

# Effect of a Plasticizer Additive on the Compressive Strength and Workability of 25 MPa Concrete

Gaona Abanto, Erick Andrés Emilio, Ing<sup>1</sup>, Aliaga Briones, Brenda Mylen<sup>2</sup>, Delgado Herrera, Franklin Mijhari<sup>3</sup>, Guevara Marrufo, Gian Kiefer<sup>4</sup>, Suarez Caruajulca, Yeison Yamir<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup> Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, erick.gaona@upn.pe, N00301961@upn.pe, N00304032@upn.pe,

<sup>2,4</sup> Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, N00356325@upn.pe, N00314109@upn.pe

**Abstract** – *The objective of this study was to determine the effects of the plasticizer additive SikaCem on concrete with a 15% reduction in water content, through a comparative analysis of its fresh and hardened state properties, including temperature, slump, unit weight, compressive strength, void content, absorption, and absorption rate. To this end, a total of 10 concrete specimens were tested: five prepared with conventional concrete and five with the inclusion of the plasticizer additive, using the concrete laboratory at the Universidad Privada del Norte, Cajamarca campus.*

*Initially, the raw materials (fine and coarse aggregates) were selected and subjected to tests for granulometry, moisture content, absorption, and specific and unit weight, in order to design the concrete mix. Subsequently, the tests were conducted in accordance with the applicable technical standards, which are detailed in later sections.*

*The results indicate that the incorporation of the plasticizer additive significantly improves the mechanical properties of the concrete. Specifically, an increase of 23.49% in compressive strength was observed using the destructive test, and 16.11% using the rebound hammer test. In addition, the concrete with additive showed a 1.5 °C lower temperature compared to conventional concrete, and a 1.66% reduction in void content. Lower absorption values were also recorded, both after water immersion and after immersion and boiling.*

*Regarding workability, an improvement was observed in the concrete with plasticizer additive, as evidenced by a higher slump value. Finally, the initial absorption rate was 42% lower in the additive-modified concrete compared to conventional concrete, confirming a significant variation in concrete properties due to the use of the additive.*

*It is concluded that the plasticizer additive reduces absorption capacity, void content, and concrete temperature, while improving workability and compressive strength.*

**Keywords:** *Concrete, plasticizer additive, voids, temperature, resistance, workability and absorption.*

# Efecto del aditivo plastificante en la resistencia a compresión y trabajabilidad del concreto de 25 MPa

Gaona Abanto, Erick Andrés Emilio, Ing<sup>1</sup>, Aliaga Briones, Brenda Mylen<sup>2</sup>, Delgado Herrera, Franklin Mijhari<sup>3</sup>, Guevara Marrufo, Gian Kiefer<sup>4</sup>, Suarez Caruajulca, Yeison Yamir<sup>5</sup>

<sup>1,3,5</sup> Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, erick.gaona@upn.pe, N00301961@upn.pe, N00304032@upn.pe,

<sup>2,4</sup> Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú, N00356325@upn.pe, N00314109@upn.pe

**Resumen** – El objetivo del presente estudio fue determinar los efectos del aditivo plastificante SikaCem en el concreto con una reducción del 15 % en el contenido de agua, mediante el análisis comparativo de sus propiedades en estado fresco y endurecido, tales como: temperatura, asentamiento (Slump), peso unitario, resistencia a la compresión, cantidad de vacíos, absorción y velocidad de absorción. Para ello, se ensayaron un total de 10 probetas: cinco elaboradas con concreto convencional y cinco con la inclusión del aditivo plastificante, utilizando los laboratorios de concreto de la Universidad Privada del Norte, sede Cajamarca.

Inicialmente, se realizó la selección de los materiales (agregado fino y grueso), que fueron sometidos a ensayos de granulometría, contenido de humedad, absorción y peso específico, con el fin de diseñar la mezcla de concreto. Posteriormente, se ejecutaron los ensayos siguiendo las normas técnicas correspondientes, las cuales se detallan en capítulos posteriores.

Los resultados muestran que la incorporación del aditivo plastificante mejora significativamente las propiedades mecánicas del concreto. En particular, se observó un incremento del 23.49 % en la resistencia a compresión mediante el ensayo destructivo y un aumento del 16.11 % mediante el ensayo con esclerómetro. Además, el concreto con aditivo presentó una temperatura 1.5 °C inferior respecto al concreto convencional, así como una reducción del 1.66 % en la cantidad de vacíos. También se registraron menores valores de absorción tanto después de la inmersión en agua como tras el ensayo de inmersión y ebullición.

En cuanto a la trabajabilidad, esta mejoró en el concreto con aditivo plastificante, evidenciada en un mayor asentamiento (Slump). Finalmente, la velocidad inicial de absorción fue 42 % menor en las muestras con aditivo en comparación con las de concreto normal, lo que confirma una variación significativa en las propiedades del concreto debido al uso del aditivo.

Se concluye que el uso del aditivo plastificante contribuye a disminuir la capacidad de absorción, la cantidad de vacíos y la temperatura del concreto, al tiempo que mejora su trabajabilidad y resistencia a compresión.

**Palabras clave:** Concreto, aditivo plastificante, vacíos, temperatura, resistencia, trabajabilidad, absorción.

## I. INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo debido a su versatilidad, durabilidad y coste relativamente bajo. Su aplicación abarca desde pequeñas estructuras residenciales hasta grandes infraestructuras como puentes y edificios de gran altura. Sin embargo, la calidad y las

propiedades mecánicas del concreto pueden variar significativamente en función de su composición y de los aditivos utilizados durante su elaboración.

