



Revista Ingeniería, Ciencias y Sociedad Vol. 06 – N° 01 (2024) 15–28

Estudio de la viabilidad del hormigón utilizando canto rodado como agregado grueso para la construcción

Study of the feasibility of concrete using pebbles as coarse aggregate for construction.

- Cristian David Ortiz Galeano ¹
- Marcos Benítez Santacruz ²

Resumen

El hormigón es el material de construcción utilizado por excelencia en nuestro país, donde este está compuesto principalmente por cemento, agregados y agua. La piedra canto rodado es un agregado abundante en el departamento de Concepción, sin embargo, es prácticamente nulo el uso que se le da como agregado del hormigón en la zona, ya que el material de uso tradicional es el agregado basáltico; de ahí el motivo de esta investigación. Esta investigación presenta como objetivo analizar la viabilidad técnica y económica que genera la utilización del canto rodado como agregado para el hormigón. El diseño de la investigación fue en una metodología experimental, donde se realizaron ensayos de laboratorio para estudiar los componentes de los materiales. El análisis de las propiedades de los agregados y del desempeño de los hormigones, fueron realizados y evaluados bajo las normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación). Esta investigación tuvo lugar en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Concepción, donde se estudió las características del agregado y así también las del hormigón fresco y endurecido. Con los resultados obtenidos, se pudo concluir que la utilización del canto rodado como agregado para el hormigón fabricado bajo todos los estándares de calidad puede igualar las características del hormigón convencional el cual se toma de referencia, ya que es el hormigón utilizado por excelencia en casi todas las construcciones de la zona. También la utilización de este material genera una ventaja económica que puede influir positivamente con el desarrollo del departamento.

Palabras clave: hormigón, canto rodado, basalto, agregado, resistencia.

Abstract

Concrete is the construction material used par excellence in our country, where it is mainly composed of cement, aggregates and water. The boulder stone is an abundant aggregate in the department of Concepción, however, its use

¹ Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, Paraguay, cristian@facet-unc.edu.py.

² Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, Paraguay, marcos@facet-unc.edu.py.



as a concrete aggregate in the area is practically nil, since the traditionally used material is basaltic aggregate; hence the reason for this investigation. The objective of this research is to analyze the technical and economic feasibility generated by the use of boulder as an aggregate for concrete. The research design was based on an experimental methodology, where laboratory tests were carried out to study the components of the materials. The analysis of the properties of the aggregates and the performance of the concretes were carried out and evaluated under the IRAM standards (Argentine Institute for Standardization and Certification). This research took place in the laboratory of the Faculty of Exact and Technological Sciences of the National University of Concepción, where the characteristics of the aggregate were studied, as well as those of the fresh and hardened concrete. With the results obtained, it was possible to conclude that the use of boulder as an aggregate for concrete manufactured under all quality standards can match the characteristics of conventional concrete which is taken as a reference, since it is the concrete used par excellence in almost all buildings in the area. The use of this material also generates an economic advantage that can positively influence the development of the department.

Keywords: concrete, boulder, basalt, aggregate, resistance.

1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es uno de los materiales más utilizados en la construcción a nivel global, caracterizado por su versatilidad, durabilidad y capacidad para adaptarse a diversas aplicaciones en la ingeniería civil. Sin embargo, la constante demanda de recursos ha llevado a explorar alternativas que permitan optimizar tanto el rendimiento técnico como el impacto económico del hormigón. En este contexto, la utilización de diferentes tipos de agregados se ha convertido en un área de investigación activa, buscando materiales que no solo cumplan con los estándares técnicos, sino que también sean económicamente viables y estén fácilmente disponibles en las zonas de construcción.

En el departamento de Concepción, Paraguay, la piedra basáltica ha sido tradicionalmente el agregado grueso preferido para la producción de hormigón. No obstante, su escasez local obliga a su transporte desde otras regiones, lo que incrementa significativamente los costos asociados a las obras de construcción. Por otro lado, el canto rodado, un material abundante en la región, ha sido subutilizado debido a la falta de estudios que respalden su uso como agregado en el hormigón. Este trabajo de investigación busca llenar este vacío, evaluando la viabilidad técnica y económica del canto rodado como una alternativa al basalto en la producción de hormigón.

