



## Comparativa de métodos de diseño de mezcla de concretos convencionales con agregados marginales

Comparison of Conventional Concrete Mix Design Methods with Marginal Aggregates

Comparação de Métodos de Dosagem de Concretos Convencionais com Agregados Marginais

### ARTÍCULO ORIGINAL

Juan Antonio Herradda Montagne  
[jaherraddam@uni.pe](mailto:jaherraddam@uni.pe)  
<https://orcid.org/0009-0009-7886-4099>  
Universidad Nacional de Ingeniería,  
Lima - Perú

Max Huaynalaya Rashuaman  
[mhuaynalayar@uni.edu.pe](mailto:mhuaynalayar@uni.edu.pe)  
<https://orcid.org/0009-0002-8956-2194>  
Universidad Nacional de Ingeniería,  
Lima - Perú

Heddy Marcela Jiménez Yabar  
[hjimenez@uni.edu.pe](mailto:hjimenez@uni.edu.pe)  
<https://orcid.org/0000-0003-1722-6615>  
Universidad Nacional de Ingeniería,  
Lima – Perú

Recibido 13 de Abril 2024 | Arbitrado y aceptado 20 de Junio 2024 | Publicado el 11 de Diciembre 2024

#### RESUMEN

Los métodos de diseño de mezclas de concreto convencionales son numerosos, siendo el principal y más conocido el ACI 211, sin embargo, este método es preferiblemente aplicable cuando los agregados cumplen con todos los parámetros establecidos en la ASTM C33. Cuando se trabaja con agregados que poseen características fuera de la normativa especificada se les conoce como agregados marginales y se deben utilizar otros métodos de diseño para obtener una mezcla óptima. En la actualidad, en la ciudad de Lima, las canteras de agregados que cumplen con los requisitos ASTM C33 se están terminando. Debido al problema antes mencionado la presente investigación realiza una comparativa de 3 metodologías de diseño las cuales son ACI 211, Fuller y Bolomey, haciendo al final una propuesta de diseño en base a curvas DIN, buscando de esta forma evaluar el comportamiento de estas metodologías con agregados marginales.

**Palabras clave:** Concreto, agregados marginales, Fuller, Bolomey, ACI

#### ABSTRACT

Conventional concrete mix design methods are numerous, with the most well-known and widely used being ACI 211. However, this method is preferably applied when aggregates meet all the parameters specified in ASTM C33. When working with aggregates that fall outside these specifications, known as marginal aggregates, alternative design methods must be used to achieve an optimal mix. Currently, in Lima, aggregate quarries meeting ASTM C33 requirements are becoming scarce. To address this issue, this research presents a comparison of three design methodologies: ACI 211, Fuller, and Bolomey, and concludes with a design proposal based on DIN curves. This approach aims to evaluate the performance of these methodologies when using marginal aggregates.

**Keywords:** Concrete, marginal aggregates, Fuller, Bolomey, ACI.

#### RESUMO

Os métodos convencionais de dosagem de concreto são numerosos, sendo o mais conhecido e amplamente utilizado o ACI 211. No entanto, esse método é preferencialmente aplicável quando os agregados atendem a todos os parâmetros estabelecidos na norma ASTM C33. Ao trabalhar com agregados que não se enquadram nessas especificações, conhecidos como agregados marginais, é necessário utilizar outros métodos de dosagem para obter uma mistura otimizada. Atualmente, em Lima, as pedreiras de agregados que atendem aos requisitos da ASTM C33 estão se esgotando. Devido a esse problema, esta pesquisa realiza uma comparação de três metodologias de dosagem: ACI 211, Fuller e Bolomey, e apresenta ao final uma proposta de dosagem baseada nas curvas DIN. Esse enfoque busca avaliar o desempenho dessas metodologias ao utilizar agregados marginais.

**Palavras-chave:** Concreto, agregados marginais, Fuller, Bolomey, ACI

## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad y durabilidad de las estructuras de concreto armado que son diseñadas por los ingenieros estructurales están directamente relacionadas con el diseño del concreto que estas contemplen, a su vez, ese diseño está netamente relacionado con los agregados que cuenten para la realización del mismo. Dentro de las metodologías de diseño de mezclas de concreto más conocidas se encuentra la metodología ACI 211; sin embargo, este método es preferiblemente aplicado cuando se cuentan con agregados que cumplan con los estándares ASTM C33, esta condición asegurará que los parámetros de diseño obtenidos mediante las tablas ACI 211 den como resultado un diseño de mezcla con las características deseadas.