En los últimos años, la industria de la construcción ha enfrentado desafíos significativos relacionados con la durabilidad y resistencia del concreto. En particular, en obras que demandan concreto de alta resistencia, como las edificaciones que utilizan concreto de 250Kg/cm<sup>2</sup>, se ha notado un incremento en la necesidad de mejorar las propiedades mecánicas y características del concreto [1]. Han señalado que el uso de aditivos plastificantes en el concreto es una opción viable para mejorar su rendimiento, facilitar la manipulación e incluso reducir los requerimientos de agua sin afectar su resistencia. [2].

Debido a su versatilidad y resistencia, el concreto es un material compuesto ampliamente utilizado en la construcción. No obstante, existen múltiples factores que pueden influir en su rendimiento, incluido el volumen de agua empleado en la mezcla. Se agregan aditivos plastificantes, también llamados reductores de agua, al concreto con el fin de mejorar su capacidad para ser trabajado y su durabilidad. Esto ayuda a reducir la cantidad necesaria de agua y aumentar la resistencia final del concreto [3]. Según estudios anteriores, se ha comprobado que el uso de aditivos plastificantes tiene un impacto positivo en las propiedades del concreto, sobre todo en cuanto a su resistencia a la compresión y elasticidad [4].

El uso de aditivos plastificantes en la fabricación de concreto puede tener beneficios significativos tanto en eficiencia como en costos. Reduciendo la cantidad de agua requerida en la mezcla, es posible obtener una combinación que sea más uniforme y fuerte, lo cual a su vez mejora tanto la calidad como la durabilidad de las estructuras construidas. Asimismo, incorporar estas tecnologías en el sector de la construcción puede fomentar la sostenibilidad al mejorar la gestión de recursos y disminuir los residuos de materiales.

De esta manera, este trabajo de investigación tiene como principal objetivo determinar los efectos del aditivo plastificante SikaCem en el concreto con una disminución del 15% de agua, mediante el análisis de sus propiedades en estado fresco y endurecido (temperatura, asentamiento, peso unitario, Slump, resistencia a la compresión, cantidad de vacíos, absorción y velocidad de absorción) y compararlos con un concreto normal.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Este proyecto está basado en un estudio de tipo experimental orientado en la búsqueda y la ejecución del conocimiento. El programa experimental de este estudio involucra la elaboración de diseños de mezcla, donde la principal variante es la utilidad de aditivo en cantidades de plastificante de la marca SIKKA, por ende 5 probetas con aditivo y otro diseño para 5 probetas sin aditivo. A continuación, se realizaron los ensayos a los 10 especímenes cilíndricos.

Es primordial recalcar que se realizaron pruebas adicionales de esclerometría, con el objetivo y propósito de determinar la resistencia de compresión de los especímenes.

### A. Obtención de Materiales

Para la elaboración de la mezcla de concreto se emplearon materiales como:

Cemento Portland tipo I, se obtuvo la ficha técnica y se revisó que cumplieran las características con la NTP 334.090:2013. Cemento hidráulico. Cemento Portland. Requisitos [5].

Características del agua utilizada, se tomó en cuenta la norma del RNE E.060 :2018 Concreto armado [6], donde nos mencionó que esta debe ser potable, limpia de impurezas y de aceites, sales, materia orgánica, entre otras sustancias perniciosas.

Agregados utilizados para el presente estudio se obtuvo de la distribuidora Juan sin Miedo (UTM E775191.87m S9209367.52m) y Aguilar (UTM E779883.06m S9208903.88m), ubicada en la ciudad de Cajamarca (Zona 17), donde luego se realizaron todos los estudios correspondientes, teniendo en cuenta los pasos en las normas respectivas. Normas para cada tipo de ensayo en los agregados, se da a conocer en la Tabla I.

TABLA I  
NORMAS ESTABLECIDAS PARTA LOS ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

Ensayos	Normativas	
	Agregado grueso	Agregado fino
Contenido de Humedad	NTP 339.185	NTP 339.185
Análisis Granulométrico	NTP 400.012	NTP 400.012
Pasante malla N.º 200	-	NTP 400.018
Peso Unitario	NTP 400.017	NTP 400.017
Densidad Relativa y Absorción	NTP 400.021	NTP 400.022

Nota: Elaboración propia (2024)

### B. Diseño de mezcla del concreto

Este diseño de mezcla de concreto se realizó de acuerdo a las recomendaciones establecidas por el American Concrete Institute (ACI 211.1-91 reapproved 2009) [7], utilizando el método estándar para la proporción de mezclas de concreto

normal con peso unitario, especificado las proporciones en kilogramos (Kg) para un metro cubico (m<sup>3</sup>) a través de nuestros resultados obtenidos en los ensayos realizados.

El objetivo fue formular una mezcla con una resistencia característica de 250 kg/cm<sup>2</sup> (24.5 MPa), considerando una consistencia plástica y empleando cemento tipo I. Se realizaron dos diseños: uno convencional (sin aditivo) y otro con la inclusión del aditivo plastificante aditivo plastificante, siendo estos formulados para una resistencia de 250kg/cm<sup>2</sup>.

La consistencia de diseño fue determinada mediante un asentamiento (slump) de 3" a 2", adecuado para condiciones de colocación manual en obra y sin exigencias especiales de trabajabilidad. Las proporciones fueron determinadas siguiendo los pasos del ACI 211.1, los materiales utilizados se resumen en la Tabla II.

