



Elaboración del concreto con agregados reciclados para su utilización en la industria del premezclado

Preparation of concrete with recycled aggregates for use in the Ready Mix concrete industry

Preparação de Betão com agregados reciclado para uso na indústria de Betão pronto

ARTÍCULO ORIGINAL

Milagros Cecilia Davila Pablo

milace.davila@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0007-7075-0017>

Universidad Nacional de
Ingeniería,
Lima - Perú

Max Huaynalaya Rashuaman

mhuaynalayar@uni.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0002-8956-2194>

Universidad Nacional de
Ingeniería,
Lima - Perú

José Manuel Zapata Samata

jcc@uni.edu.pe

<https://orcid.org/0009-0007-7455-8559>

Universidad Nacional de
Ingeniería,
Lima - Perú

Heddy Marcela Jiménez Yabar

hjimenez@uni.edu.pe

<https://orcid.org/0000-0003-1722-6615>

Universidad Nacional de
Ingeniería,
Lima - Perú

Recibido 15 de Marzo 2024 | Arbitrado y aceptado 20 de Marzo 2024 | Publicado el 04 de Abril 2024

RESUMEN

Los agregados para concreto vienen agotándose día a día, por ello se analiza nuevas fuentes de materia prima para el concreto. En esta investigación se emplearon los agregados reciclados con el fin de usarlos en la industria del premezclado. El concreto premezclado debe cumplir requisitos como: slump inicial, mantenimiento de la trabajabilidad superior a 2 horas, tiempo de fragua, f_c a los 28 días, etc. Como conclusión de la investigación se tuvo que los agregados reciclados no pueden ser empleados en un 100% del diseño de mezcla, sino que deben emplearse en porcentajes de reemplazo parciales de hasta 50%, así mismo es imprescindible el uso de aditivos especializados base polímeros para contrarrestar el efecto altamente absorbente de los agregados reciclados.

Palabras clave: aditivos para concreto, concreto premezclado, agregados reciclados.

ABSTRACT

Aggregates for concrete are running out day by day, which is why new sources of raw materials for concrete are being analyzed. In this research, recycled aggregates were used to be part of the ready-mix concrete industry. Ready mix concrete must meet requirements such as: initial slump, maintenance of workability greater than 2 hours, setting time, f_c at 28 days, etc. As a conclusion of the investigation, it was found that recycled aggregates cannot be used in 100% of the mix design but must be used in partial replacement percentages of up to 50%, likewise, the use of specialized polymer-based admixtures is essential to counteract the highly absorbent effect of recycled aggregates.

Keywords: concrete admixtures, ready-mixed concrete, recycled aggregates.

RESUMO

Os agregados para concreto estão se esgotando a cada dia, por isso novas fontes de matéria-prima para concreto estão sendo analisadas. Nesta pesquisa foram utilizados agregados reciclados para utilização na indústria de pré-misturas. O concreto pré-misturado deve atender a requisitos como: abatimento inicial, manutenção da trabalhabilidade superior a 2 horas, tempo de pega, f_c em 28 dias etc. Como conclusão da investigação, constatou-se que os agregados reciclados não podem ser utilizados em 100% do desenho da mistura, mas devem ser utilizados em porcentagens de substituição parcial de até 50%. Da mesma forma, o uso de aditivos especializados à base de polímeros é essencial para neutralizar o efeito altamente absorvente dos agregados reciclados.

Palavras-chave: aditivos para concreto, concreto pronto, agregados reciclados.