El objetivo de este estudio es analizar las propiedades físicas y mecánicas del canto rodado y su comportamiento dentro de mezclas de hormigón, comparándolo con las características del hormigón convencional que utiliza basalto. Mediante una metodología experimental, se realizaron ensayos de laboratorio para determinar la dosificación óptima y evaluar las propiedades del hormigón fresco y endurecido. Los resultados de este análisis no solo buscan demostrar la idoneidad del canto rodado como agregado, sino también proporcionar una base técnica que promueva su uso en el departamento de Concepción, contribuyendo así a una reducción de costos y al desarrollo económico local.

Estudios previos, como el realizado por Bach en 2019 sobre el uso de canto rodado en Lima, Perú, han demostrado que este material puede mejorar las propiedades del hormigón bajo ciertas condiciones de mezcla. Estos antecedentes, junto con las teorías clásicas sobre la composición y el comportamiento del hormigón, sustentan la hipótesis de que el canto rodado puede ser un reemplazo viable del basalto, con beneficios adicionales en términos de costos y disponibilidad.

El alcance de esta investigación se limita a las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con canto rodado y su comparación con el hormigón convencional. No se incluirán en esta etapa del estudio

aspectos relacionados con la durabilidad a largo plazo ni con el comportamiento bajo condiciones extremas, aunque estos podrían ser temas relevantes para futuras investigaciones.

Este trabajo pretende sentar las bases para un cambio en la práctica constructiva en la región, promoviendo el uso de recursos locales y reduciendo la dependencia de materiales externos, sin comprometer la calidad y seguridad de las estructuras de hormigón.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarca en una investigación de tipo experimental, cuyo objetivo principal es evaluar la viabilidad técnica y económica del uso del canto rodado como agregado grueso en la producción de hormigón, en comparación con el uso convencional de basalto. El enfoque metodológico seguido es cuantitativo, con un diseño experimental que permite el análisis comparativo de las propiedades del hormigón en sus estados fresco y endurecido.

Lugar del estudio

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Concepción, Paraguay, lo que permitió obtener una serie de datos rigurosos y controlados bajo condiciones óptimas de laboratorio.

Población y muestra

La población de estudio comprende todas las posibles mezclas de hormigón que podrían elaborarse utilizando canto rodado de la región de Concepción para obtener una resistencia característica de $f_c = 250$ kg/cm².

La muestra consiste en 15 probetas de hormigón, seleccionadas de acuerdo con las recomendaciones de Rivarola Cáceres y Giménez Santacruz (2020), considerando la variabilidad esperada en las propiedades del hormigón y los recursos disponibles. De estas 15 probetas, 5 se destinaron a ensayos de resistencia a compresión simple a los 7 días, 5 a los 14 días, y los 5 restantes a los 28 días.

Se seleccionaron materiales locales (canto rodado de la cantera Ybú y arena del Río Paraguay) y se cumplieron las normativas IRAM 1536 para garantizar la representatividad de la muestra.

Materiales y equipos

Los materiales utilizados en esta investigación incluyen:

- **Agregados gruesos:** Canto rodado (Cantera Ybú, Concepción) y basalto (Planta Asfáltica MOPC, Amambay).
- **Agregado fino:** arena del Río Paraguay (Arenera ARGOX S.A.) propiedades mencionadas por Rivarola Cáceres y Giménez Santacruz (2020).
- **Cemento:** fue utilizado el Cemento Portland compuesto CPII- Yguazú que es producida por la Industria Nacional de Cemento, dicho cemento cumple con las especificaciones técnicas requeridas para la producción de hormigón estructural.

- **Agua:** se utilizó el agua de la red de abastecimiento de la FACET proveída por el tanque reservorio de la Universidad Nacional de Concepción.
- **Aditivos:** Sikament E-90, un aditivo plastificante utilizado para mejorar la trabajabilidad del hormigón.

Los equipos utilizados incluyen:

- **Máquina de ensayo a compresión:** Utilizada para medir la resistencia a compresión simple de las probetas de hormigón.
- **Tamices granulométricos:** Empleados para la clasificación y análisis granulométrico de los agregados.
- **Moldes para probetas:** Cilindros de acero de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para la conformación de las probetas de hormigón.
- **Cinta métrica y balanzas:** Para la medición y pesaje de materiales.