TABLA II  
PROPORCIONES DE MATERIALES PARA EL DISEÑO DE CONCRETO (CON ADITIVO Y SIN ADITIVO)

Material (Kg)	Resumen para 10 probetas cilíndricas			
	Sin Aditivo (5 especímenes)		Con aditivo (5 especímenes)	
	Resultado de diseño	20% de desperdicio	Resultado de diseño	20% de desperdicio
Cemento	14.210	17.052	13.041	15.650
Agregado grueso	17.512	21.014	22.001	26.401
Agregado Fino	21.519	25.823	18.590	22.308
Agua	6.597	7.917	5.500	6.601
Aditivo	0	0	0.0767	0.0921

Nota: Elaboración propia (2024)

Durante el proceso de mezcla del concreto sin aditivo con los pesos del diseño, lo primero que se realizó fue pesar las cantidades exactas de los materiales obtenidas en el diseño, de igual manera se procedió a medir la cantidad de agua en una probeta de 1 litro (o pesar), seguidamente se realizó el mezclado a mano en una carretilla agregado fino y grueso con el cemento en estado seco con dos palanas, a continuación, se agregó el agua y se procedió a mezclar hasta obtener una condición uniforme y plástica. Para la elaboración del concreto con aditivo, se trabajó de la misma manera, con las cantidades calculadas en el diseño de mezclas con aditivo, siendo esta la única variación en el proceso de fabricación de la mezcla del concreto, ya que el aditivo se agregó junto con el agua.

### C. Procedimiento de ensayos al concreto fresco.

*Temperatura:* Según lo establecido en la NTP 339.184:2015, Concreto- Determinación de la temperatura del concreto fresco [8], se procedió a medir a medir la temperatura utilizando un termómetro introducido en el concreto a 90° de inclinación, por un tiempo de 2 a 5 minutos, una vez pasado este tiempo se procede a retirar el termómetro tomando evidencia de la temperatura final de la mezcla de concreto.

Haciendo mención a la norma esta nos indica que debe estar entre los 10°C a 32°C de temperatura.

*Asentamiento (Slump):* De acuerdo con la NTP 339.035:2016, Concreto – Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto [9], en este ensayo se determinó la medida del asentamiento del concreto respecto a la altura del molde cónico. Primeramente, se procedió a engrasar el molde para evitar la pérdida de agua y la adherencia de la mezcla al molde, seguidamente se colocó la mezcla en el molde en 3 capas dado 25 varilladas por cada capa y la última enrasándose, a continuación, se levantó cuidadosamente el molde de forma vertical, finalmente se invierte el cono y se coloca la varilla sobre este, procediendo a medir en pulgadas la diferencia de alturas entre el concreto en estado fresco y el cono.

*Peso Unitario:* Según lo establecido en la NTP 339.046:2016, Concreto – Determinación del peso unitario de concreto fresco [10], se determinó la densidad del concreto recién mezclado, para el cálculo del rendimiento y contenido de aire. Lo primero que se procedió a realizar es engrasar el molde previamente medido y pesado, seguidamente se colocó el concreto en estado fresco en 3 capas, dado 25 varilladas por cada capa, luego se enrasa y finalmente se lleva a pesar obteniendo su peso unitario al dividir la masa entre el volumen que ocupa.

*Elaboración de especímenes:* En el caso de la elaboración de las probetas cilíndricas se tomó en cuenta la NTP 339.033 :2016, Concreto – Especificaciones para la fabricación de probetas cilíndricas de concreto para ensayo [11], se trabajó con los moldes de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, la norma nos indica que se debe colocar la mezcla en 3 capas y cada una de estas debe ser varillada 25 veces y 10 golpes laterales con un mazo de goma en 3 rondas, Finalmente se enrasa y se dejó fraguar la muestra durante 24 horas en un ambiente adecuado, una vez cumplido este tiempo se procede a desencofrar y a sumergir en agua por 28 días.

#### D.Procedimiento de ensayos al concreto endurecido.

Al finalizar los 28 días de curado se desarrollaron 4 ensayos, estos ensayos se realizaron para determinar los efectos del aditivo plastificante, viendo la modificación que se presentó en sus propiedades del concreto en estado endurecido.

*Esclerometría:* De acuerdo con la norma NTP 339.181 :2015, Concreto – Determinación de la dureza superficial de concreto mediante esclerómetro [12], en este ensayo se realizó la determinación del índice de rebote en el concreto endurecido a través de un martillo de acero activado por un resorte (Esclerómetro), Primeramente, se colocó 10 puntos distribuidos uniformemente en el área de contacto, a continuación, se colocó el émbolo perpendicularmente al área de contacto (-90°), empujándose hasta que impacte y se tome la medida que marca el instrumento, finalmente, se trabajó con los valores de la gráfica y corrección por dispersión que nos brinda el instrumento y a su vez se empleó el factor de corrección de 0.81 por factor de forma.

*Resistencia a la compresión:* Este ensayo se realizó teniendo en cuenta la norma ASTM C39/C39M-23, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens [13], Primeramente, se procedió a medir el diámetro del área de contacto, a la vez se vio que el alabeo no exceda en 0.25 mm, luego se midió el eje axial la perpendicularidad y los extremos planos que no deben exceder más de 0.5° o 3 mm. Seguidamente, se coloca la probeta en la máquina de compresión y se da lectura al dial de deflexión cada 2000kg de carga, una vez roto se identifica el patrón de falla. Finalmente, se halla la resistencia a la compresión del espécimen a través de la relación de la carga (kgf) y el área (cm<sup>2</sup>); en el caso de la deformación unitaria se calcula por medio de la relación de la deformación y de la altura inicial (mm).