INTRODUCCIÓN

En Lima, la demanda de concreto premezclado se ha incrementado en los últimos años debido al crecimiento del sector construcción. En los últimos años el número de empresas productoras de concreto premezclado en Lima ha ido en aumento y cada una de ellas tiene diferentes plantas de concreto en la periferia de la ciudad; el mercado del concreto en Lima produce mensualmente unos 230 mil m³ de concreto, lo que representa aproximadamente 2 millones 800 mil m³ de concreto al año. (Viacava, 2016)

Según la Asociación Nacional de Concreto Premezclado NRMCA, del 3% al 5% del concreto fresco producido es regresado a la planta concretera para su posterior procesamiento y adecuada eliminación. En este contexto solo algunas empresas de premezclado en el Perú están empezando a reutilizar parte de estos residuos generados; por ejemplo, en el Reporte de Sostenibilidad 2017 de la empresa UNICON se indica que todas sus plantas de concreto cuentan con espacios destinados para la sedimentación del agua y los agregados, y de esta manera reutilizan el agua decantada. Sin embargo, aún hay gran parte de estos desperdicios que van directamente a los rellenos sanitarios a través de empresas operadoras de residuos sólidos EO-RS, lo cual genera contaminación al medio ambiente.

Toda esta información nos lleva a la siguiente interrogante: ¿Qué alternativa se puede plantear a las empresas concreteras para que puedan reaprovechar los residuos generados producto de las devoluciones de concreto fresco y de esta manera reducir el envío de residuos a los rellenos sanitarios, así como el impacto ecológico hacia el medio ambiente?

Hoy en día se tiene la alternativa para reciclar el concreto cuando éste ya se encuentra en estado endurecido; en tal caso se aplica el proceso de triturado y zarandeado para luego obtener agregados finos y gruesos que posteriormente puedan ser usados en una mezcla. Los agregados triturados o también llamados agregados reciclados tienen la característica inherente de ser más porosos y por lo tanto altamente absorbentes; esta característica afecta la consistencia del concreto, así como su trabajabilidad en el tiempo, por ello la necesidad de emplear una alternativa química para contrarrestar este efecto desafiante. (Master Builders Solutions, 2022). El uso de agregados reciclados dentro del

diseño de mezcla de concreto ayudará a generar una estrategia de economía circular en la industria del premezclado, lo cual es fundamental para avanzar hacia objetivos de sostenibilidad medibles.

Problema general: ¿Cómo puede ser viable el uso de agregados reciclados en una mezcla de concreto como reemplazo total o parcial de los agregados fino y grueso, de modo que cumpla con los requerimientos de la industria del premezclado?

Problemas específicos: a) ¿Cómo es la caracterización (propiedades físicas) de los agregados reciclados de concreto producto del triturado y zarandeado?, b) ¿Cómo variarán las propiedades del concreto con el uso de agregados reciclados en su composición?, c) ¿La propuesta de concreto con agregados reciclados será viable tanto técnica como económicamente?

METODOLOGIA

La presente investigación corresponde a un estudio con enfoque cuantitativo; se desarrollaron pruebas experimentales en laboratorio tanto en mortero como en concreto, analizando las variables identificadas sobre los porcentajes de reemplazo de agregado reciclado. Sobre la base de datos obtenida, se realizará interpretación de resultados y posterior validación de la hipótesis referente a la propuesta de uso de los agregados reciclados aplicado a la industria del concreto premezclado valiéndonos de la tecnología química de los aditivos base polímeros. El programa de pruebas desarrollado tiene como población: 11 pruebas en mortero con reemplazos parciales de arena reciclada y 28 pruebas en concreto con reemplazos parciales de arena y piedra recicladas. En ambos casos la pauta inicial para la continuidad de la prueba fue la mantención del tiempo de trabajabilidad a las 2 horas; de esta manera nos aseguramos de que el concreto diseñado sirva para poder atender requerimientos de concreto premezclado donde el camión mixer debe viajar desde la planta concretera hacia la obra. En las tablas 1 y 2 se ven las dosificaciones planteadas tanto para el mortero como para el concreto.

