

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo
UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**USO DE PLÁSTICOS RECICLADOS EN REMPLAZO DE
AGREGADOS FINOS PARA LA FABRICACIÓN DE
HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y SU APLICACIÓN EN EL
CANTÓN AZOGUES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: MILTON ADRIAN AULESTIA PESÁNTEZ

DIRECTOR: PAÚL ESTEBAN ILLESCAS CÁRDENAS

AZOGUES - ECUADOR

2023

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Milton Adrian Aulestia Pesántez portador de la cédula de ciudadanía N° 0302196274. Declaro ser el autor de la obra: **“Uso de plásticos reciclados en remplazo de agregados finos para la fabricación de hormigón estructural y su aplicación en el cantón Azogues”**, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, 17 de noviembre de 2023

F: 

Milton Adrian Aulestia Pesántez

C.I. 0302196274

CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DE TESIS

Paúl Esteban Illescas Cárdenas

DOCENTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: **"Uso de plásticos reciclados en remplazo de agregados finos para la fabricación de hormigón estructural y su aplicación en el cantón Azogues aprobado por el consejo directivo de la unidad académica"**, realizado por: **Milton Adrian Aulestia Pesántez**, con documentos de identidad: **0302196274**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 17 de noviembre de 2023



PAÚL ESTEBAN ILLESCAS CÁRDENAS

0301531653

DIRECTOR

Uso de plásticos reciclados en remplazo de agregados finos para la fabricación de hormigón estructural y su aplicación en el cantón Azogues. Milton Adrian Aulestia Pesántez – Ing. Paúl Esteban Illescas Cárdenas, Mgs. Universidad Católica de Cuenca maaulestiap74@est.ucacue.edu.ec

RESUMEN

Las deficiencias en la gestión de residuos sólidos, especialmente de los plásticos, constituyen un importante problema para los ecosistemas naturales y para la salud pública. Frente a dicha problemática, el reciclaje surge como una alternativa al conflicto, permitiendo ofrecer un valor agregado a los residuos. Por lo tanto, en esta investigación se describe el potencial de aplicación de triturados de plásticos reciclados en el remplazo de un porcentaje de agregados pétreos para la fabricación de hormigones de diseño de: 180, 210, y 240 kg/cm², utilizando porcentajes de plástico de 5 y 10% para cada dosificación definiendo su rango de cumplimiento según la Normativa Técnica Ecuatoriana (NTE). Se reporta la evolución de las resistencias de las probetas en el tiempo; teniendo como resultados que la probeta de 240 kg/cm², al diseñarse con agregados plásticos al 10% y 5%, presentó disminución en la resistencia con relación a la probeta de control; lo mismo sucedió con las probetas 210 kg/cm² y 180 kg/cm². De forma general, hablando en términos numéricos, las diferencias de resistencias a los 28 días en promedio han disminuido en 30.43% en las probetas con incorporación del 10% de plástico en lugar de arena; mientras que, en las probetas donde se incorporó un 5% de plástico se tiene una disminución del 13.14% de resistencia. Lo cual, sienta una base que permite consolidar la idea de un uso infructuoso de este material para obtener un mayor grado de resistencia en los elementos estructurales.

Palabras clave: Hormigón, plástico, reciclaje, resistencia.

Use of Recycled Plastics Instead Fine Aggregates in the Production of Structural Concrete and Its Application in the Azogues Canton. Milton Adrian Aulestia

Pesántez – Paúl Esteban Illescas Cárdenas, Eng, Mgs Catholic University of Cuenca maaulestiap74@est.ucacue.edu.ec

ABSTRACT

Deficiencies in solid waste management, especially plastics, constitute a significant problem for natural ecosystems and public health. In response to this issue, recycling emerges as an alternative to the conflict, providing added value to waste. Therefore, this research describes the potential application of crushed recycled plastics to replace a percentage of stone aggregates in the production of concrete with designs of 180, 210, and 240 kg/cm², using plastic percentages of 5 and 10% for each mix, defining their compliance range according to the Ecuadorian Technical Standard (NTE by its Spanish acronym). The evolution of sample strengths over time is reported, with the results show that the 240 kg/cm² sample, designed with 10% and 5% plastic aggregates, showed a decrease in strength compared to the control specimen. The same occurred with the 210 kg/cm² and 180 kg/cm² sample. In general, numerical terms, the differences in strengths at 28 days, on average, have decreased by 30.43% in samples with 10% plastic incorporation instead of sand, while samples with 5% plastic incorporation show a 13.14% decrease in strength. This establishes a basis that supports the notion of an unsuccessful use of this material to achieve a higher degree of resistance in structural elements.

Keywords: Concrete, plastic, recycling, strength

Introducción

En sintonía con el avance de las nuevas tecnologías y el aprovechamiento de recursos usados, se puede dar un enfoque al reciclaje, se considera la unión de estos conceptos, para dar paso a un planteamiento, que involucra los grandes volúmenes de desperdicios plásticos tanto en la producción nacional como en la importación de estos materiales, en este caso de estudio se analizó el uso de los plásticos de tipo 2 y 5 conforme la clasificación dada en el Manual de tipos de plásticos y sus números, de eco soluciones [1].

Se identifica un problema latente en torno al movimiento de envases plásticos no retornables diseñados para el consumo de productos y su compleja degradación a lo largo de varias décadas. Ante estas circunstancias, se vuelve fundamental plantear estrategias que brinden una alternativa a las acciones señaladas, mediante el reciclaje se pretende compensar la contaminación ambiental provocada por el uso excesivo de estos elementos, estableciendo así nuevos sistemas de construcción ecológicos que favorecen al medioambiente [3,7]

De esta forma, se propone describir el potencial que tiene la aplicación de plásticos reciclados triturados, en el remplazo de un porcentaje del agregado fino, para la fabricación de hormigón estructural en el cantón Azogues a través de la caracterización de la resistencia que presentan probetas elaboradas con plásticos, en contraste con la resistencia del hormigón estructural con agregados pétreos tradicionales y el cumplimiento de la Normativa Técnica Ecuatoriana. Se valoró la factibilidad de remplazar con plásticos reciclados los agregados pétreos en su fabricación, en el cantón Azogues.

