



ID: XXXVIIIJSIE-07-001

EMPLEO DE ARENAS Y POLVO DE TRITURACIÓN EN HORMIGÓN. EVALUACIÓN DE LA FLUIDEZ, EXUDACIÓN Y RESISTENCIA

USE OF MANUFACTURED SAND AND CRUSHING DUST IN CONCRETE. EVALUATION OF WORKABILITY, BLEEDING AND STRENGTH

Patricia E. Vila González (1) (P); Mauricio Tarabbia Vitale d'Amico (2); Leandro J. Díaz Balleste (3); Hugo L. Bonjour Morales (4); María N. Pereyra Domínguez (5)

(1) MSc. Prof. Adjunta, Docente e Investigador, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

(2) Bach., Pasante Ing. Civil, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

(3) Ing., Ayudante, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

(4) Lic. en Geología, Ayudante, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

(5) Dra. Prof. Agregada, Docente e Investigador, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay

Dirección para correspondencia: pvila@fing.edu.uy; (P) Presentador

Área Temática: Materiales y Durabilidad

Resumen

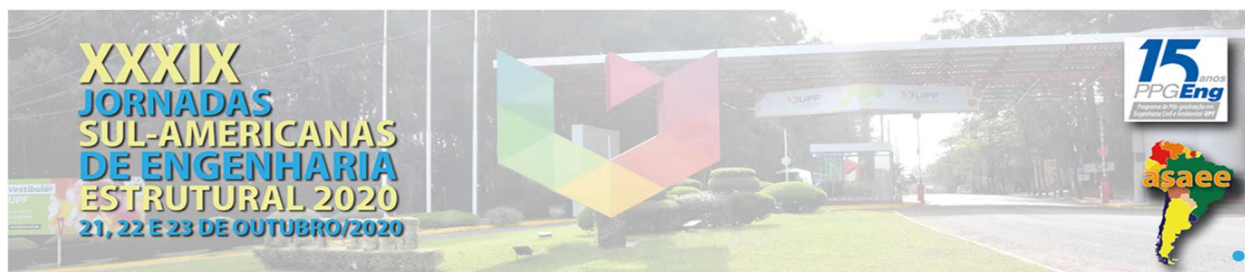
En el proceso de explotación de una cantera de piedra partida se obtienen como productos secundarios la arena de trituración "vía seca", la arena de trituración "vía húmeda" y el polvo de trituración. El objetivo fue evaluar el comportamiento de mezclas producidas con estas arenas y el polvo de trituración, en sustitución de arenas naturales. Con el uso de la arena triturada vía seca fue necesario mayor dosis de aditivo para obtener una trabajabilidad adecuada. Sin embargo, el uso de la arena triturada vía húmeda aumentó la fluidez respecto a la referencia. La exudación se mantuvo similar a la referencia con el uso de la arena triturada vía seca, pero aumentó con el uso de la arena triturada vía húmeda y con el uso del polvo de trituración. La resistencia a la compresión se mantuvo constante en los hormigones fabricadas con 30 % de sustitución por cada una de las arenas, aumentó con el remplazo total de la arena natural por la arena triturada vía seca y disminuyó con el remplazo por la arena triturada vía húmeda. Se concluye que es posible el uso de estos productos secundarios para la fabricación de hormigón, pero se deberá profundizar en la evaluación considerando el aumento de la exudación con la incorporación del polvo. El empleo de estos productos en sustitución de arena naturales se considera que tiene un fuerte impacto ambiental.

Palabras-clave: subproductos; diseño de mezclas; resistencia; agregado fino; filler.

Abstract

In the production process of crushed stone to be used in construction, "dry" manufactured sand, "wet" manufactured sand and crushing dust, are obtained as secondary products. The aim was to evaluate the workability, bleeding and mechanical strength of concrete prepared using these materials as substitutes for natural sand. With the use of dry manufactured sand, a higher water-reducing admixture dosage was necessary to obtain adequate workability. However, the use of wet manufactured increased the workability respect to the reference concrete. The bleeding remained similar to the reference concrete with the use of dry manufactured sand but increased with the use of wet manufactured sand and with the use of crushing dust. The compressive strength remained constant in the concretes made with 30 % substitution for each of the sands, however increased with the use of dry manufactured sand and decreased with the use of wet manufactured sand (both at 100 % of substitution). It is concluded that the use of these by-products for the concrete is possible but further evaluation should be carried out considering the increase in bleeding with the incorporation of the dust. The use of manufactured sands in concrete production is considered a positive environmental impact.

