

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA NANOSÍLICE EN LA RESISTENCIA Y  
COSTO DE PRODUCCIÓN DE CONCRETOS CONVENCIONALES ELABORADOS  
CON CEMENTOS YURA TIPO I Y IP EN LA CIUDAD DE AREQUIPA - 2019

Tesis presentada por el Bachiller:

Saavedra Pérez, Orlando Javier

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Ing. Díaz Galdos, Miguel Renato

AREQUIPA - PERÚ

2019

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

Análisis de la influencia de la masalite en la resistencia y costo de producción  
de concretos convencionales elaborados con cementos Yura tipos I y II en la  
ciudad de Arequipa - 2019

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

Orlando Javier Saavedra Pérez

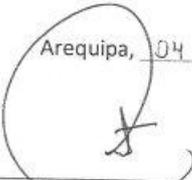
Nuestro DICTAMEN es:

Aprobado

OBSERVACIONES:

-

Arequipa, 04 de Septiembre del 2019.

  
COD 1949

  
COD 2778

  
COD 1938

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme las fuerzas necesarias para llegar hasta este punto de mi vida a pesar de todas las adversidades que se presentaron en el camino.

A mi familia por ser mi motivación y soporte en todo momento.

A la Universidad Católica de Santa María y a mis docentes, quienes con su conocimiento y experiencia siempre se esfuerzan por enseñarnos a nosotros, sus alumnos, lo necesario para desarrollar nuestra vida profesional y personal de la mejor manera.

A mis amigos, por estar conmigo en las buenas y en las malas, animándome siempre a perseguir y alcanzar mis metas. De forma especial a Paula Dongo, por su enorme apoyo en el proceso de realización de esta investigación.

Y a todas esas personas que Dios puso en mi vida en el momento correcto.

## DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico mis padres Néstor y Lucy, a mi hermana Rocío y a mi tía Mary, por darme siempre su amor y apoyo incondicional en cada etapa de mi vida y por ser mi motivación para mejorar cada día.

Orlando

## RESUMEN

En la presente investigación, realizada en la ciudad de Arequipa, se estudió la influencia de la nanosílice (Gaia Nanosílice) en las propiedades en estado fresco y endurecido de concretos convencionales (resistencia a la compresión hasta  $420 \text{ kgf/cm}^2$ ), analizando principalmente las propiedades resistentes, y el costo de producción de estos usando cemento Yura tipo I y Yura tipo IP y agregados de la cantera “La Poderosa”, con el fin de determinar si usando nanosílice en dosis de 0.5% y 0.7% se puede obtener concretos más resistentes a un menor costo que los diseños patrones, los cuales no contaron con este aditivo en su elaboración. Los concretos estudiados se realizaron con relaciones agua/cemento (a/c) 0.65, 0.60 y 0.55.

Los resultados indican que la nanosílice si influye notablemente en las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto. La resistencia a la compresión, a la tracción y a la abrasión se benefician de los efectos de este aditivo en mayor medida en concretos elaborados con cemento Yura tipo I que en aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP. El mayor incremento de resistencia a la compresión fue de 12.70% respecto al patrón y se observó en un concreto con relación a/c 0.55 y dosis de nanosílice al 0.7% elaborado con cemento Yura tipo I.

En cuanto a costos por  $\text{m}^3$ , se determinó que la nanosílice llega a disminuir el costo de producción del concreto y aumentar la resistencia respecto al patrón al mismo tiempo en ciertos casos, como aquel concreto con relación a/c 0.55 y dosis de este aditivo al 0.5% elaborado con cemento Yura tipo I. El análisis de costo/beneficio muestra que adicionar nanosílice en concretos elaborados con cemento Yura tipo I es más beneficioso que usarlo en aquellos con cemento Yura tipo IP.

Palabras clave:

Nanosílice, concreto convencional, resistencia, costo/beneficio.

## ABSTRACT

In the present investigation, carried out in the city of Arequipa, the influence of nanosilica (Gaia Nanosíllice) on the properties in the fresh and hardened state of conventional concretes (compressive strength up to  $420 \text{ kgf/cm}^2$ ) was studied, mainly analyzing the resistant properties, and the cost of production of these using cement Yura type I and Yura type IP and aggregates of the quarry "La Poderosa", in order to determine if using nanosilica in doses of 0.5% and 0.7% it can be obtained more resistant concretes at a lower cost than the standard designs, which did not have this additive in their preparation. The studied concretes were made with water/cement ratios (w/c) 0.65, 0.60 and 0.55.

The results indicate that nanosilica does significantly influence the properties in the fresh and hardened state of concrete. The compressive, tensile and abrasion resistance benefit from the effects of this additive to a greater extent on concrete made with Yura type I cement than on those made with Yura type IP cement. The greatest increase in compressive strength was 12.70% compared to the standard and was observed in a concrete with w/c ratio 0.55 and dose of nanosilica to 0.7% made with Yura type I cement.

In terms of costs per  $\text{m}^3$ , it was determined that nanosilica reduces the production cost of concrete and increases the resistance to the pattern at the same time in certain cases, such as that concrete with w/c ratio 0.55 and dose of this additive to 0.5% made with Yura type I cement. The cost/benefit analysis shows that adding nanosilica in concretes made with Yura type I cement is more beneficial than using it in those with Yura type IP cement.

Keywords:

Nanosilica, conventional concrete, resistance, cost/benefit.

## INTRODUCCIÓN

Hoy en día el concreto es uno de los materiales más usados en la industria de la construcción. Se ha reportado que su ratio de consumo es casi  $1 \text{ m}^3$  por persona por año, constituyendo la mayor parte de los materiales constructivos debido a su bajo costo y buenas propiedades mecánicas (Palla, Karade, Mishra, Sharma y Singh, 2017). En Arequipa, esto se evidencia en las nuevas edificaciones que se están realizando en la ciudad: la mayoría está siendo construida con este material de forma predominante.

El crecimiento vertical y horizontal, debido al crecimiento poblacional, contribuyó al aumento del uso del concreto como uno de los principales materiales de construcción, dando como resultado un aumento de construcción de edificios en Arequipa en 175% en los últimos 10 años (Hanco, 2018). Teniendo en cuenta la tendencia de construcción de edificaciones más altas, el requerimiento de concreto más resistente, pero a la vez económico, será mayor, por lo que investigar formas de conseguirlo es una tarea importante.

Gracias a esta necesidad se han dado avances en la construcción, principalmente en el ámbito científico, donde una de las áreas estudiadas con mayor interés por su gran potencial es la nanotecnología. Esta nos ofrece la posibilidad de modificar a escala nanométrica el concreto, sea modificando las moléculas de los materiales componentes del mismo o mediante el uso de nanomateriales (González, 2016). Uno de estos es la nanosílice, que si bien es cierto es poco conocida en nuestro medio, ha sido estudiada por muchas personas a nivel nacional e internacional. Según Saloma, Nasution, Imran y Abdullah (2015) y Khaloo, Mobini y Hosseini (2016), la nanosílice es capaz de mejorar el desempeño del concreto. Además, al aumentar el contenido de nanosílice en el concreto, se incrementó la resistencia a la compresión a edad temprana de los especímenes estudiados por Ehsani, Nili y Shaabani (2016). Por otro lado, Quercia y Brouwers (2010) afirman que, con el uso de finos de sílice, siendo uno de estos la nanosílice, se puede reducir el contenido de cemento en las mezclas, reduciendo el costo de

producción del concreto, así como contribuyendo a la preservación del medio ambiente pues, según un estudio del centro británico Chatham House, la industria del cemento es la fuente de aproximadamente el 8% de las emisiones de CO<sub>2</sub> del mundo (Rodgers, 2018), por lo que un consumo menor de este material reduciría la demanda y por ende, la producción del mismo.

Es por esto que, conociendo los resultados de numerosos estudios realizados con nanosílice y considerando que en la ciudad de Arequipa la mayoría de construcciones son hechas con concreto de forma predominante, sobre todo aquellas de altura considerable, el analizar la influencia de este aditivo en concretos convencionales elaborados con materiales propios de la ciudad sería un paso importante para determinar la viabilidad de su uso.

Este es el motivo de la presente investigación, la cual estará orientada al análisis de las propiedades en estado fresco y endurecido, con un especial enfoque en las propiedades resistentes, de concretos convencionales elaborados con y sin adición de nanosílice, con el fin de determinar si estas mejoran al usar nanosílice en las mezclas, teniendo en cuenta el uso de cementos Yura tipo I y IP, y considerando diferentes relaciones agua/cemento (0.65, 0.60, 0.55).

Finalmente se busca presentar un análisis de costo/beneficio para determinar la viabilidad económica del uso de nanosílice en concretos convencionales.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN .....	v
CAPÍTULO I .....	1
1. Generalidades.....	1
1.1 Problema de investigación .....	1
1.1.1 Enunciado del problema. ....	1
1.1.2 Descripción del problema. ....	1
1.2 Justificación de la investigación .....	1
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 General.....	3
1.3.2 Específicos.....	3
1.4 Hipótesis .....	4
1.5 Análisis de variables .....	4
1.5.1 Variables independientes.....	4
1.5.2 Variables dependientes.....	4
1.5.3 Técnicas, instrumentos y materiales de verificación.....	5
1.6 Alcance .....	6
1.6.1 Campo y área.....	6
1.6.2 Tipo y nivel de investigación.....	6
1.7 Metodología .....	7
1.8 Delimitaciones de la investigación .....	10
CAPÍTULO II.....	11
2. Marco teórico.....	11
2.1 Análisis de antecedentes investigativos .....	11
2.2 Bases teóricas de la investigación.....	14
2.2.1 Concreto.....	14
2.2.1.1 Definición general.....	14
2.2.1.2 Concreto convencional.....	14
2.2.1.3 Propiedades del concreto.....	14
2.2.1.3.1 Trabajabilidad.....	14
2.2.1.3.2 Consistencia.....	15

2.2.1.3.3	Exudación.....	15
2.2.1.3.4	Segregación.....	16
2.2.1.3.5	Cohesividad.....	16
2.2.1.3.6	Peso unitario.....	16
2.2.1.3.7	Temperatura.....	16
2.2.1.3.8	Resistencia a la compresión.....	16
2.2.1.3.9	Resistencia a la tracción.....	17
2.2.1.3.10	Resistencia a la abrasión.....	17
2.2.1.4	Cemento.....	17
2.2.1.5	Relación agua/cemento.....	18
2.2.2	Aditivos.....	18
2.2.3	Nanotecnología en la ingeniería civil.....	19
2.2.3.1	Aplicaciones.....	19
2.2.3.2	Nanosílice.....	20
2.2.3.2.1	Definición.....	20
2.2.3.2.2	Aplicaciones.....	20
2.2.3.3	Ventajas y desventajas de la nanosílice.....	20
2.2.3.3.1	Ventajas.....	20
2.2.3.3.2	Desventajas.....	21
CAPÍTULO III.....		22
3.	Caracterización de los materiales utilizados en la investigación.....	22
3.1	Propiedades de los agregados.....	22
3.1.1	Análisis granulométrico.....	22
3.1.1.1	Equipos y herramientas.....	22
3.1.1.2	Procedimiento.....	23
3.1.1.3	Cálculos.....	24
3.1.1.4	Datos y resultados.....	27
3.1.1.4.1	Agregado grueso – Piedra chancada de ½”.....	27
3.1.1.4.2	Agregado fino – Arena gruesa.....	31
3.1.2	Peso unitario suelto y compactado.....	35
3.1.2.1	Equipos y herramientas.....	35
3.1.2.2	Procedimiento.....	36
3.1.2.2.1	Peso unitario suelto (P.U.S.).....	36

3.1.2.2.2	Peso unitario compactado (P.U.C.).....	37
3.1.2.3	Cálculos.....	38
3.1.2.4	Datos y resultados.....	38
3.1.2.4.1	Agregado grueso – Piedra chancada de ½”.....	38
3.1.2.4.2	Agregado fino – Arena gruesa. ....	40
3.1.3	Peso específico y absorción. ....	42
3.1.3.1	Agregado grueso – Piedra chancada de ½”.....	42
3.1.3.1.1	Equipos y herramientas. ....	42
3.1.3.1.2	Procedimiento.....	42
3.1.3.1.3	Cálculos.....	43
3.1.3.1.4	Datos y resultados. ....	44
3.1.3.2	Agregado fino – Arena gruesa.....	45
3.1.3.2.1	Equipos y herramientas.....	45
3.1.3.2.2	Procedimiento.....	45
3.1.3.2.3	Cálculos.....	47
3.1.3.2.4	Datos y resultados. ....	48
3.1.4	Contenido de humedad. ....	49
3.1.4.1	Equipos y herramientas. ....	49
3.1.4.2	Procedimiento.....	50
3.1.4.3	Cálculos. ....	50
3.1.4.4	Datos y resultados.....	51
3.1.5	Resistencia a la abrasión.....	52
3.1.5.1	Equipos y herramientas.....	52
3.1.5.2	Procedimiento.....	53
3.1.5.3	Cálculos. ....	54
3.1.5.4	Datos y resultados.....	54
3.2	Propiedades del cemento.....	55
3.2.1	Peso específico del cemento. ....	55
3.2.1.1	Equipos, herramientas y materiales. ....	55
3.2.1.2	Procedimiento.....	56
3.2.1.3	Cálculos. ....	57
3.2.1.4	Datos y resultados.....	57
3.3	Propiedades de la nanosílice.....	58

3.4	Resumen de las propiedades de los materiales usados en la investigación .....	58
CAPÍTULO IV.....		59
4.	Diseños de mezcla.....	59
4.1	Diseño base .....	59
4.1.1	Primera aproximación – ACI 211.1.....	59
4.1.1.1	Cálculo del $f'c$ requerido. ....	59
4.1.1.2	Selección del tamaño máximo nominal.....	60
4.1.1.3	Selección del asentamiento.....	61
4.1.1.4	Selección del volumen unitario de agua. ....	61
4.1.1.5	Selección del contenido de aire. ....	62
4.1.1.6	Relación agua/cemento.....	63
4.1.1.7	Determinación del factor cemento.....	64
4.1.1.8	Determinación del contenido de agregado grueso.....	64
4.1.1.9	Cálculo de volúmenes absolutos.....	65
4.1.1.10	Cálculo del peso seco del agregado fino. ....	65
4.1.1.11	Corrección por humedad de los agregados.....	66
4.1.1.12	Determinación de las proporciones en peso y por tanda de una bolsa. ....	67
4.1.2	Diseño definitivo – Método de prueba y error.....	68
4.1.2.1	Diseño base.....	68
4.1.2.2	Corrección de la cantidad de agua.....	68
4.1.2.3	Corrección de la cantidad de agregados. ....	69
4.1.2.4	Corrección por humedad. ....	70
4.2	Diseños posteriores .....	71
4.2.1	Diseños patrón. ....	71
4.2.1.1	Diseño base.....	71
4.2.1.2	Corrección de la cantidad de agua.....	72
4.2.1.3	Corrección de la cantidad de arena.....	72
4.2.1.4	Cálculo de la cantidad de agregado grueso. ....	73
4.2.1.5	Corrección por humedad. ....	74
4.2.2	Diseños con nanosílice.....	75
4.2.3	Diseños optimizados con nanosílice. ....	75
4.2.3.1	Diseño base.....	75
4.2.3.2	Corrección de la cantidad de agua.....	75

4.2.3.3	Corrección de la cantidad de agregados. ....	76
4.2.3.4	Corrección por humedad. ....	77
4.3	Resumen de los diseños de mezcla usados en la investigación .....	78
4.4	Variación de las cantidades de cada material usado por diseño de mezcla con respecto a los diseños patrones.....	80
CAPÍTULO V .....		83
5.	Ensayos aplicados al concreto .....	83
5.1	Ensayos en estado fresco .....	83
5.1.1	Revenimiento, slump o asentamiento. ....	83
5.1.1.1	Equipos y herramientas. ....	83
5.1.1.2	Procedimiento.....	84
5.1.2	Peso unitario.....	86
5.1.2.1	Equipos y herramientas. ....	86
5.1.2.2	Procedimiento.....	87
5.1.3	Temperatura. ....	88
5.1.3.1	Equipos y herramientas. ....	88
5.1.3.2	Procedimiento.....	88
5.2	Ensayos en estado endurecido .....	89
5.2.1	Resistencia a la compresión.....	89
5.2.1.1	Equipos y herramientas. ....	89
5.2.1.2	Procedimiento.....	89
5.2.2	Resistencia a la tracción.....	91
5.2.2.1	Equipos y herramientas.....	91
5.2.2.2	Procedimiento.....	92
5.2.3	Resistencia a la abrasión.....	93
5.2.3.1	Equipos y herramientas. ....	93
5.2.3.2	Procedimiento.....	93
CAPÍTULO VI.....		95
6.	Resultados y análisis de los ensayos aplicados al concreto .....	95
6.1	Ensayos en estado fresco .....	95
6.1.1	Revenimiento, slump o asentamiento. ....	95
6.1.1.1	Revenimiento de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.....	96
6.1.1.2	Revenimiento de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.....	97
6.1.1.3	Revenimiento de todos los concretos elaborados.....	98

6.1.2	Peso unitario.....	99
6.1.2.1	Peso unitario de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. ....	100
6.1.2.2	Peso unitario de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. ....	101
6.1.2.3	Peso unitario de todos los concretos elaborados. ....	102
6.1.3	Temperatura. ....	103
6.1.3.1	Temperatura de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. ....	104
6.1.3.2	Temperatura de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. ....	105
6.1.3.3	Temperatura de todos los concretos elaborados. ....	106
6.2	Ensayos en estado endurecido .....	108
6.2.1	Resistencia a la compresión. ....	108
6.2.1.1	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. ....	108
6.2.1.2	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. ....	114
6.2.1.3	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. ....	120
6.2.1.4	Comparación de la resistencia a la compresión entre todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. ....	126
6.2.1.5	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. ....	128
6.2.1.6	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. ....	134
6.2.1.7	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. ....	140
6.2.1.8	Comparación de la resistencia a la compresión entre todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. ....	146
6.2.1.9	Comparación de la resistencia a la compresión entre todos los concretos elaborados. ....	148
6.2.2	Resistencia a la tracción.....	149
6.2.2.1	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. ....	149
6.2.2.2	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. ....	155
6.2.2.3	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. ....	161
6.2.2.4	Comparación de la resistencia a la tracción entre todos lo concretos elaborados con cemento Yura tipo I. ....	167
6.2.2.5	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. ....	169
6.2.2.6	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. ....	175
6.2.2.7	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. ....	181
6.2.2.8	Comparación de la resistencia a la tracción entre todos lo concretos elaborados con cemento Yura tipo I. ....	187
6.2.2.9	Comparación de la resistencia a la tracción entre todos los concretos elaborados. ....	189

6.2.3	Resistencia a la abrasión. ....	190
6.2.3.1	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I.....	190
6.2.3.2	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.....	192
6.2.3.3	Comparación del porcentaje de desgaste entre todos los concretos elaborados. ....	195
6.2.4	Resumen de dosis óptimas de nanosílice de acuerdo a los ensayos en estado endurecido realizados a los concretos elaborados. ....	196
6.3	Análisis de costos.....	198
6.3.1	Costo de mano de obra, equipos y materiales.....	198
6.3.2	Costo de los concretos elaborados. ....	198
6.3.2.1	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I.....	198
6.3.2.2	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.....	200
6.3.2.3	Comparación del costo por m <sup>3</sup> entre todos los concretos elaborados.....	202
6.3.3	Costo/beneficio de los concretos elaborados. ....	204
6.3.3.1	Concretos elaborados con cemento Yura tipo I.....	205
6.3.3.2	Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.....	206
6.3.3.3	Comparación del costo/beneficio entre todos los concretos elaborados. .	208
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		209
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		220
LISTA DE TABLAS .....		225
LISTA DE FIGURAS.....		230
LISTA DE ECUACIONES.....		234
PANEL FOTOGRÁFICO.....		235
ANEXOS .....		238

## CAPÍTULO I

### 1. Generalidades

#### 1.1 Problema de investigación

##### 1.1.1 Enunciado del problema.

En la ciudad de Arequipa no existen estudios de la aplicación de nanosílice en concretos convencionales, usados comúnmente en construcción.

##### 1.1.2 Descripción del problema.

La construcción de edificaciones cada vez más altas demandan el uso de mezclas de concreto que brinden mayor resistencia sin incrementar los costos de producción de manera significativa. Actualmente para lograr este objetivo se incrementa el uso del cemento en los diseños de mezcla de concreto, hecho que se evidencia en las relaciones agua/cemento usadas, de manera que se asegura que el producto final tendrá la resistencia requerida. Sin embargo, al considerar los grandes volúmenes de concreto que se usan construcción, se observa que existe un alza de costos innecesaria. Esto podría cambiar si se conociera una forma de optimizar el uso del cemento en los diseños de mezcla, a la vez que se incrementa la resistencia del concreto a un costo de producción igual o menor.

#### 1.2 Justificación de la investigación

El aumento de la necesidad de construir verticalmente trae consigo el reto de conseguir concretos más resistentes, pero a la vez, económicos.

Actualmente el aumento de resistencia del concreto se relaciona con un mayor uso de cemento en las mezclas, no obstante, al considerar los grandes volúmenes de concreto usados en la construcción, se torna antieconómico y a la vez contaminante, pues a mayor consumo de cemento, mayor la cantidad de cemento a producirse debido a la demanda y mayores las cantidades de CO<sub>2</sub> emitidas por las plantas productoras del mismo. Es por esto que es necesario

investigar formas de optimizar el uso del cemento en las mezclas de concreto, aumentando la resistencia de este y mantener o reducir su costo de producción.

Dada esta necesidad, se hace imperativo estudiar materiales como la nanosílice, que permitan optimizar el uso del cemento en las mezclas de concreto e incrementar la resistencia del mismo.

Actualmente existen estudios sobre el uso de este material en concretos de alta resistencia (mayores a  $420 \text{ kgf/cm}^2$  o elaborados con relaciones agua/cemento menores o iguales a 0.40), obteniendo buenos resultados, pero no en concretos convencionales, por lo que, dado el hecho que en Arequipa la mayor parte de construcciones destinadas para vivienda son elaboradas con esta clase de concretos, es importante conocer la influencia de la nanosílice sobre estos y determinar la viabilidad de su uso.

De esta forma nace la motivación de la presente investigación, que es determinar si la nanosílice mejora las propiedades resistentes de concretos convencionales elaborados con cemento Yura tipo I y IP, sin aumentar el costo de su elaboración.

Además de lograr mayores conocimientos en cuanto a nuevos materiales para su uso en concreto, los resultados e información obtenida en este estudio podrán ser usados como guía al momento de decidir cómo mejorar cada vez más las propiedades de los concretos convencionales usados en construcción.

La realización de esta investigación es posible, en parte, gracias a los fondos ganados para la realización del proyecto “ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD EN LA DURABILIDAD Y RESISTENCIA DE CONCRETOS CONVENCIONALES Y CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA E IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA”.

## 1.3 Objetivos

### 1.3.1 General.

Analizar la influencia de la adición de nanosílice en las propiedades en estado fresco y endurecido – con un especial enfoque en las propiedades resistentes – y en el costo de producción de concretos convencionales elaborados con cemento Yura tipo I y IP en la ciudad de Arequipa.

### 1.3.2 Específicos.

1. Comparar el revenimiento de los concretos patrones con el de los elaborados con la adición de nanosílice.
2. Comparar el peso unitario de los concretos patrones con el de los elaborados con la adición de nanosílice.
3. Comparar la temperatura de los concretos patrones con la de los elaborados con la adición de nanosílice.
4. Comparar la resistencia a la compresión de los concretos patrones con la de los elaborados con la adición de nanosílice.
5. Comparar la resistencia a la tracción de los concretos patrones con la de los elaborados con la adición de nanosílice.
6. Comparar la resistencia a la abrasión de los concretos patrones con la de los elaborados con la adición de nanosílice.
7. Determinar las dosis óptimas para cada relación agua/cemento usada y tipos de cemento.
8. Optimizar los diseños de mezcla para cada dosis de nanosílice usada para alcanzar revenimientos en el rango de 4 a 5 pulgadas, típicos para vaciados de elementos estructurales, para cada relación agua/cemento usada y tipos de cemento.

9. Comparar las propiedades en estado fresco de los concretos patrones con las de los diseños optimizados.
10. Comparar la resistencia a la compresión de los concretos patrones con la de los diseños optimizados.
11. Comparar la resistencia a la tracción de los concretos patrones con la de los diseños optimizados.
12. Comparar la resistencia a la abrasión de los concretos patrones con la de los diseños optimizados.
13. Determinar el costo/beneficio de adicionar nanosílice a las mezclas de concreto.

#### **1.4 Hipótesis**

Dada la falta de estudios en nuestro medio acerca de los efectos del uso de nanosílice en concretos convencionales, usados comúnmente en construcción, es probable que mediante el análisis de la influencia de este aditivo sobre las propiedades resistentes de este tipo de concretos elaborados con cementos Yura tipo I y IP en la ciudad de Arequipa, se pueda lograr diseños de mezcla que ofrezcan mayores resistencias a un costo de producción igual o menor al de los diseños patrón.

#### **1.5 Análisis de variables**

##### **1.5.1 Variables independientes.**

- Uso de nanosílice en concretos convencionales elaborados con diferentes relaciones agua/cemento y diferentes tipos de cemento.

##### **1.5.2 Variables dependientes.**

- Propiedades del concreto.
- Costo de producción.

### 1.5.3 Técnicas, instrumentos y materiales de verificación.

Tabla 1  
*Definición y operacionalización de las variables.*

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumentos
Uso de nanosílice en concreto elaborado con diferentes relaciones agua/cemento y diferentes tipos de cemento (Independiente)	Se refiere a cómo se cuantificará el uso de nanosílice en concretos elaborados con diferentes relaciones a/c y diferentes tipos de cemento.	- Dosis de nanosílice.	- Cantidad de nanosílice por kgf de cemento en las distintas mezclas de concreto.	Cálculos empíricos	- Tablas informáticas
		- Relación a/c.	- Cociente entre las cantidades de agua efectiva y cemento presentes en las distintas mezclas de concreto.		
Propiedades del concreto (Dependiente)	Conjunto de características propias de un material que hacen que éste tenga un comportamiento determinado ante distintos estímulos. Esto varía de acuerdo a sus componentes.	- Propiedades del concreto en estado fresco y en estado endurecido.	- Elección de los diferentes tipos de cemento a usarse.	Experimentación en laboratorio	- Equipos de laboratorio - Tablas informáticas - Cuaderno de apuntes
		- Resistencia a la compresión.	- Peso unitario.		
Costo de producción (Dependiente)	Costo en conjunto de los materiales constituyentes de la mezcla de concreto.	- Costo por m <sup>3</sup> .	- Slump. - Temperatura. - Resistencia a la tracción. - Resistencia a la abrasión.	Cálculos empíricos.	- Tablas informáticas.

**Fuente: Elaboración propia.**

## 1.6 Alcance

La presente investigación pretende analizar la influencia del uso de nanosílice en concretos convencionales, los mismos que serán elaborados en base a las relaciones agua/cemento 0.65, 0.60 y 0.55 y con adición de nanosílice en dosis de 0.5% y 0.7%, para lo que se realizarán ensayos al concreto en estado fresco y endurecido, dándole una mayor atención a las propiedades resistentes del mismo, con el fin de determinar si la nanosílice mejora dichas propiedades y si el uso de este aditivo se justifica económicamente.

Para la realización de esta investigación se vaciarán 24 probetas y nueve especímenes cúbicos para cada diseño de mezcla planteado, teniendo un total de 30 diseños de mezcla, los cuales se dividen de la siguiente forma: 15 de ellos usando cemento Yura tipo I y 15 de ellos usando cemento Yura Tipo IP. A su vez, estos 15 diseños para cada tipo de cemento se subdividen de la siguiente manera: 5 diseños para cada relación agua/cemento a utilizarse (0.65, 0.60 y 0.55). Se utilizará el método de diseño de mezclas ACI 211.1, propuesto por el Comité ACI 211, para una primera dosificación y luego se harán variaciones en el diseño resultante, las cuales se explicarán más adelante, para lograr revenimientos en un rango de 4 a 5 pulgadas para los diseños base, así como para los optimizados con nanosílice. En cuanto a los agregados, se usará piedra chancada de ½” y arena gruesa de la cantera “La Poderosa”.

### 1.6.1 Campo y área.

- Área: Ingeniería y Tecnología.
- Subárea: Ingeniería Civil.
- Disciplina: Ingeniería de Construcción.

### 1.6.2 Tipo y nivel de investigación.

- a) Por el tipo de conocimiento:

Es una investigación correlacional. Trata de determinar cómo mejora las propiedades del concreto convencional al introducirle nanosílice.

## b) Por el enfoque:

Es cuantitativa. La investigación se enfoca en la obtención de datos medibles para luego poder compararlos.

## c) Por el diseño o estrategia de trabajo:

Es experimental. La investigación se basa en la obtención de datos a partir de ensayos en laboratorio.

## d) Por su naturaleza:

Es aplicada. Su aplicación está orientada a diseños de mezcla de concretos convencionales, los cuales pueden ser utilizados en la construcción de edificaciones en general.

## e) Por su finalidad:

Es tecnológica. Se busca desarrollar diseños optimizados con nanosílice que permitan obtener concretos con mejores propiedades resistentes al mismo o menor costo.

## 1.7 Metodología

Para el presente proyecto se seguirá la siguiente metodología de investigación:

a. Se utilizarán los siguientes materiales, los cuáles son utilizados ampliamente en el sector constructor de la ciudad de Arequipa.

a.1. Cemento:

Ya que se busca analizar cómo influye la nanosílice en el concreto, primero se necesita conocer sus efectos en concretos elaborados con el tipo de cemento más simple, para esto se eligió el cemento tipo I; por otro lado, se quiere determinar cómo influye este aditivo en concretos elaborados con uno de los tipos de cemento más comerciales en la ciudad de Arequipa, para esto se eligió el cemento tipo IP. Ambos tipos de cemento serán provistos por la empresa Yura S.A., la cual cuenta

con su planta de producción en el distrito del mismo nombre en la ciudad de Arequipa.

a.2. Agregados:

Los agregados a utilizarse en la presente investigación serán obtenidos de la cantera “La Poderosa”, ya que se ha demostrado en investigaciones anteriores que tanto la piedra chancada como la arena gruesa provistas por esta cantera cuentan con buenas propiedades físicas y mecánicas, puesto que tuvieron un buen desempeño frente a las pruebas a las que fueron sometidas.

a.3. Agua:

El agua a utilizarse en esta investigación será la provista por SEDAPAR, mediante las redes subterráneas de agua de la ciudad de Arequipa.

a.4. Aditivos:

El único aditivo a usarse será GAIA, de la línea de productos GAIA NANOSÍLICE, comercializada por la empresa ULMEN S.A. El estado en el que este producto se encuentra es líquido.

- b. Los ensayos a los materiales (agregados y cemento) se realizarán en el laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María. Los datos a utilizarse para los ensayos de granulometría, peso específico, absorción y peso unitario suelto y compactado serán los presentados en el “INFORME DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES USADOS EN LA INVESTIGACIÓN”, del proyecto de semilleros de investigación titulado “ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD EN LA DURABILIDAD Y RESISTENCIA DE CONCRETOS CONVENCIONALES Y CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA E IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA”, ya que

se utilizarán los mismo agregados y cemento mencionados en tal informe, mientras que los resultados de los ensayos de contenido de humedad y resistencia a la abrasión serán propios de esta tesis. Para cada ensayo a los agregados se hicieron tres pruebas (salvo en el ensayo de resistencia a la abrasión donde solo se hizo una), para obtener datos más cercanos a los reales, y para el cemento Yura tipo I se realizó el ensayo de peso específico (NTP 334.005), puesto que este dato no se encontró en su ficha técnica.

b.1. Se realizaron los siguientes ensayos a los agregados:

- Análisis granulométrico (NTP 400.012).
- Peso unitario suelto y compactado (NTP 400.017).
- Peso específico y absorción (NTP 400.021 y NTP 400.022).
- Contenido de humedad (NTP 339.185).
- Resistencia a la abrasión (NTP 400.019).

- c. El primer diseño de mezcla se basará en la metodología ACI 211.1, del Comité ACI 211, luego se realizarán variaciones, las mismas que se explicarán y justificarán más adelante.
- d. Se realizarán diseños de mezcla en base a relaciones agua/cemento (0.65, 0.60, 0.55) que resultarán en concretos con resistencias convencionales. Los diseños de mezcla base (o patrón) usando cemento tipo I serán aquellos utilizados en el proyecto de investigación antes mencionado, mientras que los diseños con nanosílice y optimizados con nanosílice elaborados con cemento tipo I, diseños base, con nanosílice y optimizados con nanosílice elaborados con cemento tipo IP serán propios de esta tesis.
- e. Para los diseños con nanosílice y optimizados con nanosílice se considerará la adición en dosis de 0.5% y 0.7%, sobre el peso del cemento, del aditivo GAIA. En algunos casos, la palabra “nanosílice” se abreviará como “nS”.