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_f} \dots\dots\dots (2)$$

*Porcentaje de vacíos en el concreto:* Para este ensayo se tomó en cuenta la norma ASTM C642-13, Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete [14], Se procedió a cortar la probeta en la parte central, cada 5cm hacia cada lado, descartando la parte de los extremos y considerando las partes centrales por ser las más homogéneas y luego preparadas para los ensayos.

Primer paso, Se coloca la muestra al horno por 24 horas y luego pesarlas en una balanza de 0.01 gramos de precisión para obtener su peso seco. Segundo paso, se sumerge en un recipiente con agua por 48 horas y luego se coloca a pesar obteniendo así su peso saturado después de la inmersión. Tercer paso, Se coloca las muestras en una olla con agua y se procede a hervir por 6 horas seguidamente se lleva a pesar siendo este el peso después de la inmersión y hervido. Cuarto paso, Se coloca las muestras en una canastilla previamente pesada y se sumerge en agua hasta cubrir las muestras y luego de unos minutos se procede a pesar las muestras sumergidas, obteniendo así el peso aparente después de la inmersión y ebullición.

*Absorción después de la inmersión:* Está dado por esta serie ecuaciones según lo indicado en su normativa.

$$= ((B - A) / A) * 100 \dots\dots\dots (3)$$

*Absorción después de la inmersión y hervido*

$$= ((C - A) / A) * 100 \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Densidad seca} = ((A/C - D)) * \rho = g1 \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Densidad aparente después de la inmersión}$$

$$= ((B / (C - D)) * \rho \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{Densidad aparente después de la inmersión y hervido}$$

$$= [C / (C - D)] * \rho \dots\dots\dots (7)$$

$$\text{Densidad aparente} = [A / (A - D)] * \rho = g2 \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Volumen de poros permeables (vacíos)} = (g2 - g1) / g2 * 100$$

$$\text{o } (C - A) / (C - D) * 100 \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

A= Peso seco, g

B = Peso después de la inmersión

C = Peso después de la inmersión y ebullición  
 D = Peso aparente después de la inmersión y ebullición  
 $\rho$  = densidad del agua = 1 g/cm<sup>3</sup>.

*Determinación de la velocidad de absorción:* Según lo mencionado en la norma NTP 339.232:2016, Concreto – Método de ensayo para determinar la velocidad de absorción de agua en concreto [15], primeramente la muestra de similares dimensiones que las usadas para el ensayo de porcentaje de vacíos se pesa en una balanza de 0.01gr de precisión, a continuación, se midió mínimo 4 diámetros en la superficie del espécimen al ser expuesto al agua para conocer un promedio, seguidamente, se coloca la muestra en agua sobre apoyos de 1 cm de espesor, la muestra debe estar sumergida de 10 mm a 30 mm sobre su base mientras dure el ensayo y finalmente se procedió a registrar los pesos en los tiempos respectivos desde los 60 segundos hasta los 8 días siguiendo la distribución de horarios que nos brinda la norma y explicado en las Tablas X y XI.

## II. RESULTADOS

### A. Propiedades de los agregados

Ensayo	Propiedad	Resultado
Granulometría AF	M. finura	2.97
	M. finura	6.42
Granulometría AG	T.M	1/2"
	T.M.N	3/4"
Contenido de humedad	A.F	6.35%
	A.G	1.76%
Absorción	A.F	3.67%
	A.G	1.38%
	PeM	2.45
Peso específico AF	PeSSS	2.54
	PeA	2.69
	PeM	2.58
Peso específico AG	PeSSS	2.71
	PeA	2.67
PUSS	A.F	1478.885
	A.G	1397.961
PUSC	A.F	1702.309
	A.G	1529.230
Malla N 200	% que pasa	5.4%

*Nota.* En la Tabla III se muestran los resultados obtenidos de realizar los ensayos tanto para el agregado fino como para el grueso. Los procedimientos están basados en las Normas Técnicas Peruanas (NTP) descritas en la Tabla 1.

### B. Temperatura del concreto

Tiempo de ensayo	4 minutos
Muestra	Temperatura
Sin Aditivo	21.6 °C
Con Aditivo Plastificante	20.1 °C

*Nota.* En la tabla anterior se muestran las temperaturas tomadas a concretos elaborados sin aditivo, y con aditivo plastificante, observándose que la adición de aditivo plastificante disminuye en 1.5 °C la temperatura del concreto.

### C. Asentamiento del concreto

Tipo de mezcla	Asentamiento (pulg)	Consistencia
Sin Aditivo	4.0	Plástica
Con Aditivo Plastificante	5.12	Fluida

*Nota.* En la tabla anterior se evidencian las consistencias de los concretos elaborados sin aditivo y con aditivo plastificante, obteniendo que la mezcla sin aditivo tiene una consistencia plástica, mientras que la mezcla con aditivo plastificante presenta una consistencia fluida.

### D. Peso unitario del concreto fresco

Tipo de mezcla	PUC°fresco (kg/m3)
Sin Aditivo	2347.371
Con Aditivo Plastificante	2410.374

*Nota.* En la tabla anterior se evidencian los pesos unitarios de los concretos en estado fresco elaborados sin aditivo y con aditivo plastificante, obteniendo que la mezcla sin aditivo tiene un peso unitario menor al peso unitario del concreto con aditivo plastificante.

