


Caracterización e incidencia en el hormigón del agregado fino obtenido por el método del dragado en el río Paraguay en el Departamento de Concepción

Characterization and Impact of Fine Aggregate Obtained by Dredging in the Paraguay River in the Concepción Department on Concrete

- Ana De Los Ángeles Fernández Rivas ¹
- Luis Enrique Villalba Arce ²

Resumen

La arena es un material abundante en la ciudad de Concepción, Paraguay, y se utiliza ampliamente en obras de ingeniería civil. Sin embargo, se desconocen sus propiedades y características. En este artículo, se presentan los resultados de una investigación experimental que evaluó la calidad de la arena lavada utilizada en la ciudad de Concepción, así como su incidencia en el hormigón de resistencia 250 kg/cm². La investigación se llevó a cabo en dos etapas. En la primera etapa, se analizaron las propiedades físicas de las arenas extraídas de dos puntos de dragados del Río Paraguay. En la segunda etapa, se elaboraron hormigones con las dos arenas y se evaluaron sus propiedades mecánicas. Los resultados de la investigación mostraron que las propiedades físicas de las arenas extraídas de los dos puntos cumplen con las especificaciones técnicas de la Norma EHE-08 para poder ser utilizadas en el hormigón. Sin embargo, la granulometría de las arenas es más fina de lo recomendado, con un módulo de finura de 0,2 para la muestra del punto 1 y 1,1 para la muestra del punto 2. Por lo tanto, las arenas deben complementarse con piedra triturada 6ta para cumplir con la exigencia mencionada en la Norma IRAM 1512. En cuanto a las propiedades mecánicas del hormigón, se observó que la resistencia a compresión simple y a compresión diametral del hormigón elaborado con la arena del punto 2 es superior a la del hormigón elaborado con la arena del punto 1. Sin embargo, ambas muestras de arena cumplen y superan la resistencia solicitada. Los resultados de la investigación permiten concluir que las arenas lavadas extraídas de los dos puntos de dragados del Río Paraguay son aptas para la elaboración de hormigón de resistencia 250 kg/cm². Sin embargo, se recomienda complementar las arenas con piedra triturada 6ta para cumplir con la granulometría recomendada.

Palabras clave: hormigón, arena, resistencia, caracterización, evaluación.

¹ Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, Paraguay.

² Universidad Nacional de Concepción, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas, Paraguay.

Abstract

Sand is an abundant material in the city of Concepción, Paraguay, and is widely used in civil engineering works. However, its properties and characteristics are unknown. This article presents the results of an experimental study that evaluated the quality of the washed sand used in the city of Concepción, as well as its impact on concrete with a strength of 250 kg/cm². The study was conducted in two stages. In the first stage, the physical properties of the sands extracted from two points of dredging in the Paraguay River were analyzed. In the second stage, concretes were made with the two sands and their mechanical properties were evaluated. The results of the study showed that the physical properties of the sands extracted from the two points meet the technical specifications of the EHE-08 standard for use in concrete. However, the granulometry of the sands is finer than recommended, with a fineness modulus of 0.2 for the sample from point 1 and 1.1 for the sample from point 2. Therefore, the sands must be supplemented with 6th crushed stone to meet the requirement mentioned in the IRAM 1512 standard. In terms of the mechanical properties of the concrete, it was observed that the simple compression and diametral compression strength of the concrete made with sand from point 2 is higher than that of the concrete made with sand from point 1. However, both sand samples meet and exceed the required strength. The results of the study allow the conclusion that the washed sands extracted from the two points of dredging in the Paraguay River are suitable for the production of concrete with a strength of 250 kg/cm². However, it is recommended to supplement the sands with 6th crushed stone to meet the recommended granulometry.

Keywords: concrete, sand, strength, characterization, evaluation.

1. INTRODUCCIÓN

Las arenas son agregados finos que se utilizan en la construcción de hormigón, un material fundamental en la edificación de estructuras (Villalaz, 2004; INGEOMINAS, 1987; Romero Buitrago, 2010). En Paraguay, la disponibilidad de ríos ha impulsado la presencia de areneras a lo largo de sus riberas, ofreciendo este material para su explotación y comercialización.