En ese contexto surge una gran problemática, en ciudades como Lima – Perú, las reservas de agregados que cumplen con los requisitos de la ASTM C33 son cada vez más escasas, en ese sentido la industria de la construcción empieza a hacer uso de agregados marginales, que son los que no cumplen con la normativa especificada. Este no cumplimiento puede darse de diversas formas, siendo las más relevantes el no encontrarse dentro de un huso granulométrico, tener una mala gradación y poseer una elevada cantidad de finos; estas características hacen que las mezclas de concreto no sean tan óptimas ni optimizables, resultando en concretos más caros y más complejos de diseñar.

Ante esta problemática, la presente investigación propone el empleo de agregados marginales y diferentes metodologías de diseño para la realización de una comparativa y dar a conocer los puntos positivos y negativos de las mismas.

## 2. MATERIALES Y DISEÑO DE MEZCLA

En la presente investigación se utilizó Cemento Portland de la marca Sol, agua de la red (potable), agregado fino y agregado grueso de la cantera Difamás. Las propiedades de los materiales se muestran a continuación.

*Cuadro 1. Propiedades del Cemento SOL Tipo I.*

Fuente: (UNACEM, 2021).

**PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS**

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO SOL	REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie específica	m <sup>2</sup> /kg	323	Mínimo 260
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	3.13	No especifica
<b>RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>			
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	303	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	382	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	449	Mínimo 285 (*)
<b>TIEMPO DE FRAGUADO</b>			
Fraguado Vicat inicial	min	129	45 a 375
<b>COMPOSICIÓN QUÍMICA</b>			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	2.8	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5
<b>FASES MINERALÓGICAS</b>			
C2S	%	12	No especifica
C3S	%	55	No especifica
C3A	%	10	No especifica
C4AF	%	10	No especifica

(\*) Requisito opcional

*Cuadro 2. Propiedades del Agregado Fino.*

Ensayo	Unidad	Agregado Fino	ASTM C33 (2021)
<b>Módulo de Finura</b>	-	3,21	2,3 - 3,1
<b>PUS</b>	kg/m <sup>3</sup>	1578	-
<b>PUC</b>	kg/m <sup>3</sup>	1733	-
<b>Peso Específico</b>	kg/m <sup>3</sup>	2596	-
<b>Contenido de Humedad</b>	%	3,63	-
<b>Porcentaje de Absorción</b>	%	1,52	-
<b>Malla 200</b>	%	7,8	máx 3

Cuadro 3. Propiedades del Agregado Grueso.

Ensayo	Unidad	Agregado Grueso	ASTM C33 (2021)
Módulo de Finura	-	7,84	-
PUS	kg/m <sup>3</sup>	1495	-
PUC	kg/m <sup>3</sup>	1655	-
Peso Específico	kg/m <sup>3</sup>	2807	-
Contenido de Humedad	%	0,32	-
Porcentaje de Absorción	%	0,85	-
Malla 200	%	1,3	máx 1

En los gráficos 1 y 2 presentados a continuación se muestran las curvas granulométricas del agregado fino y agregado grueso respectivamente. El agregado fino posee una gran cantidad de retenido en los tamices N°4, N°8 y N°16, estando casi en el límite superior; en ese sentido el agregado fino se termina catalogando como una arena muy gruesa. Respecto del agregado grueso, este presenta un TMN de 1'', una gran cantidad de retenido en el tamiz 3/4'', siendo este el más incidente de la granulometría y dando como resultado una mala gradación para el agregado grueso que, a su vez, no se encuentra contenido dentro de ningún Huso granulométrico.

Gráfico 1. Curva Granulométrica del Agregado Fino.