Tabla 1

Dosificación de mezcla para mortero patrón y con reemplazos de arena reciclada

Material	Procedencia	Mezcla Patrón	Reemplazo		Reemplazo 60%		Reemplazo	
			30% agregado reciclado	agregado.	agregado.	100% agregado reciclado		
Cemento	UNACEM	510 gr	510.0 gr	510.0 gr	510.0 gr	510.0 gr	510.0 gr	
Agua	MBS	229.00 ml	259.0 ml	289.0 ml	289.0 ml	328.4 ml	328.4 ml	
Arena natural	Jicamarca	1810.00 gr	1266.9 gr	724.0 gr	724.0 gr	0.0 gr	0.0 gr	
Arena reciclada	Ciclo Master		495.5 gr	914.0 gr	914.0 gr	1651.5 gr	1651.5 gr	
Aditivos	Builders	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	

Fuente: Elaboración propia

Nota: (*) Se irá variando las dosis de todos los aditivos hasta encontrar la combinación de dosis que más nos acerque al resultado requerido.

Tabla 2

Dosificación de mezcla por metro cúbico para concreto patrón y concretos con reemplazos de arena y piedra recicladas

PARAMETROS	UNIDAD	M1: Concreto patrón	M2:	M3:
			Concreto con 30% de reemplazo de agregado reciclado	Concreto con 50% de reemplazo de agregado reciclado
DOSIFICACION DE MATERIALES POR M ³				
Aditivos	cc/kg cte	(*)	(*)	(*)
Cemento Sol Tipo I	Kg/m ³	300	300	300
Agua potable	L/m ³	192	192	192
Arena Jicamarca	Kg/m ³	993	695	496
Arena Reciclada	Kg/m ³	0	262	437
Piedra huso 5	Kg/m ³	371	371	371
Piedra huso 67	Kg/m ³	553	387	276
Piedra reciclada	Kg/m ³		135	225

Fuente: Elaboración propia

Nota: (*) Se irá variando las dosis de aditivos hasta encontrar la combinación de dosis que más nos acerque al resultado requerido para la industria del concreto premezclado.

RESULTADOS

a) Caracterización de los agregados reciclados empleados: se evidencia que tanto el agregado fino, como el agregado grueso no cumplen con los husos granulométricos establecidos por las normas debido a la gran cantidad de mortero adherido que tienen en su superficie, que finalmente termina siendo material fino. En la Tabla 3, se puede apreciar los valores de las propiedades físicas de los agregados reciclados empleados

Figura 1

Curva granulométrica para el agregado fino reciclado (izquierda), Curva granulométrica para el agregado grueso reciclado (derecha)

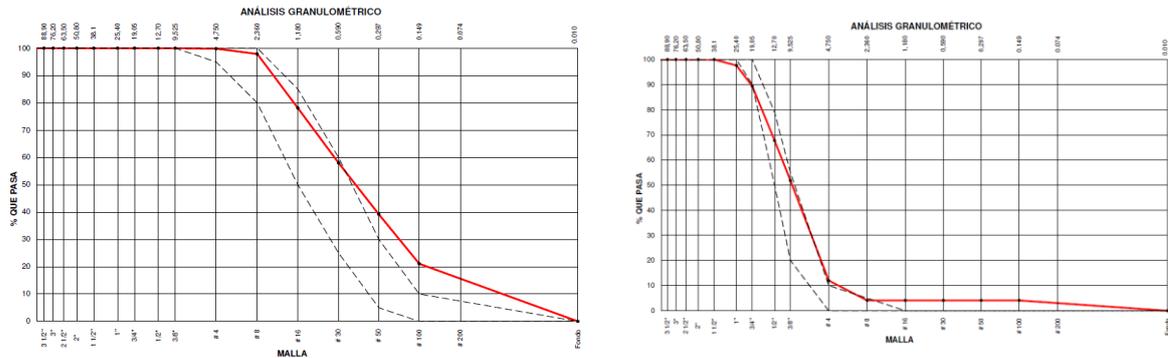


Tabla 3

Características físicas de los agregados reciclados empleados

Características Físicas	Arena	Piedra
	Fina	
Peso Específico de Masa Seco (gr/cm ³)	2.544	2.177
Peso Específico de Masa SSS (gr/cm ³)	2.591	2.271
Peso Específico de Masa Aparente (gr/cm ³)	2.719	2.402
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1523	1385
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1335	1261
Absorción (%)	1.85	4.3
Módulo de Fineza	2.06	6.26
% < Malla N° 200 (0.75 mm)	12	0.8
Humedad (%)	2.4	1.1