La falta de estudios técnicos específicos que avalen la idoneidad de estas arenas como agregado fino plantea un desafío crucial, considerando su amplia utilización sin una comprensión detallada de sus características.

Ante esta realidad problemática, se observa una brecha significativa entre la alta demanda de este material en diversas construcciones en el departamento y la escasez de análisis detallados que garanticen su conformidad con las normativas requeridas para su implementación en el hormigón.

Los antecedentes de la investigación muestran trabajos previos relacionados con el estudio de materiales similares. Entre ellos se destacan análisis granulométricos y estudios de agregados pétreos para la producción de concreto, como los realizados por Denis Luis Carlos y Cabral Juan Ramón (2012) en Paraguay, Bracamonte Miranda Alex José, Vertel Morinson Melba Liliana y Cepeda Coronado Jesús Antonio (2012) en Colombia, y Solís Carcaño Romel, Chan Yam José Luis y Moreno Eric Iván (2008) en México.

En este contexto, el objetivo general del estudio consistió en caracterizar el material de arrastre del Río Paraguay, evaluando si sus propiedades físicas se ajustan a los parámetros establecidos por las normativas para la elaboración del hormigón.

Los objetivos específicos incluyeron la identificación de las características físicas de este agregado, la verificación de su idoneidad mediante ensayos de laboratorio y la evaluación de su influencia al ser utilizado en la elaboración de hormigón.

La justificación de la investigación radica en la necesidad de respaldar con bases científicas el empleo de la arena lavada como agregado fino en la construcción de hormigón, considerando la falta de estudios técnicos que validen su uso en obras civiles. Se busca proporcionar una herramienta efectiva para garantizar la objetividad en el análisis y la toma de decisiones respecto a los agregados, promoviendo la ejecución precisa de proyectos en la región de Concepción.

El alcance de este estudio pretende ofrecer información científica acerca de la composición de la arena del Río Paraguay, aguas arriba del Puente Nanawa, con el fin de determinar su viabilidad en la elaboración del hormigón y fomentar su aprovechamiento en el departamento, contribuyendo así al conocimiento técnico en el campo de la ingeniería civil y la construcción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Enfoque del Artículo de Investigación

El presente artículo se basó en un diseño de investigación experimental que empleó ensayos físicos para caracterizar el agregado fino. Los ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnológicas de la Universidad Nacional de Concepción. Para el estudio de la influencia del agregado en el hormigón, se realizaron ensayos en el laboratorio de la planta cementera Cementos Concepción “CECON”.

2.2. Unidad y Población de Estudio

La unidad de estudio se enfocó en analizar el hormigón endurecido con agregado fino obtenido por el método del dragado de la zona mencionada, evaluando su resistencia a la compresión simple y compresión diametral. La población de estudio consistió en probetas de hormigón diseñadas con dos diferentes agregados finos, obtenidos de dos puntos de dragado distintos y en dos fechas diferentes de recolección de muestras.

Para garantizar la representatividad de los resultados, se diseñaron 30 probetas en total, 15 con agregado fino de la primera zona de dragado y 15 con agregado fino de la segunda zona de dragado.

2.3. Recolección y Procesamiento de Datos

La recolección de datos se llevó a cabo mediante observación directa y ensayos de laboratorio. Esto permitió determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales. Los datos se obtuvieron siguiendo técnicas y procedimientos establecidos por normas técnicas específicas.

2.4. Muestreo de Agregados

La población de la investigación se extrajo del Río Paraguay mediante el método de dragado, utilizando una draga de succión. Este proceso siguió los procedimientos detallados en las normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) y se tuvo precaución en obtener muestras representativas de la naturaleza y condiciones del material.

2.5. Obtención de Propiedades Físicas

Se evaluaron diversas propiedades físicas de los agregados, incluyendo análisis granulométrico, densidad y capacidad de absorción, análisis de peso unitario suelto y compactado, equivalente de arena, y diseño de mezclas de hormigón. Además, se determinó la consistencia del hormigón fresco.