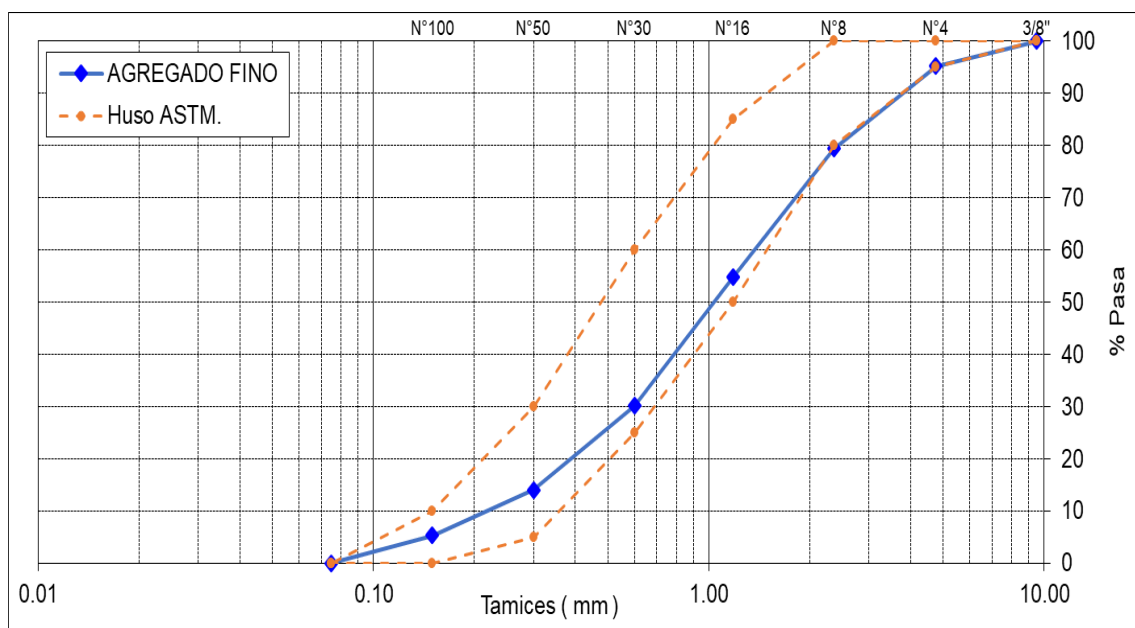
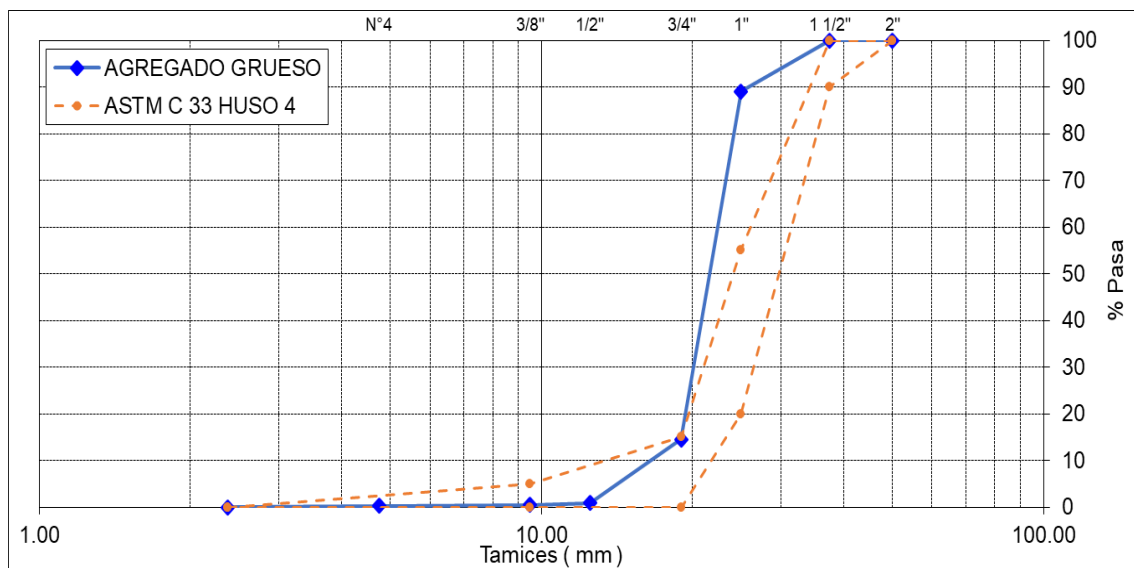


Gráfico 2. Curva Granulométrica del Agregado Grueso.