Por lo tanto, como objetivo general se diseñan mezclas de hormigón con plástico de tipo 2 y 5 triturado, reemplazando un porcentaje (5% y 10%) del agregado fino por estos materiales, para obtener un análisis de resistencia y su posible uso en diferentes elementos constructivos mediante la comparación entre hormigones de diferentes dosificaciones o resistencias.

Materiales y métodos

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se emplea una metodología mixta con base en la necesidad de desarrollo de esta investigación y la naturaleza de los datos propuesta por el investigador, la cual se caracteriza por utilizar los enfoques cuantitativos y cualitativos; el primero se emplea para describir las variaciones numéricas de resistencia que presentan las probetas de hormigón. Mientras que, la investigación cualitativa permite revisar, con base general en la normativa ecuatoriana NTE INEN 1573, el margen permitido entre estas variaciones de resistencia que han presentado los elementos de forma individual o en conjunto al momento de ser ensayados.

MUESTRA

La presente investigación emplea para el cálculo de la muestra, la combinación de plásticos triturados tipo 2 y 5, los cuales pertenecen a los productos de aseo personal, alimentación,

envases de aceite de carros, mesas, sillas, tachos; y los guardachoques de los vehículos respectivamente.

El conjunto de material será mezclado entre sí, y se usará para la dosificación del hormigón en porcentajes del 5 y 10% como sustitución del agregado fino. Además, respecto a las dosificaciones del hormigón para obtener las distintas resistencias, se han establecido 18 muestras por cada dosificación tomando en consideración un error aceptable de +/- 5% de variación entre cilindros, con lo cual se obtiene una confiabilidad del 95% en los resultados.

El tamaño de esta muestra satisface la necesidad en la obtención de datos fiables conforme la norma ASTM C39, INTE 06-02-01, la cual señala que el número mínimo de especímenes ensayados debe ser 2 para especímenes de 150mm de diámetro y 3 para especímenes de 100mm de diámetro [22]. Las pruebas se las hacen tomando en consideración el promedio de dos ensayos de la misma muestra.

En este caso, de los cilindros con la composición de diseño al: 0%, 5% y 10% de plástico, se obtienen 6 muestras por día de rotura, es decir que, para los 3 días de rotura, se alcanzan 18 muestras para cada dosificación, satisfaciendo esta condición.

Tabla 1. Cantidad de muestras por día de ensayo.

Dosificaciones	Día 7			Día 14			Día 28			Total
	Patrón	5%	10%	Patrón	5%	10%	Patrón	5%	10%	
180 kg/m ²	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
210 kg/m ²	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
240 kg/m ²	2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
										54

Materiales

Para caracterizar los materiales involucrados en el proceso de creación de las muestras, se identificaron los insumos necesarios: cemento, arena, agua, grava, y plástico triturado. El cemento utilizado fue de tipo hidráulico GU (Atenas) cuyos requisitos cumplen con la NTE INEN 160, con fraguado inicial mínimo y máximo (NTE158) / INEN 2380; la arena fue adquirida en el proveedor ubicado en Azogues sector Avenida 16 de abril; el plástico de tipo 2 y 5 provienen de las recicladoras y latonerías de la ciudad, para posteriormente ser trituradas en el Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología (CIITT) de la Universidad Católica de Cuenca en la parroquia Ricaurte.

En la figura número 1, se muestran algunos de los equipos y materiales que se emplearon en la presente investigación.

Figura 1. Equipos y materiales.



METODOLOGÍA

La metodología empleada en este artículo fue de tipo mixto, forman parte los procesos descriptivos y experimentales.

PROCESOS DESCRIPTIVOS

Con la finalidad de brindar una conceptualización, jerarquización y caracterización del objeto en análisis, apoyándose en una revisión bibliográfica, se procura identificar las especificaciones mecánicas y físicas que presenta el plástico triturado reciclado empleado en la sustitución del agregado fino para la construcción de hormigón estructural, tales como la resistencia última del elemento.

PROCESOS EXPERIMENTALES

Los procedimientos experimentales se dividieron en dos ejes, dentro del primero, se procedió con la fabricación de probetas cilíndricas empleando plástico triturado reciclado y agregados pétreos, en 3 dosificaciones para alcanzar resistencias de diseño de: 180, 210, y 240 kg/cm², utilizando porcentajes de plástico seleccionado de 5 y 10% para cada dosificación, hasta obtener una dosificación óptima en la elaboración del hormigón estructural.

Asimismo, para valorar las resistencias de hormigón entre dosificaciones, se emplearán ensayos de laboratorio basados en las normas ASTM C 31, ASTM C 39, ASTM C 143, que permiten distinguir las propiedades físicas (tiempo de fraguado y endurecimiento) y mecánicas (resistencia del hormigón a la compresión a los 7, 14 y 28 días de curado), de los distintos especímenes.

Finalmente, de los datos secundarios obtenidos en la recicladora para los plásticos de tipo 2, y latonerías y locales de venta de repuestos de plásticos tipo 5 ubicados en la ciudad de Azogues, se encontró un aproximado de volúmenes de producción diaria, mensual y anual de residuos plásticos, para únicamente conocer la magnitud de producción de este potencial elemento complementario en el diseño de hormigones especiales en el caso de una favorable incorporación de este elemento, si los resultados experimentales muestran factores positivos en ganancias de resistencias.

Recopilación y análisis de la información obtenida

Se analizó el tema de reciclaje en la ciudad de Azogues y las principales características de los plásticos de tipo 2 y 5, así como los impactos al medio ambiente generados por estos plásticos en el post consumo y que generalmente vienen en productos tales como; leches envasadas, botellas de yogurt, de aceite para carros, etc., que fueron en su momento, contenedores de estos productos conforme las normativas empleadas en los ensayos para el cumplimiento de los estándares de calidad que dictamina las normas INEN para plásticos en el país para este material.