2.6. Diseño de Mezclas y Fabricación de Probetas

El diseño de mezclas se realizó utilizando el método americano ACI con una resistencia de cálculo de $f_{ck}=250$ kg/cm² y un aditivo plastificante. Se fabricaron probetas mediante la mezcla secuencial de agregado grueso, agregado fino, cemento y agua. La resistencia a la compresión simple y compresión diametral se evaluó a los 7, 14, 21 y 28 días.

2.7. Alcance y Limitaciones

El estudio se centró en la caracterización física de la arena lavada del Río Paraguay, 3000 metros aguas arriba del Puente Nanawa de Concepción. Se limitó a las propiedades mecánicas del hormigón, evaluando únicamente su resistencia a la compresión simple y compresión diametral.

2.8. Variables de la Investigación

Se definieron variables independientes (caracterización del agregado fino) y dependientes (incidencia del agregado fino en el hormigón) con dimensiones, indicadores y operacionalización específicos. El marco normativo se basó en normas IRAM y metodologías reconocidas en la ingeniería civil.

Tabla 1. Variables de operacionalización

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Caracterización del agregado fino.	Características físicas del agregado fino.	Parámetros indicados en las normas técnicas.	Ensayos de Laboratorio, normas técnicas.
Variable Dependiente	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
Incidencia del agregado fino en el hormigón.	Propiedades y características del hormigón.	Resistencia y Propiedades del Hormigón.	Ensayos de Laboratorio, normas técnicas, registro y análisis.

Fuente: Elaboración propia.

2.9. Componente Ético

El estudio se realizó siguiendo principios éticos, garantizando la integridad en la obtención y manipulación de datos, así como el respeto a las normativas vigentes.

3. RESULTADOS

Los resultados de este estudio se presentan en esta sección. Los resultados se dividen en dos partes:

- Características físicas del agregado fino
- Influencia del agregado fino en la resistencia del hormigón

En la primera parte, se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio realizados para determinar las características físicas del agregado fino. En la segunda parte, se presentan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión realizados con dos mezclas de hormigón, una con el agregado fino proveniente del dragado del río Paraguay y otra con agregado fino de origen comercial.

3.1. Características físicas del agregado fino

Los agregados finos han sido obtenidos de dos areneras comerciales de Concepción, denominadas Arenera Punto 1 y Arenera Punto 2, ubicadas a una distancia aproximada de 350 metros. Las muestras fueron extraídas de forma manual del acopio del material dragado existente en las areneras, y recolectadas en bolsas de 50 kg para su posterior análisis en laboratorio.

La Tabla 2 resume los resultados de la caracterización de los agregados finos provenientes de las canteras Punto 1 y Punto 2.

Tabla 2. Caracterización de Agregados Finos

Propiedad	Punto 1	Punto 2
Densidad (g/cm ³)	2,65	2,63
Absorción de Agua (%)	0,4	0,24
Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	1608,4	1689,4
Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	1434,1	1545,5
Arcilla (%)	14,3	2,2
Equivalente de Arena (%)	85,7	97,8

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 2 muestra los valores de la densidad del agregado fino que es una medida de su masa por unidad de volumen. En general, una densidad mayor indica que el agregado es más compacto y pesado. Ambos valores son superiores al valor mínimo especificado por la norma IRAM 1520, que es de 2,60 g/cm³. Además, observamos los valores de absorción de agua que es una medida de la cantidad de agua que puede absorber un agregado fino. Una absorción de agua mayor indica que el agregado es más poroso y absorbente. Se observa que ambos valores son inferiores al valor máximo especificado por la norma IRAM 1520, que es de 5%.

El peso unitario suelto es una medida de la masa de un agregado fino por unidad de volumen cuando se encuentra en estado suelto. El peso unitario compactado es una medida de la masa de un agregado fino por unidad de volumen cuando se encuentra compactado. Según los resultados de la Tabla 2 ambos valores son inferiores al valor máximo especificado por la norma IRAM 1548 para el peso unitario suelto del agregado fino, que es de 1600 kg/m³. En cuanto al peso unitario compactado del agregado fino ambos valores son superiores al valor mínimo especificado por la norma IRAM 1548, que es de 1500 kg/m³.