Una vez determinadas las propiedades de los agregados se procedió a la realización de los diferentes diseños de mezcla de concreto, comenzando con el diseño ACI, que se basa en la guía de diseño ACI 211, los parámetros de diseño establecidos son los siguientes:

- $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  a los 7 días, que se puede aproximar a un  $280 \text{ kg/cm}^2$  a 28 días.
- Asentamiento de 5'' a 6''.
- El diseño se realizará sin data estadística ni condiciones de durabilidad.
- La metodología ACI y las condiciones iniciales establecidas dieron como resultado una mezcla con las siguientes características:
- Relación  $a/c = 0.465$  (Esta se mantendrá para todos los diseños a realizar).
- Una cantidad de agua de 196 litros por metro cúbico.
- Una incidencia arena – piedra de 43% - 57%.

Estos parámetros resultaron en una mezcla seca a la que se identificó con el nombre ACI 1, posterior a ello se realizó una corrección con agua (248 litros por metro cúbico) y se mantuvo los demás parámetros ACI, originando la mezcla ACI 2.

Para las metodologías siguientes, Fuller y Bolomey, se hará uso de la fórmula del MFG (Módulo de Finura Global) que toma como datos iniciales a los Porcentajes que Pasan.

$$MFG = \frac{1000 - \sum \%Pasan(3'' + 1 \frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' + \frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

Con el dato de MFG y los MF de la arena y la piedra se determinan las incidencias de arena – piedra para las metodologías de diseño siguientes, tomando como base la siguiente formulación.

$$MFG = MFA * A + MFP * P$$

$$A + P = 1$$

- MFG = Módulo de Finura Global.
- MFA = Módulo de Finura de la Arena.
- MFP = Módulo de Finura de la Piedra.
- A = Incidencia de la Arena.
- P = Incidencia de la Piedra.

Para el diseño de Fuller, se hizo uso de la fórmula que rige esta metodología de diseño:

$$P = 100 \sqrt{\frac{d}{D}}$$

- P = Porcentaje que pasa
- d = Abertura del tamiz en micras
- D = Tamaño Máximo del agregado (1 ½'')
- Cuando d > D el valor a considerar es de 100%.

Para el diseño de Bolomey, se hizo uso de la fórmula establecida para sus porcentajes que pasan:

$$P = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}$$

Este método posee las mismas variables que el anterior, adicionando la variable A que se rige por la forma del agregado y la consistencia de la mezcla. Para la presente investigación se toma un valor de A de 15.

Los métodos de Fuller y Bolomey dieron como resultado los siguientes datos:

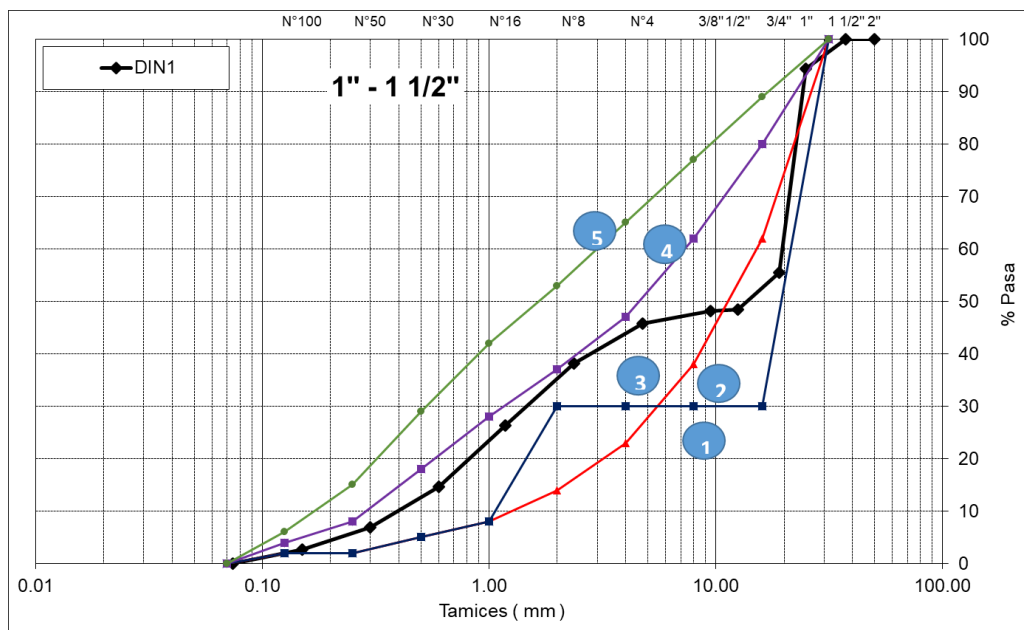
*Cuadro 4. Porcentajes que Pasan para los métodos de Fuller y Bolomey.*