Procedimiento experimental

El estudio se desarrolló en varias etapas clave:

- **Fase 1: Preparación de los materiales:** Se seleccionaron y prepararon muestras de canto rodado (Cantera Ybú, Concepción) y basalto (Planta Asfáltica MOPC, Amambay) para su posterior análisis. Todos los materiales fueron preparados siguiendo estrictamente los protocolos del laboratorio. Como agregado fino, se empleó arena lavada del Río Paraguay, provista por ARGOX S.A. Las muestras fueron sometidas a un análisis granulométrico y almacenados en condiciones controladas. Mediante ensayos de tamizado, se determinaron sus propiedades físicas, como el tamaño máximo nominal, la distribución granulométrica y el módulo de finura. Adicionalmente, se calcularon parámetros como densidades secas, peso unitario seco, capacidad de absorción y humedad. Estos resultados fueron cruciales para establecer la dosificación óptima del hormigón.
- **Fase 2: Dosificación y mezcla:** Se diseñó la mezcla de hormigón empleando el método de Fuller como punto de partida. A través de ensayos experimentales, se ajustó la relación agua-cemento hasta alcanzar la resistencia característica de 250 kg/cm². Una vez establecida la dosificación definitiva, se procedió a la elaboración de las mezclas. El mezclado fue realizado con la ayuda de la máquina mezcladora. Antes de comenzar la rotación del mezclador, se incorporó el agregado grueso con una parte del agua de mezclado y el aditivo utilizado. Luego se pone en movimiento el mezclador y se incorporó el agregado fino, el cemento y el agua de amasado restante. Para evaluar la consistencia de la mezcla, se realizó el ensayo de asentamiento utilizando el cono de Abrams.
- **Fase 3: Elaboración de probetas:** Se procedió al llenado de las probetas cilíndricas, compactando el hormigón de manera uniforme. Después de 24 horas de curado, se desencofraron las probetas y se sumergieron en una pileta con agua para continuar el proceso de curado.
- **Fase 4: Ensayo de resistencia a compresión:** Se realizó el ensayo de resistencia a compresión simple, esta se divide en tres fechas de rotura 7, 14 y 28, en cada una de las fechas se va realizando 3 roturas para tener un resultado lo más real y representativo posible de la resistencia. Los resultados

obtenidos permitieron evaluar la resistencia y comparabilidad del hormigón con diferentes tipos de agregados.

- **Fase 5: Determinación de la Durabilidad:** Una vez finalizados los ensayos de resistencia a compresión, se seleccionaron probetas representativas para evaluar su durabilidad frente al ataque por sulfatos y el desgaste por abrasión Los Ángeles.

Para el ensayo de ataque por sulfatos, las probetas seleccionadas se sumergieron en una solución de sulfato de sodio de concentración conocida durante un período determinado. Este ensayo simula las condiciones de exposición a ambientes agresivos con presencia de sulfatos, permitiendo evaluar la expansión y el deterioro del hormigón debido a la formación de cristales de sulfato. Al finalizar el período de inmersión, se extrajeron las probetas, se evaluaron visualmente los daños producidos, y se realizaron mediciones de expansión que se compararon con los resultados iniciales.

Paralelamente, se llevó a cabo el ensayo de desgaste por abrasión Los Ángeles conforme a la norma IRAM 1532 - 2000. Este ensayo mide la resistencia del hormigón al desgaste mecánico, evaluando cómo responde el agregado frente a la abrasión. Los resultados de este ensayo proporcionan una visión integral de la durabilidad del hormigón, combinando la resistencia a factores químicos, como el ataque por sulfatos, con la resistencia a factores mecánicos, como la abrasión.

- **Fase 6: Análisis de Costos:** Se realizó un análisis detallado de los costos de producción del hormigón, considerando los precios promedio de mercado de los materiales en la región de Concepción. Para determinar el costo unitario del hormigón, se sumaron los costos directos e indirectos y se dividió entre el volumen producido. (canto rodado o basalto, arena, cemento, agua y aditivos). Este análisis permitió evaluar la viabilidad económica de la mezcla de hormigón diseñada y comparar su costo con los precios de mercado, brindando información valiosa para la toma de decisiones en futuros proyectos.

Consideraciones éticas

Todo el procedimiento experimental se llevó a cabo respetando las normativas de seguridad laboral y manejo de materiales peligrosos.