- f. Luego de obtener la dosificación para cada diseño de mezcla, se elaborarán 24 especímenes cilíndricos de concreto de tamaño 10x20 cm y 9 cubos de concreto de 5x5 cm para cada diseño de mezcla, lo cual, considerando que se realizarán 30 diseños, resulta en una población total de 720 probetas y 270 cubos de concreto.
- g. Se realizarán los siguientes ensayos al concreto:
- g.1. En estado fresco:
- Ensayo de revenimiento (slump).
  - Ensayo de peso unitario.
  - Ensayo de temperatura.
- g.2. En estado endurecido:
- Ensayo de compresión axial (a edades de 3, 7 y 28 días).
  - Ensayo de tracción indirecta (a edades de 3, 7 y 28 días).
  - Ensayo de abrasión (a edad de 28 días).
- h. Finalmente, se realizará un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los ensayos al concreto, tanto en estado fresco como endurecido, con un enfoque especial en los ensayos de resistencia. Además, se realizará un análisis de costo/beneficio para determinar si el uso de la nanosílice en concretos convencionales se justifica económicamente.

### **1.8 Delimitaciones de la investigación**

Los resultados de la presente investigación serán aplicables a los materiales usados y condiciones de la ciudad de Arequipa, sin embargo, podrían servir como base para realizar futuras investigaciones relacionadas al tema.

## CAPÍTULO II

### 2. Marco teórico

#### 2.1 Análisis de antecedentes investigativos

Para poder plantear esta investigación se realizó una extensa búsqueda de antecedentes. Se tomaron como referencia tesis locales, nacionales y artículos científicos publicados en revistas indexadas.

Lo primero que se hizo para determinar la importancia de conocer la influencia del uso de nanosílice en concretos convencionales fue buscar investigaciones realizadas en el plano local.

Molina y Chara (2017) estudiaron la “Influencia de la adición de nanosílice en las propiedades de un concreto de alta resistencia para la ciudad de Arequipa”. En este trabajo se determinaron las dosis óptimas de nanosílice para diferentes resistencias características a la compresión del concreto, concluyendo que con dosis de 0.8% y 1% del aditivo AQUA 840 (basado en nanosílice) se logra la mayor resistencia en concretos con  $f'c$  en los rangos de 420 a 700 kgf/cm<sup>2</sup>, que la nanosílice ayuda a reducir agua de diseño, así como aumentar el peso unitario del concreto.

La relación de esta tesis con la propuesta se da debido a la recomendación propuesta por los autores de usar nanosílice en concretos convencionales y con dosis de nanosílice menores a 0.8%.

Otra investigación realizada en Arequipa es la tesis de Loayza (2017), en el cual se estudió la “Influencia del nanosílice en el concreto con agregado angular y agregado redondeado”. En este trabajo también se determinaron las dosis óptimas para los concretos, pero con diferente tipo de agregado, hallando que con el uso de 1% del aditivo AQUA 840 (basado en nanosílice) sobre peso de cemento se logra las mayores resistencias tanto a

compresión como a tracción en las dos variedades de concreto elaboradas (con agregado angular y con agregado redondeado).

Esta investigación se relaciona con la propuesta debido a que se investigó cómo influye la nanosílice en las propiedades del concreto en los estados fresco y endurecido.

Se buscó también estudios del tema en tesis a nivel nacional.

Uno de los trabajos que se tomó como antecedente es el realizado por Escobedo (2014), quien estudió la “Incidencia de la nanosílice en la resistencia mecánica de un concreto de alta resistencia con cemento Portland tipo I”. En este trabajo analizó cómo influye la adición de GAIA NANOSÍLICE (basado en nanosílice) en la resistencia a la compresión de concretos de alta resistencia, concluyendo que la dosis óptima de nanosílice entre las usadas (0.5%, 1.5% y 3%) es 1.5%, logrando la mayor resistencia (785.30 kgf/cm<sup>2</sup>); que la nanosílice mejora las características del concreto, tanto en su estado fresco como endurecido y que el impacto ambiental es nulo ya que el estado en el que encontramos este material es líquido.

Este estudio se relaciona con esta investigación ya que trata de conocer la influencia del uso del aditivo GAIA NANOSÍLICE, el cual se pretende usar en esta investigación, en el concreto (en el caso expuesto, concreto de alta resistencia), confirmando que usando nanosílice podemos mejorar las propiedades del concreto en sus dos estados, fresco y endurecido.

Otro trabajo revisado fue el de Huincho (2011), quien en su tesis titulada “Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílice y nanosílice con cemento Portland tipo I”, estudió el efecto de la microsílice y la nanosílice en el concreto. Luego de analizar los resultados de su investigación, concluyó que la dosis óptima de nanosílice para las mezclas que realizó es 1% y que el costo del uso de nanosílice en esa dosis es más beneficioso que usar microsílice al 10%.

Esta tesis se relaciona con esta investigación ya que recomienda investigar el comportamiento del concreto con adiciones de nanosílice menores a 1%, lo cual se pretende hacer en este proyecto.

Se analizaron artículos científicos en revistas indexadas para conocer la relevancia que tiene el estudio de la nanosílice para su uso en concretos convencionales, sin embargo, no se encontraron artículos que refieran uso de nanosílice en este tipo de concreto, pero si en concretos de alta resistencia, lo que puede significar que la realización de esta investigación podría ser relevante en cuanto sus resultados demuestren que la utilización de nanosílice en concretos convencionales puede ser conveniente.

Isfahani, Redaelli, Lollinni, Li y Bertolini (2016) investigaron la influencia de la nanosílice en la resistencia a la compresión y propiedades durables de concretos con diferentes relaciones agua/cemento. El trabajo consistió en la aplicación de nanosílice en dosis de 0.5%, 1% y 1.5% en concreto con relaciones agua/cemento de 0.65, 0.55 y 0.50. Luego de analizar los resultados concluyó que no se puede considerar que los efectos benéficos del uso de nanosílice en la resistencia a la compresión debe ser una prueba para decir lo mismo de los efectos en las propiedades durables del concreto, pues estas mostraron una variabilidad muy alta a medida que se incrementaba la dosis de nanosílice.

Este estudio se relaciona con el propuesto pues se trabajó de la forma en que se pretende llevar acabo esta investigación, analizando el efecto de diferentes dosis de nanosílice en concretos con diferente relación agua/cemento.

## 2.2 Bases teóricas de la investigación

Los siguientes conceptos contribuirán al entendimiento de los términos usados en esta investigación, así como de los parámetros que fueron medidos en los ensayos realizados en el concreto, tanto en su estado fresco como endurecido.

### 2.2.1 Concreto.

#### 2.2.1.1 *Definición general.*

El concreto es una mezcla de cemento Pórtland o cualquier otro tipo de cemento hidráulico, agregados fino y grueso, y agua, con o sin aditivos (RNE Norma E.060, 2009).

#### 2.2.1.2 *Concreto convencional.*

Concreto convencional es aquel concreto que se usa normalmente en toda clase de construcciones que no necesiten de características especiales. Se puede utilizar en la construcción de edificios de mediana altura, construcción de viviendas, casas habitacionales, puentes, cisternas, escuelas, oficinas, vías urbanas, carreteras, canchas deportivas y muchas construcciones más. También es ampliamente usado para vaciado de columnas, cimentaciones, placas, losas aligeradas, muros de contención, etc. El rango de resistencias en el que este tipo de concreto se ofrece por las diversas empresas productoras de concreto existentes tanto local (SUPERMIX, ECOCRET), nacional (UNICON, ECONOMIX) e internacionalmente (CEMEX-Colombia, HOLCIM-México), va de 75 a 420 kgf/cm<sup>2</sup>.

#### 2.2.1.3 *Propiedades del concreto.*

##### 2.2.1.3.1 *Trabajabilidad.*

Es la propiedad del concreto, en estado fresco, que determina cuánto esfuerzo se tendrá que aplicar para su manipulación, transporte, colocación, vibración o

consolidación y acabado, logrando la mayor homogeneidad y la ausencia de segregación.

Cabe resaltar que esta propiedad no es medible, pues depende de muchos factores, tanto propios de las estructuras como de los materiales componentes de la mezcla. Su determinación dependerá entonces de la experiencia y conocimientos de la persona encargada del diseño de mezclas (Rivva, 2010).

#### 2.2.1.3.2 *Consistencia.*

La consistencia define la facilidad con la que el concreto en estado fresco podrá deformarse, dando así la posibilidad de que ocupe todos los espacios en el molde o encofrado en el que se coloque.

Para su clasificación se realiza el ensayo del cono de Abrams o ensayo de asentamiento. Se proponen 3 clasificaciones:

- Consistencia seca: asentamiento entre 1 y 2 pulgadas (25 a 50 mm).
- Consistencia plástica: asentamiento entre 3 y 4 pulgadas (75 a 100 mm).
- Consistencia fluida: asentamiento entre 6 pulgadas a más (150 mm a más) (Rivva, 2010).

#### 2.2.1.3.3 *Exudación.*

También conocido como sangrado, consiste en que parte del agua de mezcla sube a la superficie del concreto recién vaciado o durante el proceso de fraguado. Esto ocasiona diversos problemas. Por ejemplo, si la velocidad de evaporación es mayor a la de exudación, se pueden producir grietas por contracción en la superficie; en cambio, si la velocidad de evaporación es menor, la relación agua/cemento de la superficie aumentaría, por lo que la zona afectada podría quedar porosa y con una menor resistencia al desgaste (Gutiérrez, 2003).

#### 2.2.1.3.4 *Segregación.*

Se define como la descomposición del concreto en las partes que lo constituyen, es decir, cuando el agregado grueso se separa del mortero (Abanto, 2009).

#### 2.2.1.3.5 *Cohesividad.*

Es aquella propiedad gracias a la cual se puede controlar el peligro de segregación durante la etapa de vaciado de la mezcla (Rivva, 2000).

#### 2.2.1.3.6 *Peso unitario.*

Es la relación entre el volumen de sólidos del concreto sobre el volumen total de una unidad cúbica (Rivva, 2000). En estado fresco se puede calcular como la relación entre el peso de concreto contenido en un recipiente y el volumen de este, mientras que en estado endurecido se puede calcular como la relación entre el peso de un elemento y su volumen.

#### 2.2.1.3.7 *Temperatura.*

La medición de la temperatura del concreto se realiza con el fin de controlar que esté dentro de los límites establecidos según especificaciones. Este parámetro es importante pues es un factor que influye en la velocidad con la que el concreto ganará su resistencia inicial, así como en la aparición de grietas por contracción.

#### 2.2.1.3.8 *Resistencia a la compresión.*

El concreto se diseña para ciertas resistencias para cumplir su función estructural. La característica mecánica más importante de un concreto es su resistencia a la compresión simple, la cual es normalmente utilizada para juzgar su calidad (Gutiérrez, 2003).

La medición de este parámetro se realiza mediante el ensayo especificado en la norma NTP 339.034 “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas”.

#### 2.2.1.3.9 *Resistencia a la tracción.*

Es difícil determinar la resistencia a la tracción del concreto debido a que existe dificultad para sujetar las probetas sin provocar esfuerzos de compresión. Esto provocaría resultados irreales al tener el concreto sometido a más de un esfuerzo. Por esto, actualmente es usado el método brasilero o de tracción indirecta, el que consiste básicamente en someter las probetas normalizadas a cargas de compresión aplicadas a lo largo de las mismas (Gutiérrez, 2003). La norma NTP 339.084 “Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica” indica el procedimiento de ensayo.

#### 2.2.1.3.10 *Resistencia a la abrasión.*

La resistencia a la abrasión es la habilidad de una superficie de concreto de resistir el desgaste por roce y fricción (Pasquel, 1998).

#### 2.2.1.4 *Cemento*

Es el material que al ser mezclado con agua forma el medio ligante que mantiene unidos los componentes del concreto. Existen varios tipos de cemento, el uso de cada uno de ellos dependerá de las necesidades del proyecto a realizarse. La normativa peruana contempla 6 tipos de cemento Pórtland:

- Tipo I: Para uso general, cuando no se requiera propiedades especiales.
- Tipo II: Para uso general, cuando se requiera moderada resistencia a sulfatos.
- Tipo II (MH): Para uso general, cuando se requiera moderado calor de hidratación y moderada resistencia a sulfatos.
- Tipo III: Para cuando se requiera altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: Para cuando se requiera bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Para cuando se requiera alta resistencia a sulfatos (NTP 334.009, 2016).

Además de los cementos antes mencionados, también existen los cementos adicionados, los cuales son obtenidos al pulverizar clinker Pórtland conjuntamente con otros materiales denominados, para este efecto, como adiciones. Estas pueden ser la puzolana y la escoria, con la adición eventual de sulfato de calcio. Las adiciones contribuyen a mejorar las propiedades del cemento y su contenido estará limitado por la norma específica correspondiente (NTP 334.001, 2011). La normativa peruana contempla los siguientes cementos adicionados:

- Tipo IS: Cemento Pórtland con escoria de alto horno.
- Tipo IP: Cemento Pórtland puzolánico.
- Tipo I (PM): Cemento Pórtland puzolánico modificado.
- Tipo IT: Cemento adicionado ternario.
- Tipo ICo: Cemento Pórtland compuesto (NTP 334.090, 2013).

En la presente investigación se usará cemento Pórtland tipo I y cemento Pórtland puzolánico (Tipo IP).

#### **2.2.1.5 Relación agua/cemento.**

Es uno de los factores que más influyen en la resistencia del concreto. Se sabe que una relación agua/cemento puede producir diferentes resistencias, estas dependerán del tipo de cemento y agregado usado (Gutiérrez, 2003).

#### **2.2.2 Aditivos.**

Son compuestos químicos que son incluidos en pequeñas cantidades en las mezclas de concreto para modificar diferentes propiedades en estado fresco y endurecido de este.

En esta investigación se utilizará un aditivo reductor de agua de alto rango. Este tipo de aditivos se adicionan al concreto de revenimiento y relación agua/cemento de bajo a normal para producir un concreto fluido, con alto revenimiento (asentamiento) (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi, 2004).

### 2.2.3 Nanotecnología en la ingeniería civil.

Para hablar de nanotecnología primero debemos saber que esta trata del estudio y desarrollo de sistemas a escala nanométrica, los cuales pueden ser utilizados tanto en sectores industriales como médicos.

La implementación de la nanotecnología en la industria de la construcción ha sido más lenta en comparación con otros sectores industriales como el electrónico, automovilístico o químico farmacéutico, sin embargo, gracias a los avances en la construcción, los cuales se dan principalmente en el ámbito científico, esto ha mejorado sustancialmente. Actualmente se cuenta con mayores conocimientos en cuanto a la nanociencia de los materiales cementantes y fenómenos a nanoescala, como la hidratación del cemento, interfaces del concreto, etc. Además, se han desarrollado nanomateriales que pueden ser utilizados para mejorar el control del comportamiento de los materiales constituyentes del concreto, así como para agregar nuevas propiedades a este (González, 2016).

#### 2.2.3.1 Aplicaciones.

Entre las aplicaciones generales de la nanotecnología tenemos:

- Reforzar el acero y el concreto.
- Evitar que la tierra se pegue a las ventanas.
- Matar bacterias en las paredes de los hospitales.
- Volver materiales resistentes al fuego.
- Mejorar eficiencia de los paneles solares e iluminación interior (Parra, 2010).

Entre las aplicaciones de la nanotecnología enfocadas a la construcción tenemos:

- Autocontrol de la corrosión.
- Capacidades de auto limpieza del concreto.
- Auto reparación del concreto.
- Súper plastificantes de alta eficiencia para mezclas de concreto.

- Fibras de alta resistencia con capacidad excepcional de absorción de energía.
- Filamentos cristalinos que aumentan la resistencia a la compresión y a la flexión del concreto (González, 2016).

### **2.2.3.2 Nanosílice.**

#### **2.2.3.2.1 Definición.**

La nanosílice está constituida por partículas de tamaño nanométrico compuesto en su mayoría por  $\text{SiO}_2$ , el cual, al reaccionar con el hidróxido de calcio producido durante la hidratación del cemento, forma geles de silicato de calcio hidratado (CSH), mejorando de esta forma las propiedades de la mezcla (Molina y Chara, 2017).

#### **2.2.3.2.2 Aplicaciones.**

- Concreto pretensado y prefabricado.
- Concreto autocompactante.
- Concreto de rápida puesta en servicio.
- Concreto de alta resistencia y otros (Aguilar, 2015).

### **2.2.3.3 Ventajas y desventajas de la nanosílice.**

#### **2.2.3.3.1 Ventajas.**

- Versátil: Desde resistencias altas en compresión y tracción, a bajas dosis (1% a 1.5% sobre peso del cemento), hasta propiedades autocompactantes usando altas adiciones.
- Su aplicación resulta en concretos con muy buena trabajabilidad, incluso a valores muy pequeños de relación agua/cemento. Dado esto, ya no existe la necesidad de usar superplastificantes, salvo para concretos autocompactantes donde se usan pequeñas dosis.
- Puede ofrecer concretos con permeabilidad casi nula.
- Tiene una alta velocidad de reacción.

- Ofrece más del 90% de rendimiento que las mezclas con microsílíce, cemento y superplastificantes para el concreto.
- Es amistosa con el medio ambiente y con la salud de los operarios de sílice.
- Ofrece el mismo costo que usar microsílíce con superplastificantes y/o fibras asociados.
- Limita el desarrollo de corrosión ya que al obtener concretos más densos, no se permite el flujo de agua
- Puede ser usado en la industria del concreto armado, pretensado, postensado y prefabricado (Escobedo, 2014).

#### 2.2.3.3.2 *Desventajas.*

- No es comerciable ni de fácil adquisición.
- Su comercialización se da en gran cantidad (A partir de 200 kgf).
- Necesita de un buen control de curado.
- La calidad del concreto será perjudicada si se adiciona agua, cemento u otro aditivo.
- Al ser usado en cantidades pequeñas, requiere de un estricto control de dosificación (Molina y Chara, 2017).

## CAPÍTULO III

### 3. Caracterización de los materiales utilizados en la investigación

#### 3.1 Propiedades de los agregados

Como se indicó anteriormente, el agregado grueso a utilizar en la presente investigación será piedra chancada de T.M.N. ½” y arena gruesa, ambos obtenidos de la cantera “La Poderosa”.

##### 3.1.1 Análisis granulométrico.

Este es uno de los primeros ensayos en realizarse a los agregados. Mediante el análisis granulométrico se puede determinar si los agregados a utilizarse en obra cumplen las especificaciones de la misma. Los datos obtenidos con este ensayo también son importantes para la dosificación del concreto puesto que la gradación de los agregados influirá en sus características, tanto en estado fresco como endurecido.

El método de ensayo se puede resumir como la separación de una muestra seca de masa conocida a través de una serie de tamices, los cuales van de una abertura mayor a una menor de forma progresiva, para determinar la distribución del tamaño de las partículas que componen dicha muestra (NTP 400.012, 2013).

##### 3.1.1.1 Equipos y herramientas.

- Balanzas:
  - En el caso del agregado fino se debe usar (y se usó) una balanza con aproximación a 0.1 gf.
  - En el caso del agregado grueso o global se debe usar una balanza con aproximación a 0.5 gf como mínimo. En este caso se pudo usar una balanza con una aproximación mayor (0.1 gf).

- Tamices:
  - En el caso del agregado fino se utilizaron los tamices normalizados 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200.
  - En el caso del agregado grueso se utilizaron los tamices normalizados 3/4", 1/2", 3/8" y #4.
- Horno:
  - Se deben secar las muestras a ensayar a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en caso estén húmedas.
- Agitador mecánico.
- Bandejas metálicas.
- Cucharones.

#### **3.1.1.2 Procedimiento.**

1. Tomar una muestra del agregado a ensayarse. En este caso se tomaron 3 muestras (de 3 sacos al azar) para poder determinar una distribución promedio de partículas.
2. Pesar una cantidad de agregado grueso mayor o igual a los establecido en la Tabla A.1 del Anexo A de la norma NTP 400.012. Para el agregado fino la cantidad mínima es de 300 gf.
3. Ordenar los tamices de mayor a menor abertura.
4. Colocar la muestra de agregado por la parte superior de la pila de tamices y tapar.
5. Colocar la pila de tamices en el agitador mecánico, encenderlo y dejarlo trabajar por un tiempo prudente, el cual no puede ser mayor a 10 minutos, ya que puede ocasionar degradación de la muestra. En este caso fueron 3 minutos.
6. Concluido el tiempo de tamizado mecánico, pesar el material retenido por cada tamiz.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 400.012.

### 3.1.1.3 Cálculos.

- Para cada tamiz usado se calcula lo siguiente:

1. El porcentaje retenido de material sobre el total de material luego del tamizado.

$$\%Retenido = \frac{\text{Peso retenido por el tamiz}}{\text{Total de material luego de tamizado}} * 100 \quad (1)$$

2. El porcentaje retenido acumulado del material.

$$\text{Primer \%Retenido acumulado} = \%Ret. \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Segundo a último \%Retenido acumulado} \\ = \%Ret. + \%Ret. \text{ acum. del tamiz anterior} \end{aligned} \quad (3)$$

3. El porcentaje pasante del material.

$$\%Pasante = 100\% - \%Retenido \text{ acumulado del tamiz} \quad (4)$$

- Calcular el módulo de fineza de los agregados de la siguiente manera:

$$MF = \frac{\sum \%Ret. \text{ acum. } (\#100, \#50, \#30, \#16, \#8, \#4, 3/8", 3/4", 1 1/2" \dots \text{ demás tamices en relación 2 a 1})}{100} \quad (5)$$

- Finalmente, dibujar la curva granulométrica, realizando un gráfico de Abertura de tamiz (mm) vs % Pasante, donde el primer dato se coloca en el eje las abscisas, en escala logarítmica, y el segundo dato en el eje de las ordenadas, en escala natural.
- Para el agregado fino, la curva granulométrica resultante deberá estar comprendida dentro de los siguientes rangos según la norma NTP 400.037:

Tabla 2

*Requisitos granulométricos para el agregado fino de acuerdo a NTP 400.037.*

Tamiz	Porcentaje que pasa	
9.5 mm (3/8 pulg.)	100	-
4.75 mm (#4)	95	100
2.36 mm (#8)	80	100
1.18 mm (#16)	50	85
600 $\mu\text{m}$ (#30)	25	60
300 $\mu\text{m}$ (#50)	5	30
150 $\mu\text{m}$ (#100)	0	10
75 $\mu\text{m}$ (#200)	0	3 <sup>A,B</sup>

**Nota:** <sup>A</sup> Para concreto no sujeto a la abrasión, el límite para el material más fino que el tamiz #200 debe ser máximo 5%. <sup>B</sup> Para agregado fino artificial u otros reciclados, si el material más fino que el tamiz #200 es polvo de trituración libre de arcillas o esquistos, este límite debe ser 5% para concreto sujeto a abrasión y 7% como máximo para concreto no sujeto a abrasión. Fuente: Adaptación de Tabla 1 de la norma NTP 400.037 (2018).

- Para el agregado grueso, la curva granulométrica resultante deberá estar comprendida dentro de los siguientes rangos según la norma NTP 400.037, dependerá del tamaño máximo nominal del agregado:

Tabla 3

Requisitos granulométricos para el agregado grueso de acuerdo a NTP 400.037.

Huso	T.M.N.		Porcentaje que pasa por los tamices normalizados para agregado grueso																													
	mm	pulg.	100 mm 4"		90 mm 3 1/2"		75 mm 3"		63 mm 2 1/2"		50 mm 2"		37.5 mm 1 1/2"		25 mm 1"		19 mm 3/4"		12.5 mm 1/2"		9.5 mm 3/8"		4.75 mm N°4		2.36 mm N°8		1.18 mm N°16		0.30 mm N°50			
			Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.	Inf.	Sup.		
1	90 - 37.5	3 1/2" - 1 1/2"	-	100	90	100	-	-	25	60	-	-	0	15	-	-	0	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	63 - 37.5	2 1/2" - 1 1/2"	-	-	-	-	-	100	90	100	35	70	0	15	-	-	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	50 - 25	2" - 1"	-	-	-	-	-	-	-	100	90	100	35	70	0	15	-	-	0	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
357	50 - 4.75	2" - N°4	-	-	-	-	-	-	-	100	95	100	-	-	35	70	-	-	10	30	-	-	0	5	-	-	-	-	-	-	-	
4	37.5 - 19	1 1/2" - 3/4"	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90	100	20	55	0	5	-	-	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
467	37.5 - 4.75	1 1/2" - N°4	-	-	-	-	-	-	-	-	100	95	100	-	-	35	70	-	-	10	30	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	25 - 12.5	1" - 1/2"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90	100	20	55	0	10	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
56	25 - 9.5	1" - 3/8"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90	100	40	85	10	40	0	15	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	
57	25 - 4.75	1" - N°4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	95	100	-	-	25	60	-	-	0	10	0	5	-	-	-	-	-	-	
6	19 - 9.5	3/4" - 3/8"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90	100	20	55	0	15	0	5	-	-	-	-	-	-	-	-	
67	19 - 4.75	3/4" - N°4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90	100	-	-	20	55	0	10	0	5	-	-	-	-	-	-	
7	12.5 - 4.75	1/2" - N°4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90	100	40	70	0	15	0	5	-	-	-	-	-	-	-	
8	9.5 - 2.36	3/8" - N°8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85	100	10	30	0	10	0	5	-	-	-	-	
89	9.5 - 1.18	3/8" - N°16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90	100	25	55	5	30	0	10	0	5	-	-	
9	4.75 - 1.18	N°4 - N°16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85	100	10	40	0	10	0	5	-	-	

Fuente: Adaptación de Tabla 4 de la norma NTP 400.037 (2018).

**3.1.1.4 Datos y resultados.**

**3.1.1.4.1 Agregado grueso – Piedra chancada de ½”.**

- Según la Tabla 3, la gradación del agregado grueso utilizado debe encontrarse dentro de los límites definidos por el Huso 7.
- Para cada ensayo se tuvo un peso inicial de 3000 gf.

Tabla 4  
*Granulometría de agregado grueso M1.*

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0.00	0.00	100.00
1"	25	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	103	3.43	3.43	96.57
3/8"	9.5	461.7	15.40	18.83	81.17
#4	4.75	2088.1	69.63	88.46	11.54
Fondo		346.2	11.54	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>2999.00</b>	<b>100.00</b>	-	-

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

**Módulo de fineza 6.07**

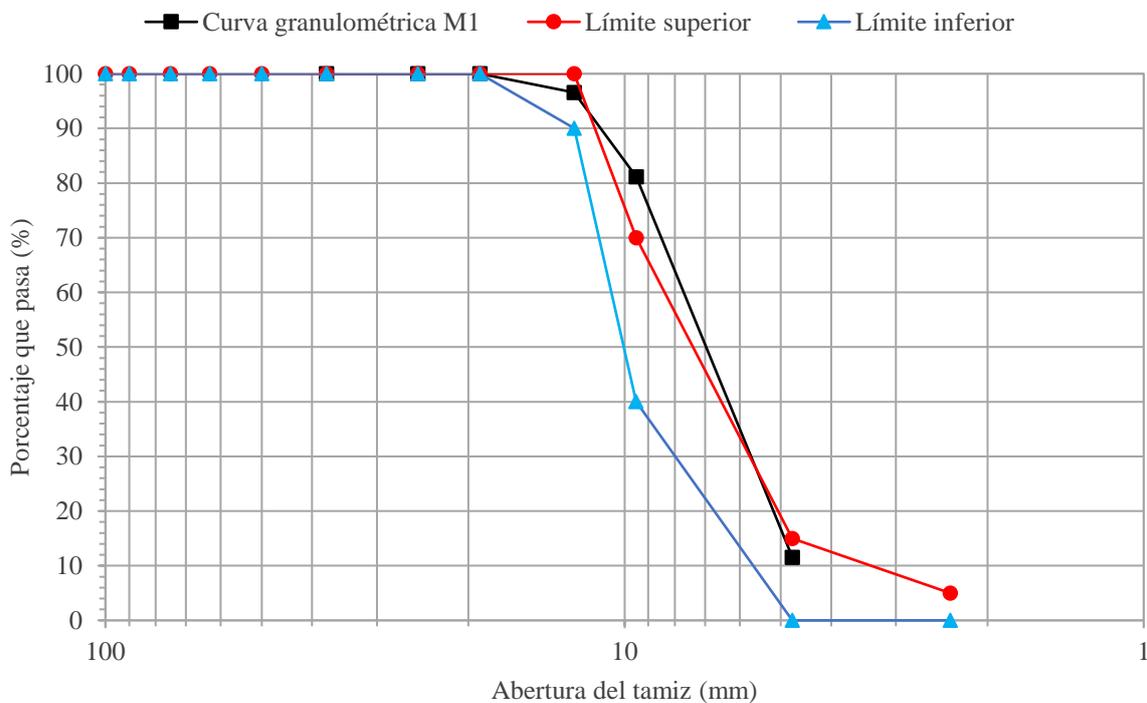


Figura 1: Curva granulométrica M1 del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5  
*Granulometría de agregado grueso – M2.*

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0.00	0.00	100.00
1"	25	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	169.5	5.65	5.65	94.35
3/8"	9.5	606.3	20.22	25.88	74.12
#4	4.75	1983	66.14	92.02	7.98
Fondo		239.3	7.98	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>2998.10</b>	<b>100.00</b>	-	-

**Fuente:** Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

Módulo de fineza 6.18

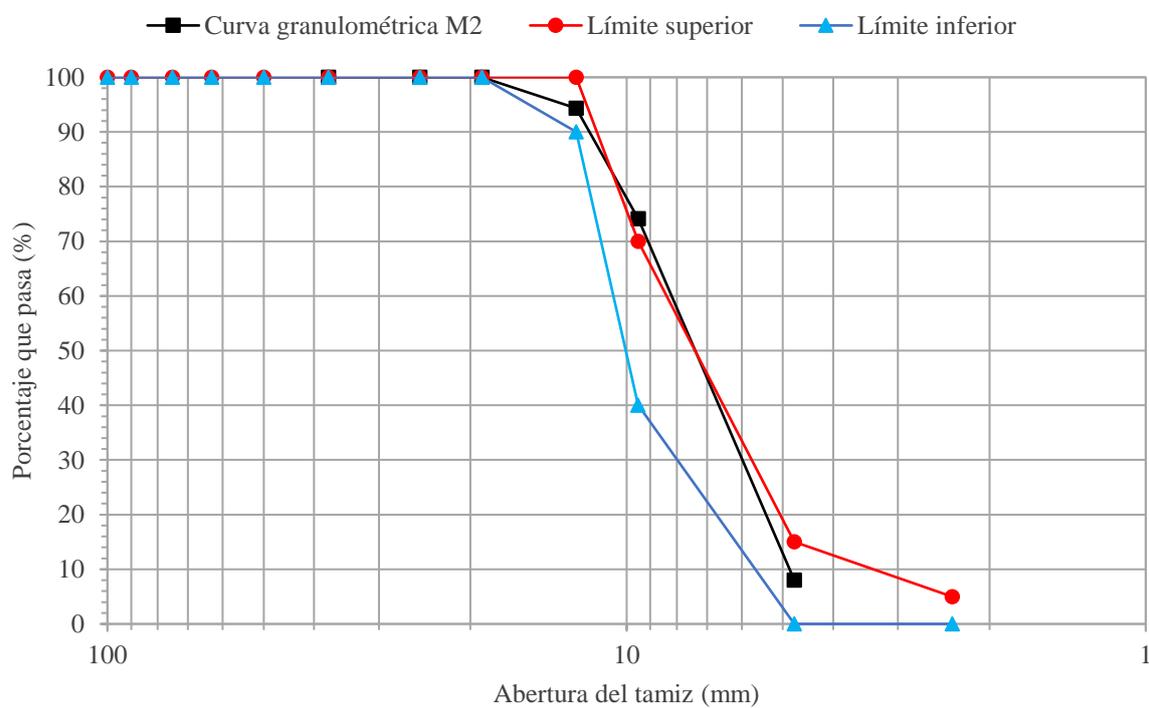


Figura 2: Curva granulométrica M2 del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6  
*Granulometría de agregado grueso – M3.*

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0.00	0.00	100.00
1"	25	0	0.00	0.00	100.00
3/4"	19	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	196	6.54	6.54	93.46
3/8"	9.5	696.4	23.23	29.77	70.23
#4	4.75	1924.5	64.21	93.98	6.02
Fondo		180.4	6.02	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>2997.30</b>	<b>100.00</b>	-	-

