimum required for compressive strength.

**KEYWORDS:** Dosages of concrete, bricks and blocks, High and Low Density Polyethylene, Perlite, Recycling.