La arcilla es un material fino que puede afectar negativamente a la resistencia y durabilidad del hormigón. El equivalente de arena es una medida de la cantidad de arcilla presente en un agregado fino. Tomando en cuenta los resultados de la Tabla 2 se observa que ambos valores son inferiores al valor máximo especificado por la norma EHE-08, que es de 30%. En cuanto al equivalente de arena del agregado fino ambos valores son superiores al valor mínimo especificado por la norma EHE-08, que es de 70%.

En términos generales, los resultados muestran que ambas muestras cumplen con los requisitos establecidos por las normas IRAM 1520, 1548 y 1682/72.

Tabla 3. Análisis granulométrico de las arenas provenientes de la muestra punto 1 - granulometría promedio.

TIPO AGREGADO	
Tamices	Arena Lavada Del Rio Paraguay- Muestra Punto 1

Nominal	Abertura (mm)	Masa (g)	Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acum. (%)	Pasa (%)
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 8	2,40	0,06	0,06	0,01	0,01	99,99
N° 16	1,20	0,33	0,33	0,07	0,08	99,92
N° 30	0,60	2,33	2,33	0,46	0,54	99,46
N° 50	0,30	14,11	14,11	2,80	3,34	96,66
N° 100	0,15	63,59	63,59	12,69	16,03	83,97
Fondo		420,80	420,80	83,97	100,00	0,00
				501,23	20,00	20,00
Módulo de Finura						0,20
Tamaño Máximo del Agregado (TMA) en mm						0,30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Análisis granulométrico de las arenas provenientes de la muestra punto 2 - granulometría promedio.

Tamices		TIPO AGREGADO				
		Arena Lavada Del Rio Paraguay- Muestra Punto 2				
Nominal	Abertura (mm)	Masa (g)	Retenido (g)	Retenido (%)	Retenido Acum. (%)	Pasa (%)
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,40	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,05	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,60	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,80	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 8	2,40	1,03	1,03	0,21	0,21	99,79
N° 16	1,20	2,54	2,54	0,51	0,72	99,29
N° 30	0,60	12,80	12,80	2,56	3,28	96,72
N° 50	0,30	137,86	137,86	27,00	30,38	69,12
N° 100	0,15	228,70	228,70	45,78	76,66	23,34
Fondo		116,60	116,60	23,34	100,00	0,00
				499,52	111,73	111,73
Módulo de Finura						1,12
Tamaño Máximo del Agregado (TMA) en mm						0,60

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados de los análisis granulométricos presentados en las Tablas 3 y 4, se observa que el módulo de finura de las arenas provenientes de las muestras Punto 1 y Punto 2 no cumplen con la especificación establecida por la norma IRAM 1505, que es de 2,30 a 3,10.

3.2. Influencia del agregado fino en la resistencia del hormigón

La idoneidad del agregado fino se verificó a través de varios ensayos de laboratorio. Entre ellos, se destacan los resultados de los ensayos de resistencia a compresión simple y resistencia a compresión diametral.

Ensayo de resistencia a compresión simple

La resistencia a compresión del hormigón depende de muchos factores, unos inherentes a la calidad del mismo y otros a la forma y dimensiones de las probetas y a las condiciones en que se lleva a efecto el ensayo. Siempre que se realiza un ensayo de compresión sobre varias probetas, procedentes de la misma masa (canchada) de hormigón, se presentan variaciones entre los resultados obtenidos en la rotura de las mismas. Dada la variación existente entre los resultados obtenidos, por rotura de probetas procedentes de la misma canchada, no puede identificarse la resistencia a compresión de un hormigón como la dada por la rotura de una única probeta, sino que hay que proceder a la rotura de una serie de ellas a fin de tener más certeza sobre el verdadero valor a tomar como resistencia representativa. Aquí aparecen entonces, los conceptos de “resistencia media” y “resistencia característica”. Barrail, Bogado, & Maldonado (2008)

La resistencia media del hormigón está definida como la suma de las resistencias individuales de cada probeta dividida por el número de probetas ensayadas, obteniéndose un valor que no tiene en cuenta la dispersión entre los resultados individuales. A fin de paliar este inconveniente aparece la resistencia característica que se basa en un estudio estadístico en base a una distribución normal y que tiene en cuenta la dispersión de los resultados individuales del ensayo; así, la resistencia característica se define como el valor de la resistencia por debajo del cual no se presentarán más de un 5% de roturas; es decir, el 95% de las roturas serán de valor superior a la resistencia característica. Barrail, Bogado, & Maldonado (2008)

La resistencia a compresión que el hormigón logra es función de la relación a/c, de cuanto la hidratación ha progresado, de las condiciones ambientales y de la edad del hormigón. A efectos de los cálculos estructurales, se considera la resistencia a 28 días como “resistencia final o máxima del hormigón”.