3. RESULTADOS

Propiedades de los agregados gruesos

Análisis Granulométrico

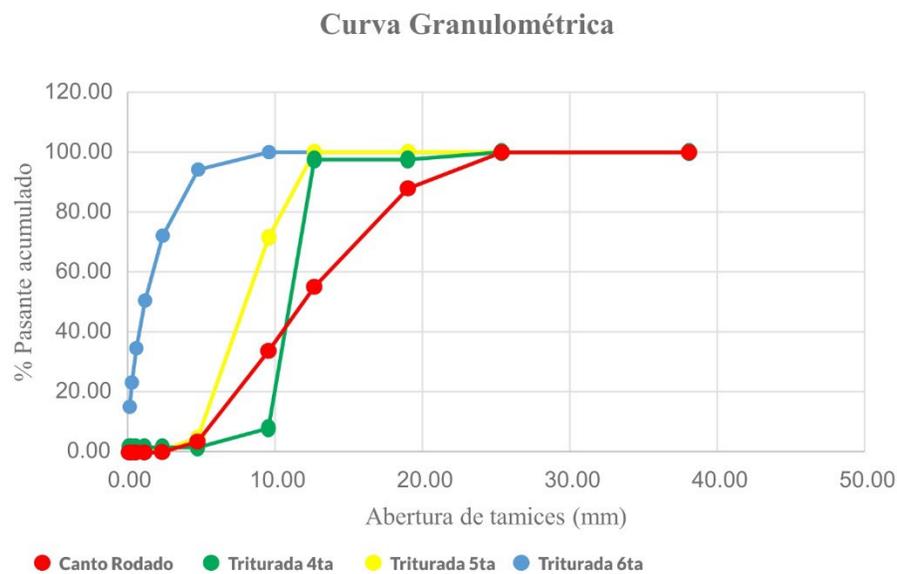
A continuación, se presentan los resultados del estudio granulométrico realizado al canto rodado y basalto de 4ta, 5ta y 6ta.

Tabla 1. Datos generales del Canto Rodado y Basalto.

Material de Ensayo	Procedencia	Módulo de finura	Tamaño máximo del árido
Canto Rodado	Concepción	7,2	25,4 mm
Basalto – Triturada 4ta	Amambay	6,87	19,05 mm
Basalto – Triturada 4ta	Amambay	6,22	9,6 mm
Basalto – Triturada 4ta	Amambay	3,11	4,8 mm

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se muestran las curvas granulométricas de los diferentes materiales utilizados. Además, podemos observar que el canto rodado tiene una mayor diversidad de tamaños de partículas, lo que puede contribuir a una mejor trabajabilidad y cohesión en la mezcla de hormigón. Desde el punto de vista de la construcción, esta característica puede ser beneficiosa para aplicaciones que requieren una alta resistencia a la compresión y una mezcla bien compactada.

Figura 1. Curva Granulométrica del Canto Rodado y Basalto.

Fuente: elaboración propia.

Densidad y Capacidad de Absorción según Norma IRAM 1520.

En Tabla 2 se presentan los resultados de los ensayos de densidad y capacidad de absorción realizados a los distintos materiales utilizados como agregados en la producción de hormigón: canto rodado, varias fracciones de basalto triturado (4ta, 5ta y 6ta).

Tabla 2. Resultados de Análisis de Densidad y Capacidad de Absorción del Canto Rodado, Basalto.

Material de Ensayo	Ensayo	Resultado
Basalto – Triturada 4ta	Densidad	2,984 gr/cm ³
	Absorción	1,15 %
Basalto – Triturada 5ta	Densidad	3,025 gr/cm ³
	Absorción	1,96 %
Basalto – Triturada 6ta	Densidad	2,739 gr/cm ³
	Absorción	2,65 %
Canto Rodado	Densidad	2,666 gr/cm ³
	Absorción	0,5 %

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la densidad y la capacidad de absorción del canto rodado, evaluadas según la norma IRAM 1520, indican que este material es adecuado para su uso en la producción de hormigón estructural. Su densidad adecuada asegura que el hormigón será lo suficientemente compacto y resistente, mientras que su baja capacidad de absorción facilita el control de la mezcla, resultando en un hormigón con buenas propiedades mecánicas y durabilidad.