Keywords: by-products; mix design; strength; fine aggregate; filler



1. INTRODUCCIÓN

Habitualmente el hormigón convencional en Uruguay es producido empleando arenas naturales de origen fluvial o de dunas costeras. Aunque estos materiales usualmente están disponibles, en algunas situaciones, ya sea por cuestiones medioambientales o económicas, podría ser conveniente su sustitución por otro material de origen artificial (o manufacturado). Sin embargo, para que estos materiales puedan ser empleados de forma satisfactoria son necesarios estudios experimentales que permitan evaluar la factibilidad técnica de su uso.

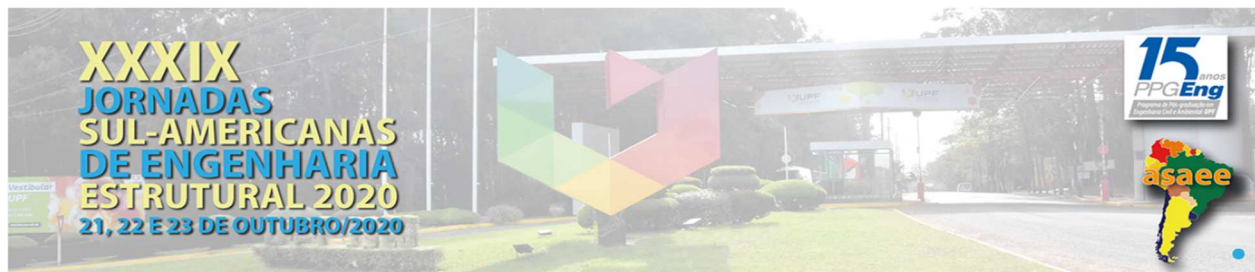
Uruguay cuenta con una gran variedad litológica, representada por rocas de diferente naturaleza, edad e historia (Veroslavsky Barbe, Ubilla Gutiérrez, and Martínez Chiappara 2004a; 2004b). Estas rocas han sido ampliamente utilizadas como agregados en la industria de la construcción. Se destacan por su utilización rocas graníticas, granodioritas, basálticas, así como arena, grava y canto rodado. En particular, en el proceso de producción de la piedra partida para uso en la construcción, son obtenidos como subproductos las arenas de trituración (material menor a 4,75 mm) y el polvo de trituración (material menor a 150 micras). En Uruguay estos subproductos tienen escasa comercialización y quedan dispuestos al ambiente conformando voluminosos acopios lo que causa serios problemas medioambientales.

El empleo de arenas trituradas de variadas litologías (caliza, granítica, cuarcítica, basáltica, “gritstone”, toba) en sustitución de las arenas naturales y su efecto en las propiedades de morteros y hormigones ha sido evaluado por varios autores (Meziane et al. 2015; Bounedjema, Ezziane, and Hallal 2017; Li et al. 2020; Thangapandi et al. 2020; Amudhavalli et al. 2020; Cabrera 2013; Jadhav et al. 2018; Ramírez Ortiz, Barcena Díaz, and Urreta Ormaechea 1985; Prasetia and Maulana 2019).

Otros usos de las arenas y el polvo de trituración han sido en morteros adhesivos (Lentz and Antunes 2021), fabricación de bloques (Osuji and Egbon 2015; Alejo 2020), hormigones livianos (Nanthagopalan and Santhanam 2011; Nécira, Guettala, and Guettala 2017), hormigones pesados (Khudyakova et al. 2021), hormigones de alta resistencia y de ultra alta resistencia (Singh et al. 2016) (Yang et al. 2019) y en mezclas asfálticas (Castaño Martínez and Ochoa Lozano 2005).