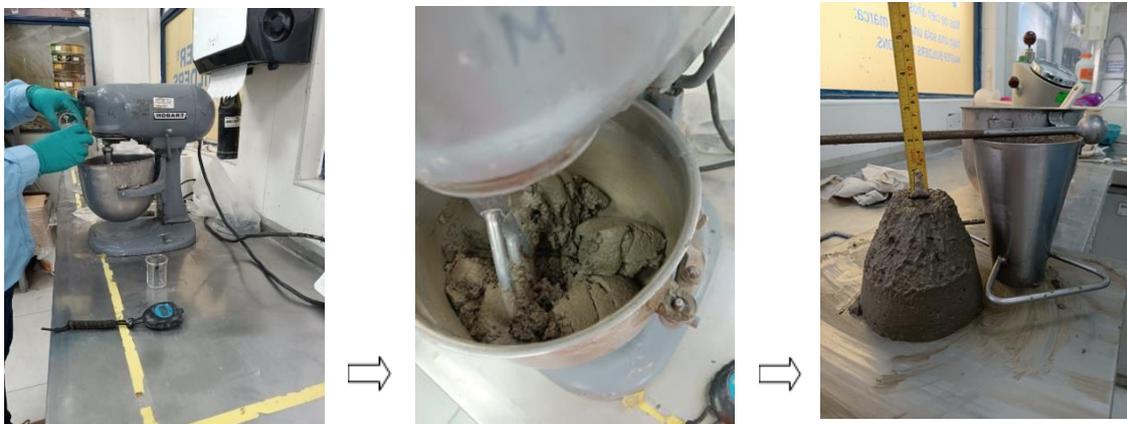
Fuente: Elaboración propia

b) Propiedades del mortero y concreto con el uso de agregados reciclados en su composición

Para el caso del mortero se elaboraron morteros con 30%, 60% y 100% de reemplazo de arena reciclada, de los resultados obtenidos se limitó las pruebas de concreto reciclado a un máximo de 50% de reemplazo de agregados. Esto debido a que en el mortero la mezcla se secaba a los pocos minutos de haberla preparado y ello solo considerando el efecto de la arena

Figura 2

Proceso de elaboración y evaluación del mortero



Para el caso del concreto se elaboraron concretos comparando el uso de los aditivos que emplean todas las concretoras (superplastificante + retardante inicial) y a ello se le adicionó el aditivo en base a polímeros superabsorbentes para contrarrestar el efecto de la alta porosidad de los agregados reciclados. En las Figuras 3 y 4 se ve el comportamiento de la pérdida de trabajabilidad en el tiempo, propiedad muy importante para las productoras de concreto premezclado. Se evidencia que cuando se emplea la tecnología de los polímeros, se ve una mejora en el mantenimiento de la trabajabilidad, sin embargo, esto aun no es suficiente para lo exigido por la industria.

Figura 3

Pérdida de asentamiento en el tiempo concreto con superplastificante + retardante inicial

