ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.960

Compressive Strength of Concrete f'c = 210 kg/cm² with Coarse Aggregate Substitution at 20%, 25%, and 30% Using Recycled Concrete, Cajamarca 2023

Luis Diego Alva Pajares, Ing.[1], Lily Elizabeth Salazar Idrogo, Ing.[2], and Orlando Aguilar Aliaga, Ing.[3]
[1]Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00015835@upn.pe
[2]Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00208571@upn.pe
[3]Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, orlando.aguilar@upn.edu.pe

The present research project evaluates the compressive strength of concrete f'c = 210 kg/cm², using recycled concrete coarse aggregate (RCCA) sourced from demolition waste at substitution rates of 20%, 25%, and 30%. The physical-mechanical properties of both RCCA and natural aggregate were determined, followed by mix design using the ACI method. The experimental design included a control group (base concrete) and three experimental groups tested at 7, 14, 21, and 28 days. A total of 96 cylindrical specimens were analyzed. Results showed that RCCA concrete surpassed the design strength f'c = 210 kg/cm², achieving an average compressive strength of f'cr = 340.58 kg/cm² at 28 days, with increases of 9.48%, 17.81%, 15.29%, and 16.63% compared to the base concrete. These findings demonstrate that RCCA is viable for structural applications in construction.

Keywords: ***Recycled concrete, physical-mechanical properties and construction and demolition waste.***

Resistencia a Compresión del Concreto f'c=210 kg/cm² con Sustitución del Agregado Grueso por Concreto Reciclado al 20%, 25% y 30%, Cajamarca 2023

Luis Diego Alva Pajares, Ing.[1], Lily Elizabeth Salazar Idrogo, Ing.[2], and Orlando Aguilar Aliaga, Ing.[3]
[1]Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00015838@upn.pe
[2]Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, n00208571@upn.pe
[3]Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, orlando.aguilar@upn.edu.pe

El presente proyecto de investigación evalúa la resistencia a compresión del concreto con resistencia de diseño f'c=210 kg/cm², sustituyendo el agregado grueso natural por agregado grueso de concreto reciclado (AGCR) en proporciones del 20%, 25% y 30%. Los agregados reciclados se obtuvieron a partir de muestras obtenidas en la Universidad Privada del Norte (UPN). Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas de los agregados reciclados y naturales, y se diseñaron mezclas de concreto utilizando el método del ACI. La investigación experimental comparó un grupo control (probetas base) con tres grupos experimentales con AGR. Un total de 96 especímenes cilíndricos que fueron evaluados en resistencia a la compresión a los 7, 14, 21 y 28 días. Los resultados mostraron una mejora promedio del 16.63% en la resistencia a compresión en todos los niveles de sustitución, logrando una media de f'cr=340.58 kg/cm², superando la resistencia de diseño objetivo. Estos hallazgos confirman la idoneidad del AGCR para su uso en aplicaciones de concreto estructural, reduciendo los desechos de construcción y promoviendo la sostenibilidad en proyectos de ingeniería civil.

Palabras Clave: Concreto reciclado, propiedades físico-mecánicas y residuos de construcción y demolición.

I. Introducción

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo debido a su versatilidad, resistencia y adaptabilidad. Su importancia histórica radica en haber sido fundamental para la construcción de estructuras clave desde los inicios del Imperio Romano hasta las grandes metrópolis actuales [1]. Su capacidad para resistir compresión y adaptarse a diferentes formas lo convierte en un material insustituible en proyectos de infraestructura.