DISEÑO DE HORMIGÓN

Se detalla a continuación el procedimiento para la elaboración del diseño de hormigón, el cual se basa en los métodos del ACI 211,1 y en el método de Fuller Thompson; donde se busca la composición óptima de los agregados con base en una curva granulométrica continua.

Procedimiento:

- 1) **Selección de consistencia:** para el caso se utiliza una compactación con barra y se obtiene una consistencia blanda, puesto que el asentamiento que se busca en esta investigación es de 10 cm.
- 2) **Estimación del tamaño máximo del agregado:** puesto que la menor abertura del tamiz que retuvo menos del 15% del peso total del agregado fue el tamiz de 1 pulgada,

se define el tamaño máximo de agregado en este número cuyo equivalente es de 25mm.

- 3) **Cantidad de agua de la mezcla:** el agua de la mezcla del diseño es tomada conforme los lineamientos de la tabla 18 y 19 de la Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón para un tamaño máximo de agregado de 25mm y agregado del tipo triturado [21].
- 4) **Resistencia de diseño:** las resistencias de esta investigación son de 180, 210, y 240 kg/cm², las cuales se desarrollan conforme al método del ACI 211,1.

Tabla 2. Fórmulas de corrección

Si $F'c \leq 210$ kgf/cm ²	$F'cr = F'c + 70$ kgf/cm ²
$210 < F'c \leq 350$ kgf/cm ²	$F'cr = F'c + 84$ kgf/cm ²
$F'c > 350$ kgf/cm ²	$F'cr = F'c + 100$ kgf/cm ²

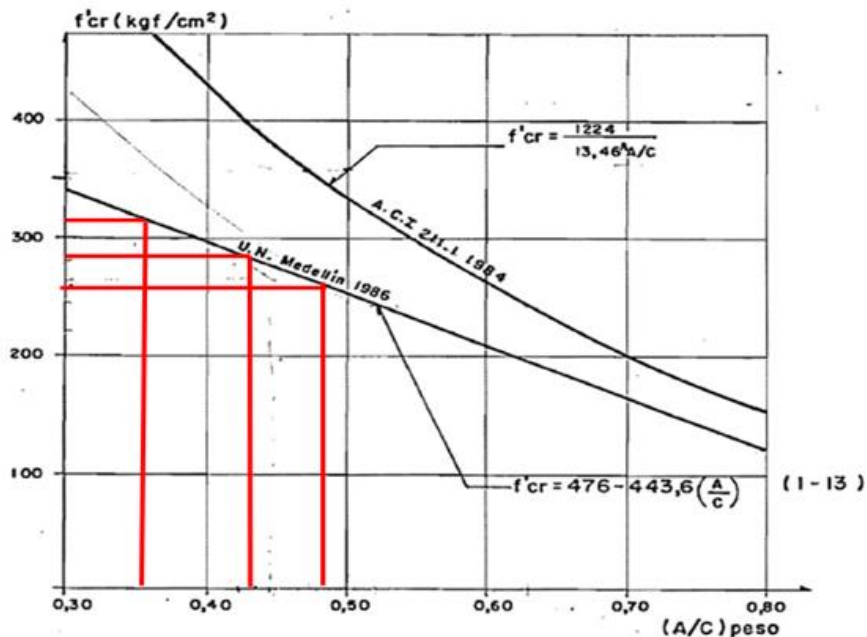
Fuente: Bolívar, 1978. [21]

- 5) **Relación agua cemento:** Las relaciones de agua cemento para cada resistencia propuesta se obtiene de la misma manera conforme al método del ACI 211,1.

Tabla 3. Relación agua cemento

Parámetro	R1	R2	R3
$F'c$	240	210	180
$F'cr$	324	280	250
A/C	0,37	0,43	0,48

Figura 2. Relación agua cemento.



Fuente: Bolívar, 1978. [21]

- 6) **Determinación de los porcentajes de agregados (Fuller – Thompson):** conforme la Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón para un agregado de 25mm se tienen las siguientes proporciones [21].

Tabla 4. Valores de Y para diferentes tamaños máximos (D).

mm	d	12,5 (1/2")	20 (3/4")	25 (1")	40 (3/2")	50 (2")	63,5 (2 1/2")
63,5	(2 1/2")	-	-	-	-	-	100
50	(2")	-	-	-	-	100	89
40	(3/2")	-	-	-	100	86,6	77
25	(1")	-	-	100	81,6	70,7	63
20	(3/4")	-	100	86,5	71	61	55
12,5	(1/2")	100	81	70	57	50	44
9,5	(3/8")	87	71	61	50	43	39
4,8	(Nº 4)	62	50	43	35	31	27
2,4	(Nº 8)	44	35	31	25	22	19
1,2	(Nº 16)	31	25	22	18	15	14
0,6	(Nº 30)	22	18	15	12,5	11	9,7
0,3	(Nº 50)	15	12,5	11	8,8	7,7	6,9
0,15	(Nº 100)	11	8,8	7,7	6,2	5,4	4,8

Fuente: Bolívar, 1978. [21]

Para la combinación de granulometrías, se toma del método de Fuller la curva $Y = 100(d/D)^m$, donde $m = 0,5$ y el significado de las otras variables es: $Y = \%$ en peso de agregados que pasan a través del Tamiz de abertura d ; D es: el tamaño máximo del agregado. Con lo cual, se obtienen los siguientes resultados, es decir, los porcentajes de agregados que entran a formar parte de la mezcla:

Figura 3. Curvas granulométricas.