Análisis del Peso Unitario Suelto y Compactado según Norma IRAM 1548.

Los resultados de los ensayos de peso unitario suelto y peso unitario compactado para los materiales de construcción como el canto rodado, varias fracciones de basalto y la arena se observan en la Tabla 3. Estos resultados son fundamentales para entender cómo se comportan estos agregados en una mezcla de hormigón. Estos valores influyen directamente en la densidad y la cantidad de agregado que se debe utilizar para obtener una mezcla con las características deseadas.

Tabla 3. Resultados de Análisis del Peso Unitario Suelto y Compactado del Canto Rodado, Basalto y Arena.

Material de Ensayo	Ensayo	Resultado
Basalto – Triturada 4ta	Peso Unitario Suelto	1443,3 kg/m ³
	Peso Unitario Compactado	1623 kg/m ³
Basalto – Triturada 5ta	Peso Unitario Suelto	1460,1 kg/m ³
	Peso Unitario Compactado	1575,9 kg/m ³
Basalto – Triturada 6ta	Peso Unitario Suelto	1645,8 kg/m ³
	Peso Unitario Compactado	1877,1 kg/m ³
Canto Rodado	Peso Unitario Suelto	1715 kg/m ³
	Peso Unitario Compactado	1790 kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

El análisis del peso unitario suelto y compactado del canto rodado según la Norma IRAM 1548 demuestra que este material es denso y tiene una buena capacidad de compactación, lo que lo convierte en un agregado adecuado para la producción de hormigón estructural.

Dosificación y mezcla

La dosificación del hormigón para este estudio fue diseñada para cumplir con una resistencia característica de 250 kg/cm², utilizando canto rodado como agregado grueso. Los resultados obtenidos de la mezcla muestran que la relación agua/cemento (A/C) utilizada fue de 0,42, con un tamaño máximo del agregado de 25 mm y un asentamiento promedio de 8 ± 2 cm.

La mezcla resultante se evaluó en cuanto a su consistencia mediante el ensayo de asentamiento de cono de Abrams, y se obtuvo un valor dentro del rango esperado. La tabla a continuación resume los componentes y las proporciones utilizadas:

Tabla 4. Dosificación de Hormigón Canto Rodado.

DOSIFICACION DE HORMIGON F'c 250 TAMAÑO MAXIMO 25MM							
ASENTAMIENTO 8 ± 2 CM							
Relación A/C	0.42	Volumen	Peso	Hum.	M3 (Corregido)	Agua	PASTON m3 0.035
Agregados							
Canto rodado		506,3	1333,1	0,6%	1341,5	8,4	46,953
Arena de rio		177,8	467,7	1,8%	476,1	8,4	16,665
Cemento	YGUAZU	125,8	390		390,0		13,650
Agua		165,0	165		148,2	16,8	5,186
Aire		25,0					
Aditivos	Superfluificante	0,0	0		Sikament 90 E		0,000
	Plastif.	0,003	0		Sikament 90 E		4.1e-5

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 5 presentada muestra las cantidades de los materiales componentes utilizados para la fabricación de 1 metro cúbico (m³) de hormigón que incluye canto rodado como agregado grueso. Estos materiales son esenciales para garantizar que el hormigón cumpla con las propiedades mecánicas y de trabajabilidad deseadas.

Tabla 5. Resultados de Materiales Componentes de Hormigón con Canto Rodado.

Material	Peso (kg) para 1m ³ de hormigón
Cemento	390,0
Arena	476,1
Agregado Grueso	1341,5
Agua	148,2

Fuente: Elaboración propia.

Para los resultados de los materiales componentes de hormigón con basalto se utilizan las propiedades mencionadas por Rivarola Cáceres y Giménez Santacruz (2020). Además, cabe decir que la consistencia de la mezcla se mantuvo adecuada para la aplicación prevista, cumpliendo con los requisitos establecidos en las normas IRAM 1536.

Ensayo de Resistencia a Compresión Simple

En este trabajo de investigación, se realizaron tres canchadas de hormigón, obteniendo un total de 15 probetas, distribuidas equitativamente para los ensayos de resistencia a compresión simple a los 7, 14, y 28 días. Los ensayos se llevaron a cabo siguiendo las directrices de la norma IRAM 1546, garantizando la precisión y consistencia de los resultados.