### E. Resistencia a la compresión

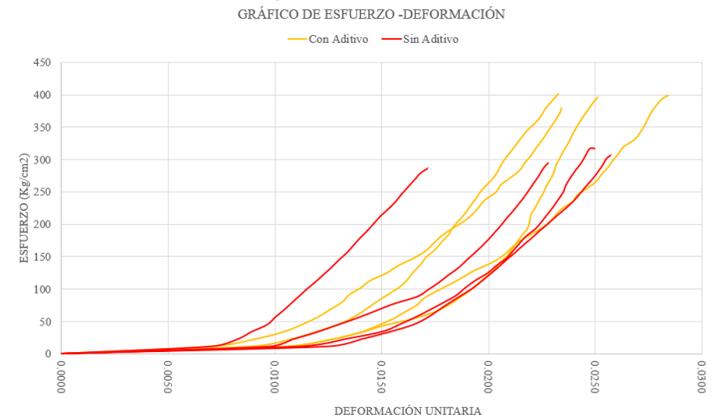


Fig. 1 Resultados Gráficos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión



Fig. 2 Resultados Gráficos obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión

Nota. En la Fig. 1 se puede observar el gráfico de esfuerzo vs deformación, donde el promedio de la resistencia a compresión de los especímenes con aditivo plastificantes es mayor (393.838 kg/cm2) a la de especímenes sin aditivo (301.344 kg/cm2). Esto se puede ver de manera detalla en la Fig. 2.

Probeta	Con Aditivo (Kg/cm2)	Sin Aditivo (Kg/cm2)
1	398.288	317.15
2	401.391	306.536
3	396.478	295.236
4	397.194	286.455

Media	398.33775	301.34425
Desviación Estándar (Población)	1.876941978	11.57342305
Varianza (Población)	3.522911188	133.9441212
T de Student	0.000559033	

Nota. En la tabla anterior se realiza un análisis estadístico a compresión resaltando variables como: desviación estándar, varianza y t de student.

Nº PROBETA	SIN ADITIVO	CON ADITIVO
1	Tipo 2	Tipo 3
2	Tipo 6	Tipo 1
3	Tipo 2	Tipo 3
4	Tipo 5	Tipo 1

Nota. En la tabla anterior se evidencian los patrones de falla de las probetas según la norma ASTM C39, luego de realizar el ensayo a compresión, los tipos 3 y 1 son más destructivos.

### F. Esclerometría

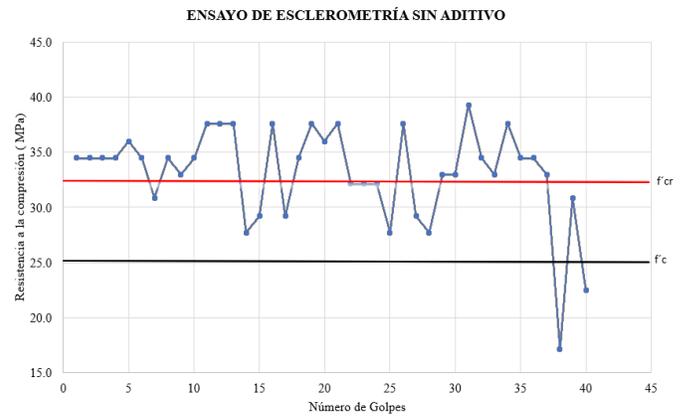


Fig. 3 Resultados Gráficos obtenidos del ensayo de esclerometría en probetas sin aditivo.

Nota. Fig. 3 se puede observar los 40 puntos distribuidos en este gráfico de dispersión con líneas horizontales con el  $f'c$  y  $f'cr$  de diseño. A partir de estos resultados la resistencia a la compresión por el método no destructivo de esclerometría máxima es de 39.28 MPa y el promedio general de los resultados es de 33.1 MPa.

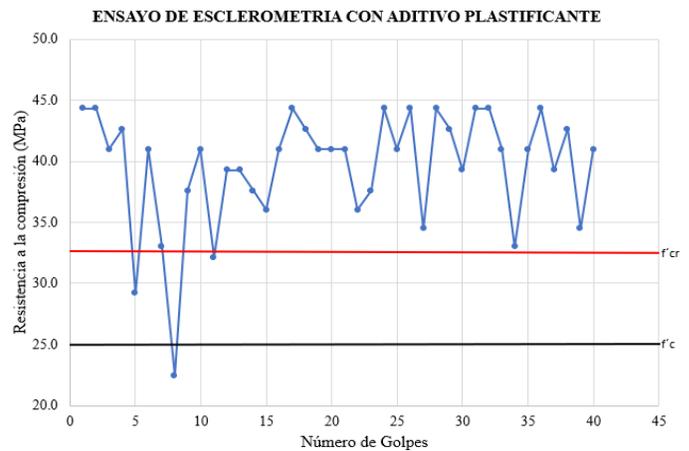


Fig. 4 Resultados Gráficos obtenidos del ensayo de esclerometría en probetas con aditivo plastificante.

Nota. Fig. 4 se puede observar los 40 puntos distribuidos en este gráfico de dispersión con líneas horizontales con el  $f'c$  y  $f'cr$  de diseño. A partir de estos resultados la resistencia a la compresión por el método no destructivo de esclerometría máxima en probetas con aditivo es de 44.32 MPa y el promedio general de los resultados es de 39.48 Mpa.