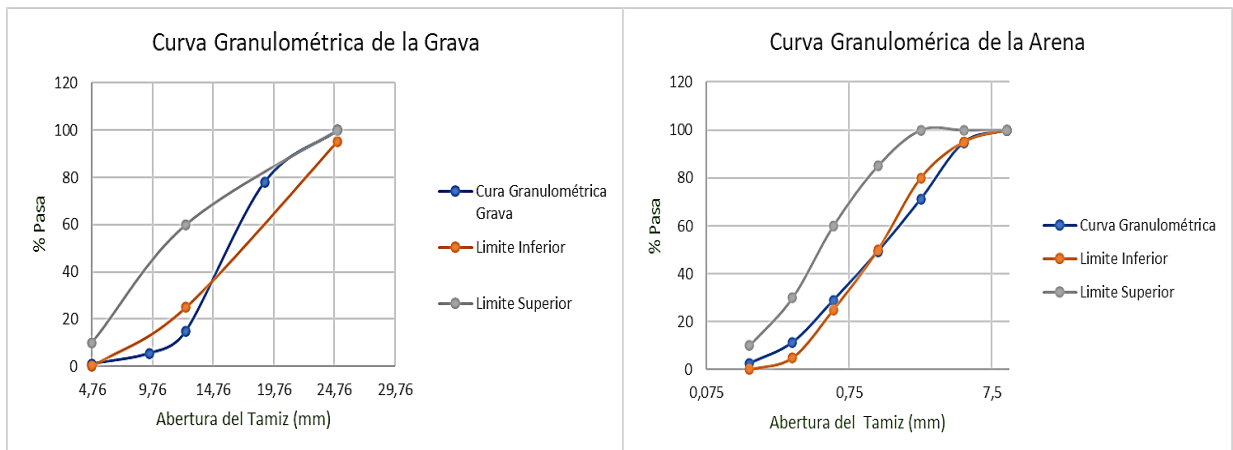
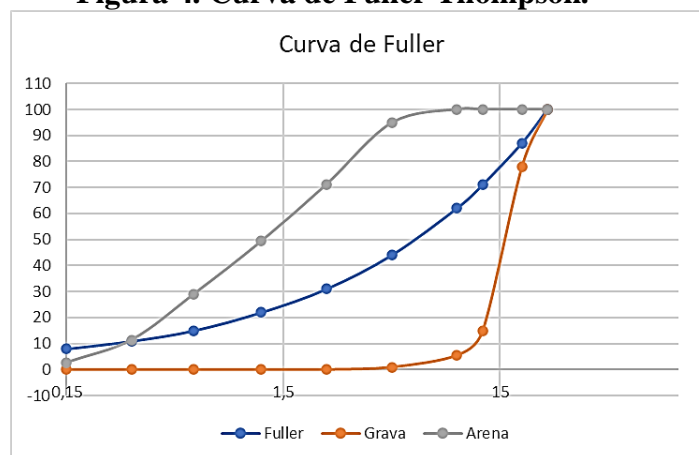


Figura 4. Curva de Fuller Thompson.



- 7) **Dosificación por metro cúbico:** Se cuantifica los volúmenes absolutos de los componentes de la mezcla de hormigón para un metro cúbico como un diseño típico con los componentes de hormigón, para este caso, la dosificación se puntualiza para 0.013m^3 , lo cual es la cantidad equivalente para 6 moldes de $100 \times 200\text{mm}$ (incluyendo además 2 moldes extras).

Tabla 5. Dosificaciones para hormigón patrón.

Hormigón 240 kg/cm ²			Hormigón 210 kg/cm ²			Hormigón 180 kg/cm ²		
Componente	Cantidad	Unidad	Componente	Cantidad	Unidad	Componente	Cantidad	Unidad
Volumen Cilindro	0,013	m ³	Volumen Cilindro	0,013	m ³	Volumen Cilindro	0,013	m ³
Agua	2499	gr	Agua	1731	gr	Agua	1973	gr
Cemento	7800	gr	Cemento	6712	gr	Cemento	6013	gr
Grava	9329	gr	Grava	9483	gr	Grava	11310	gr
Arena	9005	gr	Arena	9336	gr	Arena	11254	gr

Con lo revisado y la propuesta de investigación, se sustituye un porcentaje del componente de la arena, por plástico triturado tipo 2 y 5 con una dosificación de 1:1 entre plásticos. Los porcentajes de sustitución de la arena son del 5 y 10% para cada evaluación de resistencia, obteniendo finalmente los siguientes rediseños:

Para el caso de la incorporación de 5% de plásticos mezclados se tienen las siguientes dosificaciones:

Tabla 6. Dosificaciones para hormigón con 5% de plástico.

Hormigón 240 - 5% de plástico			Hormigón 210 - 5% de plástico			Hormigón 180 - 5% de plástico		
Componente	Cantidad	Unidad	Componente	Cantidad	Unidad	Componente	Cantidad	Unidad
Volumen Cilindro	0,013	m ³	Volumen Cilindro	0,013	m ³	Volumen Cilindro	0,013	m ³
Agua	2499	gr	Agua	1731	gr	Agua	1973	gr
Cemento	7800	gr	Cemento	6712	gr	Cemento	6013	gr
Grava	9329	gr	Grava	9483	gr	Grava	11310	gr
Arena	8555	gr	Arena	8869	gr	Arena	10691	gr
Plástico (5%)	450	gr	Plástico (5%)	467	gr	Plástico (5%)	563	gr

Para el caso de la incorporación de 10% de plásticos se tienen las siguientes dosificaciones:

Tabla 7. Dosificaciones para hormigón con 10% de plástico.

Hormigón 240 - 10% de plástico			Hormigón 210 - 10% de plástico			Hormigón 180 - 10% de plástico		
Componente	Cantidad	Unidad	Componente	Cantidad	Unidad	Componente	Cantidad	Unidad
Volumen Cilindro	0,013	m ³	Volumen Cilindro	0,013	m ³	Volumen Cilindro	0,013	m ³
Agua	2499	gr	Agua	1731	gr	Agua	1973	gr
Cemento	7800	gr	Cemento	6712	gr	Cemento	6013	gr
Grava	9329	gr	Grava	9483	gr	Grava	11310	gr
Arena	8104	gr	Arena	8402	gr	Arena	10129	gr
Plástico (10%)	901	gr	Plástico (10%)	934	gr	Plástico (10%)	1125	gr

Con estas nuevas dosificaciones, se realiza las fundiciones del hormigón para las resistencias establecidas con el número de probetas indicados.