En Europa, Alemania se posiciona como líder en el manejo de residuos de construcción y demolición. La implementación de tecnologías avanzadas, como trituradoras eficientes y sistemas de clasificación automatizada, ha permitido reciclar más del 90% de los materiales generados en obras civiles, incorporándolos en nuevas mezclas de concreto. Esto reduce la dependencia de recursos naturales y disminuye significativamente las emisiones de CO_2. [2]

Japón ha logrado que el 98% de los residuos de construcción sean reutilizados gracias a estrictas normativas ambientales. Este enfoque ha permitido la implementación del concreto reciclado en grandes proyectos de infraestructura, destacando su compromiso con la sostenibilidad y la innovación tecnológica. [3]

En España, la normativa técnica de Bloques de Tierra Comprimida (BTC) permite el uso de aditivos reciclados en la construcción. Estudios han mostrado incrementos de resistencia de hasta un 20% en mezclas estabilizadas con emulsiones asfálticas, lo que refuerza su aplicación en proyectos urbanos y rurales. [4]

En países como Colombia y Perú, el uso de residuos reciclados en concreto y adobe ha generado resultados prometedores. En Colombia, se logró mejorar la resistencia a la compresión y penetración de agua al incorporar emulsiones asfálticas en porcentajes del 50% respecto al peso del agua, mientras que en Perú se han explorado materiales como el aceite reciclado de cocina para mejorar propiedades mecánicas de materiales de construcción.[5] Sin embargo, la producción masiva de concreto tiene un impacto significativo en el medio ambiente. La extracción de agregados naturales y la generación de residuos de construcción han contribuido a la degradación ambiental. Según la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), en ciudades como Lima se generan diariamente hasta 30,000 m³ de escombros de construcción, de los cuales el 70% termina en ríos y mares. [6]

A nivel mundial, se generan más de 6.5 mil millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD) cada año, de los cuales una gran proporción corresponde a materiales inertes como concreto y ladrillos [7]. En Perú, la falta de infraestructura adecuada para manejar estos residuos ha llevado a la acumulación de desechos en áreas urbanas y rurales, creando problemas ambientales significativos.

Los avances tecnológicos en reciclaje han demostrado que los agregados reciclados pueden cumplir con estándares técnicos para concreto estructural. La trituración y clasificación adecuadas eliminan impurezas y garantizan granulometrías uniformes. La incorporación de tecnologías avanzadas en el reciclaje de residuos de construcción ha permitido obtener agregados reciclados de alta calidad. Métodos como la separación magnética, el lavado con ultrasonido y el uso de trituradoras de última generación aseguran una mayor pureza y uniformidad del material reciclado, mejorando su desempeño en aplicaciones estructurales.

El uso de agregados reciclados contribuye directamente a la preservación de recursos naturales como grava y arena, cuya extracción descontrolada afecta la estabilidad de ecosistemas fluviales y terrestres. Esto es particularmente relevante en regiones donde la demanda de materiales de construcción ha llevado a la sobreexplotación de canteras y ríos.

El aprovechamiento de RCD como agregados reciclados promueve un modelo de economía circular en el sector de la construcción, en el que los residuos se convierten en recursos valiosos. Esto fomenta la innovación y la creación de nuevas cadenas de valor, beneficiando tanto al medio ambiente como a las comunidades locales. Estudios recientes han demostrado que el costo de producción de concreto con agregados reciclados puede ser hasta un 20% menor que el concreto convencional en proyectos de mediana y gran escala. Esto lo convierte en una opción viable para los desarrolladores que buscan equilibrar sostenibilidad y rentabilidad.

La reutilización de materiales reciclados se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), específicamente con el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables). Este enfoque no solo mitiga el impacto ambiental, sino que también contribuye a construir un futuro más sostenible.

El concreto reciclado, obtenido a partir de la trituración de residuos de construcción, tiene un potencial significativo como sustituto parcial de agregados gruesos. Investigaciones previas han demostrado que, con un tratamiento adecuado, estos materiales pueden alcanzar propiedades mecánicas comparables a los agregados naturales, mejorando simultáneamente la sostenibilidad del sector construcción. En un estudio reciente, Modi encontró que la resistencia mecánica de mezclas con reemplazos de hasta 75% de agregados reciclados incrementó un 20%, resaltando su viabilidad para aplicaciones estructurales [8]. De manera similar, Basit et al. identificaron que reemplazos del 30% maximizan la resistencia sin afectar significativamente la durabilidad. [9]