Además de los ensayos de compresión realizados a la edad de 28 días, se ensayaron probetas a los 7, 14 y 21 días para verificar la evolución de la resistencia del hormigón.

El método de ensayo se realizó según la norma IRAM 1546. Primeramente, se determinó la altura y el diámetro de cada probeta en centímetros. Se limpió cuidadosamente las superficies planas de contacto de los platos superior e inferior de la prensa y también ambas bases de cada probeta.

Luego se colocó la probeta en el plato inferior de apoyo logrando que quede perfectamente centrada y se acercó de forma manual el plato superior de la prensa hasta que quedó en contacto con la probeta.

En la Tabla 5 y Tabla 6 se observan los resultados del ensayo de compresión simple a los 7, 14, 21 y 28 días de los hormigones estudiados. Los datos que se presentan corresponden al promedio de tres probetas por edad. Cabe destacar que se aplicó la carga hasta lograr la rotura de la probeta, registrando la carga máxima.

Tabla 5. Resultados del ensayo de Compresión Simple del hormigón del punto 1

Ensayo de resistencia a la compresión simple				
Muestra del Punto 1				
fck: 250 kg/cm ²				
Edad del H°	7 días	14 días	21 días	28 días
Fechas de Rotura	3/4/2023	10/4/2023	17/4/2023	24/4/2023
Probeta 1	277	293	324	321
Probeta 2	258	311	307	321
Probeta 3	253	307	307	313
Promedio fcm (kg/cm ²)	263	304	313	318
%=(fcm/fck)*100	105	121	125	127

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6. Resultados del ensayo de Compresión Simple del hormigón del punto 2

Ensayo de resistencia a la compresión simple				
Muestra del Punto 2				
fck: 250 kg/cm ²				
Edad del H°	7 días	14 días	21 días	28 días
Fechas de Rotura	4/4/2023	11/4/2023	18/4/2023	25/4/2023
Probeta 1	289	310	325	324
Probeta 2	292	301	324	343
Probeta 3	286	302	307	327
Promedio fcm (kg/cm ²)	289	304	319	331
%=(fcm/fck)*100	116	122	128	132

Fuente: Elaboración propia.

Estadísticamente podemos observar una diferencia del 9% a favor del hormigón obtenido con la arena de la muestra del punto 2 a la edad de 7 días. Una igualdad de resistencias a la edad de 14 días. Una diferencia del 1,25% a favor del hormigón con la arena de la muestra del punto 2. Por último, una diferencia del 4% a favor del hormigón obtenido con la arena de la muestra del punto 2 a la edad de 28 días.

Ensayo de resistencia a compresión diametral

El método de tracción indirecta o también denominado tracción por compresión diametral (splitting tensile test), o método brasileño, consiste en aplicar una carga linealmente distribuida a lo largo de dos generatrices opuestas de un cilindro del material. Esta carga lineal provoca la aparición de esfuerzos de tracción de un valor constante a lo largo de prácticamente todo el plano vertical, Zerbino R. (2005)

Las tres probetas se ensayaron a los 28 días para verificar la resistencia a la tracción del hormigón. El método de ensayo se realizó según la norma IRAM 1658.

Primeramente, se marcaron los diámetros en cada cara asegurándose que sean de un mismo plano axial, posteriormente se marcaron las generatrices que unen los extremos de los diámetros para definir el plano de carga. Se aseguró que las probetas no hayan perdido humedad antes de la rotura. Se empezó colocando en el plato inferior la banda de apoyo, ubicando la probeta sobre la misma, de forma que el plano de carga

quede en posición vertical y centrada respecto al eje de la banda. Se aproximó los platos de la prensa sin dar carga, pero de forma que quede fijada la posición del conjunto.