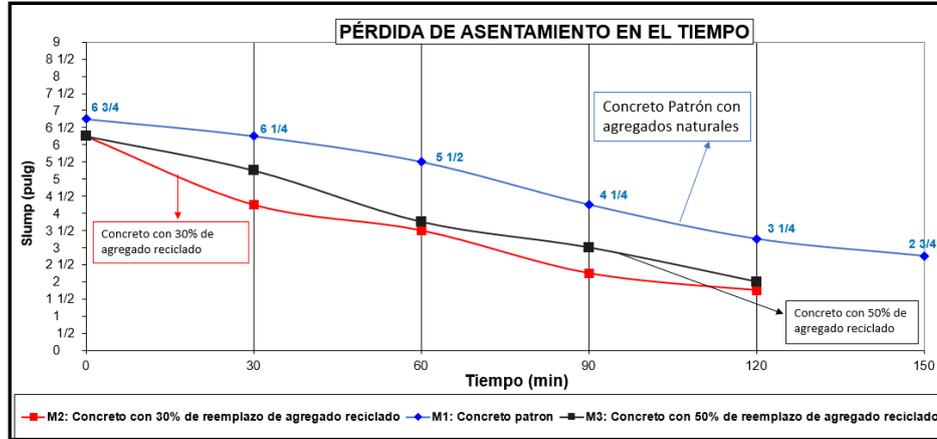
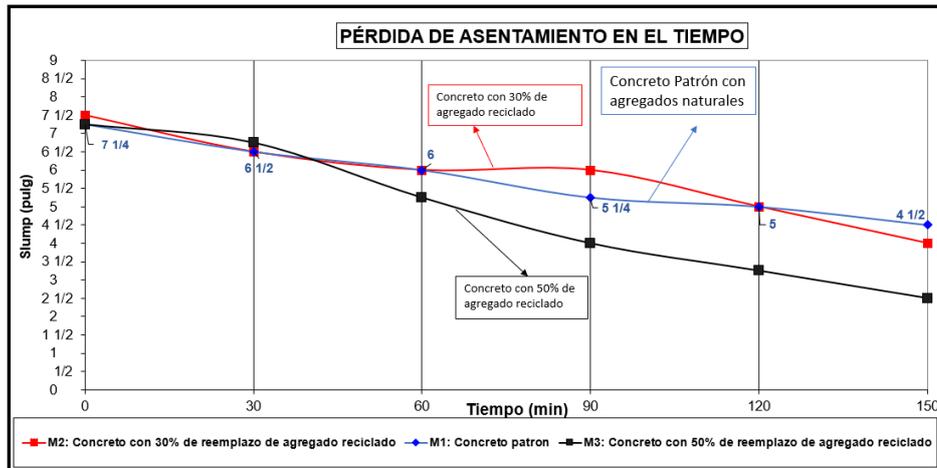


Figura 4

Pérdida de asentamiento en el tiempo concreto con superplastificante + retardante inicial + polímeros



Como consecuencia de estos primeros resultados, se encontró que, para lograr una adecuada mantención de la trabajabilidad, es necesario que el slump inicial sea igual o superior a 7 1/2”, de esta manera la pérdida de trabajabilidad no es tan abrupta. Por ello se hizo una segunda corrida de pruebas; esta vez con un superplastificante de alto rango para lograr el slump de arranque deseado. En este caso también se hizo el comparativo de: superplastificante de alto rango + retardante inicial, con superplastificante de alto rango + retardante inicial + polímeros superabsorbentes; la pérdida de trabajabilidad en el tiempo en ambos casos se aprecia en las Figuras 5 y 6.

Figura 5

Pérdida de asentamiento en el tiempo concreto con superplastificante de alto rango + retardante inicial