El concreto con agregados reciclados ha demostrado un desempeño favorable frente a eventos extremos como terremotos o exposiciones prolongadas a ciclos de congelación y deshielo. Esto respalda su aplicación en infraestructuras críticas, especialmente en regiones con alta actividad sísmica como el Perú. En Perú, investigaciones como las de Centurión en Cajamarca han validado que el uso de concreto reciclado puede incrementar hasta en un 15.79% la resistencia a compresión en comparación con mezclas tradicionales, destacando su viabilidad técnica y económica para proyectos locales. [10]

La integración de materiales reciclados en el concreto requiere el desarrollo de políticas públicas y normativas que incentiven su uso y regulación. Iniciativas como la NTP 400.053 en Perú establecen directrices para el manejo de RCD, pero aún existe un amplio margen para fortalecer su implementación y promover una construcción más responsable .

La metodología aplicada en este trabajo incluye el diseño de mezclas mediante el método ACI y la realización de ensayos normalizados, garantizando la reproducibilidad y precisión de los resultados. Este enfoque contribuye al desarrollo de investigaciones futuras y la implementación de normativas para el uso de materiales reciclados. Este estudio se centra en evaluar la resistencia a compresión de un concreto con f'c=210 kg/cm², empleando reemplazos parciales del agregado grueso con concreto reciclado en proporciones de 20%, 25% y 30%. Los resultados permitirán determinar la factibilidad de incorporar este material en proyectos constructivos sostenibles.

El objetivo principal de esta investigación es determinar la resistencia a compresión del concreto f'c=210 kg/cm² con sustitución parcial del agregado grueso por concreto reciclado en proporciones del 20%, 25% y 30%, evaluando su viabilidad técnica y su potencial para promover la sostenibilidad en el sector construcción en Perú. Para alcanzar este objetivo, se plantearon los siguientes objetivos específicos: Evaluar las propiedades físico-mecánicas de los agregados reciclados. Diseñar mezclas de concreto con sustituciones de 20%, 25% y 30% de agregado reciclado. Determinar la resistencia a compresión del concreto reciclado en edades de 7, 14, 21 y 28 días. Comparar los resultados obtenidos con los estándares establecidos para concreto convencional

La investigación no solo busca validar el uso de agregados reciclados, sino también establecer un precedente para la adopción de prácticas sostenibles en la construcción peruana. Además de resolver un problema técnico, pretende impulsar un cambio cultural y normativo en el sector de la construcción. Así mismo, la pregunta central que guía esta investigación es: ¿Cómo afecta la sustitución parcial del agregado grueso con concreto reciclado en proporciones del 20%, 25% y 30% a la resistencia a compresión del concreto f'c=210 kg/cm²?, la hipótesis planteada es que la resistencia a compresión del concreto con agregado reciclado alcanza valores iguales o superiores al concreto convencional f'c=210 kg/cm², especialmente en proporciones de reemplazo del 25% y 30%, lo que valida su viabilidad técnica.

La investigación en materiales reciclados continúa evolucionando, con estudios enfocados en el uso de nanotecnología y aditivos químicos para mejorar aún más las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto reciclado. Estas innovaciones abren nuevas posibilidades para la implementación de prácticas más sostenibles y eficientes.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación de enfoque cuantitativa de tipo aplicada experimental, ya que se recopilarán datos de pruebas a realizar de muestras, de nivel explicativo causal y utiliza y aplica el método de experimental puro ya que será en laboratorio, se obtendrán muestras a las cuales se les aplicarán una serie de pruebas en laboratorio y se manipulará una de las variables.

En la presente investigación, la población es igual a la muestra que será no probabilística de tipo espontánea, las unidades de observación es el concreto base y de concreto reciclado triturado al 20%, 25% y 30% a los 7, 14, 21 y 28 días.

Fig. 1 Proceso de curado de testigos de concreto

Nota: Curado de los testigos de concreto, a los 7, 14, 21 y 27 días en una piscina con agua potable, correctamente rotulados, para su posterior análisis y ruptura.