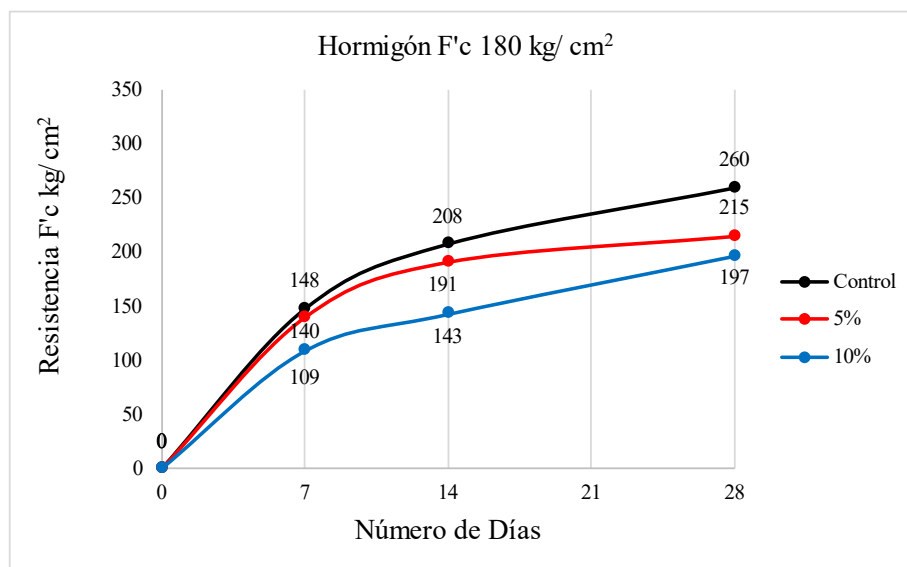
Análisis de Datos

Para la comparación de resistencia del hormigón entre probetas se aplicó las pruebas ANOVA en donde se verifica que las diferencias entre grupos no sean mayores a la variación dentro del grupo, permitiendo distinguir si existen diferencias significativas. Además, la prueba Tukey posibilita el análisis de dichas diferencias, asignando un valor p a las diferencias entre los elementos que se busca comparar, en este caso, probetas con diferentes dosificaciones y diferentes configuraciones de resistencia [17]. Con fines prácticos, dentro del estudio, se ha definido un nivel de confianza del 95%, por lo que, la aceptación de las diferencias se evaluará en este rango. Para verificar el cumplimiento de la NTE INEN 1573 del 2010 se partieron de los intervalos de confianza, los cuales se calculan a partir de la suma y la resta del error estándar a la media.

Finalmente, se comparan los datos de acuerdo con el desarrollo de la resistencia que presenta el hormigón a los 7 días (donde obtiene un 60% de su máxima resistencia) a los 14 días (donde obtiene un 90%) y a los 28 días (100%) [11-14].

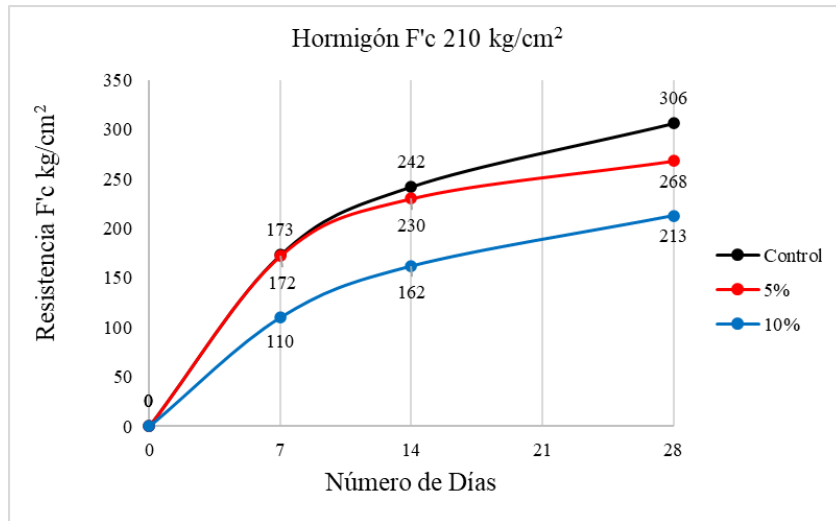
Resultados

Figura 5. Resistencia de probetas de 180 kg/cm² en el tiempo.



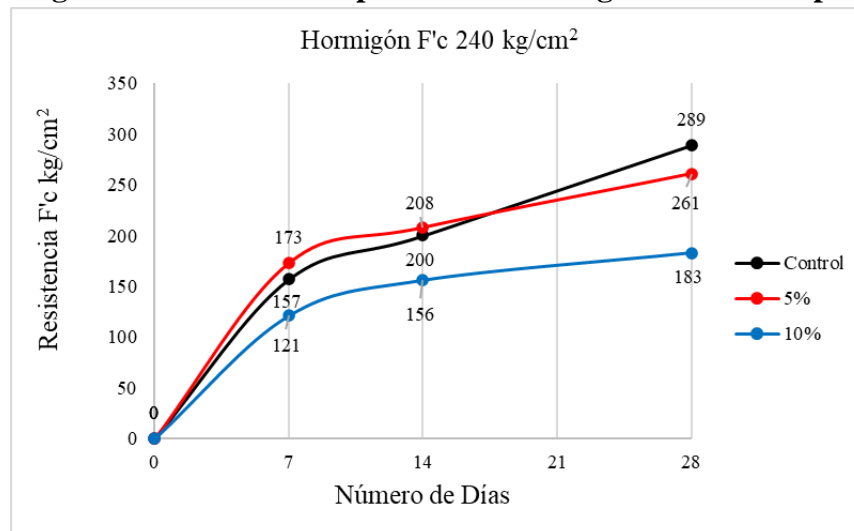
En la figura 5, se observa que la curva de la probeta de control (180 Kg/cm²) presenta una ganancia de resistencia uniforme a lo largo del tiempo; además, la probeta de 180 Kg/cm² con agregados plásticos al 5% presenta una importante ganancia de resistencia del día 7 al día 14; no obstante, esta disminuye la intensidad desde el día 14 hasta el 28.