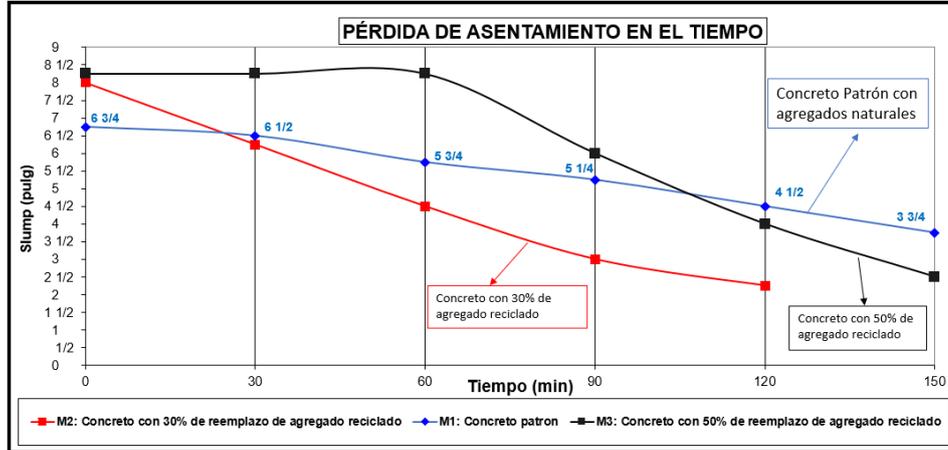
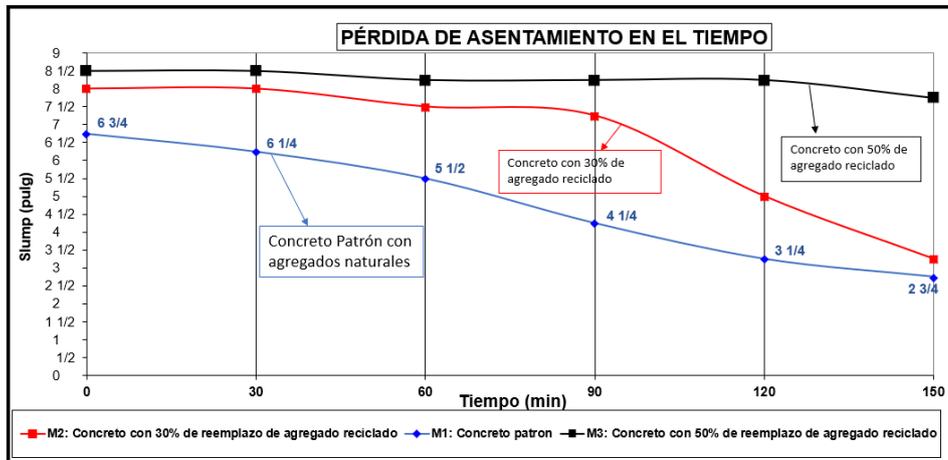


Figura 6

Pérdida de asentamiento en el tiempo concreto con superplastificante de alto rango + retardante inicial + polímeros



Otra propiedad fundamental en la industria del concreto premezclado es alcanzar la resistencia a la compresión requerida, en tal sentido, en las Tablas 4 y 5 se muestran los datos obtenidos para las mezclas en ambos escenarios.

Tabla 4

Resultado de Resistencias a la compresión Escenario 1: Diseño con aditivo: superplastificante de alto rango + retardante inicial + polímeros

Escenario 1: Resistencia a la compresión kg/cm²		M1:	M2:	M3:
		Concreto patrón	Concreto con 30% de reemplazo de agregado reciclado	Concreto con 50% de reemplazo de agregado reciclado
1.1 Superplastificante + Retardante inicial	f'c @ 24	126	184	180
	Horas			
	f'c @ 3	191	363	368
	días			
	f'c @ 7	343	378	374
	días			
	f'c @ 28	427	467	431
	días			
1.2 Superplastificante + Retardante inicial + polímeros	f'c @ 24	126	140	172
	Horas			
	f'c @ 3	191	222	200
	días			
	f'c @ 7	343	278	273
	días			
	f'c @ 28	427	339	352
	días			

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5

Resultado de Resistencias a la compresión Escenario 1: Diseño con aditivo: superplastificante de alto rango + retardante inicial + polímeros

Escenario 2: Resistencia a la Compresión: kg/cm²		M1:	M2:	M3:
		Concreto patrón	Concreto con 30% de reemplazo de agregado reciclado	Concreto con 50% de reemplazo de agregado reciclado
2.1 Superplastificante de alto rango + Retardante inicial	f'c @ 24	126	131	163
	Horas			
	f'c @ 3	191	240	250
	días			
	f'c @ 7	343	283	339
	días			
	f'c @ 28	427	357	361
	días			
2.2 Superplastificante	f'c @ 24	126	162	220
	Horas			

de alto rango + Retardante inicial + polímeros	f'c @ 3 días	191	311	316
	f'c @ 7 días	343	295	381
	f'c @ 28 días	427	422	428

Fuente: Elaboración propia

c) La propuesta es técnica y económicamente viable.