Tamiz		Porcentaje que Pasa	
mm	Pulg	Fuller	Bolomey
75.00	3"	100.0	100.0
62.50	2 1/2"	100.0	100.0
50.00	2"	100.0	100.0
37.50	1 1/2"	100.0	100.0
25.00	1"	81.6	84.4
19.00	3/4"	71.2	75.5
12.50	1/2"	57.7	64.1
9.50	3/8"	50.3	57.8
4.75	N°4	35.6	45.3
2.36	N°8	25.1	36.3
1.18	N°16	17.7	30.1
0.60	N°30	12.6	25.8
0.30	N°50	8.9	22.6
0.15	N°100	6.3	20.4
	Fondo	0.0	0.0
	MFG	5.72	4.86

Con la data presentada se puede determinar la incidencia arena – piedra para los métodos de Fuller y Bolomey, siendo estos de 46% - 54% y 64% - 36% respectivamente.

Para el diseño DIN 1 se hizo uso de las curvas DIN 1045, estas dan como resultado gráfico una incidencia arena – piedra de 49% - 51%, que se acomoda mejor a la zona 3.

Gráfico 3. Curva Global del diseño DIN 1.



Para el diseño DIN 2 se hizo uso de un aditivo de tercera generación con base en policarboxilatos modificados (Sika®ViscoCrete®-3900 Ease), este posee una tasa de reducción de agua de cerca del 30% para una dosis de 1.1% respecto del peso del cemento. La incidencia arena – piedra del presente método es la misma que la determinada para el diseño DIN 1.

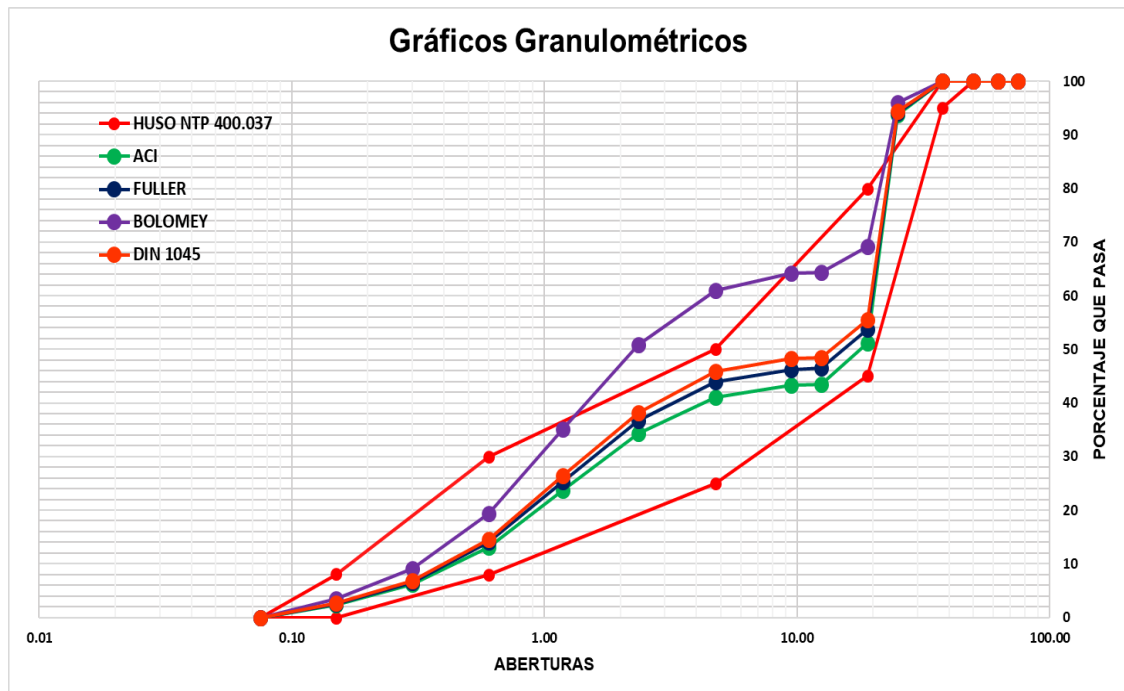
En el cuadro siguiente se presentan la cantidad de materiales por metro cúbico empleados en cada diseño de mezcla.