Se aplicó la carga de forma continua y sin choques bruscos, de manera que el aumento medio de tensión sobre la probeta sea de $0,3 \pm 0,1 \text{ Kg/cm}^2/\text{s}$ ($0,03 \pm 0,01 \text{ MPa/s}$).

La resistencia a la tracción indirecta se calcula de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$f_{ct'i} = \frac{2P}{\pi \cdot d \cdot l} \quad (1)$$

Siendo:

$f_{ct'i}$ = Tensión de rotura en (kg/cm^2).

P = Carga de rotura en (kg).

d = Diámetro de la probeta en (cm).

l = Longitud de la probeta en (cm).

Para el estudio se aplicó la carga hasta lograr la rotura de la probeta, registrando la carga máxima.

Hay dos modos de fractura que indican una prueba válida, falla de tracción normal y falla de triple hendimiento, las cuales pueden ser seguidas por fragmentación adicional severa de la región vertical central de la muestra. Un tercer tipo de falla o fractura, llamada falla de compresión y cortante, invalida el resultado de las pruebas. Muñoz (2015).

En la Tabla 7 y Tabla 8 se observan los resultados del ensayo de compresión diametral a los 28 días de los hormigones estudiados. Los datos que se presentan corresponden al promedio de tres probetas.

Tabla 7. Resultados del ensayo de Compresión Diametral del hormigón del punto 1.

Ensayo de compresión diametral Muestra del Punto 1			
Edad del H°	28 días		
Fecha de Rotura	24/4/2023		
(d) Diámetro (cm)	(l) Longitud (cm)	(P) Carga de rotura (cm)	($f_{ct'i}$) Tensión de rotura en (kg/cm^2)
15	30	19048	27
15	30	23940	34
15	30	23087	33
Promedio $f_{ct'i}$ (kg/cm^2)			31

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Resultados del ensayo de Compresión Diametral del hormigón del punto 2.

Ensayo de compresión diametral Muestra del Punto 1			
Edad del H°	28 días		
Fecha de Rotura	24/4/2023		
(d) Diámetro (cm)	(l) Longitud (cm)	(P) Carga de rotura (cm)	(<i>fct'i</i>) Tensión de rotura en (kg/cm ²)
15	30	27757	39
15	30	24288	34
15	30	24835	35
Promedio <i>fct'i</i> (kg/cm²)			36

Fuente: Elaboración propia.

Se observa el resultado con una diferencia del 16% a favor del hormigón elaborado con la muestra del punto 2 con relación al hormigón elaborado con la muestra del punto 1. Ambos hormigones superan el parámetro establecido, teniendo los valores de superación para el hormigón elaborado con la muestra del punto 1 del 6,7% y para el hormigón elaborado con la muestra del punto 2 del 24,1%.

4. CONCLUSIONES

Los ensayos realizados para caracterizar las arenas extraídas de dos puntos del Río Paraguay, y su incidencia en hormigones de resistencia 250 kg/cm², arrojaron las siguientes conclusiones:

- Las propiedades físicas de las arenas, tales como absorción y equivalente de arena, cumplieron con las especificaciones técnicas de la Norma EHE-08, excepto la granulometría, que es más fina de lo recomendado. El módulo de finura de las muestras del punto 1 y punto 2 fue de 0,2 y 1,1, respectivamente, mientras que el rango admisible es de 2,30 a 3,10. Por lo tanto, las arenas deben complementarse con piedra triturada 6ta para cumplir con la exigencia mencionada en la Norma IRAM 1512.
- La resistencia a compresión simple del hormigón fue superior para el hormigón elaborado con arena proveniente del punto 2, con una resistencia media inicial (7 días) de 258,8 kg/cm², en comparación con los 246,4 kg/cm² del hormigón elaborado con arena proveniente del punto 1. Para ambos casos, se alcanzó y superó el 100% de la resistencia de diseño.

En las edades intermedias, 14 y 21 días, ambos hormigones elaborados mostraron un comportamiento similar. A la edad de 28 días, la diferencia de resistencia a compresión simple se mantuvo a favor del hormigón elaborado con arena proveniente del punto 2, con una resistencia de 305,6 kg/cm², en comparación con los 287,2 kg/cm² del hormigón elaborado con arena proveniente del punto 1.