Los materiales empleados para la presente investigación fueron cemento Portland tipo I, agregado grueso, agregado fino de la cantera "Bazán" ubicada en la Av. Miguel Carducci N° 696, agua, concreto reciclado triturado que funcionará como agregado grueso proveniente de los residuos del laboratorio de concreto de la Universidad Privada del Norte, posterior a eso se llevó a triturar 300 kg de concreto de diferentes tipos en la cantera "Aguilar" ubicada en VG2M+4M9, Tartar Chico, Baños del Inca 06004.

Los agregados naturales se obtuvieron por método del cuarteo para los 500 kilos de agregado para ser ensayado y posterior a eso ser utilizado para la mezcla del concreto mediante el método del ACI, del mismo modo para el agregado fino por método de cuarteo los 500 kg, al cumplir ambos agregados todos ensayos según la normative vigente se emplearon en los 4 tipos de mezclas (concreto base 0% de AGCR, concreto muestral 20% de AGCR, concreto muestral 25% de AGCR y concreto muestral 30% de AGCR).

Según estipula la NTP 400.053 se deben realizar los mismos ensayos normalizados que para los agregados naturales por lo que en el agregado grueso de concreto reciclado (AGCR) se realizaron los siguientes ensayos: NTP 400.010, NTP 400.043, NTP 400.012, NTP 400.017, NTP 400.021, NTP 339.185.

La presente investigación se basa en normas y reglamentos tanto nacionales como internacionales las cuales son: NTP, ASTNA y ACI, asegurando que los resultados sean confiables y respaldados. Al integrar prácticas sostenibles, se fomenta un desarrollo más eficiente, equilibrado y respetuoso con el medio ambiente, asegurando un legado positivo para las generaciones futuras.

Tabla 1

Dosificación de los materiales para los 3 tipos de mezclas con AGCR

Mezcla	% CR	Agua m/ l^3	Cemento Kg/ m^3	Agregados Kg/ m^3		
				AGAN	AFAN	AGCR
PB	0	202.09	367.12	978.91	950.69	-
PM20%	20	202.09	367.12	697.53	950.69	174.38
PM25%	25	202.09	367.12	653.93	950.69	217.98
PM30%	30	202.09	367.12	610.34	950.69	261.57

Los ensayos normalizados para los agregados naturales, así como para el agregado grueso de concreto reciclado fueron realizados en el laboratorio de Ingeniería de la Universidad Privada del Norte, con herramientas e instrumentos regularizados, los cuales pasan por un riguroso proceso de selección, calidad y calibración lo que nos genera resultados confiables y verificables.

III. RESULTADOS

Ensayos realizados al agregado grueso natural (AGAN) y al agregado grueso de concreto reciclado (AGCR):

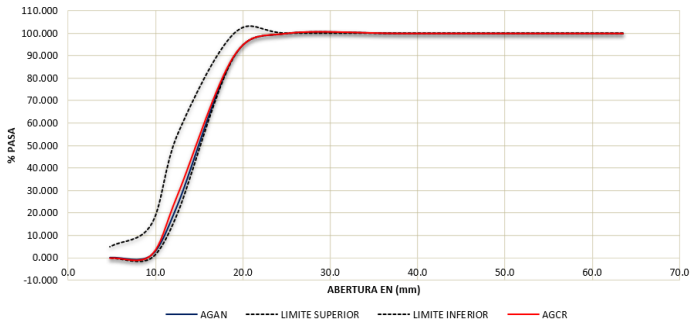

Fig. 2 Comparación de Granulometría de AGAN y AGCR

Nota: Los límites de ambos agregados están dentro de los límites del Huso 6 que se empleó para delimitar, también se puede observar que ambas líneas van casi iguales por lo que nos dice que el AGCR es muy parecido en cuestión de tamaño con respecto al AGAN.