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

Módulo de fineza 6.24

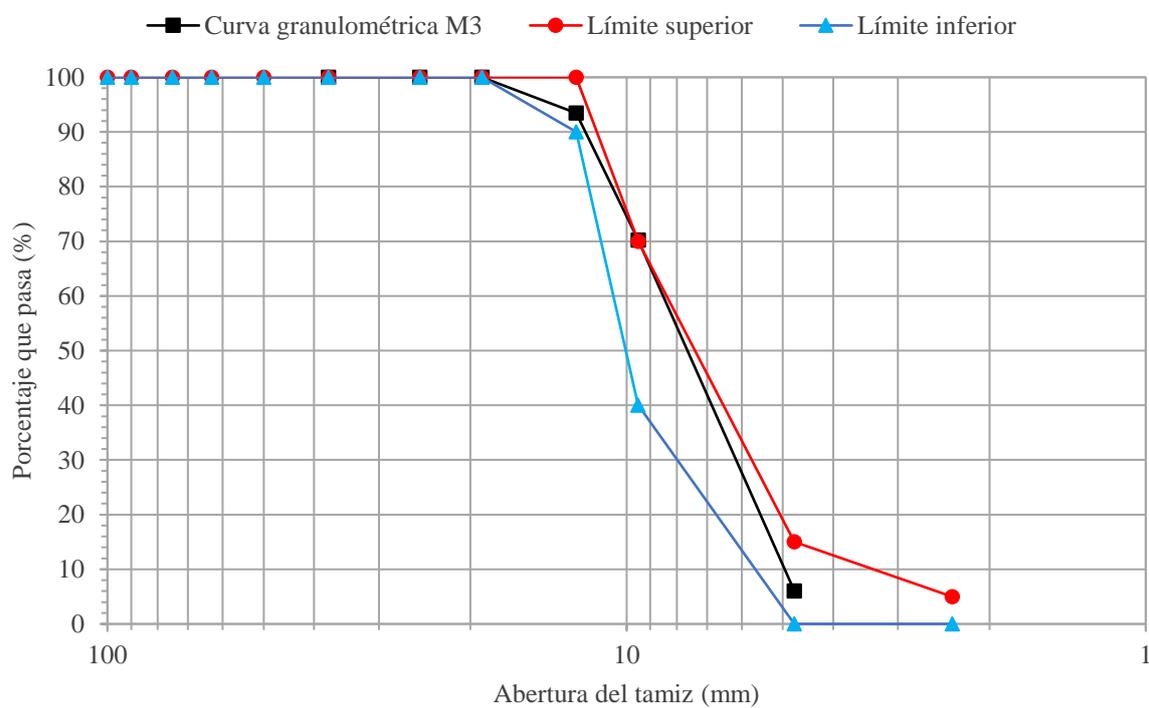


Figura 3: Curva granulométrica M3 del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7  
*Granulometría de agregado grueso – Promedio.*

Muestras	M1	M2	M3	Promedio	M1	M2	M3	Promedio	
Malla	Abertura (mm)	% Retenido acumulado			% Pasante				
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>	100.00	100.00	100.00	<b>100.00</b>
1"	25	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>	100.00	100.00	100.00	<b>100.00</b>
3/4"	19	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>	100.00	100.00	100.00	<b>100.00</b>
1/2"	12.5	3.43	5.65	6.54	<b>5.21</b>	96.57	94.35	93.46	<b>94.79</b>
3/8"	9.5	18.83	25.88	29.77	<b>24.83</b>	81.17	74.12	70.23	<b>75.17</b>
#4	4.75	88.46	92.02	93.98	<b>91.49</b>	11.54	7.98	6.02	<b>8.51</b>
Fondo		100.00	100.00	100.00	<b>100.00</b>	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

Módulo de fineza 6.16

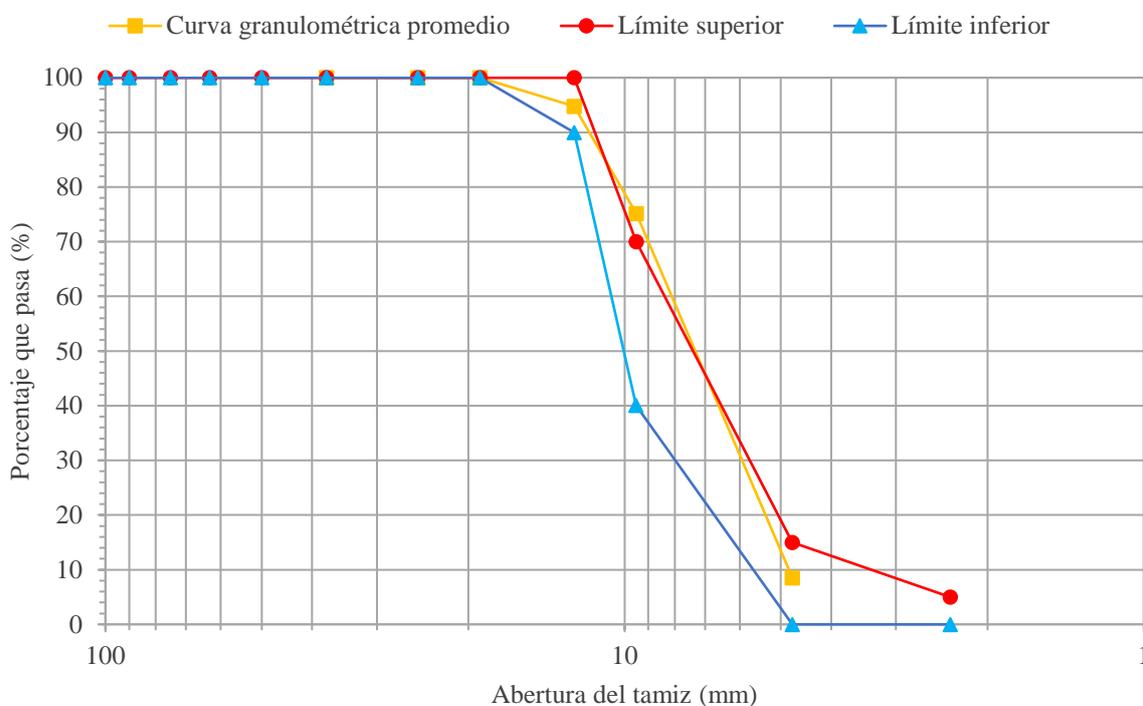


Figura 4: Curva granulométrica promedio del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 4, la curva granulométrica promedio del agregado grueso sale un poco de los límites, esto debido a la presencia de menos retenido en la malla 3/8" de lo requerido, sin embargo, ya que la mayor parte de la curva se encuentra dentro de estos límites, se asumirá que este cumple con los requisitos de la NTP 400.037.

3.1.1.4.2 Agregado fino – Arena gruesa.

- Para cada ensayo se tuvo un peso inicial de 500 gf.

Tabla 8

Granulometría de agregado fino – M1.

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.75	1.40	0.28	0.28	99.72
#8	2.36	23.10	4.62	4.90	95.10
#16	1.18	50.40	10.09	14.99	85.01
#30	0.6	120.80	24.17	39.16	60.84
#50	0.3	162.70	32.56	71.72	28.28
#100	0.15	88.10	17.63	89.35	10.65
#200	0.075	34.00	6.80	96.16	3.84
Fondo		19.20	3.84	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>499.70</b>	<b>100.00</b>	-	-

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

Módulo de fineza 2.20

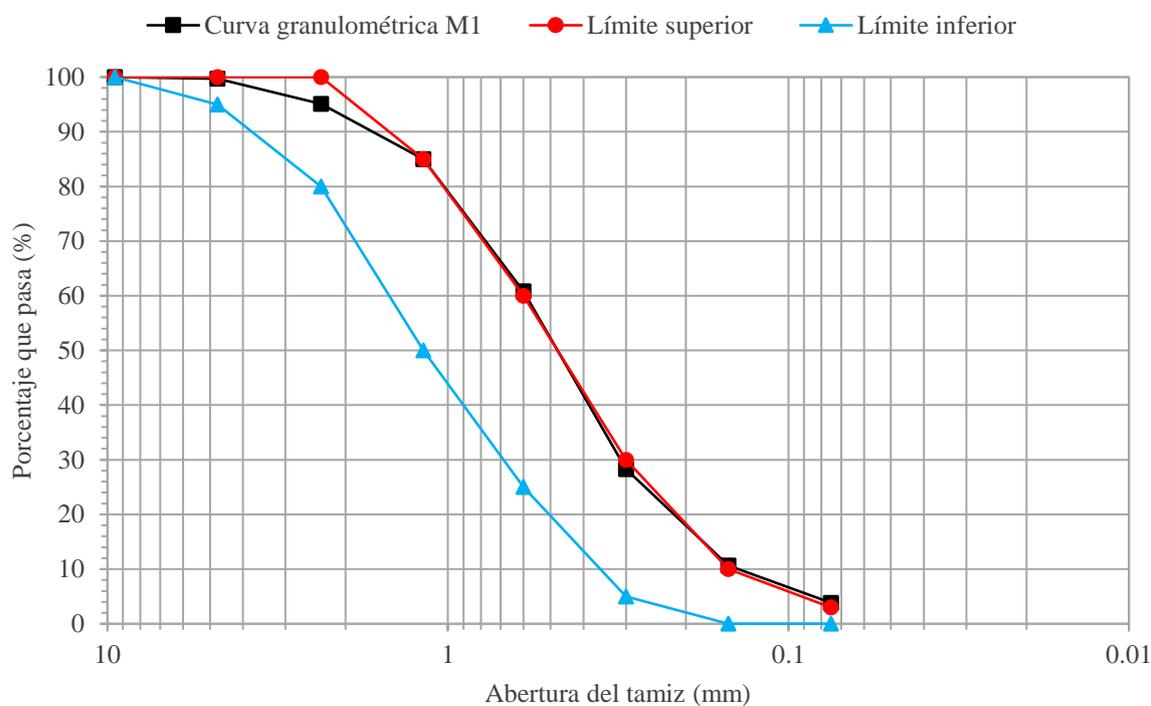


Figura 5: Curva granulométrica M1 del agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9  
*Granulometría de agregado fino – M2.*

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.00	100.00
#4	4.75	1.70	0.34	0.34	99.66
#8	2.36	31.00	6.21	6.55	93.45
#16	1.18	60.40	12.09	18.64	81.36
#30	0.6	127.80	25.59	44.22	55.78
#50	0.3	162.30	32.49	76.72	23.28
#100	0.15	77.00	15.42	92.13	7.87
#200	0.075	25.80	5.17	97.30	2.70
Fondo		13.50	2.70	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>499.50</b>	<b>100.00</b>	-	-

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

Módulo de fineza 2.39

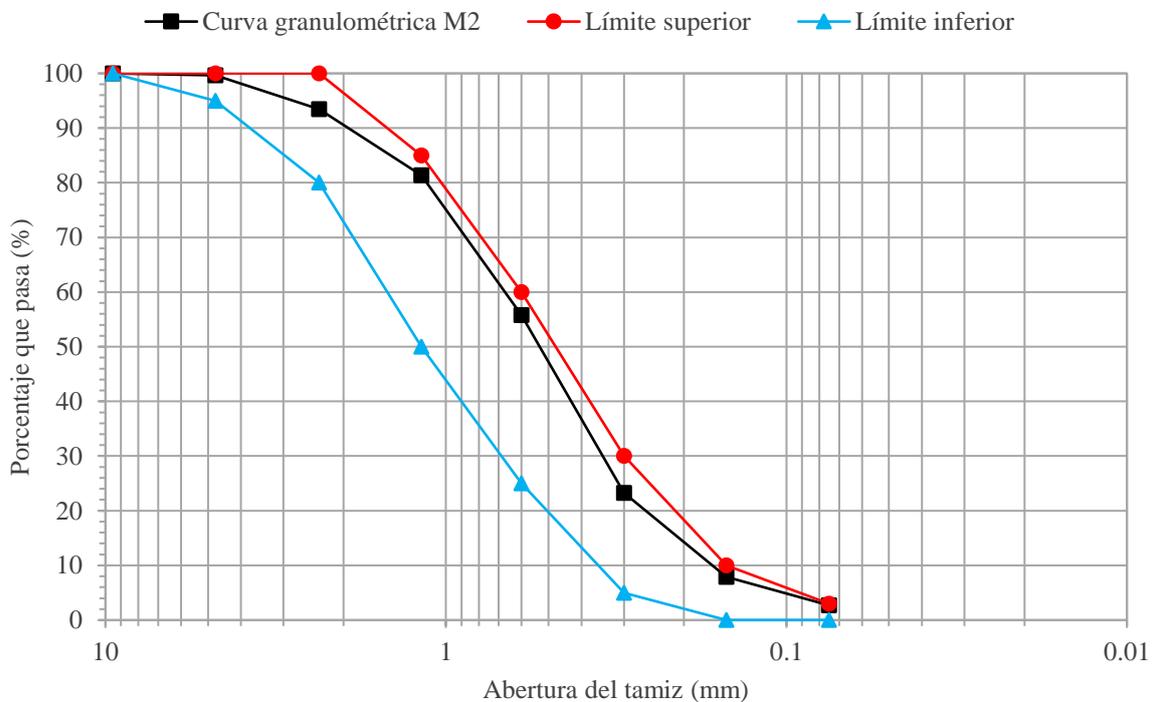


Figura 6: Curva granulométrica M2 del agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10  
*Granulometría de agregado fino – M3.*

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	1.80	0.36	0.36	99.64
#4	4.75	4.70	0.94	1.30	98.70
#8	2.36	32.10	6.44	7.74	92.26
#16	1.18	60.20	12.07	19.81	80.19
#30	0.6	124.30	24.92	44.73	55.27
#50	0.3	155.10	31.09	75.82	24.18
#100	0.15	78.10	15.66	91.48	8.52
#200	0.075	28.00	5.61	97.09	2.91
Fondo		14.50	2.91	100.00	0.00
<b>Total</b>		<b>498.80</b>	<b>100.00</b>	-	-

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

Módulo de fineza 2.41

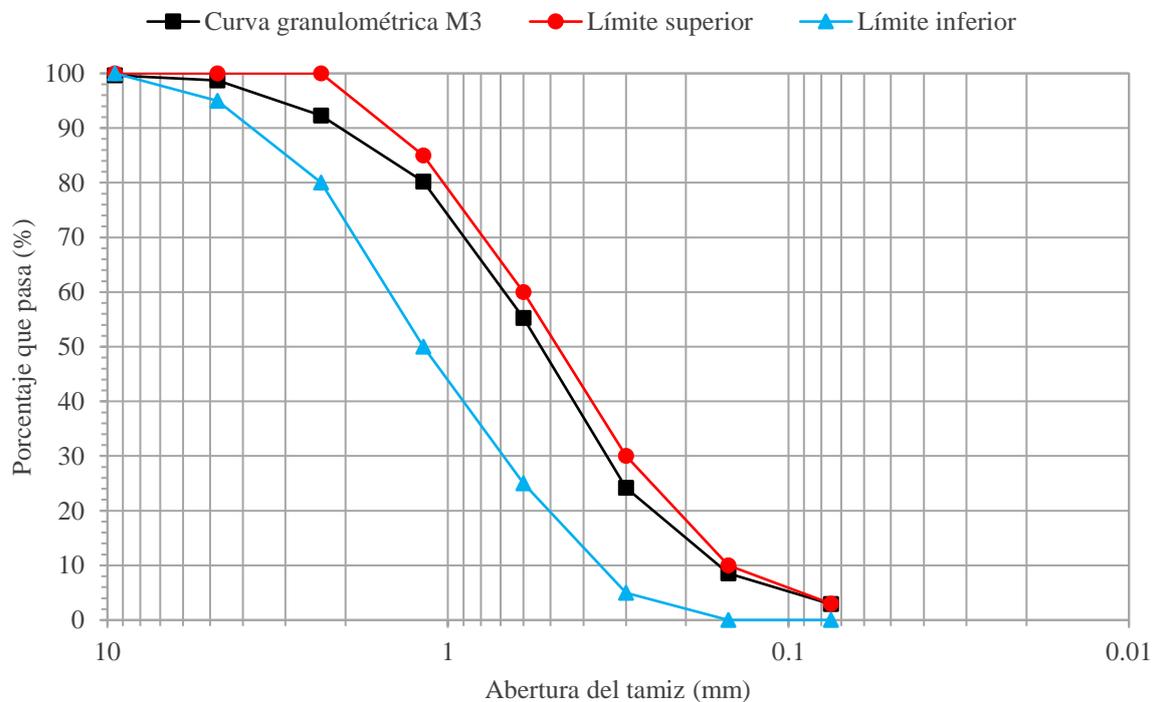


Figura 7: Curva granulométrica M3 del agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11  
*Granulometría de agregado fino - Promedio.*

Muestras	M1	M2	M3	Promedio	M1	M2	M3	Promedio	
Malla	Abertura (mm)	% Retenido acumulado				% Pasante			
3/8"	9.5	0.00	0.00	0.36	<b>0.12</b>	100.00	100.00	99.64	<b>99.88</b>
#4	4.75	0.28	0.34	1.30	<b>0.64</b>	99.72	99.66	98.70	<b>99.36</b>
#8	2.36	4.90	6.55	7.74	<b>6.40</b>	95.10	93.45	92.26	<b>93.60</b>
#16	1.18	14.99	18.64	19.81	<b>17.81</b>	85.01	81.36	80.19	<b>82.19</b>
#30	0.6	39.16	44.22	44.73	<b>42.71</b>	60.84	55.78	55.27	<b>57.29</b>
#50	0.3	71.72	76.72	75.82	<b>74.75</b>	28.28	23.28	24.18	<b>25.25</b>
#100	0.15	89.35	92.13	91.48	<b>90.99</b>	10.65	7.87	8.52	<b>9.01</b>
#200	0.075	96.16	97.30	97.09	<b>96.85</b>	3.84	2.70	2.91	<b>3.15</b>
Fondo		100.00	100.00	100.00	<b>100.00</b>	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

Módulo de fineza 2.33

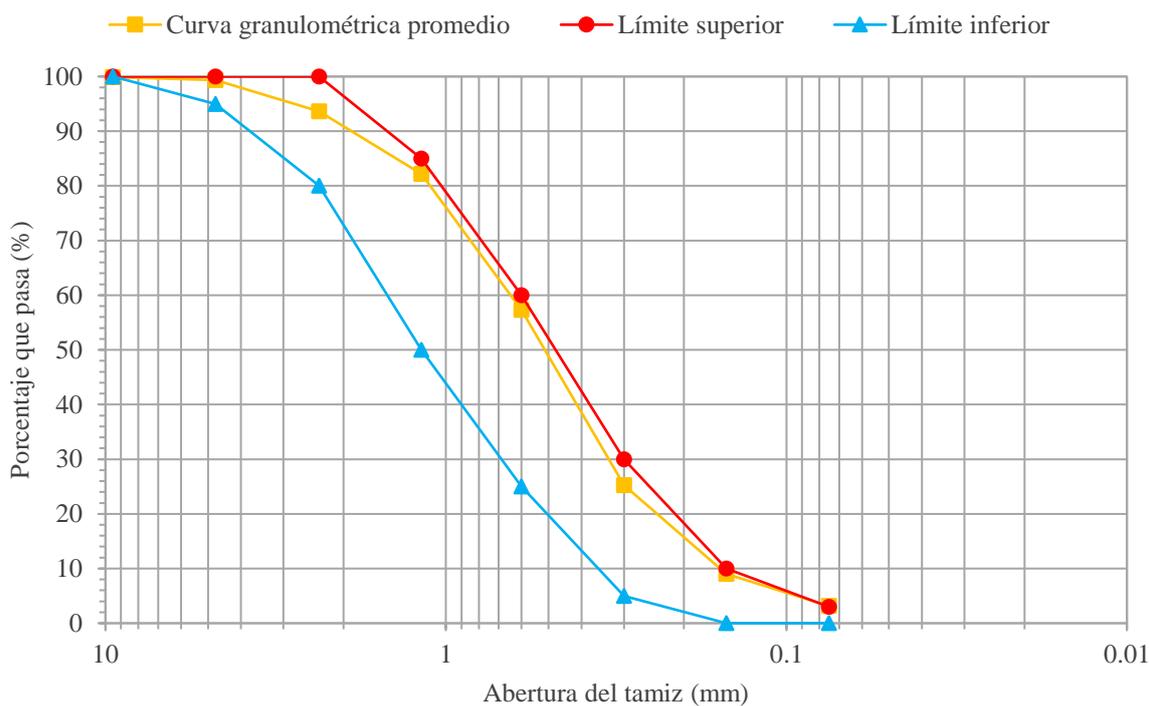


Figura 8: Curva granulométrica promedio del agregado fino. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 8, la curva granulométrica promedio del agregado fino cumple con los límites establecidos por la norma NTP 400.037.

### 3.1.2 Peso unitario suelto y compactado.

Se pueden distinguir dos tipos: peso unitario suelto y peso unitario compactado.

El peso unitario suelto es aquel peso que el agregado tiene cuando se encuentra en estado de reposo. Este dato es importante para el transporte del agregado, pues se debe tener en cuenta que el volumen en estado suelto es mayor al que tendrá dentro de la mezcla de concreto (Sánchez De Guzmán, 2001).

Por otro lado, el peso unitario compactado resulta del cociente entre el peso del agregado y el volumen que ocupan sus partículas, incluyendo los vacíos entre ellas, luego de ser sometidas a vibración.

La norma NTP 400.017 indica el procedimiento de ensayo.

#### 3.1.2.1 *Equipos y herramientas.*

- Balanzas:
  - Se debe usar una balanza con una aproximación mínima de 50 gf. En este caso se pudo usar una balanza con una aproximación mayor (0.5 gf).
- Varilla de apisonado:
  - Se debe usar (y se usó) una varilla lisa de acero, de 16 mm de diámetro y aproximadamente 600 mm de longitud, teniendo uno o ambos extremos de forma redondeada tipo semi-esférica con 16 mm de diámetro.
- Recipiente:
  - Se debe usar un recipiente cilíndrico, metálico, con asas, hermético, a prueba de agua, con bordes firmes, paredes suficientemente rígidas para no deformarse bajo condiciones de uso severas, con pared interior lisa y de superficie continua. La capacidad del recipiente, así como el espesor del metal en el mismo, estarán conforme a las siguientes tablas:

Tabla 12

*Capacidad de recipiente dependiente de TMN de acuerdo a NTP 400.017.*

Tamaño máximo nominal del agregado		Capacidad del recipiente	
mm	Pulg.	m <sup>3</sup>	p <sup>3</sup>
12.5	1/2	0.0028	1/10
25	1	0.0093	1/3
37.5	1 1/2	0.14	1/2
75	3	0.028	1
100	4	0.07	2 ½
125	5	0.1	3 ½

**Fuente: Adaptación de Tabla 1 de la norma NTP 400.017 (2011).**

Tabla 13

*Requisitos para los recipientes de acuerdo a NTP 400.017.*

Capacidad del recipiente	Espesor del metal, mín.		
	Base	Sobre 38mm de pared	Resto de pared
menor que 11 L	5,0 mm	2,5mm	2,5mm
11 a 42 L inc	5,0 mm	5,0 mm	3,0 mm
de 42 a 80 L inc	10,0 mm	6,4 mm	3,8 mm
de 80 a 133 L inc	13,0 mm	7,6 mm	5,0 mm
menos que 0,4 p <sup>3</sup>	0,20 pulg.	0,10 pulg.	0,10 pulg.
de 0,4 a 1,5 p <sup>3</sup>	0,20 pulg.	0,20 pulg.	0,12 pulg.
de 1,5 a 2,8 p <sup>3</sup>	0,40 pulg.	0,25 pulg.	0,15 pulg.
De 2,8 a 4,0 p <sup>3</sup>	0,50 pulg.	0,30 pulg.	0,20 pulg.

**Fuente: Adaptación de Tabla 2 de la norma NTP 400.017 (2011).**

- Dado el tamaño máximo nominal del agregado grueso (½"), la capacidad mínima a usarse tanto para agregado grueso como para agregado fino, de acuerdo a la Tabla 12, fue 1/10 p<sup>3</sup>.

- Bandejas metálicas y cucharones.

### 3.1.2.2 Procedimiento.

- Tomar muestras del agregado a ensayarse. En este caso se tomaron 3 muestras (de 3 sacos al azar) para poder determinar un peso unitario promedio.

#### 3.1.2.2.1 Peso unitario suelto (P.U.S.).

1. Llenar el recipiente el cucharón hasta que reboce, descargando el agregado desde una altura que no mayor a 50 mm por encima del borde superior del mismo. Se debe evitar la segregación del tamaño de las partículas constituyentes de la muestra.

2. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que las partículas que sobresalgan del recipiente compensen los vacíos en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.
3. Determinar el peso total (recipiente más su contenido), y el peso del recipiente vacío, y anotar los valores con exactitud de 50 gf o mayor si es posible.

3.1.2.2.2 *Peso unitario compactado (P.U.C.).*

1. Llenar un tercio del recipiente y nivelar la superficie con los dedos.
2. Varillar el agregado con 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie.
3. Llenar hasta los 2 tercios del recipiente, nuevamente nivelar y varillar de la misma forma.
4. Finalmente, llenar el recipiente hasta rebosar su capacidad y varillar como se indicó anteriormente.
5. Nivelar la superficie del agregado con los dedos o una espátula de manera que las partículas que sobresalgan del recipiente compensen los vacíos en la superficie por debajo de la parte superior del recipiente.
6. Cuando se varille la primera capa de agregado se debe evitar golpear con fuerza el fondo del recipiente. En el varillado de las siguientes capas se debe aplicar un esfuerzo vigoroso, pero tal que no se pueda penetrar la capa anterior de agregado.
7. Determinar el peso total (recipiente más su contenido), y el peso del recipiente vacío, y anotar los valores con exactitud de 50 gf o mayor si es posible.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 400.017.

### 3.1.2.3 Cálculos.

1. Calcular el volumen del recipiente en m<sup>3</sup> con los datos de diámetro (D) y altura (H) promedio de 3 mediciones sucesivas.

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * H \quad (6)$$

2. Determinar el peso unitario suelto y compactado de los agregados en kgf/m<sup>3</sup>.

$$P.U. = \frac{\text{Peso recip. + muestra} - \text{Peso recip.}}{V} \quad (7)$$

### 3.1.2.4 Datos y resultados.

#### 3.1.2.4.1 Agregado grueso – Piedra chancada de ½”.

Tabla 14

*Medidas del recipiente usado para peso unitario del agregado grueso.*

Dimensiones	Medidas				Promedio
	1	2	3	4	
Altura (cm)	15.45	15.40	15.40	15.40	15.41
Diámetro (cm)	15.20	15.15	15.20	15.20	15.19

**Fuente:** Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

**Volumen (cm<sup>3</sup>)** 2792.13

Tabla 15

*Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – M1.*

Código	Descripción	Unidad	P.U.S.	P.U.C.
P	Peso del molde	gf	1646.00	1646.00
V	Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2792.13	2792.13
M1	Peso del agregado + molde 1	gf	5876.00	6249.50
M2	Peso del agregado + molde 2	gf	5846.50	6236.50
M3	Peso del agregado + molde 3	gf	5830.00	6195.00
W1	Peso del agregado 1	gf	4230.00	4603.50
W2	Peso del agregado 2	gf	4200.50	4590.50
W3	Peso del agregado 3	gf	4184.00	4549.00
	<b>PESO PROMEDIO</b>	<b>gf</b>	<b>4204.83</b>	<b>4581.00</b>

**Fuente:** Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

#### Resultados M1

Peso unitario suelto	gf/cm <sup>3</sup> <b>1.506</b>	Peso unitario compactado	gf/cm <sup>3</sup> <b>1.641</b>
	kgf/m <sup>3</sup> <b>1505.96</b>		kgf/m <sup>3</sup> <b>1640.68</b>

Tabla 16

*Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – M2.*

Código	Descripción	Unidad	P.U.S.	P.U.C.
P	Peso del molde	gf	1646.00	1646.00
V	Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2792.13	2792.13
M1	Peso del agregado + molde 1	gf	5862.50	6197.00
M2	Peso del agregado + molde 2	gf	5842.50	6252.50
M3	Peso del agregado + molde 3	gf	5841.00	6210.50
W1	Peso del agregado 1	gf	4216.50	4551.00
W2	Peso del agregado 2	gf	4196.50	4606.50
W3	Peso del agregado 3	gf	4195.00	4564.50
<b>PESO PROMEDIO</b>		<b>gf</b>	<b>4202.67</b>	<b>4574.00</b>

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

**Resultados M2**

Peso unitario suelto	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.505</b>	Peso unitario compactado	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.638</b>
	kgf/m <sup>3</sup>	<b>1505.18</b>		kgf/m <sup>3</sup>	<b>1638.18</b>

Tabla 17

*Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – M3.*

Código	Descripción	Unidad	P.U.S.	P.U.C.
P	Peso del molde	gf	1646.00	1646.00
V	Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2792.13	2792.13
M1	Peso del agregado + molde 1	gf	5894.50	6215.00
M2	Peso del agregado + molde 2	gf	5853.00	6223.50
M3	Peso del agregado + molde 3	gf	5878.00	6180.50
W1	Peso del agregado 1	gf	4248.50	4569.00
W2	Peso del agregado 2	gf	4207.00	4577.50
W3	Peso del agregado 3	gf	4232.00	4534.50
<b>PESO PROMEDIO</b>		<b>gf</b>	<b>4229.17</b>	<b>4560.33</b>

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

**Resultados M3**

Peso unitario suelto	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.515</b>	Peso unitario compactado	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.633</b>
	kgf/m <sup>3</sup>	<b>1514.67</b>		kgf/m <sup>3</sup>	<b>1633.28</b>

Tabla 18

*Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – Promedio.*

Muestra	Und	P.U.S.	P.U.C.
M1		1505.96	1640.68
M2	kgf/m <sup>3</sup>	1505.18	1638.18
M3		1514.67	1633.28
<b>PROMEDIO</b>		<b>1508.61</b>	<b>1637.38</b>

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

3.1.2.4.2 Agregado fino – Arena gruesa.

Tabla 19

*Medidas del recipiente usado para peso unitario del agregado fino.*

Dimensiones	Medidas				Promedio
	1	2	3	4	
Altura (cm)	15.40	15.40	15.40	15.45	15.41
Diámetro (cm)	15.20	15.25	15.25	15.20	15.23

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

**Volumen (cm<sup>3</sup>) 2805.93**

Tabla 20

*Peso unitario suelto y compactado del agregado fino – M1.*

Código	Descripción	Unidad	P.U.S.	P.U.C.
P	Peso del molde	gf	1647.50	1647.50
V	Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2805.93	2805.93
M1	Peso del agregado + molde 1	gf	5588.00	6159.00
M2	Peso del agregado + molde 2	gf	5605.00	6155.00
M3	Peso del agregado + molde 3	gf	5595.00	6149.00
W1	Peso del agregado 1	gf	3940.50	4511.50
W2	Peso del agregado 2	gf	3957.50	4507.50
W3	Peso del agregado 3	gf	3947.50	4501.50
	<b>PESO PROMEDIO</b>	<b>gf</b>	<b>3948.50</b>	<b>4506.83</b>

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

**Resultados M1**

Peso unitario suelto	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.407</b>	Peso unitario compactado	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.606</b>
	kgf/m <sup>3</sup>	<b>1407.20</b>		kgf/m <sup>3</sup>	<b>1606.18</b>

Tabla 21

*Peso unitario suelto y compactado del agregado fino – M2.*

Código	Descripción	Unidad	P.U.S.	P.U.C.
P	Peso del molde	gf	1647.50	1647.50
V	Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2805.93	2805.93
M1	Peso del agregado + molde 1	gf	5617.50	6143.00
M2	Peso del agregado + molde 2	gf	5616.50	6175.00
M3	Peso del agregado + molde 3	gf	5613.00	6166.50
W1	Peso del agregado 1	gf	3970.00	4495.50
W2	Peso del agregado 2	gf	3969.00	4527.50
W3	Peso del agregado 3	gf	3965.50	4519.00
	<b>PESO PROMEDIO</b>	<b>gf</b>	<b>3968.17</b>	<b>4514.00</b>

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

**Resultados M2**

Peso unitario suelto	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.414</b>	Peso unitario compactado	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.609</b>
	kgf/m <sup>3</sup>	<b>1414.20</b>		kgf/m <sup>3</sup>	<b>1608.73</b>

Tabla 22

*Peso unitario suelto y compactado del agregado fino – M3.*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>P.U.S.</b>	<b>P.U.C.</b>
P	Peso del molde	gf	1647.50	1647.50
V	Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	2805.93	2805.93
M1	Peso del agregado + molde 1	gf	5625.00	6182.50
M2	Peso del agregado + molde 2	gf	5626.50	6189.00
M3	Peso del agregado + molde 3	gf	5622.50	6195.50
W1	Peso del agregado 1	gf	3977.50	4535.00
W2	Peso del agregado 2	gf	3979.00	4541.50
W3	Peso del agregado 3	gf	3975.00	4548.00
	<b>PESO PROMEDIO</b>	<b>gf</b>	<b>3977.17</b>	<b>4541.50</b>

**Fuente:** Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

**Resultados M3**

Peso unitario suelto	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.417</b>	Peso unitario compactado	gf/cm <sup>3</sup>	<b>1.619</b>
	kgf/m <sup>3</sup>	<b>1417.41</b>		kgf/m <sup>3</sup>	<b>1618.53</b>

Tabla 23

*Peso unitario suelto y compactado del agregado fino – Promedio.*

<b>Muestra</b>	<b>Und</b>	<b>P.U.S.</b>	<b>P.U.C.</b>
M1		1407.20	1606.18
M2		1414.20	1608.73
M3	kgf/m <sup>3</sup>	1417.41	1618.53
<b>PROMEDIO</b>		<b>1412.94</b>	<b>1611.15</b>

**Fuente:** Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.

### 3.1.3 Peso específico y absorción.

Los procedimientos de ensayo están normalizados por las NTP 400.021 (agregado grueso) y NTP 400.022 (agregado fino). Estos ensayos tienen como objetivo calcular los valores de peso específico de masa, peso específico de masa saturado superficialmente seco, peso específico aparente y absorción. Los valores obtenidos en estos ensayos son importantes para una correcta dosificación del concreto.