La granodiorita es una roca ígnea plutónica con textura fanerítica similar al granito. Está constituida principalmente por cuarzo, pero a diferencia del granito, contiene más plagioclasas que ortosa (Streckeisen 1974). La cantera de explotación de roca granodiorita, ubicada en la zona Metropolitana de Montevideo, es la principal fuente de suministro de piedra partida para hormigón y asfalto al sur del país. En la etapa de producción denominada “vía seca”, se obtiene la arena de trituración, la que presenta un contenido de polvo que supera ampliamente el contenido máximo admitido para la fabricación de hormigón convencional (5% según ASTM C 33 (ASTM International 2018)). En la etapa de producción denominada “vía húmeda” se obtiene; por un lado, la arena triturada con un contenido de polvo despreciable, y por el otro, en la pileta de decantación a cielo abierto, se obtiene el polvo de trituración. De estos subproductos, el principal problema es el polvo, el que por sí solo no tiene salida en el mercado. La arena de trituración “vía húmeda” tiene poca comercialización y la arena obtenida por “vía seca” se emplea en la fabricación de carpetas asfálticas. Estos materiales constituyen aproximadamente el 30 % de la producción anual de la cantera.

El objetivo del trabajo fue evaluar el comportamiento de mezclas producidas con estas arenas y el polvo de trituración, en sustitución de arenas naturales. Se evaluó la fluidez, la capacidad y velocidad de exudación de agua en estado fresco y la resistencia a la compresión de



pastones fabricados con la arena triturada vía seca en sustitución de 30 y 100 % de la arena natural, otros fabricados con la arena triturada vía húmeda en sustitución de 30 y 100 % de la arena natural y otros pastones producidos con la arena vía húmeda más el polvo de trituración, ambos en sustitución de 30 y 100 %. Los resultados fueron comparados con los obtenidos en un hormigón empleando una mezcla de arena naturales de uso habitual (pastón de referencia).

La importancia del trabajo radica en el fuerte impacto ambiental que tiene el empleo de estos subproductos en sustitución de arenas naturales.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

2.1. Materiales

El agregado grueso, las dos arenas de trituración (identificadas B y L) y el polvo de trituración (F) provienen de la explotación de piedra partida de origen “Granodiorita Cañada de las Canteras”, ubicada en la zona de la Cruz de Carrasco, Montevideo. Las dos arenas naturales (P y T) son de origen fluvial, ambas de depósitos del Río Santa Lucía (T de grano fino y P de grano grueso). En Uruguay es habitual la mezcla de dos arenas para conformar el esqueleto granular con una distribución granulométrica adecuada (módulo de finura aproximado de 2,7). Las características de los materiales empleados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Materiales empleados para la fabricación del hormigón.

	Cemento	Aditivo fluidificante	Agregado Grueso	Arena Natural gruesa P	Arena Natural fina T	Arena Triturada B	Arena Triturada L	Polvo de Piedra F
Tipo/origen	CPN	Sikament 290N	Roca Granodiorita triturada	Silíceo Fluvial (Río Santa Lucía)		Roca Granodiorita triturada		
Densidad (kg/m ³)	3150	1200	2660	2630	2530	2600	2600	2600
Absorción (% en masa)	-	-	0,44	0,39	0,49	0,45	0,38	0
Módulo de finura en agregados	-	-	6,45	3,59	1,96	2,67	3,55	-

Nota: en los agregados la densidad hace referencia a las partículas en condición saturada y de superficie seca.

Las arenas trituradas B y L y el polvo de trituración F pertenecieron al mismo proceso de producción de la piedra partida granodiorita. La arena B se obtuvo de la trituración de la piedra de tamaño 20/30 para producir la piedra de tamaño 5/14 por el proceso denominado vía seca. La arena L y el polvo se obtuvieron de la trituración y lavado de la piedra para producir la piedra 5/14 lavada y la piedra 14/20 lavada.

Fue empleado el cemento clinker identificado como CPN 40 (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas 2017) para uso general sin propiedades especiales. Se empleó un aditivo fluidificante de uso habitual en Uruguay.