Tabla 2

Comparación de densidades y absorción entre AGAN y AGCR

Descripción	AGAN	AGCR
Densidad (SH) kg/m3	2570	2406
Densidad (SSS) kg/m3	2636	2528
Densidad aparente kg/m3	2750	2740
Densidad relativa (SH)	2.570	2.406
Densidad relativa (SSS)	2.636	2.528
Densidad relativa aparente	2.2750	2.740
Absorción %	2.54	5.06

Nota: Las densidades de ambos agregados son similares, ligeramente más denso el AGCR y con un mayor porcentaje de absorción por casi el 3%.

Tabla 3

Comparación de Peso Unitario y % de Vacíos entre AGAN y AGCR

Descripción	AGAN	AGCR
Peso unitario suelto	1312	1304
Peso unitario compactado	1442	1388
Vacíos en el agregado suelto %	50	50
Vacíos en el agregado compactado %	45	47

Tabla 4

Comparación de Contenido de Humedad entre AGAN y AGCR

Descripción	UND	P.P.H
AGAN	%	2.641
AGCR	%	5.410

Nota: Como se observa en la table el % de contenido de humedad del AGCR es mayor al AGAN se debe a que tiene partículas de cemento incorporadas inicialmente y al ser más poroso que el AGAN.

Ensayos realizados al concreto en estado fresco y endurecido:

Tabla 5

Asentamiento de los 4 tipos de mezclas

Mezcla	Asentamiento (pulg)
PB	3.5
PM 20%	3.8
PM 25%	3.3
PM 30%	3.5

Nota: Los asentamientos de los 4 tipos de concreto están entre el asentamiento diseñado de 3" a 4", ya que debe ser una mezcla plástica.

Tabla 6

Resumen de las resistencias a compresión de las 6 probetas a los 28 días de curado, la media, desviación estándar y varianza

Resistencia a compresión a los 28 días				
Probeta	Porcentaje de reemplazo de AGCR			
	0%	20%	25%	30%
1	297.372	266.759	263.209	337.823
2	256.888	242.408	283.165	363.639
3	258.697	268.806	243.305	399.847
4	275.345	267.533	256.257	413.802
5	262.503	246.706	264.545	415.042
6	214.628	279.635	278.588	422.949
$\bar{X}$ kg/cm²	260.906	261.975	264.845	392.184
S kg/c m²	27.216	14.341	14.594	33.956
V kg/cm²	10.43	5.47	5.51	8.66

Nota: Se observa las diferencias de las 6 probetas en los 3 diferentes tipos de porcentaje de AGCR con respecto al concreto base sin adición de AGCR.

Tabla 7

Resumen de Resistencias a compresión de los 4 tipos de concretos

Edad	Porcentajes de reemplazo %			
	0	20	25	30
7	279.77	217.88	264.52	282.17
14	280.92	239.48	332.67	356.29
21	296.42	268.79	363.31	337.83
28	260.90	261.97	264.84	386.03

Nota: la Resistencia a compresión se midió en la máquina automática marca Fornay, la cual tuvo una fuerza constante para un óptimo resultado.

Tabla 8

Comparación en porcentaje de los 3 tipos de mezcla con reemplazo en la mezcla base

Edad	Porcentajes de reemplazo %			
	0	20	25	30
7	-	- 22.12%	- 5.45 %	+ 0.86%
14	-	- 14.75%	+ 18.42%	+ 20.26%
21	-	- 9.32%	+ 22.57%	+ 13.97%
28	-	+ 0.41%	+ 1.51%	+ 47.96%

Nota: Desde el primer concreto con reemplazo del 20% se observa el incremento de 0.41% a los 28 días de curado y en los dos posteriores la tendencia va en incremento y se vuelve más relevante al 30% de reemplazo con un aumento hasta el 47.96%.