Previo a los ensayos, las probetas fueron preparadas conforme a lo establecido en la norma IRAM 1553, asegurando condiciones óptimas para la aplicación de la carga.

La carga se aplicó de manera continua y controlada, con una tasa de aumento de tensión de 0,4 MPa/s \pm 0,2 MPa/s, hasta alcanzar la rotura de las probetas. Durante la fractura, se observó el tipo de rotura y se registró el valor máximo de la carga aplicada.

Los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a compresión simple para cada uno de los agregados se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 6. Resultado de Ensayo de Resistencia a Compresión Simple de Canto Rodado y Basalto.

F'c= 250 kg/cm ²				
Material	Probetas	Resistencia a la Compresión Simple kg/cm ²		
		7 días	14 días	28 días
Canto Rodado	Probeta 1	273,17	308,81	319,29
	Probeta 2	283,32	306,37	324,18
	Probeta 3	278,91	301,57	343,62
	Promedio fcm (t)	278	306	329
	Fcm (t)/f'c (%)	111	122	132
Basalto	Probeta 1	230,404	308,669	347,438

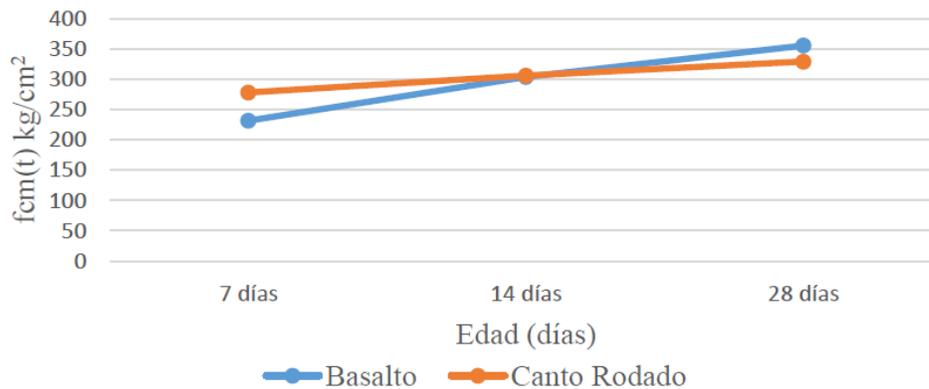
	Probeta 2	232,725	300,389	365,085
	Probeta 3	231,570	302,347	353,320
	Promedio fcm (t)	232	304	355
	Fcm (t)/f'c (%)	93	121	142

Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos que se puede apreciar en la Tabla 6 que a los 7 días el hormigón con canto rodado llega a alcanzar una resistencia media de 278 kg/cm² el cual representa un 111 % con respecto a la resistencia característica requerida (250 kg/cm²). A los 28 días alcanza una resistencia media de 329 kg/cm² el cual significa un 132 % con respecto a la resistencia característica.

Cabe resaltar que se ensayaron 5 probetas en cada fecha correspondiente, del cual se descartaron 2 resultados debido a que estaban dispersos y no se podría realizar una correcta relación entre todos los resultados. Teniendo en cuenta este factor se realizó el descarte de dichos resultados.

Figura 2. Comparación entre Hormigones.



Fuente: elaboración propia.

Según la Figura 2 se puede apreciar que la resistencia media inicial (7 días) del hormigón con canto rodado es mayor que la del basalto. Pero, así también con el paso del tiempo el crecimiento proporcional del hormigón con basalto es superior con respecto al canto rodado, donde a los 14 días la resistencia media de ambas es similares y a los 28 días el basalto llegando a superar al canto rodado.

Determinación de la Durabilidad

Una vez finalizados los ensayos de resistencia a compresión, se seleccionaron probetas representativas para evaluar su durabilidad mediante dos pruebas complementarias: el ataque por sulfatos y el desgaste por abrasión Los Ángeles, siguiendo la norma IRAM 1532 - 2000.

Análisis del desgaste por Abrasión los Ángeles según Norma IRAM 1532 - 2000.

La Tabla 7 proporciona una visión clara de la resistencia al desgaste del canto rodado y basalto. Este ensayo mide la durabilidad de los agregados cuando se someten a condiciones de abrasión, lo que es crucial para evaluar su idoneidad en aplicaciones de hormigón.