Cuadro 5. Materiales para los diferentes diseños de Mezcla.

MATERIAL	PESOS SECOS EN kg/m <sup>3</sup> PARA LOS DIFERENTES DISEÑOS					
	ACI1	ACI2	FULLER	BOLOMEY	DIN1	DIN2
<b>Cemento</b>	422	533	533	533	533	385
<b>Agua</b>	196	248	248	248	248	175
<b>A. Fino</b>	768	660	705	968	750	905
<b>A. Grueso</b>	1006	877	828	544	780	941
<b>Aditivo</b>	0	0	0	0	0	4.23



Gráfico 4. Curvas Granulométricas Globales.



### 3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

Luego de efectuadas las mezclas se midieron los asentamientos y se elaboraron muestras cilíndricas de concreto para su ensayo a 7 días, de este proceso se obtuvo como resultado lo siguiente:

Cuadro 6. Asentamiento y Resistencias de los diferentes Diseños.

Método	Slump	F'c 1 kg/cm <sup>2</sup>	F'c 2 kg/cm <sup>2</sup>	F'c 3 kg/cm <sup>2</sup>	F'c 4 kg/cm <sup>2</sup>	F'c 5 kg/cm <sup>2</sup>	F'c 6 kg/cm <sup>2</sup>	F'cr kg/cm <sup>2</sup>	F'cr/F'c
ACI 1	1"	286	259	298	283	273	318	286	136%
ACI 2	5"	261	248	269	248	272	276	262	125%
Fuller	5"	278	245	283	292	302	274	279	133%
Bolomey	1/2"	395	427	393	390	378	412	399	190%
DIN 1	5"	274	293	280	307	315	294	294	140%
DIN 2	6"	306	297	335	298	302	307	308	147%

### 3.1. ANÁLISIS DE ASENTAMIENTO

De la data obtenida se puede apreciar que el diseño ACI 1, a pesar de tener una mayor incidencia de piedra, termina siendo una mezcla seca. Esto se debe a la mala gradación de los agregados y sobre todo a la enorme cantidad de finos que poseen los mismos, en especial el agregado fino, el cual excede por mucho el valor máximo de Malla 200 establecido en la ASTM C33.

Para las mezclas ACI 2, Fuller y DIN 1, se observa un mejor comportamiento, logrando un asentamiento de 5'', sin embargo, esto va de la mano con un enorme consumo de cemento que a su vez se vería reflejado en un enorme gasto final al momento de hacer uso de estos diseños.

El método de Bolomey pierde completamente la trabajabilidad debido al exceso de material fino que lo compone, la gran cantidad de arena supone un gran valor de absorción general que termina quitando casi la totalidad de la trabajabilidad de la mezcla de concreto. Finalmente, el diseño DIN 2 es el mejor de los 6 en cuanto a la trabajabilidad, logrando un asentamiento de 6'', y lo más importante, un menor consumo de cemento.

### 3.2. ANÁLISIS DE RESISTENCIA

La resistencia a la compresión alcanzada en las diferentes mezclas de concreto da como resultado valores que se encuentra en su gran mayoría en el rango de 286 a 308 kg/cm<sup>2</sup>, siendo dos casos especiales el ACI 2 y el diseño Bolomey.