2.2. Composición de los hormigones

Fueron dosificados siete hormigones empleándose los materiales y cantidades indicados en la Tabla 2. Todos los hormigones se fabricaron con una razón agua:cemento fija de 0,5 (kg/kg).



La dosis de aditivo se ajustó en el momento de realizar los pastones con el fin de obtener hormigones de asentamiento entre 5 y 20 cm. Para todos los hormigones se mantuvo fijo el volumen total de agregados (678 l/m^3) y la proporción entre el agregado fino y grueso en el total del esqueleto granular (55 % agregado grueso, 45 % agregado fino). El pastón identificado como “Ref” fue la dosificación de referencia, de uso habitual en Uruguay, donde se empleó la piedra partida y las dos arenas naturales. En los pastones identificados como 30B y 100B fue sustituida la mezcla de arenas naturales por la arena triturada B, en 30 y 100 % de su volumen, respectivamente. En los pastones 30L y 100L, fue sustituida la mezcla de arena natural por la arena triturada L, en 30 y 100 % de su volumen, respectivamente. En los pastones 30LF y 100LF fue sustituida la mezcla de arena natural por la arena triturada L más el polvo de trituración F: en 30LF se sustituyó 25 % de L más 5 % de F y en 100LF se sustituyó 86 % de la mezcla natural por L y 14 % por F (todos los porcentajes en volumen).

Tabla 2. Dosificaciones.

Id. pastón	Cemento (kg)	Agua (kg)	Aditivo fluidificante* (%)	Agregado Grueso ** (kg)	Arena Natural gruesa P ** (kg)	Arena Natural fina T ** (kg)	Arena Triturada B ** (kg)	Arena Triturada L ** (kg)	Polvo de Piedra F (kg)
Ref	370	185	0,4	960	525	263	0	0	0
30B	370	185	0,8	960	362	180	232	0	0
100B	370	185	1,2	960	0	0	805	0	0
30L	370	185	0,6	960	362	181	0	231	0
100L	370	185	0,0	960	0	0	0	802	0
30LF	370	185	0,6	960	362	181	0	200	35
100LF	370	185	1,0	960	0	0	0	682	105

Nota *: referido a la masa de cemento; **: en condición saturado y de superficie seca.

En la Figura 1 se muestra la distribución granulométrica del agregado fino más el polvo de trituración (F) empleado en los pastones según Tabla 2. A su vez se muestran las curvas límites del huso granulométrico para el agregado fino indicado en la IRAM 1627 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 1997).

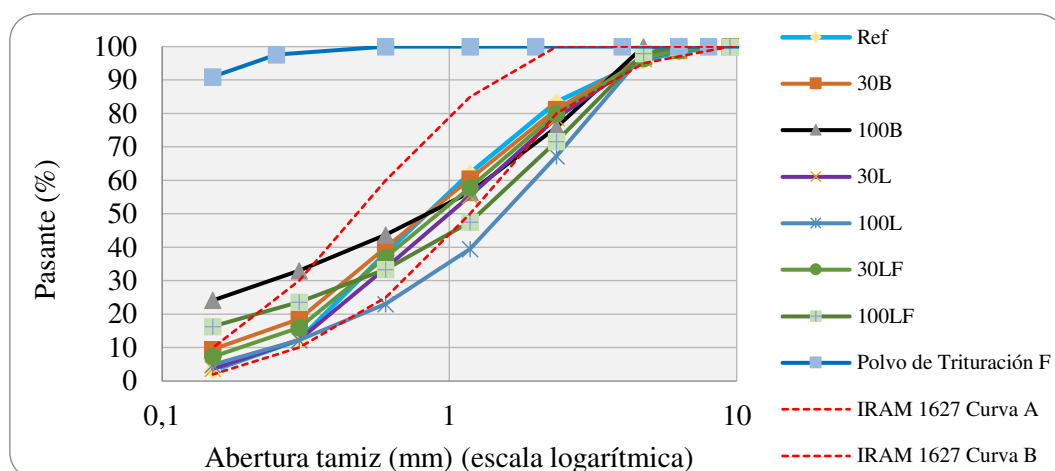


Figura 1. Composición granulométrica del agregado fino y del polvo de trituración.