### G. Densidad, absorción y vacíos en concreto endurecido

DESCRIPCIÓN	Muestra Sin Aditivo	Muestra Con Aditivo
Absorción después de la inmersión (%)	3.291	2.019
Absorción después de la inmersión y ebullición (%)	2.355	1.507
Densidad seca (g/cm3)	2.178	2.300
Densidad aparente después de la inmersión(g/cm3)	2.250	2.347
Densidad aparente después de la inmersión y ebullición (g/cm3)	2.230	2.335
Densidad aparente (g/cm3)	2.296	2.383
Volumen de poros permeables /vacíos (%)	5.131	3.468

Nota. En la tabla anterior se evidencian las densidades, porcentaje de absorción de los ensayos realizados a muestras con y sin aditivo plastificante.

Porcentaje de absorción y porosidad

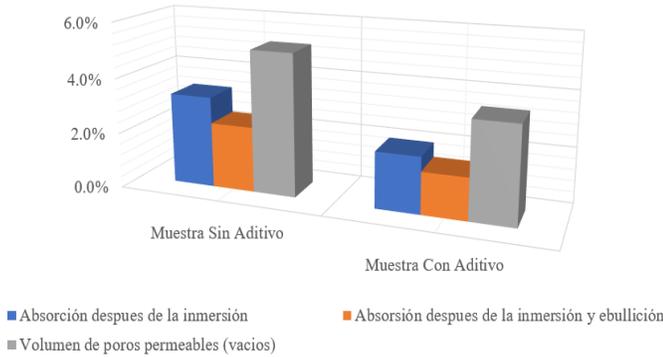


Fig. 5 Resultados Gráficos obtenidos del ensayo de absorción y porcentaje de vacíos.

Nota. Fig. 5 se puede observar en este gráfico de barras ensayos de absorción y porcentaje de vacíos en los 2 tipos de concreto. A partir de estos resultados se determina que la muestra con aditivo plastificante presenta menor cantidad de absorción y menor porcentaje de vacíos que las muestras sin aditivo.

#### H. Velocidad de absorción

TABLA X  
DATOS DE LAS MUESTRAS A ENSAYAR

MUESTRAS	CON ADITIVO	Área expuesta	17670 mm <sup>2</sup>	Masa inicial	2947.1g
	SIN ADITIVO	Área expuesta	17671.5 mm <sup>2</sup>	Masa inicial	2932.5g
Densidad Agua	0.001 g/mm	Edad	28 días	Espesor	58 mm
Temperatura del agua	19.5°C	Distancia sumergida	2 cm		

TABLA XI  
VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE MUESTRA SIN ADITIVO

TIEMPO DE ENSAYO	√tiempo (S <sup>1/2</sup> )	Masa g	Δ Masa g	Absorción (mm)
Días	seg			
0	0	2932.5	0.00	0.0000
60	8	2943.3	10.80	0.6112
300	17	2946.8	14.30	0.8092
600	24	2946.7	14.20	0.8036
1200	35	2950.8	18.30	1.0356
1800	42	2950.9	18.40	1.0412
3600	60	2952.6	20.10	1.1374
7200	85	2958.0	25.50	1.4430
10800	104	2959.4	26.90	1.5222
14400	120	2959.6	27.10	1.5335
18000	134	2959.8	27.30	1.5449
21600	147	2960.6	28.10	1.5901
1	86400	2970.0	37.50	2.1221
2	172800	2974.4	41.90	2.3710
3	259200	2978.1	45.60	2.5804
4	345600	2981.0	48.50	2.7445
5	432000	2981.6	49.10	2.7785
6	518400	2983.1	50.60	2.8634
7	604800	2986.0	53.50	3.0275
8	691200	2988.0	55.50	3.1407

TABLA XII  
VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE MUESTRA CON ADITIVO

TIEMPO DE ENSAYO	√tiempo (S <sup>1/2</sup> )	Masa g	Δ Masa g	Absorción (mm)
Días	seg			
0	0	2947.10	0.0	0.0000
60	8	2954.60	7.50	0.4244
300	17	2956.90	9.80	0.5546
600	24	2957.40	10.30	0.5829
1200	35	2959.20	12.10	0.6848
1800	42	2959.40	12.30	0.6961
3600	60	2960.00	12.90	0.7301
7200	85	2961.80	14.70	0.8319
10800	104	2963.10	16.00	0.9055
14400	120	2964.00	16.90	0.9564
18000	134	2964.80	17.70	1.0017
21600	147	2965.30	18.20	1.0300
1	86400	2970.60	23.50	1.3299
2	172800	2972.60	25.50	1.4431
3	259200	2974.40	27.30	1.5450
4	345600	2974.50	27.40	1.5507
5	432000	2974.90	27.80	1.5733
6	518400	2976.20	29.10	1.6469
7	604800	2978.00	30.90	1.7487
8	691200	2979.00	31.90	1.8053

Nota. En las tablas anteriores se calculó durante 8 días la velocidad de absorción de agregados en la Tabla 11 y Tabla 12 para las muestras sin aditivo y con aditivo plastificante respectivamente.

TABLA XIII  
VELOCIDAD DE ABSORCIÓN INICIAL

MUESTRAS	ABSORCIÓN INICIAL
CON ADITIVO	0.009804254 mm/√s
SIN ADITIVO	0.017005935 mm/√s

Nota. En la tabla anterior se obtiene un resumen de la velocidad inicial de absorción que presentó el concreto sin aditivo y con aditivo obteniendo valores con una menor velocidad de absorción las muestras con aditivo plastificante en un tiempo de 2 horas.

VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

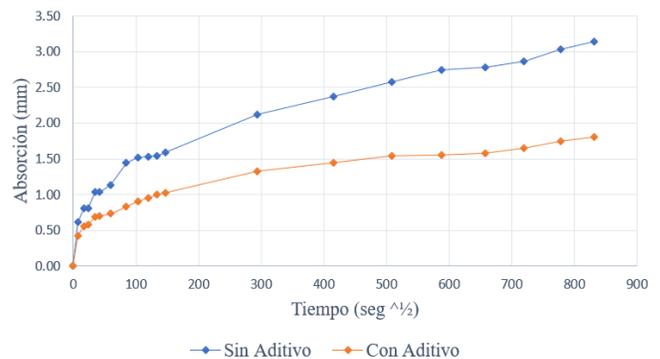


Fig. 6 Resultados Gráficos obtenidos de los ensayos de velocidad de absorción.

Nota. En la Tabla 11 y 12 Fig. 6 se muestra una comparación entre las velocidades de absorción de agua del concreto sin aditivo y la muestra con aditivo plastificante. Observándose una menor rapidez de absorción de agua cuando el concreto que presenta aditivo plastificante.

## V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta apartado se realizará el análisis y discusión de los resultados obtenidos de los ensayos en estado fresco y en estado endurecido del concreto luego de 28 días siguiendo las normativas correspondientes para cada ensayo que fueron realizados a dos grupos de probetas diseñadas con una resistencia de 250kg/cm<sup>2</sup>: uno sin aditivo y otro con la incorporación de un aditivo plastificante SIKA, para verificar si se puede afirmar o negar que la incorporación de este aditivo es beneficioso en el comportamiento del concreto.

La temperatura inicial de la mezcla con aditivo (20.1 °C) fue ligeramente inferior a la de la mezcla sin aditivo (21.6 °C), con una diferencia de 1.5 °C. Si bien esta variación es pequeña, podría reflejar la influencia del aditivo y hay probabilidad que haya un impacto significativo en las propiedades del concreto endurecido.

La adición del plastificante resultó en un aumento significativo en el asentamiento, pasando de 4 pulgadas (consistencia plástica) a 5.12 pulgadas (consistencia fluida), lo que representa un incremento del 21.9% en la trabajabilidad. Este incremento es consistente con el modo de acción de los aditivos plastificantes, que reducen la fricción entre partículas y aumentan la movilidad del agua en la mezcla. Esta mayor fluidez facilita la colocación del concreto en espacios cortos y donde se realiza manipulación como el caso de losas en edificaciones.

El peso unitario del concreto fresco aumentó con la adición del plastificante, pasando de 2347.371 kg/m<sup>3</sup> a 2410.374 kg/m<sup>3</sup>, un incremento de aproximadamente 2.7%. Este aumento sugiere una mayor densidad del concreto fresco, posiblemente debido a la fluidez que presenta, esto ayuda a distribuir mejor los materiales rellenando de manera uniforme espacios entre partículas.

Las mediciones no destructivas de la resistencia a la compresión mediante el esclerómetro indicaron un aumento del 16.2% en el concreto con aditivo (394.8 kg/cm<sup>2</sup>) en comparación con el concreto sin aditivo (331.0 kg/cm<sup>2</sup>). Es importante destacar que ambos valores superan significativamente la resistencia de diseño de 250 kg/cm<sup>2</sup>, lo que confirma la adecuación de ambas mezclas.

Los ensayos destructivos revelaron un incremento aún mayor en la resistencia a la compresión, con un aumento del 23.5% en el concreto con aditivo (393.84 kg/cm<sup>2</sup>) en comparación con el concreto sin aditivo (301.34 kg/cm<sup>2</sup>). Ambas mezclas excedieron sustancialmente la resistencia de diseño de 250 kg/cm<sup>2</sup>. La prueba t de Student en la Tabla 7 confirmó que esta diferencia es estadísticamente significativa en las muestras con y sin aditivo de  $p < 0.000056$ . Además, los patrones de falla observados en las probetas con aditivo mostraron predominantemente fallas de tipo 1 y 3, caracterizadas por tener un comportamiento más elástico, lo que sugiere una mayor capacidad de absorción de energía antes del colapso.

En cuanto a la densidad las probetas con aditivo obtuvieron una densidad aparente promedio de 2.383 g/cm<sup>3</sup>, en

comparación con 2.296 g/cm<sup>3</sup> en las probetas sin aditivo, lo que representa una mejora de 3.7% en favor de los testigos con aditivo similar comportamiento con el peso unitario.

Para la absorción las probetas con aditivo obtuvieron en promedio 1.507 %, mientras que las probetas sin aditivo alcanzaron 2.355%, esto representa una mejora de 36% en favor de los testigos con aditivo. En los resultados de % de vacíos se obtuvo para las probetas con aditivo un porcentaje de vacíos promedio de 3.468%, frente a 5.131% en las probetas sin aditivo, lo que representa una disminución del 36.14% en la porosidad del concreto.