#### 3.1.3.1 Agregado grueso – Piedra chancada de ½”.

##### 3.1.3.1.1 Equipos y herramientas.

- Balanza:
  - Deberá tener una aproximación de 0.5 gf ó 0.05% de la carga, la que sea mayor, y la capacidad de sostener una cesta de malla en un recipiente con agua. Se usó una balanza con aproximación de 1 gf (0.05% de la carga).
- Cesta con malla de alambre:
  - Se debe usar (y se usó) una cesta con una capacidad de 4L a 7L y deberá estar cubierta de una malla con abertura #6 o inferiores.
- Depósito de agua:
  - Con la capacidad necesaria para sumergir la cesta con malla de alambre.
- Tamices:
  - Un tamiz N° 4 (4.75 mm) u otros necesarios.
- Estufa:
  - Que permita mantener una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

##### 3.1.3.1.2 Procedimiento.

1. Se mezcla el material y se descarta aquel que pase por el tamiz N°4.
2. Secar la muestra hasta obtener un peso constante. Este paso puede omitirse en caso los valores de densidad relativa y absorción se usarán para dosificación de concreto.

3. Sumergir totalmente una porción de agregado durante un tiempo de  $24h \pm 4 h$ .
4. Colocar la muestra sobre un paño absorbente, remover la capa superficial de agua hasta que el agregado quede seco por fuera y saturado por dentro y pesar (este será considerado el peso “Wsss”). Se considerará un peso mínimo según la siguiente tabla:

Tabla 24

*Peso mínimo de muestra de ensayo de acuerdo a NTP 400.021.*

<b>Tamaño máximo nominal mm (pulg.)</b>	<b>Peso mínimo de la muestra de ensayo kgf (lbf)</b>
12.5 (1/2) o menos	2 (4.4)
19.0 (3/4)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1 ½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3 ½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
112 (4 ½)	50 (110)
125 (5)	75 (165)

**Fuente: Adaptación de la norma NTP 400.021 (2018).**

5. Inmediatamente después, la muestra saturada superficialmente seca se coloca en la canastilla de alambre y se obtiene el peso en agua, (este será considerado el peso “Wsa”). Se recomienda sacudir la cesta para eliminar el aire atrapado.
6. Dejar secar la muestra a una temperatura de  $110^{\circ} C \pm 5^{\circ}$  hasta que el peso sea constante, dejar enfriar y pesar (este será considerado el peso “Wo”).

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 400.021.

#### 3.1.3.1.3 Cálculos.

- Considerando la siguiente nomenclatura:
  - Peso seco (Wo).
  - Peso saturado superficialmente seco (Wsss).

- Peso saturado ( $W_s$ ).

1. Calcular el peso específico de masa ( $PE_m$ ) en ( $\text{gf}/\text{cm}^3$ ).

$$PE_m = \frac{W_o}{W_{sss} - W_{sa}} \quad (8)$$

2. Calcular el peso específico de masa saturado superficialmente seco ( $PE_{sss}$ ) en ( $\text{gf}/\text{cm}^3$ ).

$$PE_{sss} = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sa}} \quad (9)$$

3. Calcular el peso específico aparente ( $PE_a$ ) en ( $\text{gf}/\text{cm}^3$ ).

$$PE_a = \frac{W_o}{W_o - W_{sa}} \quad (10)$$

4. Calcular el porcentaje de absorción ( $\%Abs$ ).

$$\%Abs = \frac{W_{sss} - W_o}{W_o} * 100 \quad (11)$$

El resultado final será el promedio de 3 ensayos.

#### 3.1.3.1.4 Datos y resultados.

Tabla 25

*Datos para cálculo de pesos específicos y absorción del agregado grueso.*

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
P	Peso de canastilla sumergida en agua	gf	815.00
Wsss1	Peso saturado superficialmente seco de la muestra 1	gf	2002.20
Wsss2	Peso saturado superficialmente seco de la muestra 2	gf	2000.00
Wsss3	Peso saturado superficialmente seco de la muestra 3	gf	2065.00
	Peso de canastilla sumergida + muestra sumergida 1	gf	2078.00
	Peso de canastilla sumergida + muestra sumergida 2	gf	2075.00
	Peso de canastilla sumergida + muestra sumergida 3	gf	2123.00
Wsa1	Peso sumergido de la muestra 1	gf	1263.00
Wsa2	Peso sumergido de la muestra 2	gf	1260.00
Wsa3	Peso sumergido de la muestra 3	gf	1308.00
Wo1	Peso seco de la muestra 1	gf	1979.40
Wo2	Peso seco de la muestra 2	gf	1978.50
Wo3	Peso seco de la muestra 3	gf	2046.50

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

Tabla 26

*Pesos específicos y absorción promedio del agregado grueso.*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Promedio</b>
PEm	Peso específico de masa		2.678	2.674	2.703	<b>2.685</b>
PEss	Peso específico de masa saturado superficialmente seco	gf/cm <sup>3</sup>	2.709	2.703	2.728	<b>2.713</b>
Pea	Peso específico aparente		2.763	2.754	2.771	<b>2.763</b>
%Abs	Porcentaje de absorción	%	1.152	1.087	0.904	<b>1.048</b>

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

### 3.1.3.2 Agregado fino – Arena gruesa.

#### 3.1.3.2.1 Equipos y herramientas.

- Balanza:
  - Deberá tener una aproximación de 0.1 gf, o mayor, y una precisión de 0.1% de la carga de ensayo.
- Picnómetro:
  - Se recomienda que tenga una capacidad de 500 cm<sup>3</sup> (este dato será considerado el volumen de la fiola “V”).
- Molde y pisón:
  - Especiales para ensayos superficiales de humedad: Las medidas específicas de ambos pueden ser encontrados en la norma NTP 400.022.
- Estufa:
  - Apta para mantener una temperatura de 110°C ± 5°C.

#### 3.1.3.2.2 Procedimiento.

1. Se mezcla el material y se descarta aquel que quede retenido en el tamiz N°4.
2. Secar la muestra hasta obtener un peso constante. Este paso puede omitirse en caso los valores de densidad relativa y absorción se usarán para dosificación de concreto.
3. Sumergir totalmente una porción de agregado durante un tiempo de 24h ± 4 h.
4. Verter el exceso de agua cuidadosamente evitando la pérdida de finos y colocar la muestra sobre una superficie plana no absorbente.

5. Dejar secar la muestra al aire, verificar que el secado sea homogéneo; se puede utilizar una estufa para acelerar el proceso, considerando que la muestra solo debe secarse superficialmente.
6. Realizar la prueba de humedad superficial para la cual primero se coloca el molde metálico en una superficie no absorbente (el diámetro mayor en la base), rellenos el molde con la muestra, compactar la muestra dando 25 golpes con el pisón (a una altura de 5 mm aproximadamente) y por último alzar el molde verticalmente. Si la muestra conserva su forma, se considerará que aún tiene humedad en su superficie, de lo contrario la mezcla estará lista para el siguiente paso.
7. Pesar 500 gf de muestra (este será considerado el peso “Wsss”) e insertarlos al picnómetro.
8. Agregar agua en un 90% de la capacidad máxima del picnómetro.
9. Eliminar las burbujas de aire de forma mecánica o por vibración externa.
10. Insertar agua al picnómetro hasta que esté lleno al 100% de su capacidad (500 cm<sup>3</sup>) (este será considerado el peso de agua añadida “Pa”).
11. Pesar el picnómetro con muestra y agua contenida.
12. Retirar la muestra del picnómetro.
13. Secar la muestra, hasta que alcance un peso constante (este será considerado el peso seco “Wo”).
14. Pesar el picnómetro vacío.
15. Pesar el picnómetro con agua en un 100% de su capacidad.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 400.022.

### 3.1.3.2.3 Cálculos.

– Considerando la siguiente nomenclatura:

- Peso seco ( $W_o$ ).
- Volumen de picnómetro o fiola ( $V$ ).
- Peso de agua añadida al picnómetro ( $P_a$ ).
- Peso saturado superficialmente seco ( $W_{sss}$ ).

1. Calcular la densidad de masa ( $D_m$ ) en ( $\text{gf}/\text{cm}^3$ ).

$$D_m = \frac{W_o}{V - P_a} \quad (12)$$

2. Calcular el peso específico saturado superficialmente seco ( $D_{sss}$ ) en ( $\text{gf}/\text{cm}^3$ ).

$$D_{sss} = \frac{W_{sss}}{V - P_a} \quad (13)$$

3. Calcular el peso específico aparente ( $D_a$ ) en ( $\text{gf}/\text{cm}^3$ ).

$$D_a = \frac{W_o}{(V - P_a) - (W_{sss} - W_o)} \quad (14)$$

4. Calcular el porcentaje de absorción ( $\%Abs$ ) en %.

$$\%Abs = \frac{W_{sss} - W_o}{W_o} * 100 \quad (15)$$

El resultado final será el promedio de 3 ensayos.

3.1.3.2.4 *Datos y resultados.*

Tabla 27

*Datos para cálculo de pesos específicos y absorción del agregado fino.*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>
V	Volumen de la fiola	cm <sup>3</sup>	500.00
Psss	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gf	500.00
Pf1	Peso de la fiola 1	gf	159.80
Pf2	Peso de la fiola 2	gf	162.20
Pf3	Peso de la fiola 3	gf	155.70
M1	Peso de la fiola + agua y muestra 1	gf	959.60
M2	Peso de la fiola + agua y muestra 2	gf	962.50
M3	Peso de la fiola + agua y muestra 3	gf	956.40
Pa1	Peso agua añadida al picnómetro 1	gf	299.80
Pa2	Peso agua añadida al picnómetro 2	gf	300.30
Pa3	Peso agua añadida al picnómetro 3	gf	300.70
Wo1	Peso seco de la muestra 1	gf	484.90
Wo2	Peso seco de la muestra 2	gf	484.30
Wo3	Peso seco de la muestra 3	gf	485.00

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

Tabla 28

*Pesos específicos y absorción promedio del agregado fino.*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>Promedio</b>
PEm	Peso específico de masa		2.422	2.425	2.434	<b>2.427</b>
PEsss	Peso específico de masa saturado superficialmente seco	gf/cm <sup>3</sup>	2.498	2.504	2.509	<b>2.503</b>
Pea	Peso específico aparente		2.620	2.632	2.632	<b>2.628</b>
%Abs	Porcentaje de absorción	%	3.114	3.242	3.093	<b>3.150</b>

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

### 3.1.4 Contenido de humedad.

Este ensayo tiene como objetivo determinar el volumen de agua contenida en los agregados expresado en porcentaje. La NTP 339.185 define los pasos a seguir para la realización del ensayo.

#### 3.1.4.1 Equipos y herramientas.

- Balanza:
  - Se debe usar una balanza sensible al 0.1% del peso de la muestra. En este caso se usó una balanza con una aproximación mayor (0.1 gf).
- Fuente de calor:
  - Podrá ser un horno capaz de mantener una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  u otras fuentes de calor (en caso no se requiera un control muy preciso de la humedad).  
En este caso se usó una estufa portátil.
- Recipiente para muestra:
  - Este debe ser resistente al calor y debe asegurar que la muestra no se derramará.
- Removedor:
  - Herramienta que facilite el manejo de la muestra.

### 3.1.4.2 Procedimiento.

1. Cuartear el material y obtener una muestra teniendo en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 29

*Tamaño de muestra de agregado para contenido de humedad de acuerdo a NTP 339.185.*

Tamaño máximo nominal mm (pulg.)	Peso mínimo de la muestra de ensayo kgf
4.75 (0.187) (No. 4)	0.5
9.5 (3/8)	1.5
12.5 (1/2)	2.0
19.0 (3/4)	3.0
25.5 (1)	4.0
37.5 (1 ½)	6.0
50 (2)	8.0
63 (2 ½)	10.0
75 (3)	13.0
90 (3 ½)	16.0
100 (4)	25.0
150 (6)	50.0

**Fuente: Adaptación de Tabla 1 de la norma NTP 339.185 (2013).**

2. Secar la muestra hasta obtener peso constante.
3. Dejar que la muestra enfríe hasta que sea fácil de manipular.
4. Pesar la muestra seca.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 339.185.

### 3.1.4.3 Cálculos.

- Considerando la siguiente nomenclatura:

- Masa de muestra húmeda (W).
- Masa de muestra seca (W<sub>o</sub>).

1. Calcular el contenido de humedad con la siguiente fórmula.

$$\omega = 100 * \frac{(W - W_o)}{W_o} \quad (16)$$

El resultado final será el promedio de 3 ensayos.

### 3.1.4.4 Datos y resultados.

Tabla 30

*Datos para cálculo del contenido de humedad de los agregados.*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Agregado fino</b>
W1	Peso de la muestra 1	gf	2000.00	500.00
W2	Peso de la muestra 2	gf	2000.00	500.00
W3	Peso de la muestra 3	gf	2000.00	500.00
Wo1	Peso de la muestra seca	gf	1992.95	497.29
Wo2	Peso de la muestra seca	gf	1993.20	497.70
Wo3	Peso de la muestra seca	gf	1993.71	498.42

**Fuente: Elaboración propia.**

Tabla 31

*Contenido de humedad promedio de los agregados.*

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Agregado fino</b>
w1	Contenido de humedad 1	%	0.354	0.545
w2	Contenido de humedad 2	%	0.341	0.462
w3	Contenido de humedad 3	%	0.315	0.317
<b>w</b>	<b>Contenido de humedad promedio</b>	<b>%</b>	<b>0.337</b>	<b>0.441</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.1.5 Resistencia a la abrasión.

Este ensayo tiene como objetivo demostrar la capacidad que tiene el agregado de resistir el desgaste por roce o fricción. Los resultados generalmente son utilizados para tener una idea de la calidad del agregado y también son importantes en los casos donde este será utilizado en un concreto sujeto a desgaste (Kosmatka et al., 2004). El ensayo está definido por la NTP 400.019.

#### 3.1.5.1 Equipos y herramientas.

- Máquina de los Ángeles:
  - Que cumpla con las especificaciones exigidas por la NTP 400.019.
- Tamiz:
  - N°12 normalizado de acuerdo a la NTP 350.001.
- Balanza:
  - Con exactitud al 0.1% de la carga de ensayo. En este caso se usó una balanza con mayor aproximación (0.1 gf).
- Carga abrasiva:
  - Consistirá en esferas de acero con diámetro entre 46 y 48 mm, y cada una tendrá un peso entre 390 y 445 gf. Dependiendo de la gradación de la muestra, la carga será como sigue:

Tabla 32

*Número de esferas y peso de la carga para ensayo de acuerdo a NTP 400.019.*

<b>Gradación</b>	<b>Número de esferas</b>	<b>Masa de la carga (gf)</b>
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

**Fuente: Adaptación de la norma NTP 400.019 (2014).**

Tabla 33

*Gradación de las muestras de ensayo de acuerdo a NTP 400.019.*

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado (gf)			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1 ½")	25.0 mm (1")	1250 ± 25	-	-	-
25.0 mm (1")	19.0 mm (¾")	1250 ± 25	-	-	-
19.0 mm (¾")	12.5 mm (½")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9.5 mm (3/8")	6.3 mm (¼")	-	-	2500 ± 10	-
6.3 mm (¼")	4.75 mm (N°4)	-	-	2500 ± 10	-
4.75 mm (N°4)	2.36 mm (N°8)	-	-	-	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

**Fuente: Adaptación de Tabla 1 de la norma NTP 400.019 (2014).**

### 3.1.5.2 Procedimiento.

1. Se cuartea el material y se obtiene una muestra considerando la Tabla 33.
2. Lavar y secar la muestra a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta obtener peso constante.
3. Colocar la muestra en la Máquina de los Ángeles y hacerla rotar entre 30 y 33 rpm por 500 revoluciones.
4. Terminada la rotación del equipo, extraer el material y tamizarlo por la malla N°12.
5. Lavar el material retenido por la malla N°12, secar y pesar. El lavado puede ser omitido en caso el material esté libre de revestimiento y polvo.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 400.019.

### 3.1.5.3 Cálculos.

- Calcular la pérdida de masa como porcentaje de la masa original, en peso.

$$\% \text{ desgaste} = 100 * \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \quad (17)$$

### 3.1.5.4 Datos y resultados.

Tabla 34

*Porcentaje de desgaste por abrasión e impacto en Máquina de los Ángeles.*

Gradación	Peso inicial (gf)	Peso retenido en tamiz N°12 seco (gf)	Peso retenido en tamiz N°12 lavado (gf)	% de desgaste seco	% de desgaste lavado
B	5000.4	4231	4202.4	15.39	15.96

**Fuente: Elaboración propia.**

Según la Tabla 7 “Resistencias mecánicas de los agregados gruesos” de la NTP 400.037, el desgaste por abrasión por el Método los Ángeles debe ser menor a 50%, por lo que **el agregado grueso utilizado en esta investigación cumple con este requerimiento, al tener un desgaste por abrasión de 15.96%.**

## 3.2 Propiedades del cemento

Como se indicó anteriormente, se usará dos tipos de cemento, I y IP, ambos de la marca Yura. En los anexos se podrá encontrar las fichas técnicas de estos materiales, donde se especifica su composición, uso y otros datos importantes.

### 3.2.1 Peso específico del cemento.

Se realizó el ensayo descrito en la NTP 334.005 para determinar la densidad del cemento Pórtland Yura tipo I debido a que, siendo un dato muy importante para la dosificación del concreto, no se especificaba en su ficha técnica. Para el cemento Pórtland Yura tipo IP se usó un valor de  $2.85 \text{ gf/cm}^3$ , de acuerdo a su ficha técnica.

#### 3.2.1.1 Equipos, herramientas y materiales.

- Balanza:
  - Debe ser capaz de pesar 200 gf con un error admisible de  $\pm 0.005$  gf. En este caso se usó una balanza con aproximación de 0.1 gf.
- Embudos:
  - Uno para líquidos y otro para el cemento.
- Termómetro:
  - Graduado en décimas de grado Celsius.
- Baño termorregulador:
  - Usado para mantener una temperatura constante y próxima de la temperatura ambiente.
- Frasco Volumétrico de Le Chatelier:
  - Es un frasco cuya forma y dimensiones deben estar esencialmente de acuerdo a la siguiente figura:

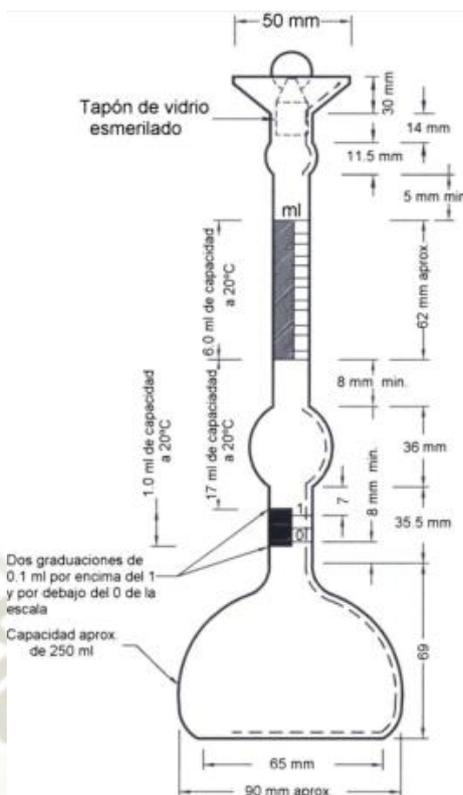


Figura 9: Frasco Le Chatelier de acuerdo a NTP 334.005 (2011).

- Líquido para ensayo:
  - Se usará kerosene libre de agua o de nafta, con una densidad mayor que 0,73 g/mL a  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 3.2.1.2 Procedimiento.

1. Llenar el frasco hasta un punto del cuello entre las marcas 0 mL y 1 mL. En caso sea necesario, se debe secar el interior del frasco cerca del nivel del líquido, después de llenarlo.
2. Registrar una primera lectura luego de introducir el líquido en el frasco.
3. Esperar unos minutos y registrar una segunda lectura. En caso no haya variación la lectura inicial será la primera, de otro modo, será la segunda.
4. Pesar 64 gf de cemento e introducirlo en el frasco en pequeñas porciones. Se debe evitar salpicaduras de cemento y que este se adhiera a las paredes interiores del frasco sobre del líquido.

5. Después que todo el cemento se haya introducido, colocar el tapón en el frasco y rodarlo en una posición inclinada, de manera que se libere el aire atrapado hasta que no se desprendan burbujas de aire de la superficie del líquido.
6. Tomar la lectura final.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 334.005.

### 3.2.1.3 Cálculos.

1. Anotar la diferencia entre la lectura inicial y final, la cual representa el volumen de líquido desplazado por el cemento.
2. Calcular el peso específico de la siguiente manera:

$$\rho \left( \frac{gf}{cm^3} \right) = \frac{\text{Peso de cemento (64 gf)}}{\text{Volumen desplazado (ml)}} \quad (18)$$

### 3.2.1.4 Datos y resultados.

Tabla 35

*Datos para cálculo de densidad de cemento Pórtland Yura tipo I.*

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
P	Peso de la muestra	gf	64
Lo	Lectura inicial	-	0.4
Lo'	Lectura pasados 5 min	-	0.6
Lo1	Lectura inicial real	ml	0.6
Lf	Lectura final luego de echar el cemento	ml	21.6
V	Volumen desplazado luego de echar el cemento	ml	21

**Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales de Semilleros.**

$$\rho = \frac{64 \text{ gf}}{21 \text{ ml}} = 3.05 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3}$$

### 3.3 Propiedades de la nanosílice

Como se indicó anteriormente, el aditivo a usarse en esta investigación será GAIA, de la línea de productos Gaia Nanosílice, provisto por la empresa Ulmen S.A. En los anexos se podrá encontrar la ficha técnica de este aditivo, donde se especifica sus propiedades, uso, dosis y otros datos importantes; su Certificado de calidad y Hoja de seguridad.

### 3.4 Resumen de las propiedades de los materiales usados en la investigación

Tabla 36

*Resumen de propiedades de los materiales usados en la investigación.*

Características	und	Agregado grueso – Piedra chancada de ½”	Agregado fino – Arena gruesa	Cemento Yura tipo I	Cemento Yura tipo IP	Gaia Nanosílice
Módulo de fineza	adim.	6.16	2.33	-	-	-
Peso unitario suelto	kgf/m <sup>3</sup>	1508.61	1412.94	-	-	-
Peso unitario compactado	kgf/m <sup>3</sup>	1637.38	1611.15	-	-	-
Peso específico de masa	gf/cm <sup>3</sup>	2.685	2.427	3.05	2.85	1.031
Peso específico de masa saturado superficialmente seco	gf/cm <sup>3</sup>	2.713	2.503	-	-	-
Peso específico aparente	gf/cm <sup>3</sup>	2.763	2.628	-	-	-
Absorción	%	1.048	3.150	-	-	-
Contenido de humedad	%	0.337	0.441	-	-	-
Desgaste por abrasión e impacto	%	15.96	-	-	-	-

**Fuente: Elaboración propia.**

## CAPÍTULO IV

### 4. Diseños de mezcla

La finalidad de realizar ensayos al concreto tanto en estado fresco como endurecido es poder determinar el diseño de mezcla óptimo que satisfaría nuestros requerimientos. Para esto podemos basarnos en distintos métodos de diseño, los cuales han ido evolucionando en el tiempo, desde los volumétricos experimentales (1:2:4) hasta los métodos de peso y volumen absoluto como el propuesto por el Comité ACI (ASOCRETO, 2010).

#### 4.1 Diseño base

##### 4.1.1 Primera aproximación – ACI 211.1.

Para esta primera aproximación al diseño base definitivo se usó el método de diseño de mezclas ACI 211.1, propuesto por el Comité ACI 211. Este método de diseño de mezclas es uno de los más conocidos y ampliamente usados. Tiene como fundamento el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams en 1918. Consiste en seguir una serie de pasos de forma ordenada con los que finalmente se obtendrán los pesos y volúmenes de cada material para 1 m<sup>3</sup> de concreto (ASOCRETO, 2010).

Se buscó que el diseño base, hecho con cemento Yura tipo I, tenga una relación agua/cemento de 0.60, puesto que este valor nos ofrecería una resistencia convencional a 28 días de curado. Para esto se varió el  $f'c$  hasta dar el valor que cumpla este requerimiento, siendo 195 kgf/cm<sup>2</sup> el indicado. A continuación, se presentarán los pasos seguidos de acuerdo al método ACI 211.1.

##### 4.1.1.1 Cálculo del $f'c$ requerido.

Para hallar el  $f'c$  requerido o  $f'cr$  debemos primero definir el valor para  $\alpha$ , el cual variará de acuerdo al número de datos de ensayos anteriores que se tengan. En caso el número de ensayos se encuentre entre los datos presentados en la siguiente tabla, se interpolará para hallar el valor de  $\alpha$ :

Tabla 37

Valores del factor de incremento  $\alpha$  de acuerdo al número de ensayos anteriores.

N° Ensayos	$\alpha$ = Factor de incremento
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1

Fuente: Adaptación de la Tabla 7.3.6 (Rivva, 2010).

Aparte del valor de  $\alpha$ , el cálculo del  $f'_{cr}$  requerirá de un valor de desviación estándar (s). Luego con las siguientes ecuaciones hallamos el valor de  $f'_{cr}$ . Se toma en cuenta el mayor valor:

$$f'_{cr} = f'_c + \alpha * 1.35 * s \quad (19)$$

$$f'_{cr} = f'_c + \alpha * 2.33 * s - 35 \quad (20)$$

En caso no se cuenten con ensayos anteriores y, por ende, de desviación estándar, el  $f'_{cr}$  se calculará tomando en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 38

Valores de  $f'_{cr}$  de acuerdo al  $f'_c$  si no se cuenta con ensayos anteriores.

$f'_c$	$f'_{cr}$
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$f'_c + 98$

Fuente: Adaptación de la Tabla 7.4.3 (Rivva, 2010).

- Para el diseño base se consideró un  $f'_c = 195 \text{ kgf/cm}^2$ . Al no haber datos anteriores se usó la Tabla 38, dando como resultado un  $f'_{cr} = 265 \text{ kgf/cm}^2$ .

#### 4.1.1.2 Selección del tamaño máximo nominal.

Para la selección del tamaño máximo nominal:

- Se debe considerar que el concreto tendrá que ser colocado sin dificultad y sin dejar espacios vacíos y cangrejeras.
- No se debe exceder de los siguientes valores:
  - 1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados.
  - Un tercio del peralte de las losas.

- $\frac{3}{4}$  del espacio libre mínimo entre barras, alambres individuales de refuerzo, paquete de barras, tendones o ductos de presfuerzos (Rivva, 2010).
- Para el diseño base se tuvo en consideración agregado grueso con **un tamaño máximo nominal de  $\frac{1}{2}$ "**.

#### 4.1.1.3 Selección del asentamiento.

El asentamiento se puede elegir de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 39

Valores de asentamiento para distintos tipos de construcción.

Tipo de construcción	Slump máximo	Slump Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Muros y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"
Concreto superplastificado	6"	8"
Plástica	4"	3"
Seca	2"	1"

Fuente: Adaptación de la Tabla 9.2.2 (Rivva, 2010).

- Para el diseño base se consideró los valores recomendados para columnas, es decir, un slump en el rango de 2" a 4".

#### 4.1.1.4 Selección del volumen unitario de agua.

El volumen unitario de agua se puede elegir de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 40

Cantidad de agua en  $L/m^3$  para distintos asentamientos y TMN.

Asentamiento	Agua en $L/m^3$ , Para TMN (pulg.) agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>Concreto sin aire incorporado</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
<b>Concreto con aire incorporado</b>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: Adaptación de la Tabla 10.2.1 (Rivva, 2010).

- Para el diseño base se consideró un valor de **volumen unitario de agua de 216 L/m<sup>3</sup>**, teniendo en cuenta el uso de agregado grueso de ½” y la elección de un asentamiento de 3” a 4”.

#### 4.1.1.5 Selección del contenido de aire.

El contenido de aire aproximado que tendrá la mezcla se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 41

*Contenido de aire atrapado de acuerdo a TMN.*

T.M.N. del agregado grueso	Aire atrapado (%)
3/8"	3.0
1/2"	2.5
3/4"	2.0.
1"	1.5
1 1/2"	1.0
2"	0.5
3"	0.3
6"	0.2

**Fuente: Adaptación de la Tabla 11.2.1 (Rivva, 2010).**

En caso se necesite incorporar aire se puede tener en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 42

*Contenido de aire total, de acuerdo a TMN y condiciones de exposición.*

TMN del agregado grueso	Exposición suave	Exposición moderada	Exposición severa
3/8"	4.5	6.0	7.5
1/2"	4.0	5.5	7.0
3/4"	3.5	5.0	6.5
1"	3.0	4.5	6.0
1 1/2"	2.5	4.0	5.5
2"	2.0	3.5	5.0
3"	1.5	3.0	4.5
6"	1.0	2.5	4.0

**Fuente: Adaptación de la Tabla 11.3.1 (Rivva, 2010).**

- Para el diseño base se consideró la Tabla 41, al no considerar alguna condición especial de exposición. Entonces, tomando en cuenta el uso de agregado grueso de ½”, resulta un **contenido de aire de 2.5%**.

#### 4.1.1.6 Relación agua/cemento.

La relación agua/cemento se puede elegir de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 43

*Relación agua/cemento de acuerdo a  $f'_{cr}$  para concretos sin y con aire incorporado.*

$f'_{cr}$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	Relación agua/cemento en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	0.34
450	0.38	0.28

**Fuente: Adaptación de la Tabla 12.2.2 (Rivva, 2010).**

En los casos donde el concreto se encontrará sometido a alguna condición especial de exposición, la relación agua/cemento se podrá elegir de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 44

*Relación agua/cemento de acuerdo a condiciones especiales de exposición.*

Condiciones de exposición	Relación agua/cemento en concretos con agregado de peso normal	Resistencia a la compresión mínima en concretos con agregado de peso liviano
a) Expuesto a agua dulce	0.50	
b) Expuesto a agua de mar o aguas solubles	0.45	260
c) Expuesto a acción de agua cloacales	0.45	
a) En sardineles, cunetas, secciones delgadas	0.45	300
b) Otros elementos	0.50	
Protección contra la corrosión del concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas solubles, neblina o rocío de estas aguas	0.40	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15mm	0.45	300

**Nota: La resistencia  $f'_{c}$  no deberá ser menor de 245 kgf/cm<sup>2</sup> por razones de durabilidad. Fuente: Adaptación de la Tabla 13.2.5 (Rivva, 2010).**

- Para el diseño base se consideró la Tabla 43, al no considerarse una condición especial de exposición para el concreto. Considerando que el  $f'_{cr}=265$  kgf/cm<sup>2</sup> y no se incorporará aire, se debe interpolar el valor de relación agua/cemento entre

los valores de 250 y 300 kgf/cm<sup>2</sup>, dando como resultado una **relación agua/cemento de 0.5990**.

#### 4.1.1.7 *Determinación del factor cemento.*

El factor cemento puede ser calculado dividiendo el volumen unitario de agua, expresada en L/m<sup>3</sup>, entre la relación agua/cemento calculada. El resultado de esta operación nos dará la cantidad de cemento expresada en kgf/m<sup>3</sup>.

- Para el diseño base se calculó el factor cemento considerando el volumen unitario de agua anteriormente elegido (216 L/m<sup>3</sup>) y la relación agua/cemento calculada (0.5990), dando como resultado un **factor cemento de 360.60 kgf/m<sup>3</sup>**.

#### 4.1.1.8 *Determinación del contenido de agregado grueso.*

Para determinar el contenido de agregado grueso se puede usar la siguiente tabla:

Tabla 45

*Peso seco y compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.*

TMN del agregado grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos Módulos de fineza del agregado fino (b/bo)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

**Fuente: Adaptación de la Tabla 16.2.2 (Rivva, 2010).**

Luego de obtener el factor b/bo, se debe multiplicar su valor por el peso unitario seco compactado o varillado (P.U.C.) para hallar el contenido de agregado grueso expresado en kgf/m<sup>3</sup>.