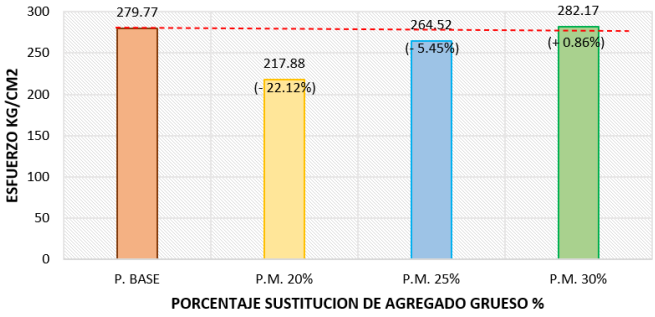

Fig. 3 Gráfico de barras de Resistencia a compresión con los diferentes porcentajes de reemplazo a los 7 días

Nota: Contrastación de resistencias en base a la probeta base y disminución de las probetas muestrales del 20 y 25%; por otro lado, aumento en la probeta muestral del 30%.

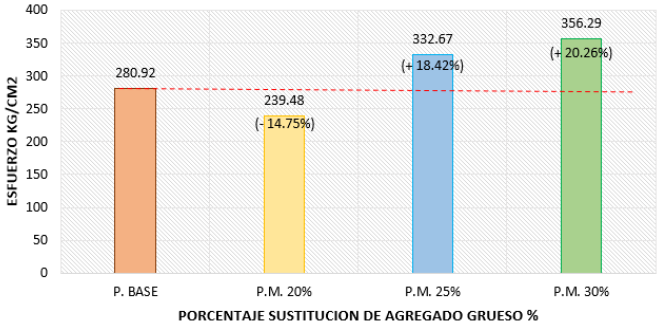

Fig 4. Gráfico de barras de Resistencia a compresión con los diferentes porcentajes de reemplazo a los 14 días

Nota: Contrastación de resistencias en base a la probeta base y disminución en la probeta muestral del 20%; por otro lado, aumento en las probetas muestrales de 25 y 30%.

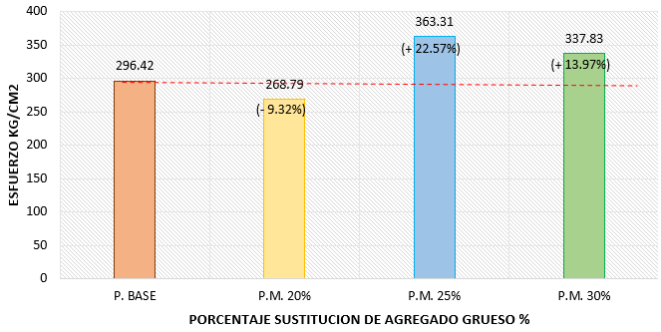

Fig. 5 Gráfico de barras de Resistencia a compresión con los diferentes porcentajes de reemplazo a los 21 días.

Nota: Contrastación de resistencias en base a la probeta base y disminución en la probeta muestral del 20%; por otro lado, aumento en las probetas muestrales de 25 y 30%.

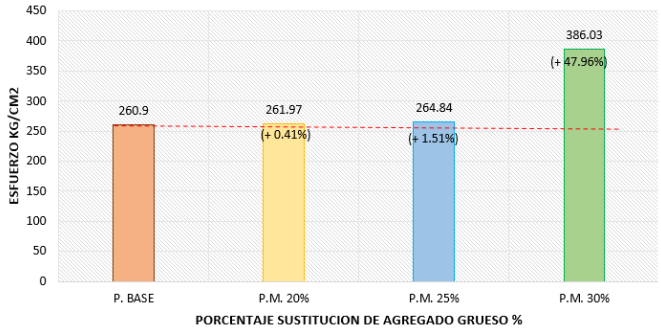

Fig. 6 Gráfico de barras de Resistencia a compresión con los diferentes porcentajes de reemplazo a los 28 días.

Nota: Contrastación de resistencias en base a la probeta base y aumento en las probetas muestrales de 20, 25 y 30%.

Discusión

El concreto muestral con reemplazo del 20% con respecto al concreto base disminuyó un 22.12%, el concreto muestral con reemplazo del 25% disminuyó un 5.45%, y el concreto muestral con reemplazo del 30% aumentó un 0.86%; con un promedio de disminución del 9.48%, con respecto a la resistencia a los 7 días debe ser el 65% de la resistencia lo que sería 136.5 kg/cm2 en ese caso todos los concretos cumplirían la resistencia.