"El análisis de la velocidad de absorción inicial mostró una reducción del 42.3% en el concreto con aditivo (0.0098 mm/ $\sqrt{\text{seg}}$ ) en comparación con el concreto sin aditivo (0.0170 mm/ $\sqrt{\text{seg}}$ ). Esta reducción sugiere que el aditivo plastificante efectivamente retrasa la filtración de agua en el concreto de esta manera contribuye a una menor permeabilidad y mayor durabilidad del concreto. Estudios previos sobre concretos porosos indican que la presencia de poros de gran tamaño reduce la succión capilar efectiva, limitando la absorción prolongada de agua y afectando su desempeño a largo plazo [16].

En resumen, los resultados de este estudio demuestran que la adición del aditivo plastificante SIKA a un concreto diseñado para una resistencia de 250 kg/cm<sup>2</sup> conduce a mejoras significativas tanto en sus propiedades en estado fresco como endurecido. Específicamente, se observó un aumento en la trabajabilidad y la densidad del concreto fresco, lo que sugiere una mejor compactación potencial. En estado endurecido, el concreto con aditivo exhibió una mayor resistencia a la compresión, una mayor densidad, una menor absorción y porosidad, y una menor velocidad de absorción, lo que indica un mejoramiento en su durabilidad. Estos hallazgos sugieren que el aditivo plastificante ser efectivo en estructuras que necesite una alta resistencia a compresión y con presencia de humedad.

Además que por medio del análisis estadístico se verifica que las muestras con aditivo tienen resultados más uniformes según el análisis de desviación estándar y varianza con valores de 1.88 y 3.52 respectivamente. Estos resultados coinciden con investigaciones recientes que demuestran que ciertos aditivos, incluso derivados de residuos reciclados, pueden mejorar la microestructura interna de la pasta de cemento, optimizar la hidratación y reducir la permeabilidad en edades avanzadas [17].

## V. CONCLUSIONES

Se elaboraron 10 testigos en total, cuya distribución fue de 5 para concreto sin aditivo y 5 para concreto con aditivo plastificante.

A través del análisis de propiedades mediante los ensayos anteriores se evaluaron los efectos del aditivo en proporciones de plastificante tanto físicos como mecánicos y tomando como muestras patrón a las probetas sin la inclusión de aditivo.

Se observó que el aditivo plastificante en el concreto fresco

presentó variaciones en sus propiedades de temperatura, Slump y peso unitario siendo este un factor beneficioso para el concreto ya que mejora su aplicación y trabajabilidad, así como también distribuye los componentes de manera más uniforme evitando la segregación.

Se llegó a experimentar también que la inclusión del aditivo plastificante disminuye la capacidad de absorción del concreto haciendo de este una estructura más resistente a ambientes húmedos. Del mismo modo sus propiedades mecánicas se ven bastante beneficiadas aumentando en un 23% su resistencia a compresión favoreciendo a nuevas aplicaciones de este tipo de concreto en el campo de la construcción

En conclusión, el concreto con adición de aditivo plastificante puede ser usado para fines estructurales, así como ser usado en ambientes que presenten humedad y se requiera tener una estructura con propiedad de absorción bajas, no olvidando también que su elaboración, colocación y manipulación es menos ardua debido a que aumenta su trabajabilidad.

#### RECOMENDACIONES

Se debe tener cuidado al momento de la elaboración de las proporciones del concreto y el aditivo ya que una sobredosis podría afectar negativamente a las propiedades del mismo.

Al usar este aditivo tener en cuenta la reducción de agua según se trabaje el aditivo como plastificante o como superplastificante.

Se requiere un estudio de antemano al aplicar aditivo plastificante según las condiciones ambientales ya que al reducir agua del concreto este puede acelerar su fraguado del concreto.

#### REFERENCIAS

- [1] Smith, R., Johnson, M., & Clarke, D. (2020). Challenges in high-strength concrete applications. *Concrete Research*.
- [2] Jones, T., & Brown, P. (2018). Advancements in concrete technology. *Construction Engineering Journal*.
- [3] ACI Committee. (2016). Use of water reducers in concrete. American Concrete Institute.
- [4] González, L., Martínez, R., & Pérez, J. (2017). Efecto de los aditivos plastificantes en la resistencia del concreto. *Journal of Construction Materials*.
- [5] NTP 334.009: "CEMENTOS, Cementos Portland. Requisitos"
- [6] E-060: "Concreto Armado DS N°010-2009"
- [7] ACI 211.1 "Dosificación en muestras de Hormigón"
- [8] NTP 339.184: "Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezcla de hormigón (concreto)"
- [9] NTP 339.035: "Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams"
- [10] NTP 339.046: "Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón(concreto)"
- [11] NTP 339.033: "Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo"
- [12] NTP 339.181: "Método de ensayo para determinar el número de rebote del hormigón (concreto) endurecido (esclerometría)"
- [13] ASTM C 39-21: "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens"
- [14] ASTM C 642-06: "Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete"

- [15] NTP 339.232: "Método de ensayo para determinar la velocidad de absorción de agua en concretos de cemento Portland"
- [16] I. Ioannou, A. Hamilton, y C. Hall, "Absorción capilar de agua y *n*-decano por hormigón celular curado en autoclave," *Cement and Concrete Research*, vol. 38, no. 6, pp. 766–774, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.01.013>
- [17] X. He, W. Li, Y. Su, Z. Zheng, J. Fu, J. Zeng, H. Tan, Y. Wu, y J. Yang, "Reciclaje de hormigón de residuos plásticos para preparar un aditivo eficaz para mejorar la resistencia temprana y la permeabilidad tardía de la pasta de cemento," *Construction and Building Materials*, vol. 344, art. no. 128581, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128581>