2.3. Fluidez, exudación y resistencia a la compresión del hormigón

La fluidez se evaluó mediante el asentamiento en el Cono de Abrams empleando el procedimiento normalizado en la UNIT-ISO 1920-2 (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas 2016). La exudación de agua en estado fresco se evaluó a través de los parámetros de Capacidad de Exudación (agua total exudada, expresada como porcentaje del agua de mezcla) y de Velocidad de Exudación (incremento del agua exudada en función del tiempo, expresada en $\text{ml}/\text{cm}^2/\text{s}$) empleando el método de la norma IRAM 1604 (Instituto Argentino de Normalización y Certificación 2004).

La resistencia a la compresión se evaluó a los 7 y 28 días. La elaboración y curado de probetas se realizó según la norma UNIT-ISO 1920-3 (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas 2019) y el ensayo de rotura según la UNIT-ISO 1920-4 (Instituto Uruguayo de Normas Técnicas 2020).

3. RESULTADOS

En los pastones fabricados (Tabla 2) fue evaluado el asentamiento en estado fresco vs la dosis de aditivo superfluidificante, la capacidad y velocidad de exudación y la resistencia a la compresión a 7 y 28 días (Figuras 2, 3 y 4).

Los pastones 100B y 100LF fue donde se debió emplear una mayor dosis de aditivo superplastificante (1,2 % y 1 % respectivamente) para obtener una trabajabilidad adecuada (6 y 11 cm, respectivamente). Estos hormigones fueron fabricados con sustitución total de las arenas naturales, en 100B se usó arena triturada B y en 100LF se usó arena triturada L y polvo F. Ambos fueron los que tuvieron el mayor contenido de pasante tamiz 150 micras en el agregado fino (24,2 % y 16,4 % respectivamente, Figura 1). El pastón fabricado con sustitución total de la mezcla de arenas naturales por la arena triturada L (100L) no necesitó aditivo para obtener una trabajabilidad adecuada de 6 cm. Entre los pastones con sustitución de 30 % de las arenas naturales (30B, 30L y 30LF) el de menor trabajabilidad fue el correspondiente al uso de la arena triturada B (30B), luego el de uso de arena triturada L y polvo (30LF) y el de mayor trabajabilidad el de uso de arena triturada L (30L).