Figura 6. Resistencia de probetas de 210 kg/cm² en el tiempo.



En la figura 6 se observa que, la curva de la probeta de control (210 Kg/cm²) al igual que en el caso anterior, muestra una ganancia de resistencia sostenida en el tiempo de análisis. La curva de la probeta de 210 Kg/cm² con agregados plásticos al 5% presenta su mayor ganancia de resistencia entre el día 7 y 14; aunque, después la intensidad de crecimiento de la curva tiende a disminuir del día 14 al 28. La curva de la probeta de 210 Kg/cm² con agregados plásticos al 10% es menor al resto de curvas; no obstante, esta exhibe una ganancia de resistencia uniforme.

Figura 7. Resistencia de probetas de 240 kg/cm² en el tiempo.



En la figura 7, se aprecia que la curva de las probetas de 240 Kg/cm² con agregados plásticos al 5% presenta la mayor resistencia en el día 7 y en el día 14; no obstante, disminuye la tasa de incremento en la resistencia para el día 28 siendo superada por la curva de 240 Kg/cm²

control. Sin embargo, esta última presenta un incremento diferente, concentrándose esta resistencia entre el día 14 y 28. La curva de la probeta de 240 Kg/cm² con agregados pétreos al 10% presenta una resistencia inferior de las demás curvas.

Evaluación estadística

Tabla 8. Prueba Anova.

ANOVA					
Descripción					
Grupo	Cuenta	Suma	Media	Varianza	Suma de cuadrados
patrón 180 Kg/cm2	3	688.6	229.5333333	906.4133333	1812.826667
patrón 180 kg/cm2 5%	3	614.1	204.7	190.87	381.74
patrón 180 kg/cm2 10%	3	501.45	167.15	694.0225	1388.045
patrón 210kg/cm2	3	805.75	268.5833333	1316.510833	2633.021667
patrón 210 kg/cm2 5%	3	753.2	251.0666667	323.2133333	646.4266667
patrón 210 kg/cm2 10%	3	539.7	179.9	1042.23	2084.46
patrón 240kg/cm2	3	720.95	240.3166667	1793.750833	3587.501667
patrón 240kg/cm2 5%	3	723.35	241.1166667	302.1508333	604.3016667
patrón 240kg/cm2 10%	3	517.95	172.65	97.3575	194.715
Valores					
Fuentes	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Valor F	Valor P
Between Groups	33248.80852	8	4156.101065	5.610860578	0.0011651
Within Groups	13333.03833	18	740.7243519		
Total	46581.84685	26	1791.609494		

Tabla 9. Prueba Tukey.

Tukey Test		
Grupo 1	Grupo 2	Valor p
patrón180 Kg/cm2	patrón180 kg/cm2 5%	0.963683454
patrón180 Kg/cm2	patrón180 kg/cm2 10%	0.179880035
patrón180 kg/cm2 5%	patrón180 kg/cm2 10%	0.745103444
patrón210kg/cm2	patrón210 kg/cm2 5%	0.995834769
patrón210kg/cm2	patrón210 kg/cm2 10%	0.01886131
patrón210 kg/cm2 5%	patrón210 kg/cm2 10%	0.088943527
patrón240kg/cm2	patrón240kg/cm2 5%	1
patrón240kg/cm2	patrón240kg/cm2 10%	0.118726749
patrón240kg/cm2 5%	patrón240kg/cm2 10%	0.111238099

En la Tabla 8 se distingue que, el análisis de varianza ANOVA, muestra diferencias en la resistencia entre las probetas analizadas, esta variación es menor dentro de las probetas

planteadas en un mismo patrón en comparación a la variación entre los patrones y las dosificaciones analizadas con un valor $p = 0.0011651$. los grados de libertad entre grupos fueron 8 y dentro de los grupos 18. Asimismo, es posible destacar que la mayor varianza se reportó en los patrones de 240 Kg/cm² al 5%, 210 Kg/cm² de control, y 180 Kg/cm² de control respectivamente.

Por otra parte, se aplicó la prueba Tukey para facilitar la exploración de dichas diferencias, la cual muestra que existen resistencias que se distinguen significativamente entre varias probetas. No obstante, se resumió la tabla para comparar las dosificaciones de cada patrón como se muestra en las figuras 5, 6 y 7. En este sentido, únicamente se reportó diferencias significativas entre las probetas de control 210kg/cm² versus 210 kg/cm² al 10% (figura 6), y 240kg/cm² de control versus 240 kg/cm² al 10% de plástico (figura 7); estas expresan un valor de significancia (p-value) menor a 0.05, es decir, se obtiene un nivel de confianza del 95% en la investigación.

Figura 8. Resistencia de las probetas intervalos de confianza.