El concreto muestral con reemplazo del 20% con respecto al concreto base disminuyó un 14.75%, el concreto muestral con reemplazo del 25% aumentó un 18.42%, y el concreto muestral con reemplazo del 30% aumento un 20.26%; con un promedio de aumento del 17.81%, con respecto a la resistencia a los 14 días debe ser el 90% de la resistencia lo que sería 189 kg/cm2 en ese caso todos los concretos cumplirían la Resistencia.

El concreto muestral con reemplazo del 20% con respecto al concreto base disminuyó un 9.32%, el concreto muestral con reemplazo del 25% aumentó un 22.57%, y el concreto muestral con reemplazo del 30% aumento un 13.97%; con un promedio de aumento del 15.29%, con respecto a la resistencia a los 21 días debe ser el 90-99% de la resistencia lo que sería 189 - 207.9 kg/cm2 en ese caso todos los concretos cumplirían la resistencia.

El concreto muestral con reemplazo del 20% con respecto al concreto base aumentó un 0.41%, el concreto muestral con reemplazo del 25% aumentó un 1.51%, y el concreto muestral con reemplazo del 30% aumento un 47.96%; con un promedio de aumento del 16.63%, con respecto a la resistencia a los 28 días debe ser el 100% de la resistencia lo que sería 210 kg/cm2 en ese caso todos los concretos cumplirían la Resistencia.

Tras el análisis e interpretación de los resultados obtenidos en esta investigación, la hipótesis: "Al sustituir los porcentajes de 20%, 25% y 30% de agregado grueso por concreto reciclado, la resistencia del concreto f'c=210 kg/cm2 se incrementa hasta el 10%", se verifica de la siguiente forma: La hipótesis planteada es verdadera debido a que las resistencias a compresión alcanzadas por el concreto elaborado con agregado de concreto reciclado superan el 10% de la resistencia a compresión del concreto base. Por lo tanto, los valores alcanzados a los 7, 14, 21 y 28 días resultaron superiores a la resistencia máxima alcanzada por el concreto base, en un promedio de 9.48% para 7 días, 17.81% para 14 días, 15.29% para 21, y 16.63% para 28 días. Por consiguiente, se alcanzó y superó en todos los casos el valor de f'c=210 kg/cm2 establecido inicialmente.

Comparando con el artículo de Basit, et. al., 2023 titulada "Resistencia y análisis del hormigón fabricado a partir de tres tipos diferentes de áridos gruesos reciclados", los resultados obtenidos en el artículo de Basit y en la presente tesis respectivamente, se observa la resistencia a compresión a los 7 y 28 días, como se evidencia en el artículo se eleva la resistencia a compresión en los porcentajes 20% y 30% en comparación al concreto patrón, así pues se evidencia en la presente tesis el mismo caso en los porcentajes 20% y 30% aumenta la resistencia en comparación con el concreto base, por lo que se puede afirmar que la investigación es coherente.

Comparando con la tesis de Medina, 2022 titulada "Influencia de la incorporación de agregado grueso de concreto reciclado, en las propiedades mecánicas a compresión y flexión del concreto f'c=210 kg/cm2 - Abancay 2021", los resultados obtenidos en la tesis de Medina y en la presente tesis respectivamente, se observa la resistencia a compresión a los 7, 14, 21 y 28 días, como se evidencia en la tesis la resistencia a compresión en el porcentaje 25% en comparación al concreto patrón van casi parejos, así pues, se evidencia en la presente tesis el mismo caso en el porcentaje de 25% aumenta la resistencia en comparación con el concreto base, por lo que se puede decir que la investigación es coherente.