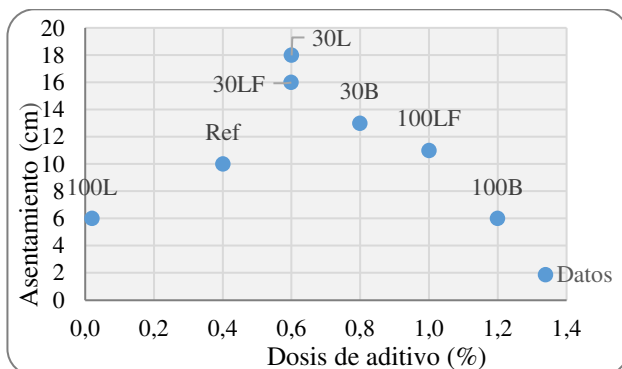


Figura 2. Asentamiento vs dosis de aditivo

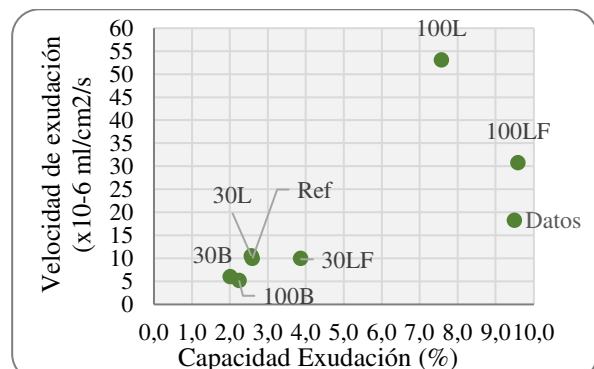


Figura 3. Capacidad y velocidad de exudación de agua en estado fresco



Los pastones fabricados con la arena triturada B (30B y 100B) presentaron la menor capacidad y velocidad de exudación de agua (Figura 3), el hormigón con 30 % de sustitución por arena triturada L presentó un comportamiento similar al de referencia y el 30LF (30 % de sustitución por arena triturada L y polvo) algo superior al de referencia. En el pastón fabricado con sustitución total de las arenas naturales por la arena triturada L (100L) y en el de sustitución por la arena L y el polvo (100LF) la exudación aumentó significativamente (capacidad de exudación de 7,6 % y 9,6 % respectivamente).

Los pastones fabricados con la arena B (30B y 100B) contienen un elevado contenido de material menor a 150 micras (10 % y 24,2 % respectivamente) lo que disminuyó la exudación de agua. El aumento significativo de la exudación en el hormigón fabricado con sustitución del 100% de la arena natural por la arena L se asocia a la falta de finos de ese material que hace más difícil la retención del agua. Era de esperar para la sustitución del 100% de la arena natural por la mezcla de arena L con el polvo F (100LF) un comportamiento similar al obtenido para el hormigón con sustitución del 100% de la arena natural por arena B (100B), ya que ambos presentaron el mayor contenido de material fino (menor a 150 micras). Sin embargo, se obtuvo valores de exudación significativamente mayores.

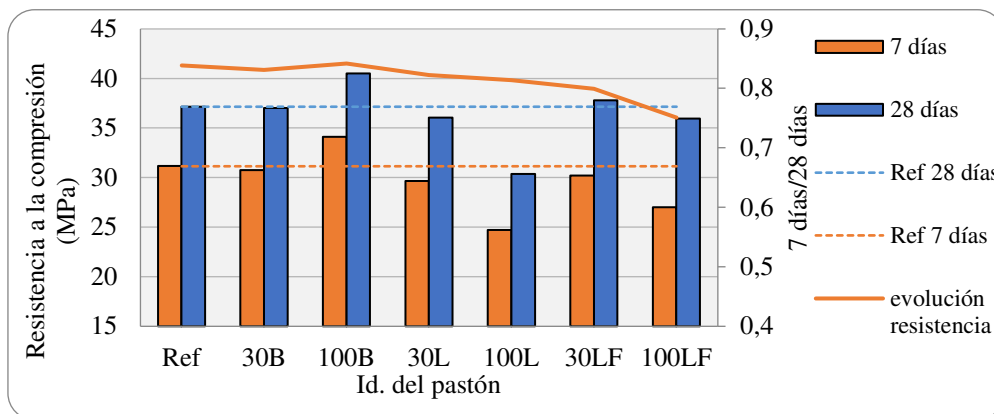


Figura 4. Resistencia a la compresión

Los pastones con 30 % de sustitución de las arenas naturales por las arenas trituradas (30B, 30L y 30LF) presentaron resistencias similares a la referencia, a 7 y 28 días. El pastón con 100 % de sustitución por la arena triturada B (100B) presentó una resistencia mayor al de referencia. Sin embargo, el pastón fabricado con 100 % de arena triturada L (100L) presentó una resistencia significativamente menor. El pastón donde se empleó arena L y polvo en sustitución total de la arena natural (100LF) presentó una leve disminución de la resistencia

4. CONCLUSIONES

Fueron evaluadas las propiedades de fluidez, exudación y resistencia mecánica en hormigones fabricados sustituyendo arenas naturales por arenas trituradas (dos procesos, vía seca y vía húmeda) y polvo de trituración provenientes de una cantera de explotación de piedra granodiorita. Se trabajó con una única relación agua:cemento (0,5), un único cemento (CPN) y se compararon los resultados con los obtenidos en un pastón de referencia (fabricado exclusivamente con arenas naturales de origen fluvial).