- Para el diseño base se calculó el factor b/bo considerando el módulo de fineza calculado del agregado fino (2.33) y un T.M.N. de agregado grueso de 1/2". Al no existir valores para el módulo de fineza dado, se extrapoló tomando en cuenta los

valores para los módulos de fineza 2.40 y 2.60, dando como resultado un **factor b/bo de 0.5970**. Al multiplicar este valor por el P.U.C. del agregado grueso ( $1637.38 \text{ kgf/m}^3$ ), se obtuvo un **contenido de agregado grueso de  $977.52 \text{ kgf/m}^3$** .

#### 4.1.1.9 Cálculo de volúmenes absolutos.

Para el cálculo de los volúmenes absolutos de los materiales se debe conocer el peso específico de cada uno de ellos. Luego, el volumen absoluto de un material será obtenido al dividir el peso en seco del material entre su peso específico.

- Para el diseño base se calcularon los volúmenes absolutos de los materiales, teniendo en cuenta sus pesos específicos:

Tabla 46  
*Cálculo de volúmenes absolutos.*

Material	Peso específico (gf/cm <sup>3</sup> )	Peso específico (kgf/m <sup>3</sup> )	Peso en seco (kgf/m <sup>3</sup> )	Volumen absoluto
Cemento Yura tipo I	3.05	3050	360.60	<b>0.1182</b>
Agregado grueso	2.685	2685	977.52	<b>0.3641</b>
Agua	1.00	1000	216	<b>0.2160</b>
Aire*	-	-	2.5 %	<b>0.0250</b>

**Nota:** El volumen absoluto del aire se obtiene al dividir su porcentaje entre 100.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.1.10 Cálculo del peso seco del agregado fino.

El peso seco del agregado fino se obtiene al multiplicar el peso específico de este por el valor resultante de la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos anteriormente calculados.

- Para el diseño base la suma de volúmenes absolutos resultó 0.7233. Luego, al restar este valor a la unidad, se obtuvo un **volumen absoluto de agregado fino de 0.2767**. Finalmente, se multiplicó este volumen absoluto por el peso específico del agregado fino ( $2.427 \text{ gf/cm}^3$  o  $2427 \text{ kgf/m}^3$ ), resultando un **contenido de agregado fino de  $671.56 \text{ kgf/m}^3$** .

#### 4.1.1.11 Corrección por humedad de los agregados.

Generalmente los agregados utilizados en obra se encuentran en condición húmeda, por lo que se debe considerar el aporte de agua de estos en el cálculo de la dosificación del concreto.

La corrección por humedad tiene dos partes: la primera es el cálculo del peso corregido de los agregados y la segunda, el cálculo del aporte de agua de cada uno de ellos.

Para esto consideraremos la siguiente nomenclatura:

- w: Contenido de humedad del agregado
- abs: Absorción del agregado

Para el cálculo de los pesos corregidos de los agregados se puede usar la siguiente fórmula:

$$\text{Peso corregido} = \left( 1 + \frac{w (\%)}{100} \right) * \text{Peso seco del agregado} \quad (21)$$

Para el cálculo del aporte de agua de los agregados se puede usar la siguiente fórmula:

$$\text{Aporte de agua} = \left( \frac{w (\%) - \text{abs} (\%)}{100} \right) * \text{Peso seco del agregado} \quad (22)$$

Finalmente se calcula el agua efectiva, restando al volumen unitario de agua el aporte total de agua de los agregados.

- Para el diseño base se calcularon los pesos corregidos y aporte de agua de los agregados considerando sus contenidos de humedad y absorción:

Tabla 47

*Cálculo de pesos corregidos y aportes de agua.*

Agregado	Contenido de humedad (%)	Absorción (%)	Peso en seco (kgf/m <sup>3</sup> )	Peso corregido (kgf/m <sup>3</sup> )	Aporte de agua (L/m <sup>3</sup> )
Piedra chancada de ½"	0.354	1.048	977.52	<b>980.98</b>	<b>-6.79</b>
Arena gruesa	0.545	3.150	671.56	<b>675.22</b>	<b>-17.49</b>

**Nota: Los valores de contenido de humedad considerados en el diseño base fueron los dos primeros obtenidos (véase Tabla 31). Fuente: Elaboración propia.**

- Habiendo calculado el aporte de agua de los agregados, se determinó el agua efectiva, para lo cual se tiene un **aporte total de -24.28 L/m<sup>3</sup>** y un volumen unitario de agua de 216 L/m<sup>3</sup>. Entonces el **agua efectiva para la mezcla es de 240.28 L/m<sup>3</sup>**.
- De esta forma ya se tienen las dosificaciones en seco y corregida por humedad:

Tabla 48

*Dosificaciones en seco y corregida por humedad para primera aproximación al diseño base.*

Material	Diseño en seco	Diseño corregido por humedad
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	360.60	360.60
Piedra chancada de ½" (kgf/m <sup>3</sup> )	977.52	980.98
Arena gruesa (kgf/m <sup>3</sup> )	671.56	675.22
Agua (L/m <sup>3</sup> )	216	240.28

**Fuente: Elaboración propia.**

#### *4.1.1.12 Determinación de las proporciones en peso y por tanda de una bolsa.*

Las para las proporciones en peso (con relación al cemento), tanto en seco como corregido por humedad, se presentan de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Cemento}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Ag. Fino}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Ag. Grueso}}{\text{Cemento}} : \frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} \quad (23)$$

Las proporciones por tanda de una bolsa se determinan multiplicando las proporciones en peso hallados por 42.5, que corresponde al peso estándar de una bolsa de cemento.

- Para el diseño base se calcularon las proporciones en peso y por tanda de una bolsa de cemento, dando como resultado lo siguiente:

*Proporciones en seco*

$$\frac{360.60}{360.60} : \frac{671.56}{360.60} : \frac{977.52}{360.60} : \frac{216}{360.60} = 1 : 1.86 : 2.71 : 0.60$$

*Proporciones corregidas por humedad*

$$\frac{360.60}{360.60} : \frac{675.22}{360.60} : \frac{980.98}{360.60} : \frac{240.28}{360.60} = 1 : 1.87 : 2.72 : 0.67$$

*Proporcione por tanda de una bolsa*

$$(1 : 1.87 : 2.72 : 0.67) * 42.5 = 42.5 : 79.48 : 115.60 : 28.32$$

#### 4.1.2 Diseño definitivo – Método de prueba y error.

Dado que la dosificación por el método expuesto anteriormente resultó en un concreto con un revenimiento mayor al esperado, se hicieron ajustes al diseño en seco para lograr una mezcla base con un revenimiento en el rango de 4 a 5 pulgadas.

Estos ajustes comienzan por reducir la cantidad de agua en  $L/m^3$ , manteniendo la relación agua/cemento. Luego se recalcula la cantidad de agregados, manteniendo la proporción de los volúmenes absolutos del agregado fino y grueso respecto al volumen absoluto total de agregados dada por el diseño tomado para la primera aproximación. Para el contenido de aire se tendrá en cuenta la Tabla 41, a menos que se tengan condiciones especiales de exposición, donde se tendrá que usar la Tabla 42. Estos pasos se siguieron hasta lograr un diseño adecuado.

A continuación, se explicará el procedimiento usado de forma más detallada:

##### 4.1.2.1 *Diseño base.*

Primero se debe tener el diseño base, el cuál no cumplió con los parámetros buscados.

- En este caso, es **aquel mostrado en la Tabla 48.**

##### 4.1.2.2 *Corrección de la cantidad de agua.*

Se reduce la cantidad de agua por metro cúbico. Para tener una idea de cuánta agua reducir, inicialmente se puede considerar que una reducción de  $4 L/m^3$  producirá una disminución del asentamiento en 1". Esto dependerá del tipo de cemento, por lo que es importante hallar la relación entre reducción de agua por  $m^3$  y reducción de slump.

- En este caso, se redujo **de  $216 L/m^3$  a  $194 L/m^3$ .**

#### 4.1.2.3 Corrección de la cantidad de agregados.

Al reducir la cantidad de agua por metro cúbico y mantener la relación agua/cemento, se reducirá también la cantidad de cemento, por lo que los volúmenes absolutos de estos materiales serán menores. Entonces, para compensar esta reducción, se debe aumentar la cantidad de agregado. Para hacer esto debemos seguir los siguientes pasos:

1. Calcular los volúmenes absolutos de los agregados del diseño base y determinar la incidencia de cada tipo de agregado, sobre el volumen absoluto total de agregados (suma de volúmenes absolutos del agregado grueso y fino).

$$\text{Incidencia ag. fino (\%)} = \frac{\text{volumen absoluto ag. fino}}{\text{vol. abs total de agregados}} \quad (24)$$

$$\text{Incidencia ag. grueso (\%)} = 100 - \text{incidencia ag. fino (\%)} \quad (25)$$

2. Hallar el nuevo volumen absoluto total de agregados, considerando las nuevas cantidades de agua y cemento, y el volumen de aire de acuerdo a la Tabla 41 o 42.

$$\begin{aligned} \text{Nuevo vol. abs. de agregados} \\ = 1 - \text{vol. abs. cemento} - \text{vol. abs. agua} - \frac{\text{aire (\%)}}{100} \end{aligned} \quad (26)$$

3. Para hallar las nuevas cantidades de agregado, multiplicar el porcentaje de incidencia de cada agregado con su peso específico y el nuevo volumen absoluto total de agregados.

$$\begin{aligned} \text{Cantidad de agregado} \left( \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3} \right) \\ = \% \text{incidencia del agregado} * \text{peso específico} \\ * \text{nuevo vol. abs. agregados} \end{aligned} \quad (27)$$

- En este caso, los volúmenes absolutos resultaron:

$$\text{Agregado fino} = \frac{671.56 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{2.427 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0.2767$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{977.52 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{2.685 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0.3641$$

- Entonces, las incidencias de los agregados fueron las siguientes:

$$\text{Agregado fino} = \frac{0.2767}{0.3641 + 0.2767} = \frac{0.2767}{0.6408} = 43.18\%$$

$$\text{Agregado grueso} = (100 - 43.18)\% = 56.82\%$$

- Luego, el nuevo volumen absoluto total de agregados fue:

$$\text{Nuevo vol. abs. de agregados} = 1 - \frac{323.33 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{3.05 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} - \frac{194.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{1 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} - \frac{2.5\%}{100} = 0.6750$$

- Y así, las nuevas cantidades de agregado resultaron:

$$\text{Agregado grueso} = 56.82\% * \left( 2.685 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000 \right) * 0.6750 = 1029.78 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Agregado fino} = 43.18\% * \left( 2.427 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000 \right) * 0.6750 = 707.38 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

#### 4.1.2.4 Corrección por humedad.

Finalmente, el diseño modificado se corrige por humedad.

- En este caso, el diseño final en seco y corregido por humedad para el diseño base definitivo fue:

Tabla 49

*Dosificaciones en seco y corregida por humedad para diseño base definitivo.*

Material	Diseño en seco	Diseño corregido por humedad
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	323.33	323.33
Piedra chancada de ½" (kgf/m <sup>3</sup> )	707.38	711.23
Arena gruesa (kgf/m <sup>3</sup> )	1029.78	1033.42
Agua (L/m <sup>3</sup> )	194.00	219.58

**Fuente: Elaboración propia.**

## 4.2 Diseños posteriores

Con el diseño base definido, que viene a ser uno de los diseños patrón, ya se puede calcular las dosificaciones posteriores, como son para las relaciones agua/cemento 0.65 y 0.55 faltantes usando cemento Yura tipo I, así como los diseños con nanosílice y optimizados con este aditivo con este tipo de cemento, y los diseños patrón, con nanosílice y optimizados con este aditivo con cemento Yura tipo IP.

### 4.2.1 Diseños patrón.

Los diseños patrón restantes se calcularán en base a la relación agua/cemento 0.60 de cada tipo de cemento. Para lograr las dosificaciones para las relaciones agua/cemento 0.65 y 0.55, manteniendo una cantidad de agua por  $m^3$  igual o muy cercana al diseño base, se quitó (o agregó) una cantidad de arena igual al aumento (o disminución) del cemento por  $m^3$ , con respecto al diseño base (relación agua/cemento 0.60), para las relaciones antes mencionadas, por lo que se tuvo que corregir la cantidad de agregados al variar los volúmenes absolutos del agua y el cemento. Las modificaciones se hicieron a las dosificaciones en seco. Cabe resaltar que siempre habrá que realizar una pequeña variación en cuanto al contenido de agua puesto que, solo quitando arena, no se logra mantener un slump constante.

Para el diseño base (relación agua/cemento 0.60) elaborado con cemento Yura tipo IP se mantuvo las incidencias de los volúmenes absolutos de los agregados sobre el volumen absoluto total de agregados del diseño base elaborado con cemento Yura tipo I, los cuales fueron 43.18% para el agregado fino y 56.82% para el agregado grueso.

A continuación, se explicará el procedimiento usado de forma más detallada. Se tomará como ejemplo la relación agua/cemento 0.55 elaborada con cemento Yura tipo I.

#### 4.2.1.1 *Diseño base.*

Primero se debe tener el diseño base, a partir del cual se quitará o agregará arena para compensar el aumento o disminución del cemento.

- En este caso, el **diseño base es aquel mostrado en la Tabla 49.**

#### 4.2.1.2 *Corrección de la cantidad de agua.*

Como fue mencionado anteriormente, se tendrán que realizar pruebas para determinar la cantidad de agua a adicionarse (en el caso se esté calculando la dosificación para una relación agua/cemento menor a la base) o quitarse (en caso se esté calculando la dosificación para una relación agua/cemento mayor a la base). Inicialmente se puede considerar la misma cantidad de agua por m<sup>3</sup> que tiene el diseño base.

- En este caso, luego de realizar pruebas con el procedimiento que se está desarrollando, se determinó que la **cantidad de agua adecuada sería 194.5 L/m<sup>3</sup>**, por lo que el nuevo **contenido de cemento fue 353.64 kgf/m<sup>3</sup>**.

#### 4.2.1.3 *Corrección de la cantidad de arena.*

Luego de recalculer el contenido de cemento con la nueva relación agua/cemento se procede a quitar (en caso haya aumentado el contenido de cemento con respecto al diseño base) o aumentar arena (en caso haya disminuido el contenido de cemento con respecto al diseño base). Para hacer esto seguimos los siguientes pasos:

1. Hallar el nuevo volumen absoluto total de los agregados con la Ecuación 26.
  2. Calcular la incidencia del volumen absoluto del agregado fino usado en el diseño base con la Ecuación 24.
  3. Multiplicar la incidencia del agregado fino calculada en el paso 2 con su peso específico y el volumen absoluto calculado en el paso 1.
  4. Al valor calculado se le resta el resultado de la diferencia entre el contenido de cemento del diseño con la nueva relación agua/cemento y del diseño base.
- En este caso, el nuevo volumen absoluto de los agregados fue:

$$\text{Nuevo vol. abs. de agregados} = 1 - \frac{353.64 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{3.05 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} - \frac{194.50 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{1 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} - \frac{2.5 \%}{100} = 0.6646$$

- La incidencia del volumen absoluto del agregado fino del diseño base fue:

$$Incid. ag. fino = \frac{0.2767}{0.3641 + 0.2767} = \frac{0.2767}{0.6408} = 43.18\%$$

- La cantidad de agregado fino antes de quitarle arena fue:

$$Agregado fino = 43.18\% * \left(2.427 \frac{gf}{cm^3} * 1000\right) * 0.6646 = 696.44 \frac{kgf}{m^3}$$

- La cantidad de agregado fino después de quitarle arena fue:

$$Agregado fino = 696.44 \frac{kgf}{m^3} - (353.64 - 323.33) \frac{kgf}{m^3} = 666.13 \frac{kgf}{m^3}$$

#### 4.2.1.4 Cálculo de la cantidad de agregado grueso.

Una vez definido el contenido de arena se recalcula el contenido de agregado grueso.

Para lo cual seguimos los siguientes pasos:

1. Calcular el volumen absoluto del agregado fino y su incidencia sobre el volumen absoluto total de los agregados del diseño en cuestión.
2. Hallar el volumen absoluto del agregado grueso mediante la diferencia entre el volumen absoluto total de agregados y el volumen absoluto del agregado fino o con la Ecuación 25.

$$\begin{aligned} Vol. abs. ag. grueso \\ = Vol. abs. total de agregados - vol. abs. ag. fino \end{aligned} \quad (28)$$

3. Para determinar el contenido de agregado grueso por m<sup>3</sup>, se debe multiplicar el volumen absoluto de este con su peso específico, o usar la Ecuación 27.
- En este caso, el volumen absoluto del agregado fino y su incidencia fueron:

$$Vol. abs. ag. fino = \frac{666.13 \frac{kgf}{m^3}}{2.427 \frac{gf}{cm^3} * 1000} = 0.2745$$

$$Incid. ag. fino = \frac{0.2745}{0.6646} = 41.30\%$$

- El volumen absoluto del agregado y su incidencia resultaron:

$$Vol. abs. ag. grueso = 0.6646 - 0.2745 = 0.3901$$

$$Incid. vol. abs. ag. grueso = (100 - 41.30)\% = 58.70\%$$

- Entonces el contenido de agregado grueso final fue:

$$Agregado grueso = 0.3901 * 2.685 \frac{gf}{cm^3} * 1000 = 1047.38 \frac{kgf}{m^3}$$

$$Agregado grueso = 58.70\% * 2.685 \frac{gf}{cm^3} * 1000 * 0.6646 = 1047.38 \frac{kgf}{m^3}$$

#### 4.2.1.5 Corrección por humedad.

Teniendo el diseño en seco, se procede a calcular el diseño corregido por humedad, como se ha visto anteriormente.

- En este caso, el diseño en seco y corregido por humedad quedó de la siguiente manera:

Tabla 50

*Dosificaciones en seco y corregida por humedad para diseño patrón Yura tipo I a/c 0.55.*

Material	Diseño en seco	Diseño corregido por humedad
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	353.64	353.64
Piedra chancada de ½" (kgf/m <sup>3</sup> )	666.13	669.07
Arena gruesa (kgf/m <sup>3</sup> )	1047.38	1050.91
Agua (L/m <sup>3</sup> )	194.50	219.99

**Fuente: Elaboración propia.**

#### 4.2.2 Diseños con nanosílice.

Para estos diseños se agregó el aditivo GAIA en dosis de 0.5% y 0.7% sobre el peso del cemento a los diseños patrón de cada relación agua/cemento para cada tipo de cemento.

#### 4.2.3 Diseños optimizados con nanosílice.

Para estos diseños se tuvo como diseños base a los patrones, a los cuales se les agregó el aditivo Gaia en dosis de 0.5% y 0.7% sobre el peso del cemento y se redujo la cantidad de agua por m<sup>3</sup> de cada uno de estos diseños, manteniendo las relaciones agua/cemento e incidencias de los volúmenes absolutos de los agregados de los diseños base, hasta que la mezcla resultante presente un revenimiento (slump) en el rango de 4" a 5". El procedimiento realizado para recalcular los agregados debido a la reducción de agua y cemento fue igual al presentado en el acápite 4.1.2.

A continuación, se explicará el procedimiento usado de forma más detallada. Se tomará como ejemplo la relación agua/cemento 0.55 optimizada con nanosílice al 0.5% elaborada con cemento Yura tipo I.

##### 4.2.3.1 *Diseño base.*

Primero se debe tener el diseño base, a partir del cual se disminuirá la cantidad de agua, y por ende de cemento, manteniendo la relación agua/cemento y las incidencias de los agregados.

- En este caso, el **diseño base es aquel mostrado en la Tabla 50.**

##### 4.2.3.2 *Corrección de la cantidad de agua.*

Como fue mencionado anteriormente, se tendrán que realizar pruebas para determinar la cantidad de agua a quitarse.

- En este caso, luego de realizar pruebas con el procedimiento que se está desarrollando, se determinó que para lograr un slump en el rango de 4" a 5", usando

nanosílice al 0.5%, la **cantidad de agua adecuada sería 180 L/m<sup>3</sup>**, por lo que el nuevo **contenido de cemento fue 327.27 kgf/m<sup>3</sup>**.

#### 4.2.3.3 *Corrección de la cantidad de agregados.*

Luego de recalcular el contenido de cemento con la nueva cantidad de agua, pero igual relación agua/cemento, se procede a calcular la nueva cantidad de agregados. Para hacer esto seguimos los siguientes pasos:

1. Calcular las incidencias de los volúmenes absolutos de los agregados del diseño base con las Ecuaciones 24 y 25.
  2. Hallar el nuevo volumen absoluto total de los agregados con la Ecuación 26.
  3. Multiplicar las incidencias de los agregados calculados en el paso 1 con el nuevo valor de volumen absoluto total hallado en el paso 2, para hallar los nuevos volúmenes absolutos de los agregados.
  4. Multiplicar cada nuevo valor de volumen absoluto por el respectivo peso específico.
- En este caso, los volúmenes absolutos de los agregados del diseño base resultaron:

$$\text{Agregado fino} = \frac{666.13 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{2.427 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0.2745$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{1047.38 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{2.685 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} = 0.3901$$

- Entonces, las incidencias de los volúmenes absolutos de los agregados del diseño base fueron:

$$\text{Agregado fino} = \frac{0.2745}{0.3901 + 0.2745} = \frac{0.2745}{0.6646} = 41.30\%$$

$$\text{Agregado grueso} = (100 - 41.30)\% = 58.70\%$$

- Se calculó el nuevo volumen absoluto total de agregados:

$$\text{Nuevo vol. abs. de agregados} = 1 - \frac{327.27 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{3.05 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} - \frac{180.00 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}}{1 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000} - \frac{2.5 \%}{100} = 0.6877$$

- Se hallaron los nuevos volúmenes absolutos de los agregados:

$$\text{Vol. abs. ag. grueso} = 58.70\% * 0.6877 = 0.4037$$

$$\text{Vol. abs. ag. fino} = 41.30\% * 0.6877 = 0.2840$$

- Finalmente, se calculó las nuevas cantidades de agregado:

$$\text{Agregado grueso} = \left( 2.685 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000 \right) * 0.4037 = 1083.88 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Agregado fino} = \left( 2.427 \frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} * 1000 \right) * 0.2840 = 689.32 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

#### 4.2.3.4 Corrección por humedad.

Teniendo el diseño en seco, se procede a calcular el diseño corregido por humedad, como se ha visto anteriormente.

- En este caso, el diseño en seco y corregido por humedad quedó de la siguiente manera:

Tabla 51

*Dosificaciones en seco y corregida por humedad para diseño optimizado Yura tipo I a/c 0.55 nS=0.5% OPT.*

Material	Diseño en seco	Diseño corregido por humedad
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	327.27	327.27
Piedra chancada de ½" (kgf/m <sup>3</sup> )	689.32	692.36
Arena gruesa (kgf/m <sup>3</sup> )	1083.88	1087.53
Agua (L/m <sup>3</sup> )	180.00	206.38
Nanosílice (kgf/m <sup>3</sup> )	1.64	1.64

**Fuente: Elaboración propia.**

### 4.3 Resumen de los diseños de mezcla usados en la investigación

Tabla 52

*Dosificaciones en seco, corregida por humedad y por tanda de vaciado para concretos elaborados con cemento Yura tipo I.*

Materiales	Diseños de mezcla														
	0.65	0.65 nS=0.5%	0.65 nS=0.7%	0.65 nS=0.5% OPT	0.65 nS=0.7% OPT	0.60	0.60 nS=0.5%	0.60 nS=0.7%	0.60 nS=0.5% OPT	0.60 nS=0.7% OPT	0.55	0.55 nS=0.5%	0.55 nS=0.7%	0.55 nS=0.5% OPT	0.55 nS=0.7% OPT
<b>Dosificación en seco</b>															
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	297.69	297.69	297.69	282.31	277.69	323.33	323.33	323.33	297.50	296.67	353.64	353.64	353.64	327.27	323.64
Ag. Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	742.35	742.35	742.35	758.60	763.50	707.38	707.38	707.38	732.49	733.30	666.13	666.13	666.13	689.32	692.51
Ag. Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	1015.00	1015.00	1015.00	1037.41	1044.11	1029.78	1029.78	1029.78	1066.34	1067.52	1047.38	1047.38	1047.38	1083.88	1088.91
Agua (L/m <sup>3</sup> )	193.50	193.50	193.50	183.50	180.50	194.00	194.00	194.00	178.50	178.00	194.50	194.50	194.50	180.00	178.00
Nanosílice (kgf/m <sup>3</sup> )	-	1.49	2.08	1.41	1.94	-	1.62	2.26	1.49	2.08	-	1.77	2.48	1.64	2.27
<b>Dosificación corregida por humedad</b>															
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	297.69	297.69	297.69	282.31	277.69	323.33	323.33	323.33	297.50	296.67	353.64	353.64	353.64	327.27	323.64
Ag. Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	745.78	745.78	745.78	761.95	766.87	711.23	711.23	711.23	735.72	736.53	669.07	669.07	669.07	692.36	695.56
Ag. Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	1018.46	1018.46	1018.46	1040.91	1047.63	1033.42	1033.42	1033.42	1069.93	1071.12	1050.91	1050.91	1050.91	1087.53	1092.58
Agua (L/m <sup>3</sup> )	220.63	220.63	220.63	211.43	208.61	219.58	219.58	219.58	205.92	205.46	219.99	219.99	219.99	206.38	204.50
Nanosílice (kgf/m <sup>3</sup> )	-	1.49	2.08	1.41	1.94	-	1.62	2.26	1.49	2.08	-	1.77	2.48	1.64	2.27
<b>Dosificación por tanda de 24 probetas de 10x20 cm y 9 cubos de 5x5 cm</b>															
Cemento (kgf)	14.59	14.59	14.59	13.83	13.61	15.84	15.84	15.84	14.58	14.54	17.33	17.33	17.33	16.04	15.86
Ag. Fino (kgf)	36.54	36.54	36.54	37.34	37.58	34.85	34.85	34.85	36.05	36.09	32.78	32.78	32.78	33.93	34.08
Ag. Grueso (kgf)	49.90	49.90	49.90	51.00	51.33	50.64	50.64	50.64	52.43	52.48	51.49	51.49	51.49	53.29	53.54
Agua (L)	10.81	10.81	10.81	10.36	10.22	10.76	10.76	10.76	10.09	10.07	10.78	10.78	10.78	10.11	10.02
Nanosílice (gf)	-	73.0	102.1	69.2	95.3	-	79.2	110.9	72.9	101.8	-	86.7	121.3	80.2	111.0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53

*Dosificaciones en seco, corregida por humedad y por tanda de vaciado para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.*

Materiales	Diseños de mezcla														
	0.65	0.65 nS=0.5%	0.65 nS=0.7%	0.65 nS=0.5% OPT	0.65 nS=0.7% OPT	0.60	0.60 nS=0.5%	0.60 nS=0.7%	0.60 nS=0.5% OPT	0.60 nS=0.7% OPT	0.55	0.55 nS=0.5%	0.55 nS=0.7%	0.55 nS=0.5% OPT	0.55 nS=0.7% OPT
<b>Dosificación en seco</b>															
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	309.23	309.23	309.23	291.54	286.92	341.67	341.67	341.67	317.50	310.83	376.36	376.36	376.36	342.73	340.00
Ag. Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	729.87	729.87	729.87	749.31	754.38	681.31	681.31	681.31	705.39	712.04	631.77	631.77	631.77	661.83	664.27
Ag. Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	979.40	979.40	979.40	1005.44	1012.24	991.83	991.83	991.83	1026.89	1036.56	1008.58	1008.58	1008.58	1056.68	1060.58
Agua (L/m <sup>3</sup> )	201.00	201.00	201.00	189.50	186.50	205.00	205.00	205.00	190.50	186.50	207.00	207.00	207.00	188.50	187.00
Nanosílice (kgf/m <sup>3</sup> )	-	1.55	2.16	1.46	2.01	-	1.71	2.39	1.59	2.18	-	1.88	2.63	1.71	2.38
<b>Dosificación corregida por humedad</b>															
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	309.23	309.23	309.23	291.54	286.92	341.67	341.67	341.67	317.5	310.83	376.36	376.36	376.36	342.73	340
Ag. Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	733.09	733.09	733.09	752.61	757.71	684.31	684.31	684.31	708.5	715.18	634.56	634.56	634.56	664.75	667.2
Ag. Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	982.7	982.7	982.7	1008.83	1015.65	995.17	995.17	995.17	1030.35	1040.05	1011.98	1011.98	1011.98	1060.24	1064.15
Agua (L/m <sup>3</sup> )	227.74	227.74	227.74	216.95	214.13	230.51	230.51	230.51	216.91	213.16	231.29	231.29	231.29	213.94	212.54
Nanosílice (kgf/m <sup>3</sup> )	-	1.55	2.16	1.46	2.01	-	1.71	2.39	1.59	2.18	-	1.88	2.63	1.71	2.38
<b>Dosificación por tanda de 24 probetas de 10x20 cm y 9 cubos de 5x5 cm</b>															
Cemento (kgf)	15.15	15.15	15.15	14.29	14.06	16.74	16.74	16.74	15.56	15.23	18.44	18.44	18.44	16.79	16.66
Ag. Fino (kgf)	35.92	35.92	35.92	36.88	37.13	33.53	33.53	33.53	34.72	35.04	31.09	31.09	31.09	32.57	32.69
Ag. Grueso (kgf)	48.15	48.15	48.15	49.43	49.77	48.76	48.76	48.76	50.49	50.96	49.59	49.59	49.59	51.95	52.14
Agua (L)	11.16	11.16	11.16	10.63	10.49	11.29	11.29	11.29	10.63	10.44	11.33	11.33	11.33	10.48	10.41
Nanosílice (gf)	-	75.8	106.1	71.5	98.4	-	83.7	117.2	77.8	106.6	-	92.2	129.1	84.0	116.6

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 Variación de las cantidades de cada material usado por diseño de mezcla con respecto a los diseños patrones

Tabla 54

Variación de las cantidades de material por diseño de mezcla elaborado con cemento Yura tipo I con respecto a los patrones.

Materiales	Diseños de mezcla										0.55	0.55 nS=0.5%	0.55 nS=0.7%	0.55 nS=0.5% OPT	0.55 nS=0.7% OPT
	0.65	0.65 nS=0.5%	0.65 nS=0.7%	0.65 nS=0.5% OPT	0.65 nS=0.7% OPT	0.60	0.60 nS=0.5%	0.60 nS=0.7%	0.60 nS=0.5% OPT	0.60 nS=0.7% OPT					
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	-	0.00%	0.00%	-5.17%	-6.72%	-	0.00%	0.00%	-7.99%	-8.25%	-	0.00%	0.00%	-7.46%	-8.48%
Ag. Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	-	0.00%	0.00%	+2.19%	+2.85%	-	0.00%	0.00%	+3.55%	+3.66%	-	0.00%	0.00%	+3.48%	+3.96%
Ag. Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	-	0.00%	0.00%	+2.21%	+2.87%	-	0.00%	0.00%	+3.55%	+3.66%	-	0.00%	0.00%	+3.48%	+3.97%
Agua (L/m <sup>3</sup> )	-	0.00%	0.00%	-5.17%	-6.72%	-	0.00%	0.00%	-7.99%	-8.25%	-	0.00%	0.00%	-7.46%	-8.48%

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55

Variación de las cantidades de material por diseño de mezcla elaborado con cemento Yura tipo IP con respecto a los patrones.

Materiales	Diseños de mezcla										0.55	0.55 nS=0.5%	0.55 nS=0.7%	0.55 nS=0.5% OPT	0.55 nS=0.7% OPT
	0.65	0.65 nS=0.5%	0.65 nS=0.7%	0.65 nS=0.5% OPT	0.65 nS=0.7% OPT	0.60	0.60 nS=0.5%	0.60 nS=0.7%	0.60 nS=0.5% OPT	0.60 nS=0.7% OPT					
Cemento (kgf/m <sup>3</sup> )	-	0.00%	0.00%	-5.72%	-7.21%	-	0.00%	0.00%	-7.07%	-9.03%	-	0.00%	0.00%	-8.94%	-9.66%
Ag. Fino (kgf/m <sup>3</sup> )	-	0.00%	0.00%	+2.66%	+3.36%	-	0.00%	0.00%	+3.53%	+4.51%	-	0.00%	0.00%	+4.76%	+5.14%
Ag. Grueso (kgf/m <sup>3</sup> )	-	0.00%	0.00%	+2.66%	+3.35%	-	0.00%	0.00%	+3.53%	+4.51%	-	0.00%	0.00%	+4.77%	+5.16%
Agua (L/m <sup>3</sup> )	-	0.00%	0.00%	-5.72%	-7.21%	-	0.00%	0.00%	-7.07%	-9.02%	-	0.00%	0.00%	-8.94%	-9.66%

Fuente: Elaboración propia.