El diseño ACI 1 dio como resultado una resistencia aceptable, con un uso de cemento medido, sin embargo, esto no va de la mano junto a la trabajabilidad que resultó ser deficiente. El diseño ACI 2 fue el que obtuvo menor resistencia de entre los 6 diseños; sin embargo, esta resistencia resultó ser mayor de la especificada inicialmente. Esta caída de resistencia se puede explicar con la mala gradación global que presenta la combinación de los agregados.

Los diseños Fuller y DIN 1 obtuvieron buena trabajabilidad y una resistencia más que aceptable; sin embargo, es importante remarcar que hicieron uso excesivo de agua y cemento.

El diseño Bolomey dio una elevada resistencia, esta puede ser explicada con la superficie específica de la arena, al ser esta mayor se genera una mayor adherencia agregado – cemento, eso a su vez genera una mayor resistencia a la compresión. Contraparte a esto, se tiene el bajo asentamiento.

El diseño DIN 2, que hizo uso de aditivo, fue el que mejor resultado de todos dio, en cuanto a asentamiento, resistencia y sobre todo, costo.

#### 4. CONCLUSIONES

- Los métodos de diseño de mezcla no generan mezclas óptimas en la primera tanda ejecutada, son por contraparte, un camino inicial a considerar para la optimización de una mezcla de concreto.
- Los métodos de diseño de mezcla tienden a ser más o menos pedregosos, tomando al método ACI como el que más agregado grueso utiliza, seguido de Fuller, DIN y finalmente Bolomey.
- Los métodos de diseño pueden ser aplicados como punto de partida para mezclas de concreto diferentes, dependiendo de las características base de los agregados. ACI y Fuller pueden aplicarse a concretos directos, por otro lado, Bolomey tiende más a mezclas de concreto bombeables. Finalmente, las curvas DIN pueden adaptarse a ambos casos.
- El excesivo uso de arena en una mezcla mermará el asentamiento de la misma debido a la elevada absorción que presenta este agregado. Por contraparte, al aumentar la superficie específica de la mezcla de concreto, esta aumentará su resistencia, siempre y cuando la arena presente propiedades físicas adecuadas.
- El uso de aditivos en el concreto es una gran solución al excesivo uso de cemento generado por la demanda de agua de los agregados con alta malla 200. Sin embargo, se debe estudiar más a fondo el tema de la mantención de este asentamiento en el tiempo.

- Los métodos de diseño se pueden emplear para la elaboración de concretos, aún cuando se utilizan agregados que no cumplen con la normativa ASTM C33; sin embargo, estos defectos presentes tanto en la gradación como en la malla 200 generarán un mayor consumo de cemento en las mezclas de concreto.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Concrete Institute (2022). ACI PRC-211.1-22: Selecting Proportions for Normal-Density and High Density-Concrete - Guide. Reported by ACI Committee 211.

ASTM C29 (2023). Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate.

ASTM C33 (2024). Standard Specification for Concrete Aggregates.

ASTM C117 (2023). Standard Test Method for Materials Finer than 75- $\mu\text{m}$  (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing.

ASTM C127 (2024). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C128 (2023). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate.

ASTM C136 (2022). Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.

ASTM C143 (2020). Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete.

ASTM C566 (2019). Standard Test Method for Total Evaporable Moisture Content of Aggregate by Drying.

Portugal, P. (2007). Tecnología del Concreto de Alto Desempeño. High Performance Concrete.

Sika (2024). Ficha Técnica de Sika®ViscoCrete®-3900 Ease. Recuperado en <https://per.sika.com/es/construccion/aditivos-concreto/aditivos-concreto-premezclado/superplastificantes-concreto/sika-viscocrete-3900ease.html>

UNACEM (2021). Ficha Técnica Cemento Sol Tipo I. Recuperado en [https://www.cementosol.com.pe/img/Ficha\\_Cemento\\_Sol.pdf](https://www.cementosol.com.pe/img/Ficha_Cemento_Sol.pdf)

### **Financiamiento de la investigación**

Con recursos propios.

### **Declaración de intereses**

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

### **Declaración de consentimiento informado**

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

### **Derechos de uso**

Copyright© 2024 por **Juan Antonio Herradda Montagne, Max Huaynalaya Rashuaman, Heddy Marcela Jiménez Yabar**



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

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