El mayor consumo de aditivo en relación con la fluidez se dio con el uso de la arena triturada vía seca en 100 % de sustitución de las arenas naturales (la arena triturada vía seca es la que contiene el mayor contenido de partículas menores a 150 micras). Con el empleo de la arena



triturada vía húmeda en 100% de sustitución de las arenas naturales no fue necesario el uso de aditivo fluidificante para alcanzar una adecuada fluidez (esta arena es la que contiene la menor cantidad de partículas menores a 150 micras). La sustitución de 30 % de arenas naturales y el uso de polvo de trituración aumentó el consumo de aditivo, aunque en esta mezcla se obtuvieron asentamientos mayores a la referencia.

La exudación de agua en estado fresco se mantuvo similar a la referencia con el uso de la arena triturada vía seca, pero aumentó con el uso de la arena triturada vía húmeda y con el uso del polvo de trituración en sustitución del 100% de la arena natural.

La resistencia a la compresión a 7 y 28 días aumentó con el uso de la arena triturada vía seca en 100% de sustitución de las arenas naturales, pero disminuyó con el uso de la arena triturada vía húmeda en 100 % de sustitución. Se mantuvo constante con el uso de la arena vía seca y polvo de trituración en sustitución de 30 %.

Por lo tanto, el uso de la arena de trituración vía seca disminuyó la trabajabilidad del hormigón fresco, pero afectaría positivamente la exudación (disminuyéndola) y la resistencia mecánica (aumentándola). Por el contrario, el uso de la arena triturada vía húmeda en sustitución completa de las arenas naturales generó un aumento significativo en la exudación de agua y una disminución en la resistencia mecánica, por lo tanto, podría ser usada, pero en sustitución parcial de las arenas naturales. El uso de un 30 % de sustitución no generó un impacto negativo.

Se deberá profundizar en la evaluación de estos materiales de cantera considerando el aumento de la exudación con la incorporación del polvo de trituración.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Instituto de Estructuras y Transporte (IET) de la Facultad de Ingeniería (Universidad de la República) por el equipamiento y espacio necesario de laboratorio para realizar los ensayos, así también a la Comisión Sectorial de Investigación Científica (CSIC) y a la empresa privada Canteras Montevideo S.A. por el apoyo financiero en el marco del proyecto CSIC: “Evaluación de los materiales de explotación de una cantera de granito para su uso en hormigón y en carpeta asfáltica”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alejo, A.O. (2020). Comparison of strength of sandcrete blocks produce with fine aggregate from different sources. *Nigerian Journal of Technology* v. 39, n. 2, p. 332–37.
- Amudhavalli, N.K., Sivasankar, S., Shunmugasundaram, M., and Kumar, A.P. (2020). Characteristics of granite dust concrete with M–sand as replacement of fine aggregate composites. *Materials Today: Proceedings* v. 27, January, p. 1401–6.
- ASTM International. (2018). ASTM C33 / C33M Standard Specification for Concrete Aggregates.
- Boundedjema, Y., Ezziane, K., and Hallal, A. (2017). Variation of mechanical and rheological properties of mortar by replacement of natural sand with crushed sand. *Journal of Adhesion Science and Technology* v. 31, n. 2, p. 182–201.
- Cabrera, O.A. (2013). Caracterización De La Durabilidad De Hormigones Con Arenas De Trituración.
- Castaño Martínez, D.M., and Ochoa Lozano, L.M. (2005). La influencia de la arena triturada en la resistencia de la mezcla asfáltica en caliente con gradación MDC2 INVIAS.



- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (1997). IRAM 1627 Agregados. Granulometría de los agregados para hormigones. Argentina.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación. (2004). IRAM 1604 Hormigón. Método de ensayo para determinar la exudación.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2016). UNIT-ISO 1920-2 Ensayos de hormigón – Parte 2: Propiedades del hormigón en estado fresco. Montevideo, Uruguay.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2017). UNIT 20 Cementos pórtland para uso general - Definiciones y requisitos.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2019). UNIT-ISO 1920-3 Ensayos de hormigón – Parte 3: Elaboración y curado de probetas de ensayo. Montevideo, Uruguay.
- Instituto Uruguayo de Normas Técnicas. (2020). UNIT-ISO 1920-4 Ensayos de hormigón – Parte 4: Resistencia del hormigón endurecido.
- Jadhav, G., Bhagwat, K., Amit, G., and Akshay, N. (2018). Crushed Stone Waste As Fine Aggregate for Pumped Concrete. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering* v. 07, n. 04, p. 593–602.
- Khudyakova, L.I., Kislov, E. V., Kotova, I.Y., and Paleev, P.L. (2021). Concretes made of magnesium–silicate rocks. *Minerals* v. 11, n. 5.
- Lentz, L.C., and Antunes, E.G.P. (2021). Analysis of the influence of partial replacement of mineral aggregate by basaltic rock dust on the production of industrialized adhesive mortar. *Materiales de Construcción* v. 71, n. 341.
- Li, H., Wang, Z., Huang, F., Yi, Z., Xie, Y., Sun, D., and Sun, R. (2020). Impact of different lithological manufactured sands on high-speed railway box girder concrete. *Construction and Building Materials* v. 230, p. 116–943.
- Meziane, E.H., Ezziane, K., Kenai, S., and Kadri, A. (2015). Mechanical, hydration, and durability modifications provided to mortar made with crushed sand and blended cements. *Journal of Adhesion Science and Technology* v. 29, n. 18, p. 1987–2005.
- Nanthagopalan, P., and Santhanam, M. (2011). Fresh and hardened properties of self-compacting concrete produced with manufactured sand. *Cement and Concrete Composites* v. 33, n. 3, p. 353–58.
- Nécira, B., Guettala, A., and Guettala, S. (2017). Study of the combined effect of different types of sand on the characteristics of high performance self-compacting concrete. *Journal of Adhesion Science and Technology* v. 31, n. 17, p. 1912–28.
- Osuji, S., and Egbon, B. (2015). Optimizing Compressive Strength Characteristics of Hollow Building Blocks from Granite Quarry Dust and Sand. *Nigerian Journal of Technology* v. 34, n. 3, p. 478.
- Prasetia, I., and Maulana, A. (2019). Effects of crushed stone waste as fine aggregate on mortar and concrete properties. In *Sriwijaya International Conference on Science, Engineering and Technology*.
- Ramírez Ortiz, J.L., Barcena Díaz, J.M., and Urreta Ormaechea, J.I. (1985). Arenas calizas para la confección de hormigones: influencia de sus finos calizos y arcillosos a nivel de morteros. *Materiales de Construcción* v. 35, n. 200, p. 23–39.
- Singh, S., Nagar, R., Agrawal, V., Rana, A., and Tiwari, A. (2016). Sustainable utilization of granite cutting waste in high strength concrete. *Journal of Cleaner Production* v. 116, March, p. 223–35.
- Streckeisen, A. (1974). Classification and nomenclature of plutonic rocks recommendations of the



IUGS subcommission on the systematics of Igneous Rocks. *Geologische Rundschau* v. 63, n. 2, p. 773–86.

- Thangapandi, K., Anuradha, R., Awoyera, P.O., Gobinath, R., Archana, N., Berlin, M., and Oladimeji, O.B. (2020). Durability Phenomenon in Manufactured Sand Concrete: Effects of Zinc Oxide and Alcofine on Behaviour. *Silicon* v. 13, n. 4, p. 1079–85.
- Veroslavsky Barbe, G., Ubilla Gutiérrez, M., and Martínez Chiappara, S.A. (2004a). Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales: Cenozoico. Montevideo, Uruguay.
- Veroslavsky Barbe, G., Ubilla Gutiérrez, M., and Martínez Chiappara, S.A. (2004b). Cuencas sedimentarias de Uruguay: geología, paleontología y recursos naturales: Mesozoico. Montevideo, Uruguay.
- Yang, R., Yu, R., Shui, Z., Guo, C., Wu, S., Gao, X., and Peng, S. (2019). The physical and chemical impact of manufactured sand as a partial replacement material in Ultra-High Performance Concrete (UHPC). *Cement and Concrete Composites* v. 99, May, p. 203–13.