Ya que uno de los propósitos de esta investigación es determinar qué tanto se puede reducir el consumo de cemento usando nanosílice, a continuación, se presentarán los contenidos de cemento por diseño de mezcla elaborado y en qué porcentaje se logró reducirlos utilizando este aditivo:

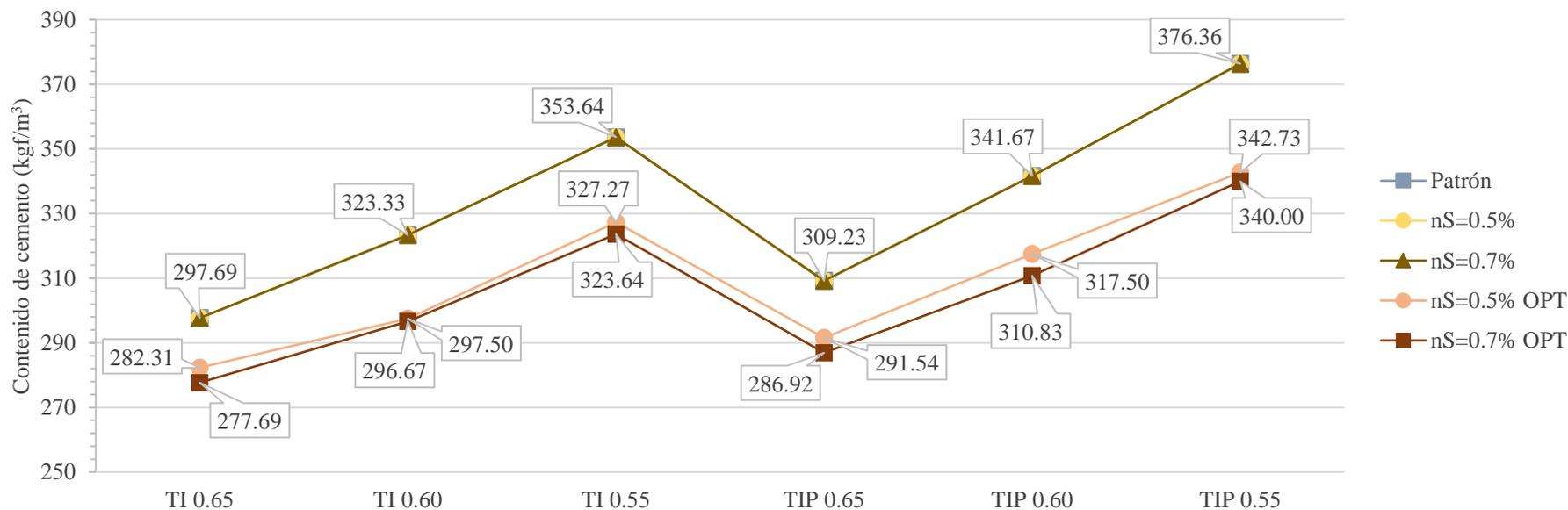


Figura 10: Contenido de cemento en los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 10, el contenido de cemento por relación agua/cemento para concretos elaborados con cemento Yura tipo I fue menor en comparación a aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, puesto que al momento de hacer pruebas con estos últimos para lograr revenimientos en el rango de 4 a 5 pulgadas, la cantidad inicial de agua no fue suficiente ( $194 \text{ L/m}^3$ ) para el diseño base por lo que se tuvo que aumentar este valor, llegando a  $205 \text{ L/m}^3$ , y al ser el cemento dependiente del contenido de agua, se incrementó también. Los concretos con

nanosílice al no haber sufrido cambios con respecto al patrón, excepto la adición de nanosílice, tuvieron la misma cantidad de cemento que los patrones, por tal motivo no se pueden ver en la Figura 10. En el caso de los concretos optimizados con nanosílice se ve claramente la reducción de cemento con respecto a los patrones, pero no entre estos, debido a que no hay una reducción de cemento considerable entre una dosis y otra.

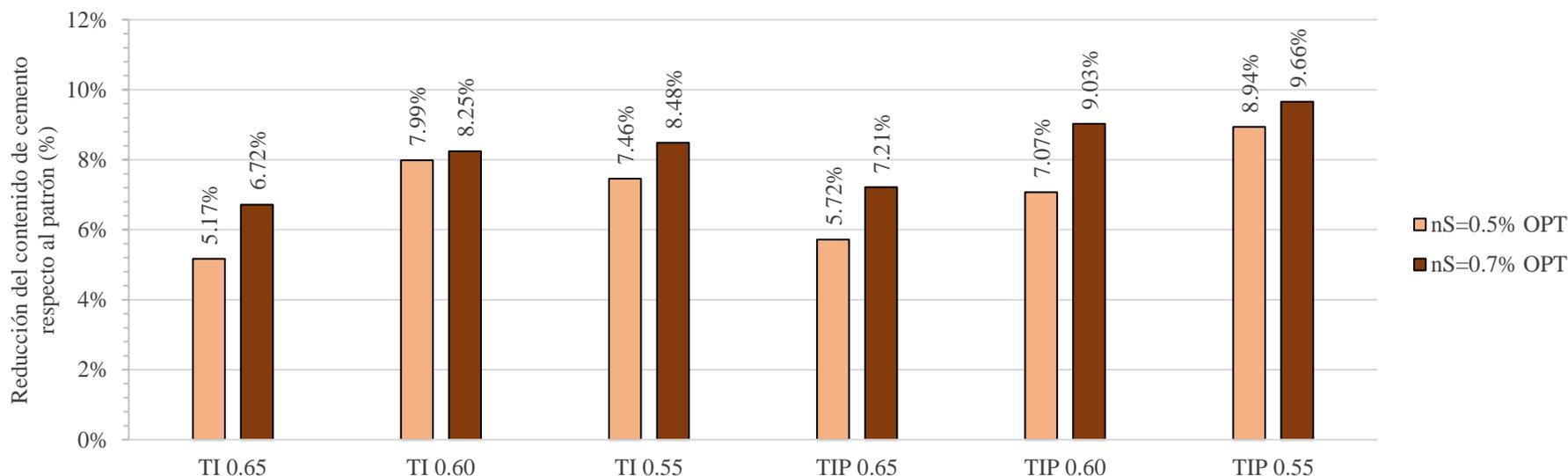


Figura 11: Reducción del contenido de cemento en los concretos optimizados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 11, a medida que la relación agua/cemento disminuye, la reducción de cemento es mayor, pero esto no significa que la reducción con relaciones agua/cemento menores sea mayor, puesto que como se ve en la Figura 11, la reducción es más notable entre las relaciones a/c 0.65 y 0.60 que entre las relaciones a/c 0.60 y 0.55. Esto puede deberse a que a medida que la relación a/c disminuye la efectividad de estas dosis de nanosílice disminuye, por lo que se tendrían que usar dosis mayores de este aditivo para lograr reducciones de cemento superiores.

## CAPÍTULO V

### 5. Ensayos aplicados al concreto

#### 5.1 Ensayos en estado fresco

##### 5.1.1 Revenimiento, slump o asentamiento.

Este ensayo se aplica al concreto con el fin de evaluar su consistencia o, en otras palabras, qué tan húmeda se encuentra la mezcla (a mayor humedad, mayor slump) (Kumar Mehta y Monteiro, 2006).

El método de ensayo se puede resumir como la colocación de una muestra de concreto fresco en un molde con forma de cono trunco, donde será varillado, para luego levantar dicho molde, permitiendo que la muestra se asiente, y medir la distancia entre la posición inicial y el centro de la cara superior de la muestra asentada (NTP 339.035, 2015).

##### 5.1.1.1 Equipos y herramientas.

- Molde:
  - Sus dimensiones se darán de acuerdo a la siguiente figura:

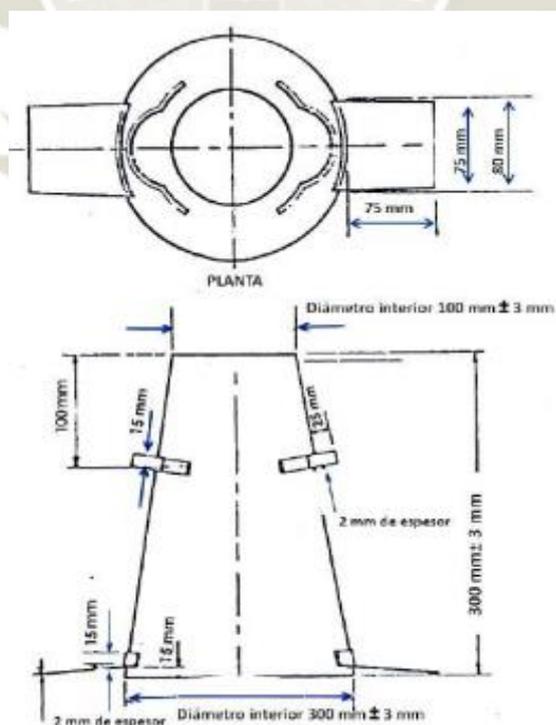


Figura 12: Molde de acuerdo a NTP 339.035 (2015).

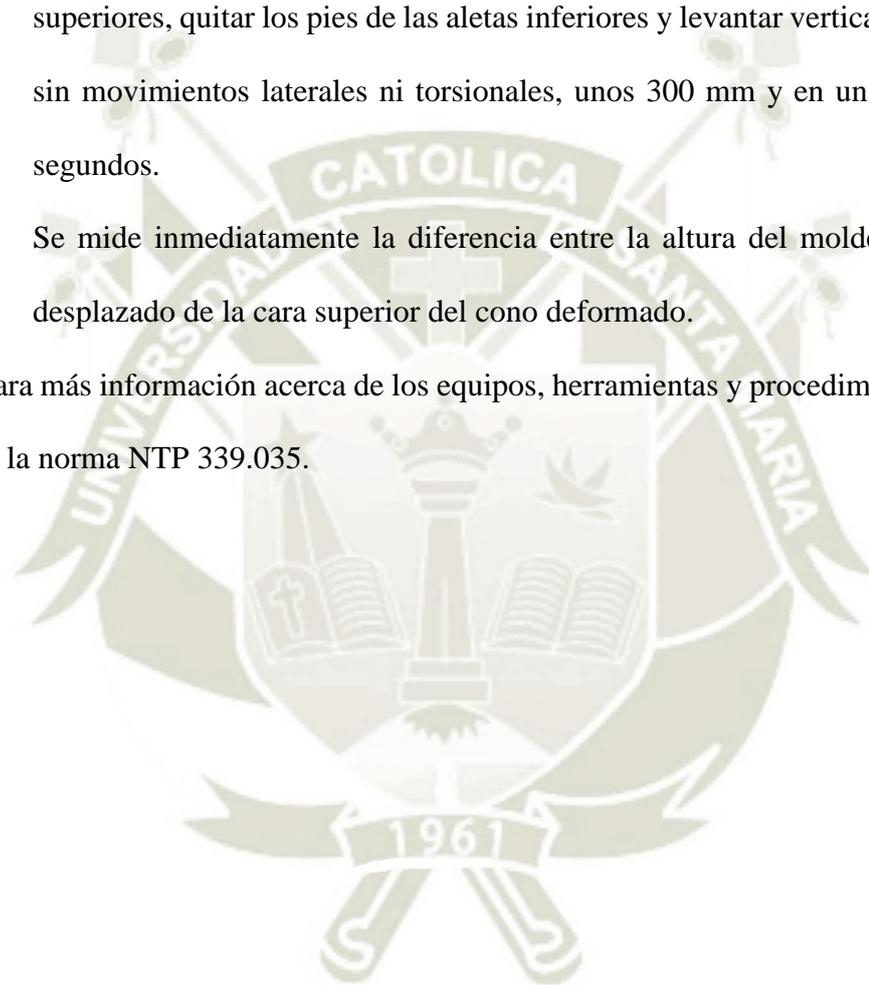
- Barra compactadora:
  - Debe ser una barra cilíndrica lisa de acero, de  $16 \pm 2$  mm de diámetro y una longitud 100 mm mayor que la profundidad del molde, pero no mayor a 600 mm. Tendrá en uno o ambos extremos una terminación redondeada semiesférica de 16 mm.
- Dispositivo de medida:
  - Una regla, cinta métrica de metal, flexómetro, o instrumento similar rígido o semirrígido, que tenga una longitud de medición con incrementos de 5 mm o menores. Su longitud mínima será de 300 mm.
- Cucharón:
  - De tamaño y forma adecuadas que aseguren la obtención de una cantidad representativa y suficiente del concreto para colocarla en el molde sin derrames.

#### **5.1.1.2 Procedimiento.**

1. Humedecer el molde y colocarlo en una superficie plana, rígida, húmeda y no absorbente. En este caso se usó una base metálica. Fijarlo en su lugar pisando las aletas ubicadas en la zona de diámetro más grande.
2. Tomar una muestra representativa del concreto fresco. En este caso se tomó directamente de la mezcladora estacionaria, del centro y a tal profundidad que el concreto se mantenía homogéneo y húmedo.
3. Llenar el molde en tres capas, vaciando el concreto alrededor de todo el perímetro, cada una varillada 25 veces uniformemente por toda la sección. Cada una de estas capas debe corresponder a aproximadamente la tercera parte del volumen interior del molde. Tratar de que cada varillada llegue hasta el fondo del molde, en el caso

- de la primera capa, y que penetre en aproximadamente 1 pulg. en la capa anterior, a partir de la segunda capa. Mantener el perímetro limpio.
4. En la última capa se debe rebasar la capacidad del molde, de tal forma que luego se puede enrasar con la varilla usada en el paso anterior.
  5. Ajustar el molde lleno contra la superficie colocando las manos en las alas superiores, quitar los pies de las aletas inferiores y levantar verticalmente el molde, sin movimientos laterales ni torsionales, unos 300 mm y en un tiempo de 5 a 7 segundos.
  6. Se mide inmediatamente la diferencia entre la altura del molde y la del centro desplazado de la cara superior del cono deformado.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 339.035.



### 5.1.2 Peso unitario.

Este ensayo está normalizado por la NTP 339.046. El método de ensayo se puede resumir como la colocación de una muestra de concreto fresco en un recipiente con dimensiones internas conocidas donde será varillado, para luego pesar dicho recipiente lleno de concreto y calcular el peso unitario del concreto dividiendo su peso entre el volumen del recipiente que lo contiene.

#### 5.1.2.1 Equipos y herramientas.

- Balanza:
  - Con una precisión de 45 gf o dentro del 0,3 % de la carga de ensayo, la que sea mayor. En este caso se usó una balanza con una precisión mayor (1 gf).
- Barra compactadora:
  - Debe ser una barra de acero liso cilíndrica, que cuente con 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud aproximadamente. Tendrá en uno o ambos extremos una terminación redondeada semiesférica de 16 mm.
- Recipiente de medida:
  - Cilíndrico de acero u otro metal adecuado. Su capacidad será determinada según la Tabla 56. En este caso se usó un recipiente metálico de 0.1 pie<sup>3</sup>.
- Mazo:
  - Un mazo (con cabeza de caucho o cuero) con un peso de 600 ± 200 gf para usar con recipientes de 14 L o más pequeños, y un mazo con un peso de 1 000 ± 200 gf para usar con recipientes más grandes.
- Cucharón:
  - De tamaño y forma adecuadas que aseguren la obtención de una cantidad representativa y suficiente del concreto para colocarla en el molde sin derrames.

Tabla 56

*Capacidad del recipiente de medida dependiente de TMN de acuerdo a NTP 339.046.*

TMN del agregado grueso		Capacidad del recipiente	
pulg.	mm	pie <sup>3</sup>	L
1	25,0	0,2	6
1 ½"	37,5	0,4	11
2	50	0,5	14
3	75	1,0	28
4 ½"	112	2,5	70
6	150	3,5	100

**Fuente: Adaptación de Tabla 1 de la norma NTP 339.046 (2013).**

#### 5.1.2.2 Procedimiento.

1. Tomar una muestra representativa del concreto fresco.
2. Llenar el molde en tres capas, vaciando el concreto alrededor de todo el perímetro, cada una varillada 25 veces uniformemente por toda la sección. Cada una de estas capas debe corresponder a aproximadamente la tercera parte del volumen interior del molde. Tratar de que cada varillada llegue hasta el fondo del molde, en el caso de la primera capa, y que penetre en aproximadamente 1 pulg. en la capa anterior, a partir de la segunda capa. Mantener el perímetro limpio.
3. En la última capa se debe rebasar la capacidad del molde, de tal forma que luego se puede enrasar con la varilla usada en el paso anterior.
4. Después de varillar cada capa se debe golpear con el mazo los lados del recipiente, de 10 a 15 veces, de modo que se cierren los poros ocasionados por la varilla y eliminen las burbujas de aire grandes entrampadas.
5. En la última capa se debe rebasar la capacidad del molde, de tal forma que luego se puede enrasar con la varilla usada en el paso anterior.
6. Pesar y calcular el peso unitario mediante la división del peso del concreto contenido en el recipiente entre el volumen interno de este.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 339.046.

### 5.1.3 Temperatura.

Este ensayo está normalizado por la NTP 339.184. El método de ensayo se puede resumir como la colocación de un termómetro en una muestra de concreto fresco durante un corto tiempo para determinar su temperatura.

#### 5.1.3.1 Equipos y herramientas.

- Recipiente:
  - Debe ser de un material no absorbente y suficientemente grande para que el termómetro sea cubierto por al menos 3 pulg. de concreto en todas las direcciones.
- Dispositivo para medición de temperatura:
  - Con la capacidad de medir la temperatura del concreto con una exactitud de  $\pm 0.5$  °C en un rango de 0 a 50 °C y un diseño que permita su inserción en el concreto a una profundidad de 3 pulg. o más.

#### 5.1.3.2 Procedimiento.

1. Tomar una muestra representativa del concreto fresco que permita cubrir el dispositivo de medición de temperatura por al menos 3 pulg. de concreto en todas las direcciones. Presionar levemente el concreto hacia el dispositivo para que la temperatura del ambiente no afecte las mediciones.
2. Dejar el dispositivo introducido en el concreto por al menos 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.
3. Tomar lectura. Todo este procedimiento se debe hacer dentro de los 5 minutos luego de haber obtenido la muestra.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 339.184.

## 5.2 Ensayos en estado endurecido

### 5.2.1 Resistencia a la compresión.

El método de ensayo se puede resumir como la aplicación de una carga axial de compresión a testigos cilíndricos, moldeados o extraídos con diamantina, a una velocidad que se encuentra dentro de un rango dado, hasta que falle. La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la máxima carga alcanzada en el ensayo entre el área de la sección transversal del espécimen (NTP 339.034, 2015).

#### 5.2.1.1 Equipos y herramientas.

- Máquina de ensayo:
  - Deberá tener la capacidad de proveer una velocidad de carga continua y sin impacto que corresponda a una velocidad de esfuerzo sobre el testigo de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s. Consultar la NTP 339.034 para más información acerca de los requerimientos a cumplir por la máquina de ensayo.
- Testigos:
  - Consultar la NTP 339.034 para más información acerca de los requerimientos a cumplir por los testigos a ensayar.

#### 5.2.1.2 Procedimiento.

1. Los ensayos de compresión de testigos curados en húmedo serán hechos tan pronto como sea pueda luego de retirarlos del almacenaje húmedo, es decir, los testigos serán ensayados en condición húmeda. Para esto, los testigos serán protegidos de la pérdida de humedad por cualquier método conveniente durante el periodo entre el retiro del almacenaje de humedad y el ensayo.

2. Todos los testigos para una determinada edad de ensayo serán fracturados dentro de las tolerancias permisibles mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 57

*Edades de ensayo y tolerancias permisibles de acuerdo a NTP 339.034.*

<b>Edad de ensayo</b>	<b>Tolerancia permisible</b>
24 h	$\pm 0.5$ h ó 2.1%
3 d	$\pm 2$ h ó 2.8%
7 d	$\pm 6$ h ó 3.6%
28 d	$\pm 20$ h ó 3.0%
90 d	$\pm 48$ h ó 2.2%

**Fuente: Adaptación de Tabla 2 de la norma NTP 339.034 (2015).**

3. Colocar el espécimen y alinear sus ejes con el centro de la rótula de asiento.
4. Aplicar la carga a una velocidad de movimiento que corresponda a una velocidad de esfuerzo sobre el testigo de  $0,25 \pm 0,05$  MPa/s.
5. No hacer ajustes en la velocidad de movimiento cuando se está alcanzando la carga final y la velocidad decrece debido a la rotura del testigo.
6. Calcular la resistencia a la compresión mediante la división de la carga máxima alcanzada en el ensayo entre el área de la sección transversal del testigo de concreto.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 339.034.

### 5.2.2 Resistencia a la tracción.

El método de ensayo se puede resumir como la aplicación de una fuerza de compresión a lo largo de la longitud del testigo cilíndrico de concreto, sea moldeado o extraído con diamantina, a una velocidad dada, hasta que falle. La resistencia a la tracción se calcula dividiendo la máxima carga alcanzada en el ensayo entre un factor geométrico dependiente de la longitud y diámetro del espécimen (NTP 339.084, 2017).

#### 5.2.2.1 Equipos y herramientas.

- Máquina de ensayo:
  - Cumplirá con los requerimientos de la norma NTP 339.034.
- Platina de apoyo suplementaria:
  - Se utilizarán en ambos cabezales de la máquina, cuando sus dimensiones sean menores que la longitud del espécimen. Tendrá un ancho de por lo menos 50 mm y un espesor no menor que la distancia desde el borde del soporte esférico o rectangular al extremo del cilindro. La platina se utilizará con el fin de que la carga sea aplicada a lo largo de toda la longitud del testigo.
- Listones de apoyo:
  - Se usarán dos listones lisos de madera contrachapada de apróx. 3.0 mm de espesor y de 25 mm de ancho, con una longitud igual o ligeramente mayor que el testigo. Los listones serán colocados entre el espécimen y las platinas de apoyo superior e inferior, en caso se utilicen estas, o sobre los cabezales de la máquina.
- Testigos:
  - Consultar la NTP 339.084 para más información acerca de los requerimientos a cumplir por los testigos a ensayar.

### 5.2.2.2 Procedimiento.

1. Los ensayos de tracción indirecta de testigos curados en húmedo serán hechos tan pronto como se pueda luego de retirarlos del almacenaje húmedo, es decir, los testigos serán ensayados en condición húmeda. Para esto, los testigos serán protegidos de la pérdida de humedad por cualquier método conveniente durante el periodo entre el retiro del almacenaje húmedo y el ensayo.
2. Determinar el diámetro del testigo con una aproximación de 0.25 mm y longitud con una aproximación de 2 mm.
3. Colocar un listón en el soporte inferior, colocar la probeta y el segundo listón por encima de esta, alineando el centro del conjunto al eje de la rótula de asiento.
4. La carga se aplicará en forma continua y evitando impactos, a una velocidad constante entre 0,7 MPa/min y 1,4 MPa/min hasta que falle el testigo por el esfuerzo de tracción por compresión diametral.
5. Calcular la resistencia a la tracción aplicando la siguiente fórmula, la cual depende de la carga (P), longitud (L) y diámetro (D) del testigo.

$$T = \frac{2 * P}{\pi * L * D} \quad (29)$$

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la norma NTP 339.084.

### 5.2.3 Resistencia a la abrasión.

El método de ensayo se puede resumir como una adaptación del ensayo de abrasión de agregado grueso en la máquina de Los Ángeles aplicado a concreto en estado endurecido. La diferencia con este ensayo es que en vez de usar agregado grueso se usa cubos de concreto y una cantidad diferente de billas y revoluciones. Los equipos, herramientas y procedimiento se tomaron de la tesis de Carpio y Peña (2017).

#### 5.2.3.1 Equipos y herramientas.

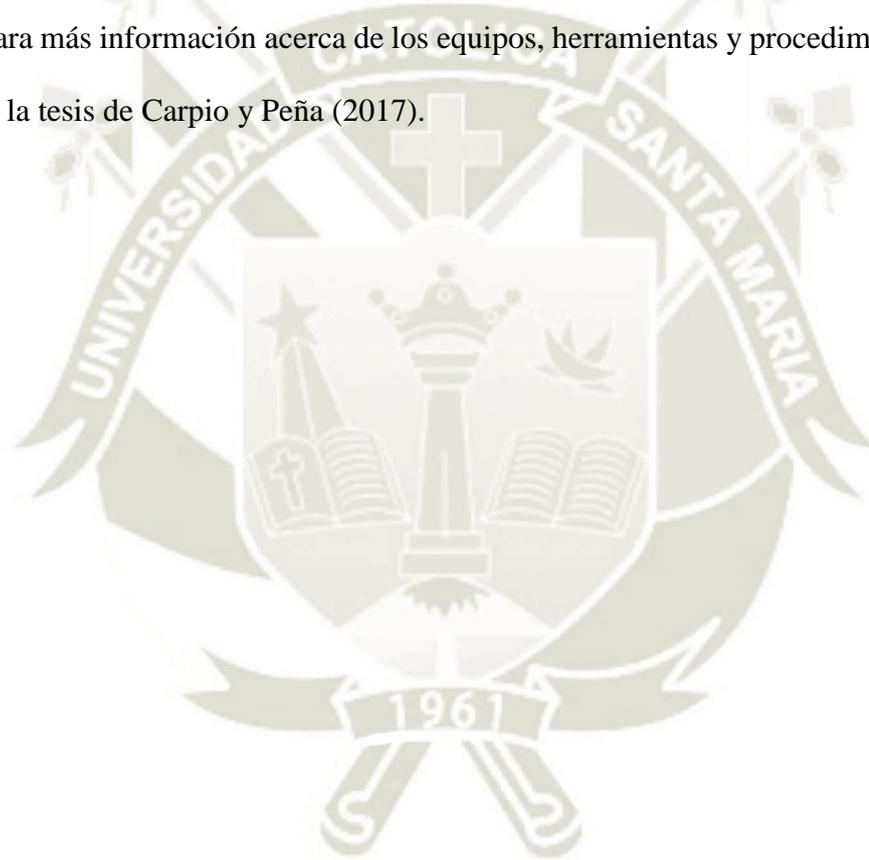
- Máquina de ensayo:
  - Cumplirá con los requerimientos de la norma NTP 339.034.
- Carga:
  - Consistirá en un número de esferas de acero, de aproximadamente 46.8 mm de diámetro y cada una de una masa entre 390 gf y 445 gf, igual al número de cubos de concreto ensayados.
- Especímenes:
  - 9 cubos de concreto de 50 mm de lado.
- Tamiz:
  - N°12 normalizado de acuerdo a la NTP 350.001.

#### 5.2.3.2 Procedimiento.

1. Elaborar 9 cubos de concreto de 50 mm de lado por cada diseño de mezcla. El desmolde de estos cubos debe realizarse 24 horas después de su elaboración. Sumergir los especímenes en agua saturada con hidróxido de calcio. Se tendrá que ensayar los especímenes a 28 días de su elaboración.
2. Secar los cubos en horno a temperatura de 40°C hasta obtener un peso constante, o dejar secar al aire durante un día entero.

3. Pesar la muestra (conjunto de 9 cubos) antes del ensayo y anotarla como el peso inicial.
4. Colocar los cubos y la carga abrasiva en la máquina de Los Ángeles y hacerla rotar por 1000 revoluciones.
5. Retirar todo el contenido de la máquina y tamizarlo por la malla N°12.
6. Pesar el retenido de la malla N°12 y anotarla como el peso final.
7. Determinar el porcentaje de desgaste con la Ecuación 17.

Para más información acerca de los equipos, herramientas y procedimientos de ensayo, consultar la tesis de Carpio y Peña (2017).



## CAPÍTULO VI

### 6. Resultados y análisis de los ensayos aplicados al concreto

En este capítulo se presentarán los resultados obtenidos en cada ensayo realizado a los concretos elaborados. Para cada uno de estos se presentarán primero las tablas de resultados y luego de cada una de estas se desarrollará el análisis de forma detallada.

#### 6.1 Ensayos en estado fresco

##### 6.1.1 Revenimiento, slump o asentamiento.

Tabla 58

*Revenimiento en pulgadas de cada dosificación realizada para cada relación agua/cemento y tipo de cemento.*

Código de diseño	Yura tipo I	Variación	Yura tipo IP	Variación
a/c 0.65	4.00	-	4.50	-
a/c 0.65 nS=0.5%	7.50	+87.50%	8.00	+77.78%
a/c 0.65 nS=0.7%	8.25	+106.25%	9.50	+111.11%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	4.00	-	5.00	-
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	4.50	-	5.00	-
a/c 0.60	4.25	-	5.00	-
a/c 0.60 nS=0.5%	7.75	+82.35%	8.00	+60.00%
a/c 0.60 nS=0.7%	9.00	+111.76%	8.50	+70.00%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	4.00	-	4.00	-
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	4.25	-	5.00	-
a/c 0.55	4.50	-	4.75	-
a/c 0.55 nS=0.5%	8.00	+77.78%	7.75	+63.16%
a/c 0.55 nS=0.7%	9.00	+100.00%	8.50	+78.95%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	4.00	-	4.50	-
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	5.00	-	5.00	-

**Fuente: Elaboración propia.**

a/c	Incremento promedio se slump respecto a los patrones	
	nS=0.5%	nS=0.7%
Yura tipo I	82.54%	106.00%
Yura tipo IP	66.98%	86.69%

6.1.1.1 *Revenimiento de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.*

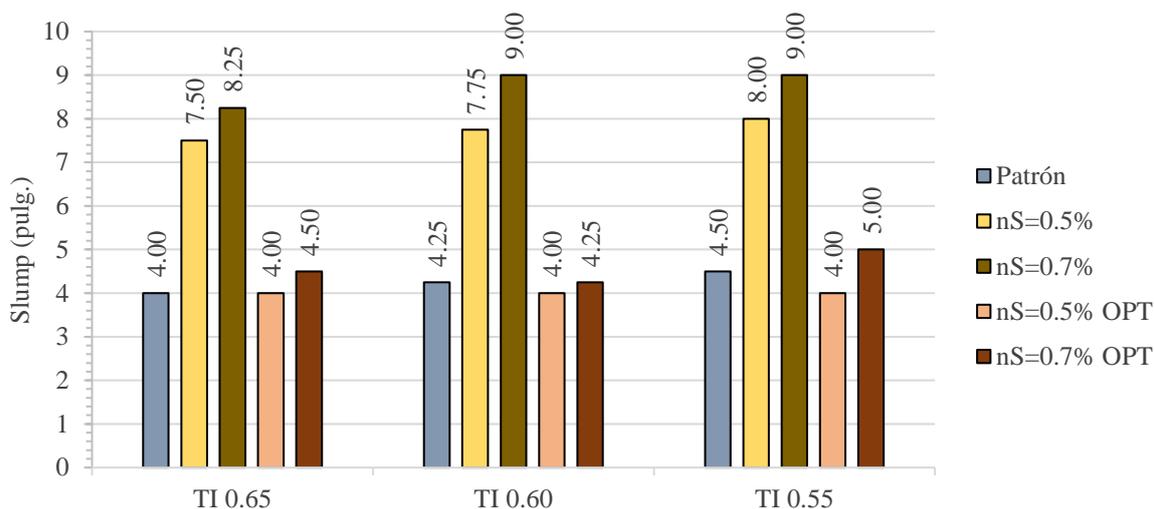


Figura 13: Comparación de revenimientos entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 13, se logró obtener revenimientos en el rango de 4 a 5 pulgadas tanto con los concretos patrones como con los concretos optimizados con nanosílice al 0.5% y 0.7%. Mientras que con los diseños con nanosílice al 0.5% y 0.7% el asentamiento aumentó en promedio 82.54% y 106%, respectivamente, en relación a los concretos patrones. Cabe resaltar que los concretos con nanosílice al 0.7% elaborados con este tipo de cemento tuvieron una ligera tendencia a segregar.

6.1.1.2 *Revenimiento de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.*

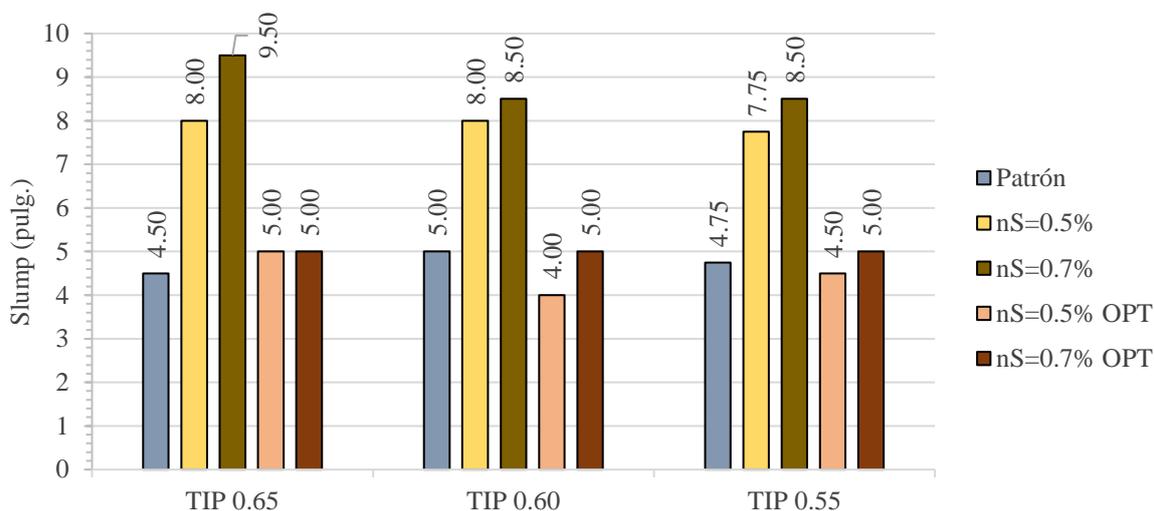


Figura 14: Comparación de revenimientos entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 14, se logró obtener revenimientos en el rango de 4 a 5 pulgadas tanto con los concretos patrones como con los concretos optimizados con nanosílice al 0.5% y 0.7%. Mientras que con los diseños con nanosílice al 0.5% y 0.7% el asentamiento aumentó en promedio 67% y 87%, respectivamente, en relación a los concretos patrones. Cabe resaltar que los concretos con nanosílice, tanto al 0.5% como al 0.7%, mantuvieron su cohesividad a pesar de presentar revenimientos altos.