En cuanto a la parte técnica, se alcanzó las propiedades que exige la industria del premezclado sobre todo en la mezcla con un reemplazo de 30% de agregados reciclados; las propiedades analizadas fueron: mantenimiento de la trabajabilidad en el tiempo. resistencia a la compresión a los 28 días, también se evaluó el contenido de aire, el cual presentaba valores de hasta 1% superior a la del concreto patrón; sin embargo, ello no terminó afectando a la resistencia final. Se evaluó también el tiempo de fragua inicial y final, donde se evidencio que los concretos que llevan agregados reciclados en su composición presentan tiempos de fragua menores que un concreto convencional.

En cuanto al aspecto económico, en el primer escenario (superplastificante +retardante inicial + polímeros) existe un incremento económico por emplear los diseños con agregados reciclados, en el caso del diseño con 30% de reemplazo de agregados reciclados se tiene un incremento de S/ 11.6 por metro cúbico respecto al costo del concreto patrón; por otro lado, para el caso del diseño con 50% de reemplazo de agregado reciclado se tiene una diferencia superior de S/ 19.26 por metro cubico. Para el segundo escenario (superplastificante de alto rango + retardante inicial + polímeros) existe un incremento económico por emplear los diseños con agregados reciclados, en el caso del diseño con 30% de reemplazo de agregados reciclados se tiene un incremento de S/ 23.55 por metro cúbico respecto al costo del concreto patrón; y para el caso del diseño con 50% de reemplazo de agregado reciclado se tiene una diferencia superior de S/ 40.59 por metro cúbico.

DISCUSIÓN

-Si bien en ambos casos se ve un incremento de costos, debido a la mayor demanda de aditivos por la inherente propiedad de alta porosidad de los agregados reciclados, esto se verá compensado con el costo de la disposición de dicho material que finalmente

hubiera tenido que ser dispuesto en un relleno sanitario. En la Tabla 28 se puede apreciar el costo por disponer una tonelada de residuo de construcción que es de S/1600, y eso lo contrastamos con el costo que se hubiera dado en caso de disponerse los agregados reciclados que finalmente se terminan reusando en el diseño; en el caso del diseño con 30% de agregado reciclado se hubiera empleado 367 kg de material y el costo de disponer dicho material sería de S/ 635.2.

-La tecnología actual de aditivos empleados en los concretos convencionales preparados por la industria del premezclado: superplastificante más retardante inicial, no es suficiente para lograr una adecuada mantención de la trabajabilidad de la mezcla de 2 horas, para el caso donde se vaya a emplear reemplazos de agregados reciclados. Esto se vio evidenciado en todas las pruebas realizadas con agregados reciclados, donde no se emplearon los polímeros, solo se llegaba al slump de arranque y en pocos minutos la mezcla se secaba.

- Es necesario el uso de un tercer aditivo, que en este caso son los polímeros, para usar los agregados reciclados dentro de una mezcla de concreto y satisfacer lo requerido por la industria del premezclado; este aditivo contrarresta el efecto altamente absorbente de los agregados reciclados. La dosis empleada del aditivo en base polímeros fue de 3.5 cc/kg cemento para un reemplazo de hasta 30% de agregado reciclado, con óptimos resultados de mantenimiento de la trabajabilidad y resistencia a la compresión.

REFERENCIAS

- Brito Prado Vieir, L., Domingues de Figueiredo, A., & Moacyr John, V. (s.f.).
Evaluation of the use of crushed returned concrete as recycled aggregate in ready-mix concrete plant. *Artículo de Investigación*. Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo.
- Bester, J., Kruger, D., & Broadley, M. (2017). *Matec Web of Conferences*.
<https://doi.org/10.1051/mateconf/201712003010>
- Campos, E., & Saenz, J. (2020). HORMIGÓN ESTRUCTURAL CON AGREGADOS RECICLADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS. (Tesis para optar por el título de Ingeniero). UNIVERSIDAD RICARDO PALMA, Lima, Peru.