Comparando la tesis de Centurión, 2022 titulada "Determinación de la resistencia del concreto f'c = 210 kg/cm2

elaborado con agregados reciclados de vías, en la ciudad de Cajamarca, 2021", los resultados obtenidos en la tesis de Centurión y en la presente tesis respectivamente, se observa la resistencia a compresión a los 7, 14 y 28 días, como se evidencia en la tesis la resistencia a compresión en los porcentajes 20 y 25% en comparación al concreto patrón van casi parejos con respecto al D (25%) y el C aumenta (20%), así pues, se evidencia en la presente tesis el mismo caso en el porcentaje de 25% aumenta la resistencia en comparación con el concreto base y el 20% disminuye en los días 7 y14 y al 28 ya se empareja con el concreto base, por lo que se puede decir que la investigación es coherente.

IV. CONCLUSIONES

- ✓ Las resistencias a compresión de los concretos muestrales en promedio alcanzaron la resistencia f'c=210 kg/cm2, 260.90 kg/cm2 el concreto base, 261.97 kg/cm2el concreto muestral con reemplazo del 20%, 264.84 kg/cm2 el concreto muestral con reemplazo del 25%, y 386.03 kg/cm2 el concreto muestral con reemplazo del 30% a los 28 días de curado.
- ✓ Las resistencias a compresión de los concretos muestrales en promedio alcanzaron y superaron la resistencia f'c=210 kg/cm2, con un promedio de 302.97 kg/cm2 a los 28 días de curado.
- ✓ Las propiedades físico-mecánicas del agregado grueso de concreto reciclado son menos densas y con una mayor absorción en comparación con respecto al agregado grueso natural, esto se debe principalmente a sigla presencia de partículas de cemento adheridas inicialmente, por lo que, al final, no es un problema para la resistencia a compresión de estos.
- ✓ Se concluye que la hipótesis planteada es verdadera ya que con la sustitución del 20% se superó en 9.32%, con sustitución de 25% se superó en 22.57% y con una sustitución de 30% se superó en 47.96% en los 28 días de curado.
- ✓ Se concluye que al sustituir el concreto al 30% llega a una resistencia de 382.184 kg/cm2, por lo que puede ser utilizado en la construcción de obras civiles y carreteras teniendo mejor resistencia a la compresión.
- ✓ Se recomienda realizar una investigación más amplia y profunda de todos los efectos que pueda o no tener el concreto reciclado en la mezcla a largo plazo y bajo condiciones extremas.

REFERENCIAS

[1] Salazar, J. (2013). El concreto a través de la historia: Un análisis de su impacto en la arquitectura mundial. Lima: Editorial Andes.

[2] Kato, M. (2018). Sustainable Construction Materials: Compressed Earth Blocks and Earth Masonry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

[3] Kennedy, D. (2014). Compressed Earth Blocks: A Sustainable Building Material for Developing Countries. International Journal of Environmental Studies.

[4] Cañola, H., Medina, C., & González, G. (2018). Bloques de Tierra Comprimida (BTC) con aditivos bituminosos. Instituto Tecnológico Metropolitano, 21(43), 135-145.

[5] Torres, R. (2016). Las fibras naturales como refuerzo sísmico en la edificación de viviendas de adobe en la costa del departamento de Ica. Universidad Nacional de Ica.

[6] Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). (2022). Reporte de residuos de construcción y demolición en Lima Metropolitana. Lima, Perú.

[7] Pogotech, L. (2017). Global Construction Waste Statistics 2020. World Construction Reports.

[8] Modi, R. (2023). Innovations in recycled concrete: A structural perspective. International Concrete Journal, 15(3), 122-135.

[9] Basit, A., Khan, R., & Qureshi, Z. (2023). Impact of recycled aggregates on the durability and strength of concrete. Journal of Sustainable Materials, 12(4), 456-472.

[10] Centurión, R. (2022). Evaluación de la resistencia a compresión del concreto reciclado en Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca.

[11] Medina, A. L. (2022). Influencia de la incorporación de agregado grueso de concreto reciclado, en las propiedades mecánicas a compresión y flexión del concreto f'c=210 kg/cm2 - Abancay 2021. Repositorio Digital Institucional de la Universidad Tecnológica de los Andes, 16-123.