### 6.1.1.3 Revenimiento de todos los concretos elaborados.

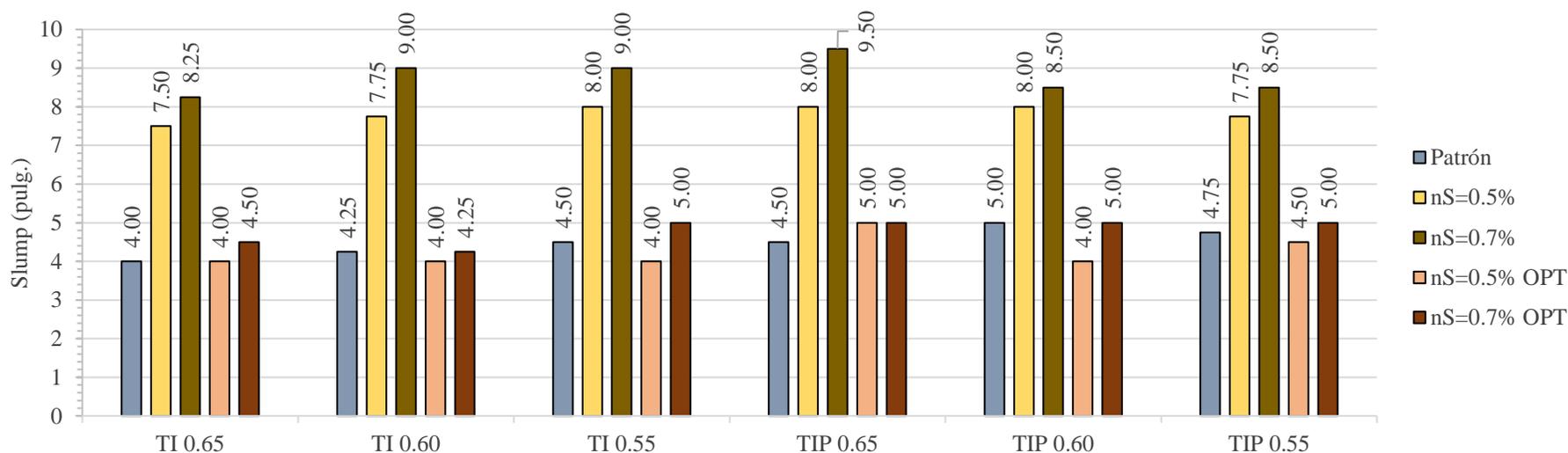


Figura 15: Comparación de revenimientos entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Al observar la Figura 15 se podría decir que el efecto de la nanosílice es el mismo en ambos tipos de cemento, sin embargo, luego de calcular el aumento promedio del revenimiento para cada tipo de cemento (83% y 106% para Yura tipo I; 67% y 87% para Yura tipo IP), se puede afirmar que la adición de nS ofrece un mejor rendimiento, en cuanto al aumento del asentamiento del concreto, cuando se utiliza cemento Yura tipo I que cuando se utiliza Yura tipo IP. También el aumento promedio del revenimiento entre dosis de nS de 0.5% y 0.7% es mayor cuando se utiliza cemento Yura tipo I. Como contra se tiene que con dosis de nS de 0.7% los concretos elaborados con cemento Yura tipo I tienden a segregar levemente, mientras que con Yura tipo IP los concretos se mantienen cohesivos. Otra observación es que la relación a/c no influye notablemente en los revenimientos alcanzados con la adición de nanosílice, por lo que se podría decir que el revenimiento se da en función a la dosis de nanosílice.

En todos los casos, la adición de nanosílice resultó en revenimientos mayores a 7.5 pulgadas, valor que, según la ASTM C1017, al ser superado manteniendo la cohesividad de la mezcla, indica que las mezclas con nanosílice corresponden a concretos fluidos (Kosmatka et al., 2004).

### 6.1.2 Peso unitario.

Tabla 59

*Peso unitario de cada dosificación realizada para cada relación agua/cemento y tipo de cemento.*

Código de diseño	Yura tipo I	Variación	Yura tipo IP	Variación
a/c 0.65	2367.51	-	2350.43	-
a/c 0.65 nS=0.5%	2350.07	-0.74%	2327.29	-0.98%
a/c 0.65 nS=0.7%	2330.50	-1.56%	2334.77	-0.67%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	2355.05	-0.53%	2353.99	+0.15%
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	2368.22	+0.03%	2370.36	+0.85%
a/c 0.60	2395.98	-	2363.24	-
a/c 0.60 nS=0.5%	2382.10	-0.58%	2349.36	-0.59%
a/c 0.60 nS=0.7%	2358.97	-1.54%	2357.90	-0.23%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	2367.16	-1.20%	2343.31	-0.84%
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	2378.19	-0.74%	2379.52	+0.69%
a/c 0.55	2402.39	-	2370.71	-
a/c 0.55 nS=0.5%	2372.14	-1.26%	2356.12	-0.62%
a/c 0.55 nS=0.7%	2360.75	-1.73%	2364.66	-0.26%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	2399.54	-0.12%	2358.61	-0.51%
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	2405.24	+0.12%	2360.39	-0.44%

**Fuente: Elaboración propia.**

Incremento promedio de peso unitario respecto a los patrones				
a/c	nS=0.5%	nS=0.7%	nS=0.5% OPT	nS=0.7% OPT
Yura tipo I	-0.86%	-1.61%	-0.62%	-0.20%
Yura tipo IP	-0.73%	-0.38%	-0.40%	0.37%

6.1.2.1 *Peso unitario de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.*

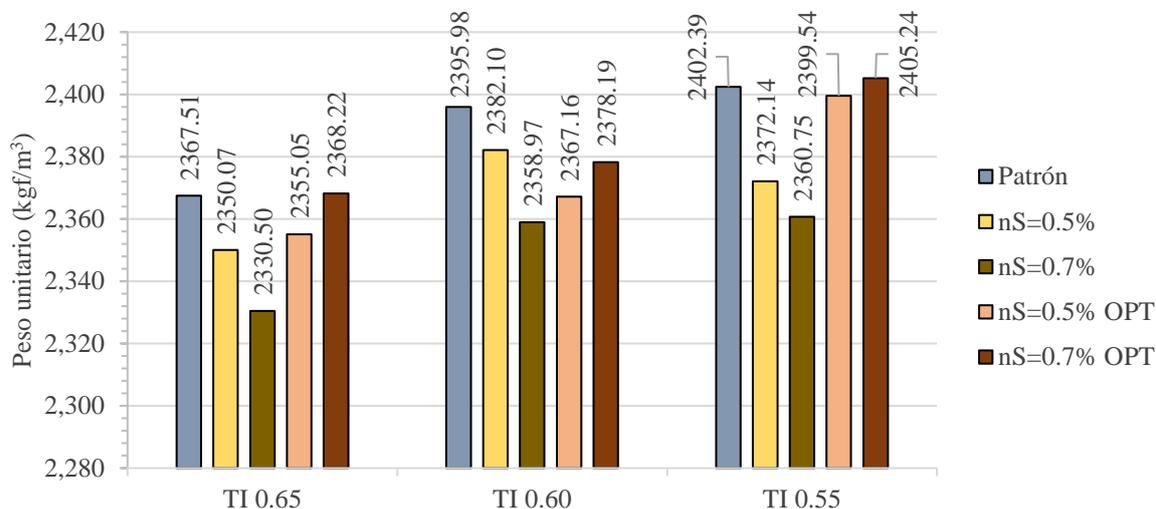


Figura 16: Comparación de pesos unitarios entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 16, el peso unitario de los concretos patrones aumenta a medida que la relación a/c disminuye debido al incremento del cemento y agregado grueso causada por dicha disminución en la relación a/c. El peso unitario de los concretos con nanosílice tiende a disminuir a medida que la dosis de este aditivo aumenta ya que la mezcla se vuelve cada vez más fluida y al momento de tomar la muestra, esta cuenta con más pasta que agregado. En cambio, para los concretos optimizados con nanosílice, el peso unitario crece a medida que la dosis de este aditivo aumenta, esto debido al incremento de agregado grueso y arena para compensar la disminución de cemento. No existe una relación lineal entre el peso unitario de los concretos optimizados con nanosílice y el de los concretos patrones.

6.1.2.2 *Peso unitario de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.*

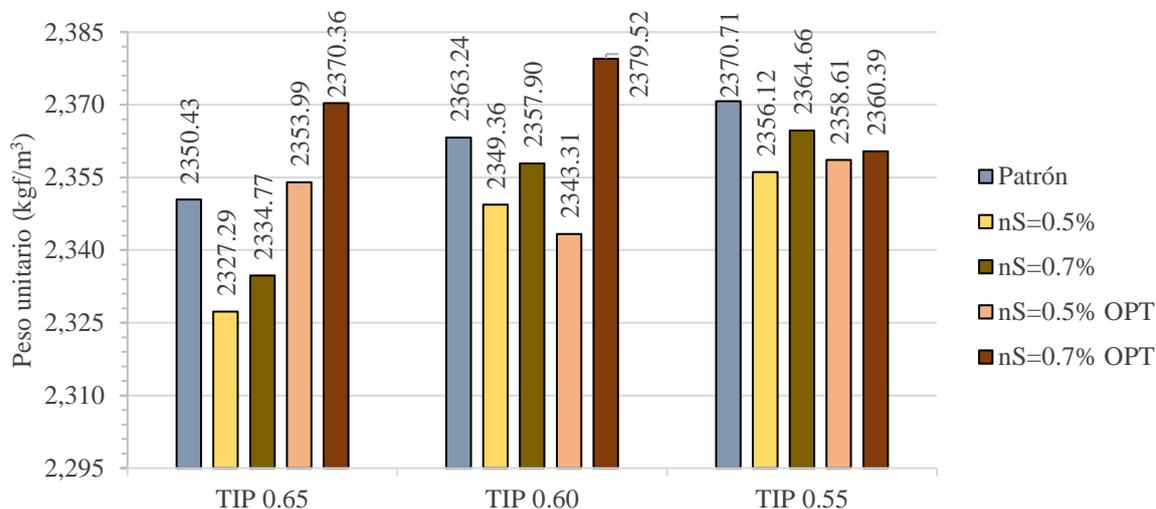


Figura 17: Comparación de pesos unitarios entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 17, el peso unitario de los concretos patrones aumenta a medida que la relación a/c disminuye debido al incremento del cemento y agregado grueso causada por dicha disminución en la relación a/c. El peso unitario de los concretos con nanosílice tiende a aumentar a medida que se incrementa la dosis de nanosílice debido a que los concretos se muestran cada vez más cohesivos, sin embargo, los valores de peso unitario se mantuvieron por debajo de los valores para los concretos patrones. Para los concretos optimizados con nanosílice, el peso unitario crece a medida que la dosis de este aditivo aumenta, esto debido al incremento de agregado grueso y arena para compensar la disminución de cemento. No existe una relación lineal entre el peso unitario de los concretos optimizados con nanosílice y el de los concretos patrones.

### 6.1.2.3 *Peso unitario de todos los concretos elaborados.*

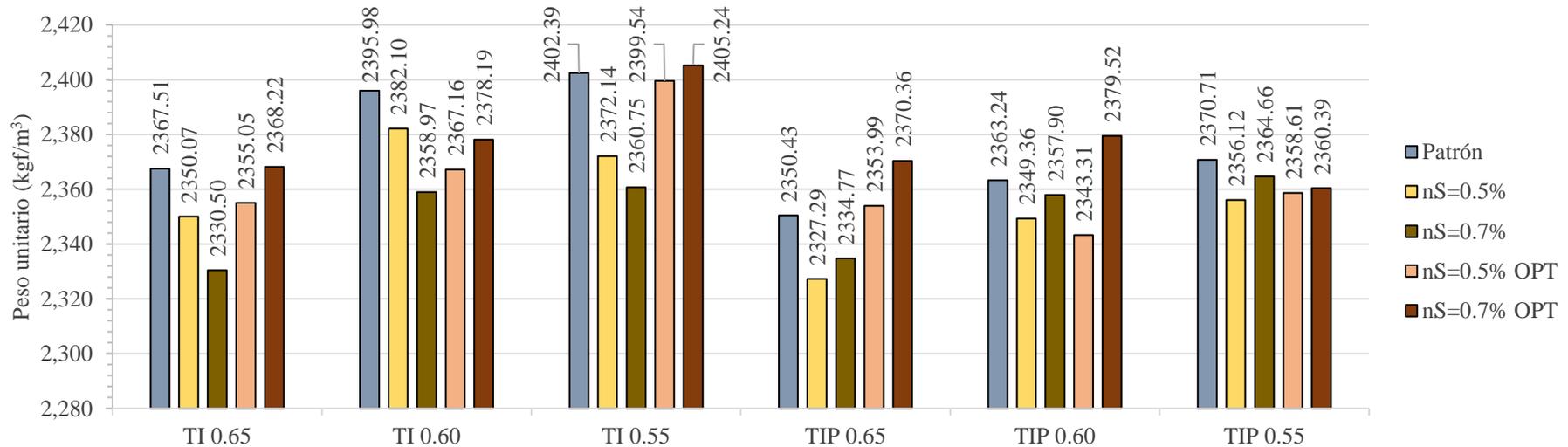


Figura 18: Comparación de pesos unitarios entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 18, los concretos patrones elaborados con cemento Yura tipo I cuentan, en general, con un peso unitario mayor al de los elaborados con cemento Yura tipo IP, ya que al ser el peso específico del cemento Yura tipo I mayor al del cemento Yura tipo IP, los volúmenes absolutos de estos serán menores para concretos con el primer cemento que con el segundo, necesitando más agregado en el primer caso que en el segundo para completar la unidad volumétrica. En cuanto a los pesos unitarios de los concretos con nS, los elaborados con cemento Yura tipo I tienden a disminuir a medida que la dosis de este aditivo aumenta, mientras que con cemento Yura tipo IP sucede lo contrario. Para los concretos optimizados con nanosílice, los pesos unitarios de los elaborados con cemento Yura tipo I son mayores, en promedio, en comparación a los elaborados con cemento Yura IP debido a que la cantidad de agregado usado en los primeros es mayor.

### 6.1.3 Temperatura.

Tabla 60

*Temperatura de cada dosificación realizada para cada relación agua/cemento y tipo de cemento.*

Código de diseño	Yura tipo I	Variación	Yura tipo IP	Variación
a/c 0.65	19.8	-	15	-
a/c 0.65 nS=0.5%	20	+1.01%	17.5	+16.67%
a/c 0.65 nS=0.7%	21.2	+7.07%	18.7	+24.67%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	18.1	-8.59%	18	+20.00%
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	19.4	-2.02%	18.6	+24.00%
a/c 0.60	21	-	19.2	-
a/c 0.60 nS=0.5%	20	-4.76%	17.1	-10.94%
a/c 0.60 nS=0.7%	21.4	+1.90%	17.9	-6.77%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	20.6	-1.90%	18.6	-3.12%
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	17	-19.05%	18	-6.25%
a/c 0.55	18.6	-	18	-
a/c 0.55 nS=0.5%	17.3	-6.99%	15.9	-11.67%
a/c 0.55 nS=0.7%	18	-3.23%	18	0.00%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	18	-3.23%	15	-16.67%
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	16.6	-10.75%	16.6	-7.78%

**Fuente: Elaboración propia.**

a/c	Temperatura promedio (°C)
Yura tipo I	19.13
Yura tipo IP	17.47

### 6.1.3.1 Temperatura de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.

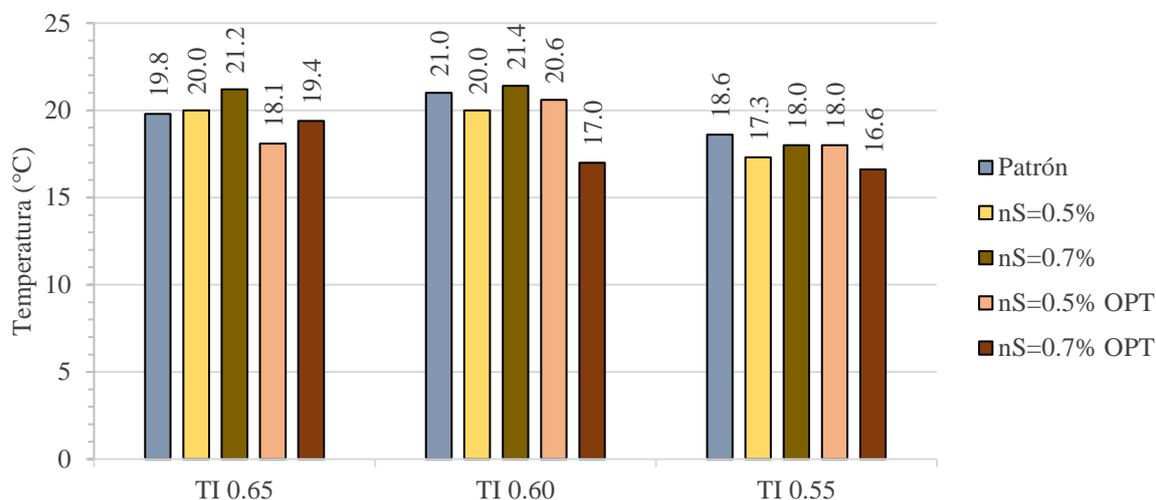
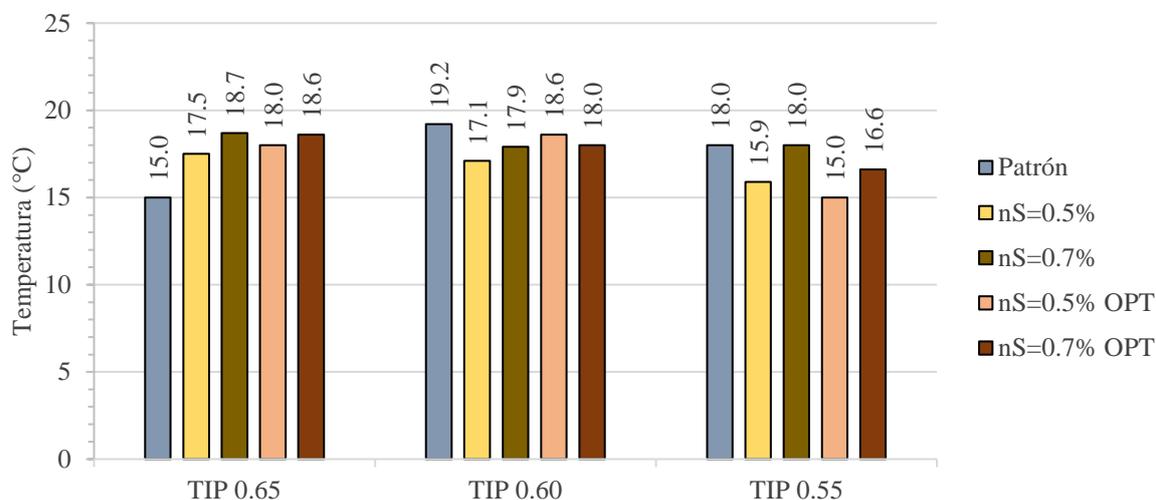


Figura 19: Comparación de temperatura entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 19, no hay una relación lineal en cuanto a la temperatura y la relación a/c de los concretos patrones. La temperatura de los concretos con nanosílice aumenta a medida que lo hace la dosis de este aditivo. No hay una relación lineal entre dosis de nanosílice y relación agua/cemento en estos concretos. Se observa también que a medida que la relación a/c disminuye, la temperatura de los concretos con nanosílice decrece con respecto a la de sus patrones, a partir de la relación a/c 0.60. En cuanto a la temperatura de los concretos optimizados con nanosílice, la temperatura disminuye con respecto a la de sus patrones, esto debido a la disminución del contenido de cemento entre los diseños optimizados con nanosílice y sus patrones. Además, en el caso de los diseños optimizados con nanosílice no existe una relación lineal entre la temperatura y la dosis de este aditivo usada. Solo se observa una disminución progresiva de la temperatura para los concretos con nanosílice al 0.5% y los optimizados con nanosílice al 0.7% a medida que la relación a/c decrece.

**6.1.3.2 Temperatura de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.**



*Figura 20:* Comparación de temperatura entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 20, no hay una relación lineal en cuanto a la temperatura y la relación a/c de los concretos patrones. La temperatura de los concretos con nanosílice aumenta a medida que lo hace la dosis de este aditivo. No hay una relación lineal entre dosis de nanosílice y relación agua/cemento en estos concretos. Se observa también que no hay una relación lineal entre la temperatura de los concretos con nanosílice y la de sus patrones. En cuanto a la temperatura de los concretos optimizados con nanosílice, tampoco existe una relación lineal entre la temperatura de estos y la de sus patrones. Además, en el caso de estos concretos no existe una relación lineal entre la temperatura y la dosis de este aditivo usada. Solo se observa una disminución progresiva de la temperatura para los concretos con nanosílice al 0.5% y los optimizados con nanosílice al 0.7% a medida que la relación a/c decrece.

### 6.1.3.3 Temperatura de todos los concretos elaborados.

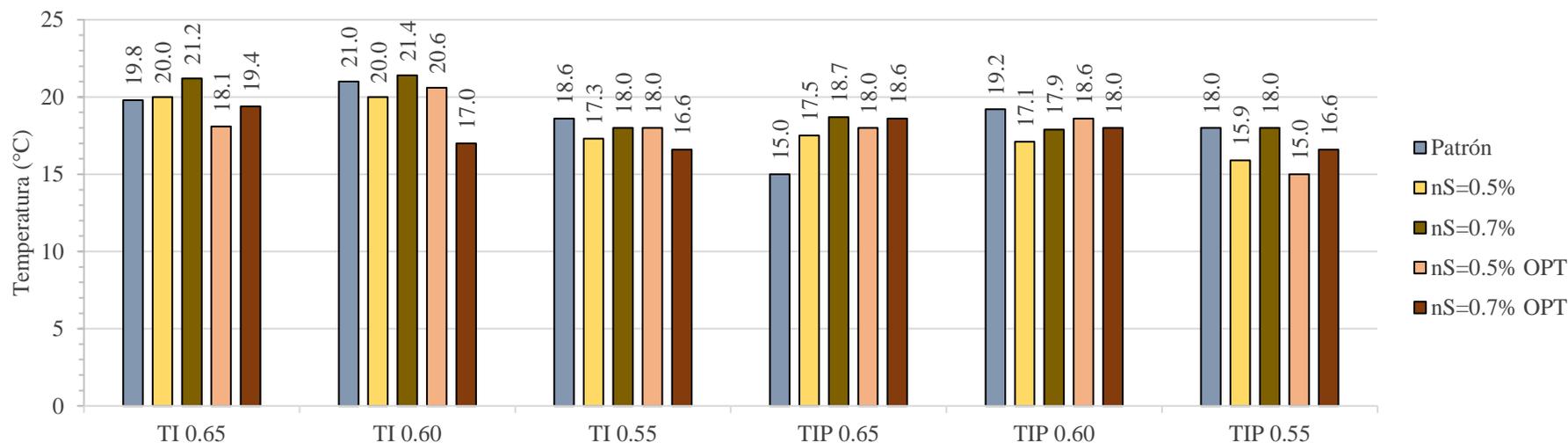
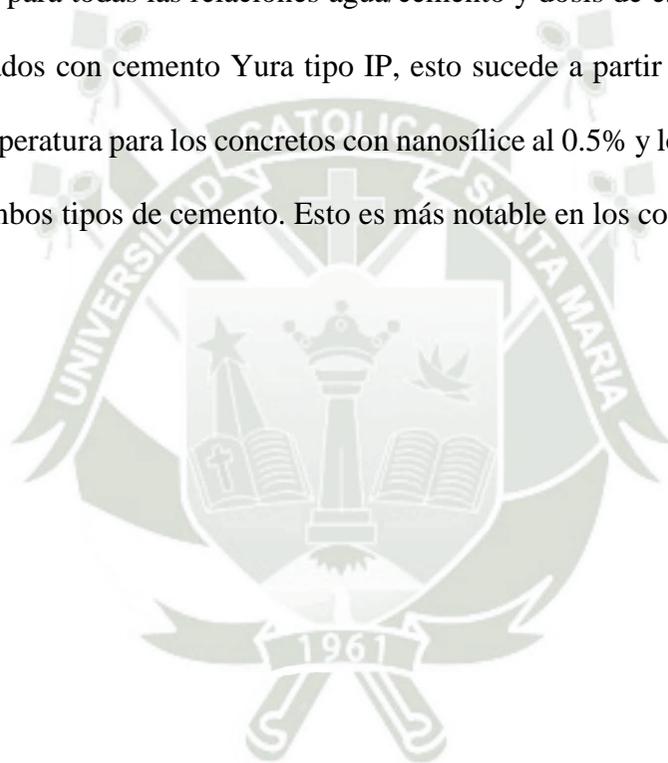


Figura 21: Comparación de temperaturas entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 21, los concretos elaborados con cemento Yura tipo I presentan, en promedio, una temperatura más alta ( $19.13^{\circ}\text{C}$ ) que los elaborados con cemento Yura tipo IP ( $17.47^{\circ}\text{C}$ ). Esto puede deberse al tipo de cemento y a la temperatura del agua de mezclado. Este último factor pudo ser el determinante puesto que los vaciados se realizaron a diferentes horas del día, mientras más temprano, menor fue la temperatura del agua y, por consiguiente, menor la temperatura de la mezcla. Es claro que no hay una relación lineal en cuanto a la temperatura y la relación agua/cemento de los concretos patrones. Tanto en los concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I como con cemento Yura tipo IP la temperatura aumenta a medida que lo hace la dosis de este aditivo. No hay una relación lineal entre dosis de nanosílice y relación agua/cemento en estos concretos. Se puede decir que la temperatura en los concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo

I tiene cierta tendencia a disminuir con respecto a los concretos patrones a partir de la relación agua/cemento 0.60, mientras que en los elaborados con cemento Yura tipo IP no hay una tendencia definida. En cuanto a la temperatura de los concretos optimizados con nanosílice se observa que esta decrece respecto a los concretos patrones para todas las relaciones agua/cemento y dosis de este aditivo en aquellos elaborados con cemento Yura tipo I, mientras que en aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, esto sucede a partir de la relación agua/cemento 0.60. Además, se presenta una disminución progresiva de la temperatura para los concretos con nanosílice al 0.5% y los optimizados con nanosílice al 0.7% a medida que la relación agua/cemento decrece, para ambos tipos de cemento. Esto es más notable en los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.



## 6.2 Ensayos en estado endurecido

Para los datos promedio de resistencia a la compresión y a la tracción presentados se consideraron 3 de 4 datos obtenidos en los ensayos, los valores descartados son aquellos en negrita y el procedimiento que se siguió para elegir qué dato no considerar se mostrará en los anexos.

### 6.2.1 Resistencia a la compresión.

#### 6.2.1.1 Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65.

Tabla 61

*Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65	A1	13-May	16-May	3	84.38	10530	124.80	125.44	6.61	5.27
	A7	13-May	16-May	3	84.30	11767	<b>139.59</b>			
	A13	13-May	16-May	3	82.60	9843	119.17			
	A19	13-May	16-May	3	85.44	11308	132.35			
	A2	13-May	20-May	7	85.28	18990	222.69	215.02	8.23	3.83
	A8	13-May	20-May	7	83.57	18054	216.05			
	A14	13-May	20-May	7	82.52	15624	<b>189.35</b>			
	A20	13-May	20-May	7	82.92	17109	206.33			
	A3	13-May	10-Jun	28	83.89	24430	291.21	290.59	0.74	0.26
	A9	13-May	10-Jun	28	83.08	24158	290.78			
	A15	13-May	10-Jun	28	82.52	23602	<b>286.03</b>			
	A21	13-May	10-Jun	28	85.28	24710	289.77			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65 nS=0.5%	A1	07-May	10-May	3	86.01	13444	156.30	150.60	5.01	3.33
	A7	07-May	10-May	3	84.95	13623	<b>160.37</b>			
	A13	07-May	10-May	3	81.63	12129	148.58			
	A19	07-May	10-May	3	83.89	12324	146.91	231.25	12.27	5.31
	A2	07-May	14-May	7	85.19	20370	239.10			
	A8	07-May	14-May	7	83.48	19831	237.54			
	A14	07-May	14-May	7	84.46	17578	<b>208.12</b>			
	A20	07-May	14-May	7	86.18	18710	217.11	290.43	5.01	1.72
	A3	07-May	04-Jun	28	85.03	20996	<b>246.92</b>			
	A9	07-May	04-Jun	28	83.73	24549	293.20			
A15	07-May	04-Jun	28	83.97	23903	284.66				
A21	07-May	04-Jun	28	82.76	24285	293.45				
a/c 0.65 nS=0.7%	A1	07-May	10-May	3	83.65	11719	140.10	137.53	3.89	2.83
	A7	07-May	10-May	3	85.60	11390	133.06			
	A13	07-May	10-May	3	84.79	12524	<b>147.71</b>			
	A19	07-May	10-May	3	85.19	11878	139.42	214.77	0.25	0.12
	A2	07-May	14-May	7	86.34	18540	214.73			
	A8	07-May	14-May	7	84.13	18092	215.04			
	A14	07-May	14-May	7	84.46	17446	<b>206.56</b>			
	A20	07-May	14-May	7	86.51	18559	214.54	278.01	8.67	3.12
	A3	07-May	04-Jun	28	83.24	24608	<b>295.62</b>			
	A9	07-May	04-Jun	28	82.76	23730	286.74			
A15	07-May	04-Jun	28	84.30	22709	269.39				
A21	07-May	04-Jun	28	83.73	23268	277.90				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	A1	15-May	18-May	3	85.60	12549	146.59	143.34	3.81	2.66
	A7	15-May	18-May	3	85.19	11855	139.15			
	A13	15-May	18-May	3	85.36	10412	<b>121.98</b>			
	A19	15-May	18-May	3	85.77	12373	144.26	217.02	2.99	1.38
	A2	15-May	22-May	7	86.92	18664	214.73			
	A8	15-May	22-May	7	85.77	18903	220.40			
	A14	15-May	22-May	7	86.59	18699	215.95			
	A20	15-May	22-May	7	86.34	19221	<b>222.61</b>			
	A3	15-May	12-Jun	28	83.16	24337	292.65	296.96	8.12	2.73
	A9	15-May	12-Jun	28	84.87	24774	291.92			
	A15	15-May	12-Jun	28	84.46	21362	<b>252.93</b>			
A21	15-May	12-Jun	28	85.69	26248	306.33				
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	A1	15-May	18-May	3	82.11	13083	159.33	152.22	6.51	4.28
	A7	15-May	18-May	3	86.10	12616	146.53			
	A13	15-May	18-May	3	82.68	9604	<b>116.16</b>			
	A19	15-May	18-May	3	87.09	13133	150.81	230.58	20.96	9.09
	A2	15-May	22-May	7	83.32	19913	238.99			
	A8	15-May	22-May	7	86.59	17900	206.72			
	A14	15-May	22-May	7	84.70	15417	<b>182.01</b>			
	A20	15-May	22-May	7	86.18	21203	246.04			
	A3	15-May	12-Jun	28	86.26	25375	294.17	282.57	18.61	6.59
A9	15-May	12-Jun	28	84.95	24843	292.45				
A15	15-May	12-Jun	28	84.38	22031	261.10				
A21	15-May	12-Jun	28	83.89	28059	<b>334.47</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62

Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65.

Código de diseño	Resistencia a la compresión por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.65	125.44	215.02	290.59	-	-	-
a/c 0.65 nS=0.5%	150.60	231.25	290.43	+20.06%	+7.55%	-0.05%
a/c 0.65 nS=0.7%	137.53	214.77	278.01	+9.64%	-0.12%	-4.33%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	143.34	217.02	296.96	+14.27%	+0.93%	+2.20%
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	152.22	230.58	282.57	+21.35%	+7.24%	-2.76%

Fuente: Elaboración propia.