- Teniendo en cuenta esta ajustada diferencia, se concluye que los hormigones elaborados con agregado fino proveniente del Río Paraguay, de las muestras del punto 1 y punto 2, dosificados correctamente, pueden llegar a cumplir y superar la resistencia solicitada.
- La resistencia a compresión diametral del hormigón fue también superior para el hormigón elaborado con arena proveniente del punto 2, con una resistencia media de 29,6 kg/cm², en comparación con los 25,7 kg/cm² del hormigón elaborado con arena proveniente del punto 1. Estos resultados obtenidos cumplen y superan la resistencia calculada de acuerdo a las fórmulas de la instrucción española, teniendo como parámetro 29 kg/cm².

Por lo tanto, se concluye que con ambas muestras de arena se puede lograr alcanzar la dosificación deseada.

REFERENCIAS

- Alaejos P., Fernández M. (1996). High-performance concrete: requirements for constituent materials and mix proportioning. "ACI Materials journal," (U.S.A.), 93 (3), p. 236.
- Alatorre J., Uribe R. (1998). Agregados para concreto: cada cual por su nombre. "Construcción y tecnología," (México), 10 (121), pp. 13-14.
- Álvaro García Meseguer, F. M. (2008). *Jiménez Montoya Hormigón Armado*. Gustavo Gili, SL.
- Anejo 14 (2008). Recomendaciones para la utilización de hormigón con fibras. Instrucción EHE.
- Barrail, M., Bogado, L., & Maldonado, J. (2008). Evaluación de la Ceniza Residual del Bagazo de la Caña de Azúcar con el Hormigón. Asunción.
- Campos, E. (2015). RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL DEL CONCRETO UTILIZANDO AGREGADO DE PIEDRA CALIZA TRITURADA LAVADA. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Carrasco, I. M. (2013). Tecnología del Hormigón: AGUA PARA MORTEROS Y HORMIGONES. Santa Fe: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL.
- Castro Tomas, F. (2009). Efectos de la fibra de polipropileno en concretos con cemento Portland Tipo V .(Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú
- Difusión y Transferencia Tecnológica. Instituto del Cemento Portland Argentino (ICPA) 2017. [HTTPS://WEB.ICPA.ORG.AR/WP-CONTENT/UPLOADS/2019/04/MJN-TH-PARTE1_MAY17.PDF](https://web.icpa.org.ar/wp-content/uploads/2019/04/MJN-TH-PARTE1_MAY17.PDF)
- Ezeldin A.S., Aitcin P.C. (1991). Effect of coarse aggregate on the behavior of normal and high-strength concretes. "Cement and concrete aggregates," (U.S.A.), 13 (2), pp. 121-124.
- García, A. (18 de 01 de 2012). Petrología: Rocas sedimentarias y Metamórficas. Obtenido de Universidad de Granada: https://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/secciones/petro/pet_sed.htm
- García, D. (2019). *Tipos de Hormigón*. Obtenido de Becosan: <https://www.becosan.com/es/tipos-de-hormigon-y-hormigon-pulido/>
- Guevara, G., Hidalgo, C., Pizarro, M., Rodríguez, I., Rojas, L., & Segura, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*, 80-86.
- Gutiérrez de Lopez, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. (Vol. Capítulo 2). Manizales: Universidad Nacional de Colombia – sede Manizales.
- Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Departamento de Ingeniería Civil.
- Hormigón, G. d. (2008). *Los Aditivos*. Escuela Ingeniería en Construcción - UCV.
- ICGC. (2019). Rocas ígneas. Obtenido de Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: <https://www.icgc.cat/es/Ciudadano/Explora-Cataluna/Atlas/Atlas-geologico-de-Cataluna/Los-tipos-litologicos/Rocas-igneas>
- Ingeominas. (1987). Recursos Minerales en Colombia. En *Minerales preciosos rocas y minerales no metálicos recursos energéticos* (págs. 660-672).
- Instrucción, D. H. E. (2008). EHE-08. Catálogo de publicaciones del Ministerio de Fomento Año, 444.
- Llorens, V. M. (2012). *HORMIGÓN LIGERO: Aspectos técnicos y estéticos*. México.
- Manero Miguel, F., & Pastor Antolín, L. J. (2003). Impactos ambientales y rearticulación territorial en el área de MERCOSUR: el significado de la Hidrovía Paraguay-Paraná.
- Materiateca. (2019). Cemento Portland. Obtenido de Materiateca: <https://sites.google.com/site/materiatecamireya/piedras-artificiales/cemento-portland>