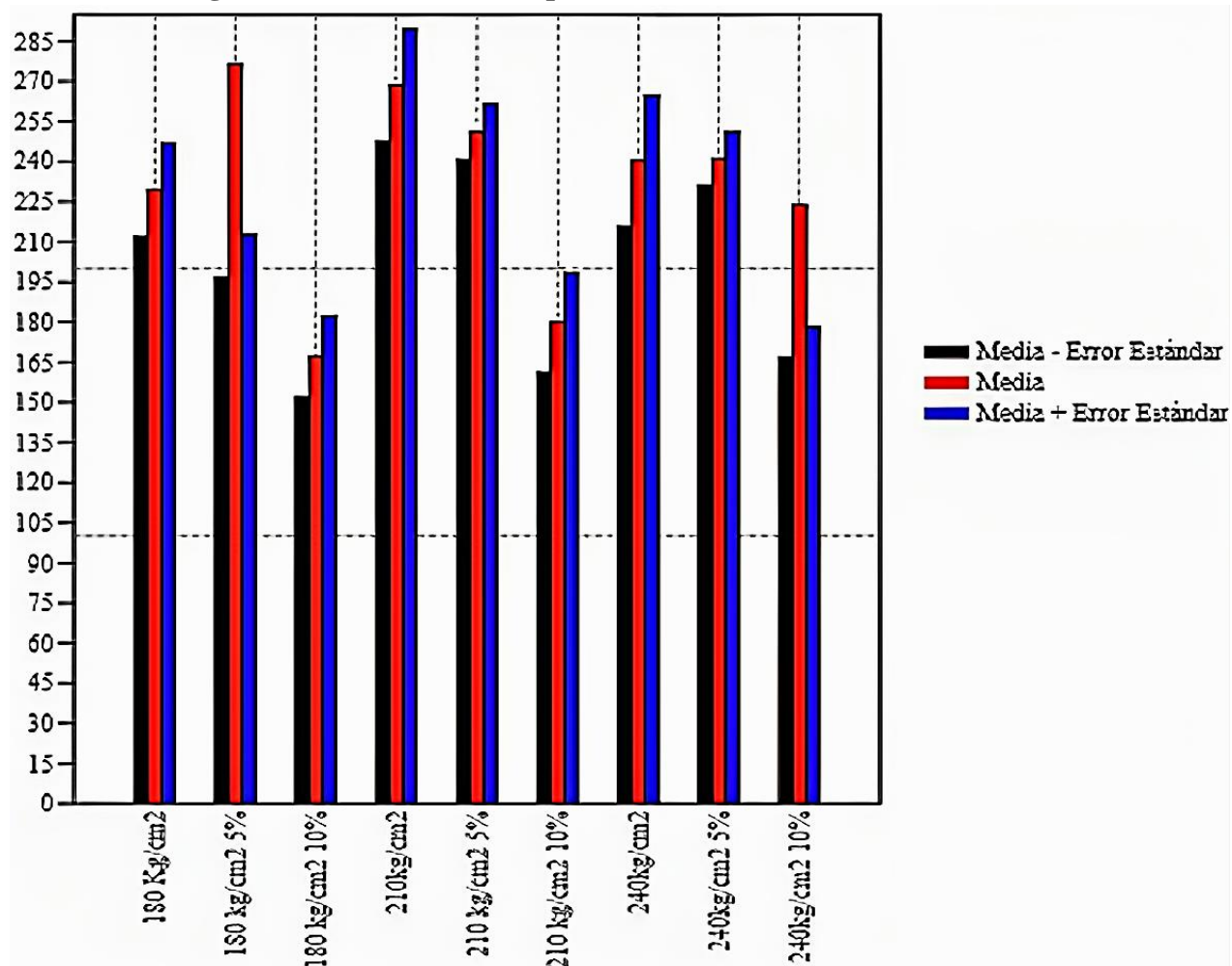


Tabla 10. Intervalos de confianza.

Intervalos de Confianza	Error Estándar	Media - Error Estándar	Media + Error Estándar
patrón 180 Kg/cm ²	17.38211086	212.1512225	246.9154442
patrón 180 kg/cm ² 5%	7.976423593	196.7235764	212.6764236
patrón 180 kg/cm ² 10%	15.20989261	151.9401074	182.3598926
patrón 210kg/cm ²	20.94843537	247.634898	289.5317687
patrón 210 kg/cm ² 5%	10.37968101	240.6869857	261.4463477
patrón 210 kg/cm ² 10%	18.63893774	161.2610623	198.5389377
patrón 240kg/cm ²	24.45234027	215.8643264	264.7690069
patrón 240kg/cm ² 5%	10.0357832	231.0808835	251.1524499
patrón 240kg/cm ² 10%	5.696709577	166.9532904	178.3467096

La figura 8 y la tabla 10, dan cuenta de los intervalos de confianza y la media que presentan las diferentes probetas analizadas; en este hilo, es posible apreciar que tanto el patrón 210 kg/cm² al 10%, como el patrón 240kg/cm² al 10%, dentro de los intervalos de confianza del 95% no alcanzan a cumplir con la resistencia para la que se diseñó, por lo que incumplen la NTE al presentar un desvío mayor al 5%.

Conclusiones

Conforme los resultados encontrados y evaluados en esta investigación, se puede concluir que, la incorporación del elemento propuesto, plásticos del tipo 2 y 5 provenientes de trituración de guardachoques y elementos contenedores de productos de uso común como lácteos, sillas plásticas, etc., en relación 1:1 no satisfacen condiciones de mejora en resistencias mecánicas de los hormigones en conjunto con los áridos de la zona o cemento empleado.

Se evidencia una reducción en la resistencia de los hormigones a los 28 días en promedio del 13.14% en probetas donde fueron incluidos material plástico en sustitución del árido fino en una cantidad del 5%; mientras que, para los hormigones que fueron incorporados material plástico en una cantidad del 10% se evidencia una reducción promedio del 30.43%.

De la misma manera, las resistencias a los 28 días en las probetas de hormigones (210 y 240 Kg/cm²) con incorporación de plásticos al 10% no alcanzan las resistencias requeridas, sin embargo, es evidente que la incorporación de plásticos en los porcentajes estudiados, representan a su vez una reducción del peso unitario de los hormigones (la arena pesa 1.5 veces más que el plástico en un mismo volumen de comparación, esto implica un uso favorable en elementos donde se prevea disminuir su peso, lo cual predispondrá la viabilidad de estos diseños de hormigones como consideración en función de otros factores tales como la logística de diseño, presupuestos, pesos estructurales para vigas de longitudes pequeñas u hormigones porosos ultra ligeros, en el caso de estudio, se obtuvo para la probeta de control

de 240 kg/cm² a los 28 días un peso de 3821 gramos, mientras que, con el 5% de plástico un peso de 3709 gramos; y con el 10% de plástico un peso de 3600 gramos. Es decir, por cada metro cúbico (suponiendo el peso del hormigón en 2400 Kg/m³), y con estas proporciones, se puede ahorrar un peso de 70 Kg con incorporación de plásticos en un 5% en lugar de arena; y para la incorporación de plásticos en un 10% se prevé un ahorro de peso de 140 Kg.