Tabla 7. Resultados de Análisis del desgaste por Abrasión Los Ángeles del Canto Rodado y Basalto.

Material de Ensayo	% de Desgaste por Abrasión	Referencia: Norma IRAM 1532
Canto Rodado	21	Máx. 35 %: Para utilizar como agregado en hormigón en general. Máx. 30 %: Para uso en hormigón expuesto al uso de carreteras, pistas, pavimentos.
Basalto	15,4	

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el canto rodado presenta mayor desgaste (21 %) con relación al basalto (15,4 %). Pero así también cumple con los estándares para su utilización en el hormigón según la Norma IRAM 1532.

Ensayo de Ataque por Sulfatos

Este ensayo se realizó según la Norma IRAM 1525, donde se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 8. Resultados de Análisis de Determinación por Ataque de Sulfatos del Canto Rodado y Basalto.

Material de Ensayo	Determinación	Resultado
Canto Rodado	Peso Inicial	1000,24 gr
	Peso Final	984,22 gr
	Pérdida de Peso (%)	1.6 %
Basalto	Peso Inicial	1000 gr
	Peso Final	995 gr
	Pérdida de Peso (%)	0.5 %

Fuente: Elaboración propia.

El material usado convencionalmente (Basalto) presenta mayor resistencia a los ataques de sulfatos con relación al canto rodado, pero también de misma forma el canto rodado presenta una resistencia que se encuentra dentro de los parámetros máximos establecidos por la Norma IRAM 1525 que es el 10 %. Por lo tanto, se puede decir que este material es apto para resistir los ataques por sulfatos que pueda recibir del ambiente al que está sometido como agregado en el hormigón.

Análisis de Costos

Este análisis de costo se realizó en base a un precio promedio de los distintos proveedores tanto de piedra basáltica y canto rodado que se encuentran en la ciudad de Concepción, tales resultados se pueden apreciar en la Tabla 9.

Tabla 9. Precio de Agregados.

CANTO RODADO		BASALTO	
Material	Precio (Gs/m ³)	Material	Precio (Gs/m ³)
Canto Rodado	125.000	Triturada 4ta	220.000
		Triturada 5ta	220.000
		Triturada 6ta	220.000

Fuente: Elaboración propia.

Según se puede observar en la Tabla 34, el costo del agregado canto rodado es bastante inferior en relación al basalto.

De misma forma, también se realizó un análisis de costos del hormigón por metro cúbico con todos los materiales componentes de la misma, esto se puede observar en la Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 10. Resultados de Costos de Hormigón por m³ de Canto Rodado.

COSTO DE H° POR METRO CÚBICO CON AGREGADO DE CANTO RODADO			
Material	Cantidad	Precio Unitario	Total
Canto Rodado	1341,5	67	89.881
Cemento	390	1.100	429.000
Arena	476,1	23	10.950
TOTAL EN GUARANÍES			529.831

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Resultados de Costos de Hormigón por m³ de Basalto.

COSTO DE H° POR METRO CÚBICO CON AGREGADO PIEDRA BASÁLTICA			
Material	Cantidad	Precio Unitario	Total
Triturada 4ta	198	220	43.560
Triturada 5ta	982,28	220	216.102
Triturada 6ta	452,89	220	99.636
Cemento	432	1.100	429.000
Arena	89.96	23	10.950
TOTAL EN GUARANÍES			836.566

Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis económico realizado y de acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 10 y Tabla 11, se puede concluir que es factible la utilización del agregado canto rodado en el hormigón. Queda demostrado un ahorro del 36,6 % con relación al costo por metro cúbico del hormigón con referencia al agregado piedra basáltica.

4. CONCLUSIONES

El estudio llevado a cabo ha demostrado que el uso de canto rodado como agregado grueso en la fabricación de hormigón es una alternativa técnica y económicamente viable en la región de Concepción, Paraguay, siempre que se cumplan con las normas IRAM aplicables. Los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a compresión, realizados conforme a las normativas vigentes, indican que el hormigón con canto rodado puede alcanzar una resistencia característica de 250 kg/cm², cumpliendo así con los estándares de calidad requeridos para su aplicación en estructuras de ingeniería civil.