- Meseguer, & Jordan, S. (2008). Rocas calcáreas de uso industrial en la provincia de Castellón. Castellón.
- Meseguer, & Jordan, S. (2008). Rocas calcáreas de uso industrial en la provincia de Castellón. Castellón.
- Monroe, J., Reed, W., & Pozo, M. (2008). Geología dinámica y evolución de la tierra. España: Paraninfo
- Montoya, P. J., Meseguer, Á. G., Cabré, F. M., & Portero, J. C. A. (2009). Hormigón armado. Gustavo Gili.
- Neville A. (1999). "Tecnología del concreto," IMCYC, México, p. 163
- Nilson, A. (2001). Diseño de estructuras de concreto. Bogotá: Mc Graw Hill.
- Olazábal, I. W., & Traversa, I. L. (1977). HORMIGÓN EN MASA. Provincia de Buenos Aires.
- Ortego Valencia, L. (2003). Técnicas de dragado en Ingeniería marítima.
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/5971/04.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Osorio, I. C. (2020). HIDRATACIÓN DEL CONCRETO: AGUA DE CURADO Y AGUA DE MEZCLADO. Obtenido de 360enconcreto:
<https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/importancia-del-agua-en-el-concreto>
- Ponce, O. A. (2012). LA EVOLUCIÓN DE LA INDUSTRIA DEL CEMENTO. San Carlos. Ports and Dredging, nº 157, IHC Parts & Services. Keeping dredging hardware profitably at work. IHC. Holland.
- Quispe Arce, F. J., & Verástegui Minaya, E. E. (2019). Propiedades físicas-mecánicas de bloques de hormigón elaborado con agregado grueso reciclado de residuos de construcción en la ciudad de Abancay.
- Rivera, G. A. (2009). Concreto Simple. Popayán: Universidad del Cauca.
- Romea, C. (2014). El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario. OmniaScience Monographs.
- Romea, C. (2014). El hormigón: breve reseña histórica de un material milenario. OmniaScience Monographs.
- Romero Buitrago, N. (2010). Manual preliminar de petrografía aplicada al estudio de materiales pétreos para carreteras. Bogotá: Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS.
- Sánchez Solís, M. A. (2015). Integración de costos en dragado, bordas y muros de roca en Ríos de la República de Guatemala (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Sanz Bermejo, C. Manual de equipos de dragado. Madrid, 2001
- Suarez, J. (1998). Análisis geotécnico. En Deslizamientos (Primera ed., págs. 339- 386). Bucaramanga.
- Técnica, A. (2007). Historia del hormigón. En E. d. Técnica, *Materiales de Construcción II* (págs. 72-79). Universidad de Alcalá. (2019). Tipos de hormigones.
[https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG33169/TAB42351/Tema 10 \(Tipos horm\) Tec Horm EUAT.pdf](https://portal.uah.es/portal/page/portal/GP_EPD/PG-MA-ASIG/PG-ASIG33169/TAB42351/Tema 10 (Tipos horm) Tec Horm EUAT.pdf)
- Varas, M. J., Álvarez de Buergo, M., & Fort, R. (2007). Piedras artificiales: morteros y hormigones. El cemento como máximo representante de estos materiales de construcción. Instituto de Geología Económica.
- Vásquez, G. y. (2013). Roca Sedimentaria. Caliza. Uciencia.
- Vidal Martín, R; Paris Solas, C. Equipos de dragados. Conferencia 6. Curso general de dragados. Puertos del Estado, 1997.
- Vidaud, E. (2013). De la historia del cemento. Construcción y Tecnología en concreto, 20-24.

Villalaz, C. c. (2004). Mecánica de suelos y cimentaciones. Editorial Limusa.
Zerbino, R. (2005). Evaluación de la resistencia en materiales frágiles.