En cuanto a la cantidad del plástico de tipo 2 que se registra en la recicladora Calle según datos obtenidos por el administrador del lugar, se logra reciclar la cantidad de 14.29 kg diarios, 100 kg semanales, 400 kg mensual y por ende se llega a los 4800 kg anuales de reciclaje, lo que contribuye una buena cantidad para ser reutilizados en el mundo de la construcción.

Por medio de visitas realizadas a varias latonerías y locales de ventas de repuestos de la ciudad que poseen plásticos de tipo 5, se puede confirmar que cada semana se desechan aproximadamente 10 guardachoques, obteniendo un peso de 35 kg, 140 kg mensuales y llegando a los 1680 kg anuales. Esta información podría ser corroborada en futuras investigaciones.

Referencias

- [1] Inco soluciones, By eco soluciones Vertedero Cero «Tipos de plásticos y sus números» *Curren Opin Env Sci*, 19-10, 2018.
- [2] L. Da Silva, F. Dos Santos, E. J, T. Onçalves y R. Barros, «Incineration of municipal solid waste in Brazil: An analysis of the economically viable energy potential,» *Renew Energ*, vol. 149, pp. 1386- 1394, 2020.
- [3] A. Mansour y S. Ali, «Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material,» *Energy Sustain Dev*, vol. 24, pp. 79-85, 2015.
- [4] P. Awoyera, Andesina y A, «Plastic wastes to construction products: Status, limitations and future perspective, Case Stud. Constr,» *Mater*, vol. e00330, n° 33, pp. 1-12, 2020.
- [5] P. Lozano-Mendoza y K. Muñoz-Buste, «Viabilidad de la gestión ecoeficiente de los residuos plásticos domiciliarios en la parroquia “El Guayacán” del cantón Quevedo,» *UTEQ*, p. 109p, 2021.
- [6] G. Riobamba-Arboleda, Estudio de Viabilidad para la creación de un PYME dedicada a la fabricación y comercialización de madera plástica a base del plástico reciclado en la ciudad de Cali y Valle del Cauca., Cali: Fundación Universitaria, 2015.
- [7] F. Alqahtani, G. Ghataora, M. Khan y S. Dirar, «Novel lightweight concrete containing manufactured plastic aggregate,» *Constr. Build. Mater*, vol. 148, p. 386–397, 2017.
- [8] B. Acevedo-Jaramillo, «Polietileno tereftalato como reemplazo parcial del agregado fino en mezclas de concreto,» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 18, n° 34, pp. 45-56, 2018.

- [9] J. Akinyele y A. Ajede, «The use of granulated plastic waste in structural concrete,» *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, vol. 10, n° 2, pp. 169-175, 2018.
- [10] S. Kilmartin-Lynch, R. Roychand, M. Saberian, J. Li, G. Zhang y S. Setunge, «A sustainable approach on the utilisation of COVID-19 plastic based isolation gowns in structural concrete,» *Case Studies in Construction Materials*, vol. 17, pp. 1-11, 2022.
- [11] I. Mercante, C. Alejandrino, P. Ojeda, J. Chini, C. Maroto y N. Fajardo, «Mortar and concrete composites with recycled plastic: A review,» *Science and Technology of Materials*, vol. 30, n° 1, pp. 69-79, 2018.
- [12] A. Meza, F. Chávez, B. Sierra, R. Reyes y O. Medina, «Heat Transfer In Concrete Reinforced With Recycled Plastic Fibers,» *Pistas Educativas*, vol. 42, n° 138, pp. 168-171, 2021.
- [13] J. Góngora-Peréz, «La industria del plástico en México y el mundo,» *Comercio Exterior*, vol. 64, n° 5, pp. 6-10, 2014.
- [14] J. Becerra-Lituma, «Diseño Ambiental y Análisis Económico de Bloques con Agregados de Plástico Reciclado (PET), en la Ciudad de Cuenca,» UCACUE, p. 150p, 2022.
- [15] C. Gómez y C. Gúzman, «Comparación entre las propiedades físicas y mecánicas de los bloques fabricados con viruta de plástico y los bloques tradicionales de acuerdo a la Norma NTE INEN 3066,» Universidad Central del Ecuador, p. 157p, 2019.
- [16] L. Mogrovejo, «Estandarización de procesos en los centros de acopio de material reciclado en la ciudad de Cuenca, Ecuador,» Universidad de Cuenca, p. 92p, 2019.
- [17] M. Carazo y J. Cano, «Selección de modelos bayesiana: aportaciones al anova de una y dos vías,» *Universidad de Murcia*, p. 108p, 2008.
- [18] J. Thorneycroft, J. Orr, P. Savoikar y R. Ball, «Performance of structural concrete with recycled plastic waste as a partial replacement for sand,» *Construction and Building Materials*, vol. 161, pp. 63-69, 2018.
- [19] Akinyele y A. Ajede, «The use of granulated plastic waste in structural concrete,» *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, vol. 10, n° 2, pp. 169-175, 2018
- [20] D. Mendoza, M. Pérez-Pirela, S. Ortiz y M. Rodriguez, «Concrete masonry blocks with scrap HDPE as aggregate,» *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, vol. 44, n° 1, pp. 29-35, 2021.
- [21] G. Bolivar, «Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón» *Medellín*, octubre 1987.
- [22] «Resistencia a la compresión de cilindros ASTM-C39.pages» 3.10-11 INTE 06-02-01



Milton Adrian Aulestia Pesántez portador de la cédula de ciudadanía N° 0302196274. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Uso de plásticos reciclados en remplazo de agregados finos para la fabricación de hormigón estructural y su aplicación en el cantón Azogues”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de éste trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 17 de noviembre de 2023

Milton Adrian Aulestia Pesántez

C.I. 0302196274