El análisis granulométrico y de las propiedades físicas del canto rodado, realizado bajo las directrices de las normas IRAM, demostró que este material puede ser adecuadamente utilizado en la mezcla de hormigón, sin comprometer la trabajabilidad ni la homogeneidad del producto final. Además, desde una perspectiva económica, el canto rodado, al ser un material disponible localmente, ofrece una ventaja significativa en términos de reducción de costos de producción y transporte, lo cual favorece su uso en la industria de la construcción en la región.

Sin embargo, es importante destacar algunas limitaciones del estudio. En primer lugar, los resultados obtenidos son específicos para el canto rodado proveniente de la ciudad de Concepción, por lo que no pueden generalizarse a cantos rodados de otras regiones que puedan tener características diferentes. Además, la investigación se centró exclusivamente en la resistencia a compresión simple, sin abordar otros aspectos importantes como la resistencia a la tracción, flexión o la durabilidad a largo plazo bajo diferentes condiciones ambientales. Estos aspectos son cruciales para una evaluación completa del material y deberían ser objeto de estudios futuros.

REFERENCIAS

- Abanto Catillo, F. (s.f.). *Tecnología del Concreto*. Lima: San Marcos.
- Alejandro, R. P. (s.f.). *Materiales Básicos. Agregados Pétreos*, 5 - 14.
- Alonso Bieber, O. (2012). *Manual de materiales de obras civiles*. Asunción: EDITORA LITOCOLOR SRL.
- Antonio, R. L. (s.f.). *Concreto Simple*, 152-172.
- Balzamo, H., Bascoy, D., Bonavetti, V., & Cabrera, O. A. (2012). *Ese Material Llamado Hormigón*. Buenos Aires.
- Barrail, M., Bogado, L., & Maldonado, J. (2008). *Evaluación de la Ceniza Residual del Bagazo de la Caña de Azúcar con el Hormigón*. Asunción.
- Calderon Martinez, A. (2015). *Asunción*.
- García Meseguer, Á., Morán Cabré, F., & Arroyo Portero, J. C. (2000). *Jiménez Montoya Hormigón Armado*. Barcelona: Gustavo Gili, S.A.
- Gil, E. H. (2007). *Hormigón Armado y Pretensado*. Granada: Grupo de Investigación TEP-190 Ingeniería e Infraestructura.
- Hernández Montes, E., & Gil Martín, L. M. (2007). *Hormigón Armado y Pretensado*. Granada: Grupo de Investigación TEP - 190.
- INC. (04 de diciembre de 2021). *INC*. Obtenido de <https://www.inc.gov.py/>

- Larraín Vial, A., Yanéz Uribe, F., & Verdugo Arnold, C. (2006). *Manual de Cálculo de Hormigón Armado*. Santiago: M y M Servicios Gráficos S.A.
- Lutgens, F., Tarbuck, E., & Tasa, D. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Mas Llorens, V. (2012). *Hormigón Ligero*. Remex.
- Neville, A. (2013). *Tecnología del Concreto*. Florida: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Nistal, A. F. (2007). *Técnica Civil. Hormigón*.
- Nistal, A. F., Retana, M. J., & Ruiz Abrio, T. (2012). *El Hormigón: Historia, Antecedentes en Obras y factores indicativos a su Resistencia*. Tecnología y Desarrollo.
- Orler, R., & Donini, H. (s.f.). *Introducción al Cálculo Estructural*.
- Ponce, O. (2012). *La Evolución de la Industria del Cemento*. San Carlos.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Velazco, G. (2009). *Manual del Concreto Estructural*. Caracas: Impresos Minipres C.A.
- Pozzi Azzaro, I. J. (1980). *Manual de Cálculo de Estructuras de Hormigón Armado*. Buenos Aires: Instituto del Cemento Portland Argentino.
- Rivarola Cáceres, M., & Giménez Santacruz, L. (2020). *Estudio del Hormigón con Agregado de Piedra Caliza y Evaluación de su Durabilidad Para el Uso en Obras Civiles*. Concepción.
- Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Colombia: Bhandar Editores.
- Sika. (2020). *Manual del Hormigón*. Hormigón.
- Tarbuck, E. J., & Lutgens, F. k. (2005). *Ciencias de la Tierra*. Madrid: Pearson Educación S.A.
- Traversa, O., & Zabaleta, H. (1997). *Compendio de Tecnología del Hormigón*. Santiago.