- Caycho, T., & Espinoza, D. (2019). MEZCLA DE CONCRETO CON AGREGADO GRUESO RECICLADO USANDO CEMENTO PORTLAND TIPO HS PARA CIMENTACIONES, DISTRITO LA MOLINA, AÑO-2019. Universidad Ricardo Palma, Lima, Peru.
- Curto, F., Ferrari, G., & Carrá, S. (01 de 10 de 2013). Nordic Rheology Society. Retrieved 2022, from <https://nordicrheologysociety.org/>: https://nordicrheologysociety.org/Content/Transactions/2013/10_CurtoRheologicaIApproachforRecyclingReturnedConcrete.pdf
- Dias, A., Nezami, S., Silvestre, J., Kurda, R., Silva, R., Martins, I., & De Brito, J. (2022). Environmental and Economic Comparison of Natural and. Feature Papers in Recycling 2022.
- Jordan, J., & Viera, N. (2014). Estudio de la resistencia del concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de obra. Tesis para optar por el título de ingeniero Civil. Universidad Nacional del Santa, Nuevo Chimbote, Peru.
- Kazaz, A., & Ulubeyli, S. (2016). Current Methods for the Utilization of the Fresh Concrete Waste. Turquia. Retrieved 1 de mayo de 2022, from www.sciencedirect.com
- Letelier, V. (2019). Áridos reciclados de residuos de la construcción: Hacia una economía circular del hormigón. (F. Kraljevich, Entrevistador)
- Martinez Lara, E. (2020). DESEMPEÑO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS – MECANICAS DEL CONCRETO, UTILIZANDO AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO, LAMBAYEQUE 2020. Tesis para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Señor de Sipan, Pimentel-Peru.
- Master Builders Solutions. (09 de Abril de 2022). Master Builders Solutions. www.master-builders-solutions.com
- MDPI. (09 de 05 de 2022). Environmental and Economic Comparison of Natural and Recycled Aggregates Using LCA: <https://www.mdpi.com/2313-4321/7/4/43>
- Pasquel, E. (2019). Concreto en estado fresco en la obra. Entendiendo el concreto, 5-10.
- Samaniego, L. M. (2018). INFLUENCIA DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ARENAS Y CEMENTOS PERUANOS EN EL DESEMPEÑO DE ADITIVOS

PLASTIFICANTES PARA CONCRETO. Tesis para optar por el grado de Magister en Química. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Peru.

- Soliman, A., & Nehdi, M. (2013). Effect of partially hydrated cementitious materials on early-age shrinkage of ultra-high-performance concrete. *Magazine of Concrete Research*, 1147-1154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1680/mac.13.00044>
- Viacava, J. L. (01 de junio de 2016). Concreto en Obra: Un mercado cada vez más solido. (P. Construye, Entrevistador)
- Vieira, L., Figueredo, A., & John, V. (2020). Evaluation of the use of crushed returned concrete as recycled aggregate in ready-mix concrete plant. *Journal of Building Engineering*, 31. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.job.2020.101408>
- Wang, B., Ni Fu, Q., Libo, Y., & Kasal, B. (2021). A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. *Resorces Conservation & Reciclyng*, 1-30.

Financiamiento de la investigación

Con recursos de la empresa MasterBuilders Solutions Peru SA (2022), los agregados reciclados fueron donados por al empresa CICLO Peru.

Declaración de intereses

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derechos de uso

Copyright© 2022 por **Milagros Cecilia Dávila Pablo, Max Huaynalaya Rashuaman, José Manuel Zapata Samata, Heddy Marcela Jiménez Yabar**



[Este texto está protegido por la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.