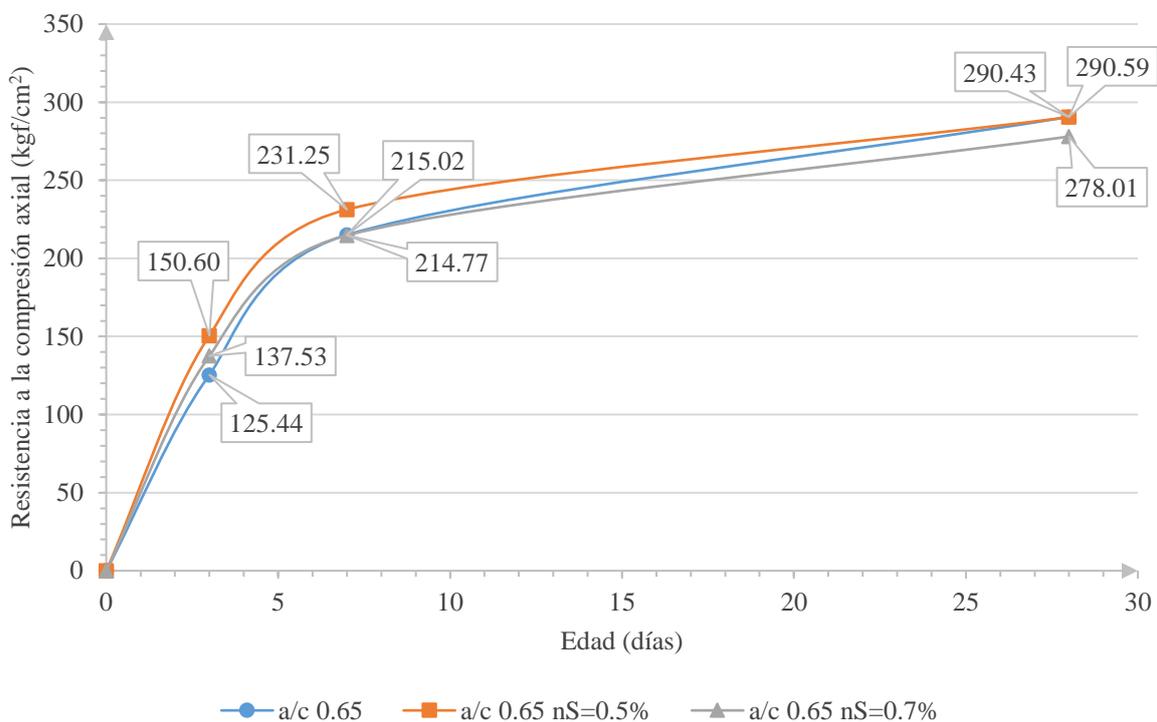


Figura 22: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 22, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto con nanosílice al 0.5% desarrolla incrementos de 20.06% y 7.55% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras aquel con este aditivo al 0.7% solo desarrolla un incremento de 9.64% a 3 días. A pesar de esto, la resistencia a 28 días del concreto con nanosílice al 0.5% se torna idéntica a la del concreto patrón, mientras que en aquel con una dosis de 0.7% la resistencia decrece un

4.33% con respecto a este. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo I es 0.5%.

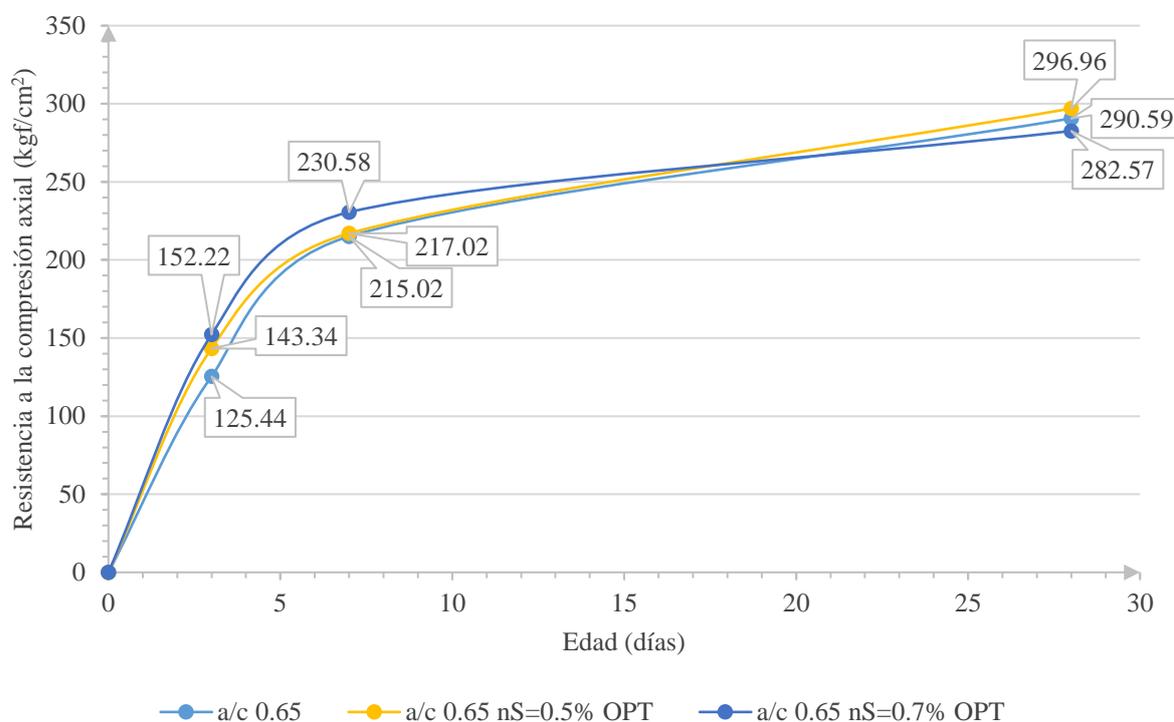
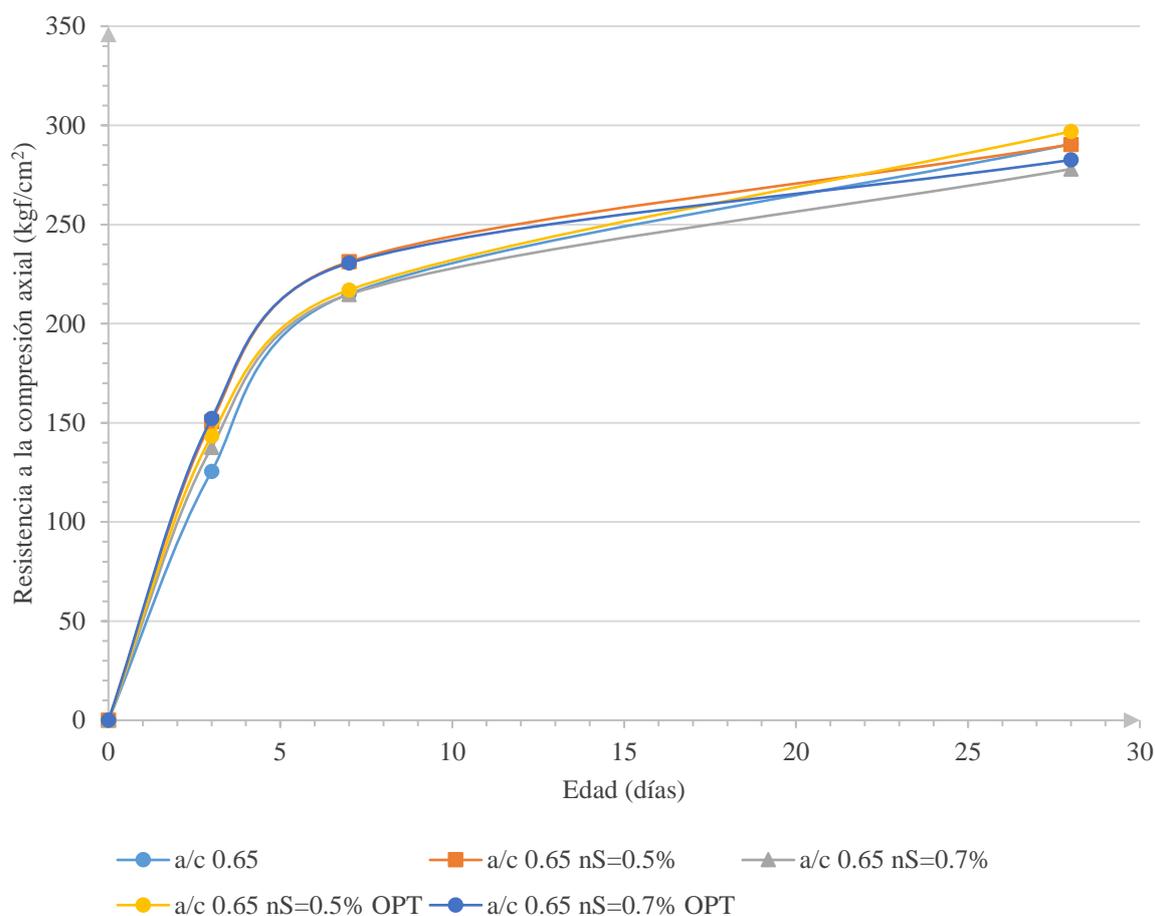


Figura 23: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 23, los concretos optimizados con nS desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto optimizado con nS al 0.7% desarrolla incrementos de 21.35% y 7.24% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que aquel con este aditivo al 0.5% desarrolla incrementos menores (+14.27% a 3 días y +0.93% a 7 días). A pesar de que las resistencias a edades tempranas del concreto optimizado con nS al 0.7% fueron las mayores en comparación a los otros concretos, este termina con una reducción de su resistencia a 28 días de 2.76% respecto al patrón. Esto puede deberse a que la reducción del cemento hecha (-6.72%), respecto al patrón, pudo ser excesiva. En cambio, el concreto optimizado con nS al 0.5% logra superar la resistencia del concreto patrón a 28 días por un 2.20%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo I es 0.5%.



**Figura 24:** Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 24, tantos los concretos con nanosílice como los optimizados con este desarrollan resistencias más altas a edades tempranas, sobre todo a los 3 días. A los 7 días todos los concretos con nanosílice tienen mayor resistencia que el patrón, excepto aquel con nanosílice al 0.7%, que desarrolla una resistencia menor a este. En los concretos con nanosílice y optimizado con este al 0.5% se igualó y superó (respectivamente) la resistencia del concreto patrón a 28 días, mientras que en los elaborados con una dosis de 0.7% sucedió lo contrario. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice, en general, para concretos con relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo I es 0.5%.

6.2.1.2 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60.*

Tabla 63

*Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60	A1	08-May	11-May	3	85.11	12925	151.86	153.47	2.15	1.40
	A7	08-May	11-May	3	82.27	14125	<b>171.68</b>			
	A13	08-May	11-May	3	86.10	13141	152.63			
	A19	08-May	11-May	3	84.95	13244	155.91	245.28	8.00	3.26
	A2	08-May	15-May	7	86.59	21649	250.02			
	A8	08-May	15-May	7	87.17	19619	<b>225.07</b>			
	A14	08-May	15-May	7	85.52	20187	236.05			
	A20	08-May	15-May	7	85.60	21383	249.79			
	A3	08-May	05-Jun	28	84.62	27599	326.14			
	A9	08-May	05-Jun	28	85.60	26950	314.82	318.16	6.94	2.18
	A15	08-May	05-Jun	28	82.60	25896	313.52			
	A21	08-May	05-Jun	28	85.69	25559	<b>298.29</b>			
a/c 0.60 nS=0.5%	A1	08-May	11-May	3	84.54	14894	176.18	167.32	14.53	8.69
	A7	08-May	11-May	3	84.54	11526	<b>136.34</b>			
	A13	08-May	11-May	3	84.54	12727	150.54			
	A19	08-May	11-May	3	85.52	14986	175.23	254.84	5.87	2.30
	A2	08-May	15-May	7	89.92	22311	248.12			
	A8	08-May	15-May	7	83.81	21572	257.39			
	A14	08-May	15-May	7	84.46	21875	259.00			
	A20	08-May	15-May	7	83.81	22594	<b>269.59</b>			
	A3	08-May	05-Jun	28	84.62	28704	339.20			
	A9	08-May	05-Jun	28	88.75	28242	318.23	330.01	10.73	3.25
A15	08-May	05-Jun	28	84.13	27984	332.61				
A21	08-May	05-Jun	28	86.18	30814	<b>357.56</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60 nS=0.7%	A1	08-May	11-May	3	83.57	15876	189.98	187.16	4.51	2.41
	A7	08-May	11-May	3	82.92	15716	189.53			
	A13	08-May	11-May	3	86.18	15680	181.95			
	A19	08-May	11-May	3	83.81	15082	<b>179.96</b>	272.67	8.58	3.15
	A2	08-May	15-May	7	87.83	24324	276.94			
	A8	08-May	15-May	7	86.76	22799	262.80			
	A14	08-May	15-May	7	83.97	23367	278.27			
	A20	08-May	15-May	7	83.81	21702	<b>258.95</b>	330.01	4.89	1.48
	A3	08-May	05-Jun	28	85.60	29242	<b>341.60</b>			
	A9	08-May	05-Jun	28	85.03	27803	326.98			
A15	08-May	05-Jun	28	84.70	27732	327.40				
A21	08-May	05-Jun	28	85.28	28623	335.65				
a/c 0.60 nS=05% OPT	A1	15-May	18-May	3	82.35	13042	158.36	150.52	11.86	7.88
	A7	15-May	18-May	3	84.87	13266	156.32			
	A13	15-May	18-May	3	85.44	11694	136.87			
	A19	15-May	18-May	3	84.38	11199	<b>132.72</b>	240.11	3.20	1.33
	A2	15-May	22-May	7	87.83	21411	243.77			
	A8	15-May	22-May	7	87.00	20767	238.69			
	A14	15-May	22-May	7	85.60	18418	<b>215.16</b>			
	A20	15-May	22-May	7	83.16	19782	237.88	325.00	7.45	2.29
	A3	15-May	12-Jun	28	84.95	28324	333.42			
	A9	15-May	12-Jun	28	84.46	27219	322.27			
A15	15-May	12-Jun	28	82.35	24346	<b>295.62</b>				
A21	15-May	12-Jun	28	82.11	26218	319.29				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	A1	20-May	23-May	3	84.95	12978	152.77	148.99	4.07	2.73
	A7	20-May	23-May	3	82.60	11950	144.68			
	A13	20-May	23-May	3	84.62	12653	149.52			
	A19	20-May	23-May	3	84.62	14866	<b>175.67</b>	258.09	8.72	3.38
	A2	20-May	27-May	7	85.69	22973	268.11			
	A8	20-May	27-May	7	85.44	21698	253.96			
	A14	20-May	27-May	7	89.00	20644	<b>231.96</b>			
	A20	20-May	27-May	7	87.91	22172	252.20	329.49	13.33	4.04
	A3	20-May	17-Jun	28	86.51	29583	341.97			
	A9	20-May	17-Jun	28	81.87	25827	315.45			
	A15	20-May	17-Jun	28	85.36	28258	331.05			
A21	20-May	17-Jun	28	85.11	30888	<b>362.91</b>				

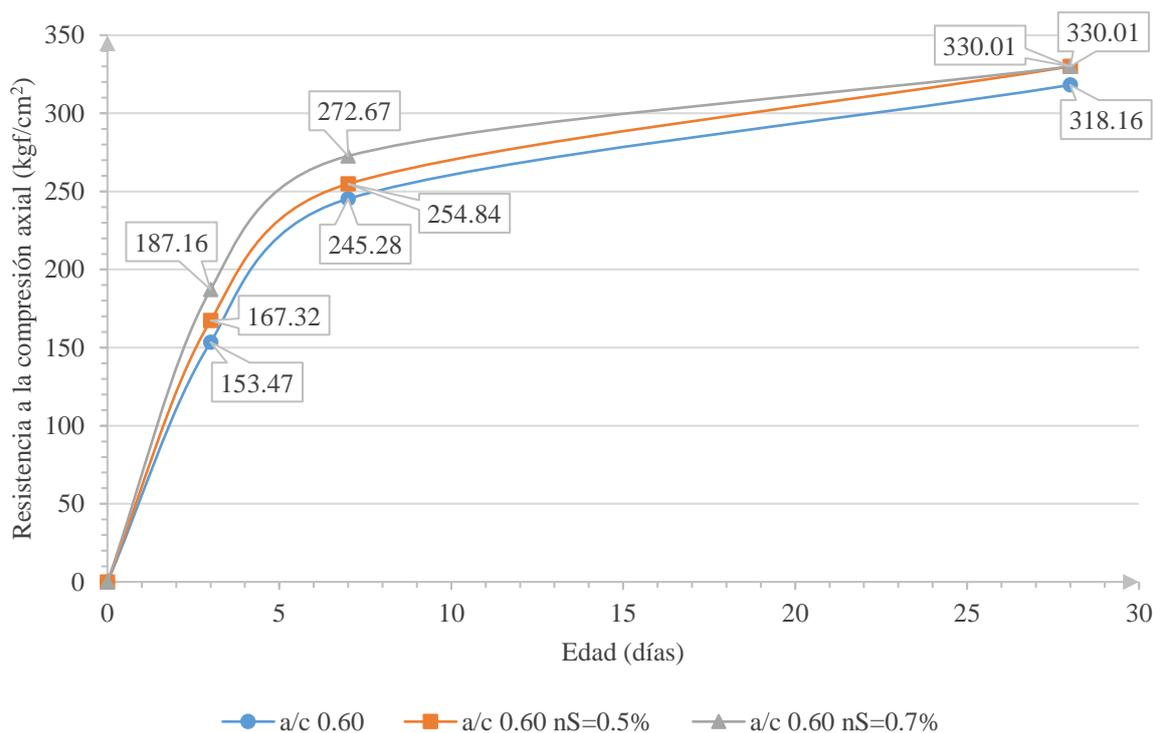
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64

Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60.

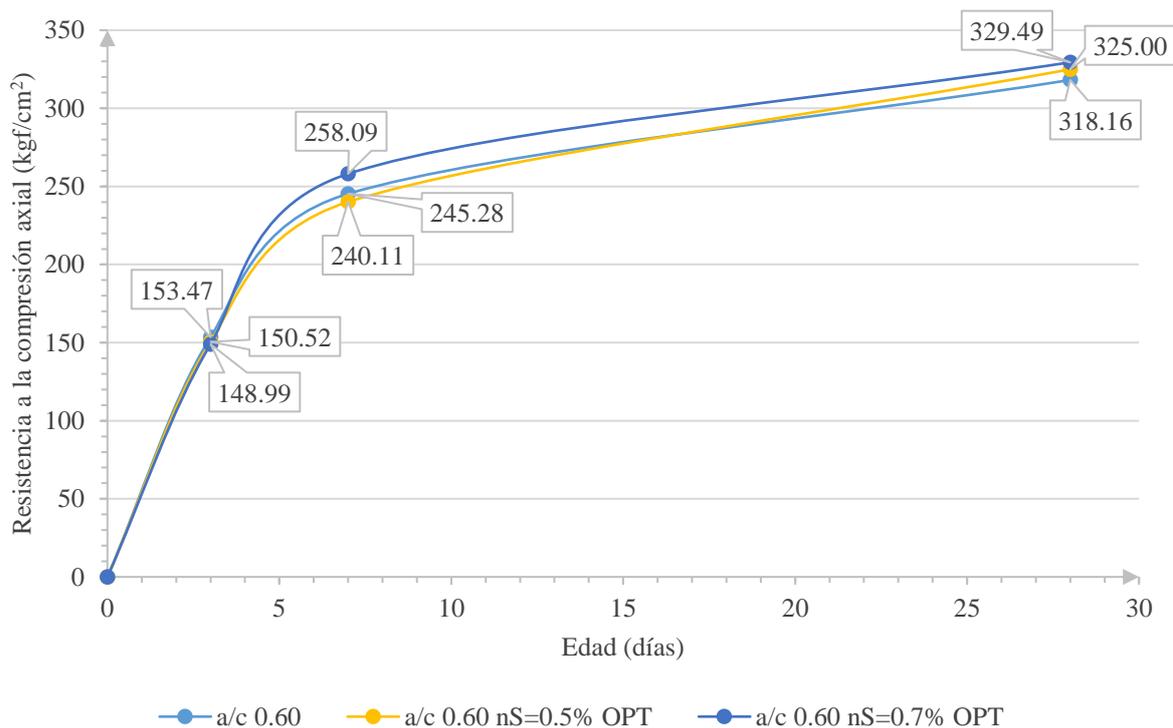
Código de diseño	Resistencia a la compresión por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.60	153.47	245.28	318.16	-	-	-
a/c 0.60 nS=0.5%	167.32	254.84	330.01	+9.03%	+3.89%	+3.72%
a/c 0.60 nS=0.7%	187.16	272.67	330.01	+21.95%	+11.16%	+3.72%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	150.52	240.11	325.00	-1.92%	-2.11%	+2.15%
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	148.99	258.09	329.49	-2.91%	+5.22%	+3.56%

Fuente: Elaboración propia.



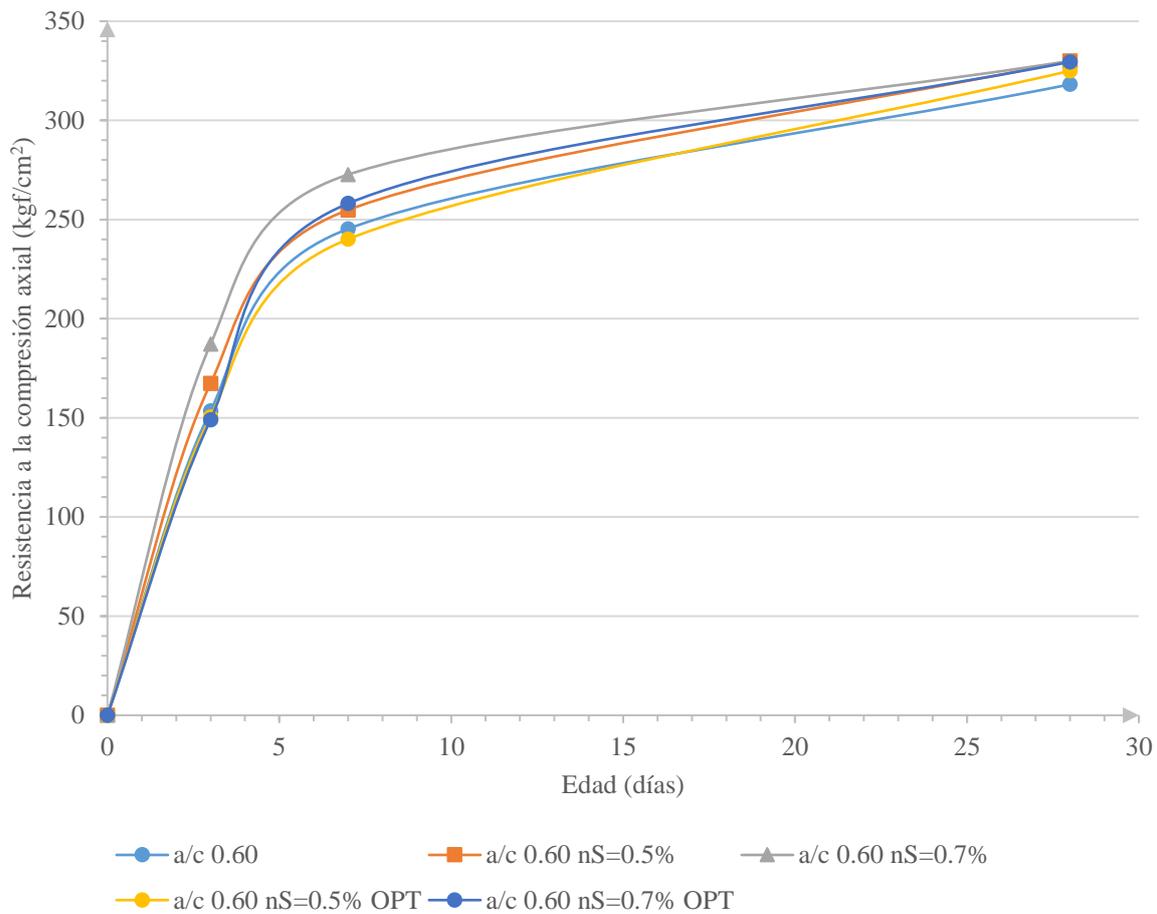
*Figura 25:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 25, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia desde el comienzo con respecto al patrón. El concreto con nanosílice al 0.7% desarrolla incrementos de 21.95% y 11.16% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que el concreto con nanosílice al 0.5% desarrolla incrementos menores, de 9.03% y 3.89% a 3 y 7 días, respectivamente. A pesar de los incrementos mayores en el concreto con nanosílice al 0.7%, su resistencia a 28 días termina siendo la misma que la del concreto con este aditivo al 0.5% (330.01 kgf/cm<sup>2</sup>), pero ambos mayores, por 3.72%, a la del concreto patrón (318.16 kgf/cm<sup>2</sup>). Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo I es 0.7%.



*Figura 26:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 26, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan decrementos de resistencia a 3 días (-1.92% para aquel con nanosílice al 0.5% y -2.91% para aquel con nanosílice al 0.7%) en comparación al concreto patrón. Sin embargo, a 7 días el concreto optimizado con nanosílice al 0.7% desarrolla más resistencia que el concreto patrón (+5.22%), cosa que no sucede con aquel con aditivo al 0.5%, que sigue por debajo del patrón (-2.11%). Esto cambia a 28 días, donde ambos concreto optimizados terminan superando la resistencia del concreto patrón. Los incrementos son 2.15% para el optimizado con nanosílice al 0.5% y 3.56% para aquel con aditivo al 0.7%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo I es 0.7%.



**Figura 27:** Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 27, solo los concretos con nanosílice desarrollan resistencias más altas desde el inicio, mientras que en los concretos optimizados con nS la ganancia de resistencia se incrementa con el tiempo. En el caso del concreto optimizado con nS al 0.5%, su resistencia tanto a 3 como a 7 días fueron menores a la del patrón, pero a 28 días llega a superarlo. En el caso del concreto optimizado con nS al 0.7%, su resistencia a 3 días fue menor a la del patrón, pero a partir de los 7 días lo supera, terminando con un valor superior a este a 28 días. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice, en general, para concretos con relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo I es 0.7%.

6.2.1.3 Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55.

Tabla 65

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55.

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55	A1	13-May	16-May	3	86.84	18931	218.00	204.86	14.29	6.98
	A7	13-May	16-May	3	87.67	15391	<b>175.57</b>			
	A13	13-May	16-May	3	85.36	16188	189.65			
	A19	13-May	16-May	3	84.54	17493	206.92	293.27	31.45	10.73
	A2	13-May	20-May	7	85.52	27981	327.18			
	A8	13-May	20-May	7	86.34	22885	265.05			
	A14	13-May	20-May	7	82.76	17148	<b>207.21</b>			
	A20	13-May	20-May	7	86.84	24973	287.58	362.28	14.34	3.96
	A3	13-May	10-Jun	28	82.03	30890	376.55			
	A9	13-May	10-Jun	28	82.60	29933	362.40			
	A15	13-May	10-Jun	28	83.40	29014	347.87			
	A21	13-May	10-Jun	28	85.60	33909	<b>396.12</b>			
a/c 0.55 nS=0.5%	A1	13-May	16-May	3	87.58	18609	212.47	214.27	4.00	1.87
	A7	13-May	16-May	3	84.95	18591	218.85			
	A13	13-May	16-May	3	86.26	18243	211.49			
	A19	13-May	16-May	3	86.43	17351	<b>200.76</b>	304.32	6.85	2.25
	A2	13-May	20-May	7	84.54	28243	<b>334.08</b>			
	A8	13-May	20-May	7	87.17	25919	297.34			
	A14	13-May	20-May	7	84.62	26321	311.04			
	A20	13-May	20-May	7	86.76	26424	304.58	401.23	3.72	0.93
	A3	13-May	10-Jun	28	84.95	33740	397.18			
A9	13-May	10-Jun	28	86.92	34076	<b>392.04</b>				
A15	13-May	10-Jun	28	85.28	34283	402.03				
A21	13-May	10-Jun	28	86.26	34891	404.48				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55 nS=0.7%	A1	13-May	16-May	3	84.05	18899	224.85	223.76	2.89	1.29
	A7	13-May	16-May	3	84.54	18640	220.49			
	A13	13-May	16-May	3	86.26	18503	<b>214.50</b>			
	A19	13-May	16-May	3	85.77	19380	225.96			
	A2	13-May	20-May	7	85.69	25986	303.27	309.85		
	A8	13-May	20-May	7	85.52	26663	311.77			
	A14	13-May	20-May	7	87.00	25696	<b>295.35</b>			
	A20	13-May	20-May	7	86.59	27234	314.52			
	A3	13-May	10-Jun	28	82.60	35023	<b>424.03</b>	408.28		
	A9	13-May	10-Jun	28	84.38	34047	403.51			
A15	13-May	10-Jun	28	85.44	35533	415.89				
A21	13-May	10-Jun	28	86.43	35040	405.44				
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	A1	20-May	23-May	3	83.97	16949	201.84	200.31	4.07	2.03
	A7	20-May	23-May	3	84.87	16324	<b>192.35</b>			
	A13	20-May	23-May	3	82.27	16734	203.39			
	A19	20-May	23-May	3	85.69	16768	195.69			
	A2	20-May	27-May	7	86.67	26787	<b>309.06</b>	290.32		
	A8	20-May	27-May	7	83.81	24447	291.70			
	A14	20-May	27-May	7	87.83	25774	293.45			
	A20	20-May	27-May	7	84.95	24279	285.81			
	A3	20-May	17-Jun	28	82.27	33932	412.42	412.65		
	A9	20-May	17-Jun	28	81.79	35174	<b>430.04</b>			
A15	20-May	17-Jun	28	86.84	35635	410.36				
A21	20-May	17-Jun	28	84.87	35234	415.17				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	A1	21-May	24-May	3	83.81	19089	<b>227.77</b>	200.00	10.00	5.00
	A7	21-May	24-May	3	85.03	17262	203.01			
	A13	21-May	24-May	3	85.85	17870	208.15			
	A19	21-May	24-May	3	85.36	16119	188.84	305.46	3.58	1.17
	A2	21-May	28-May	7	87.17	25906	<b>297.19</b>			
	A8	21-May	28-May	7	86.34	26621	308.32			
	A14	21-May	28-May	7	85.60	25805	301.45			
	A20	21-May	28-May	7	86.34	26473	306.60	383.64	14.26	3.72
	A3	21-May	18-Jun	28	85.85	33886	394.71			
	A9	21-May	18-Jun	28	86.18	31675	367.55			
	A15	21-May	18-Jun	28	85.69	29586	<b>345.29</b>			
A21	21-May	18-Jun	28	85.69	33303	388.67				

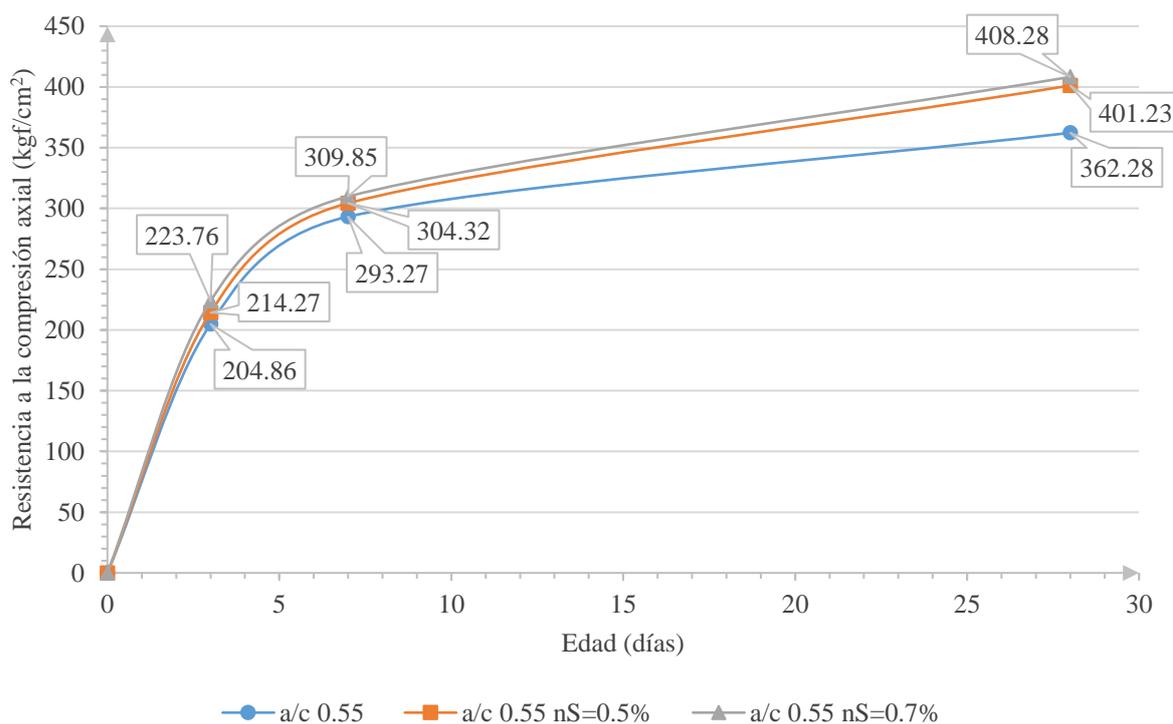
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 66

Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55.

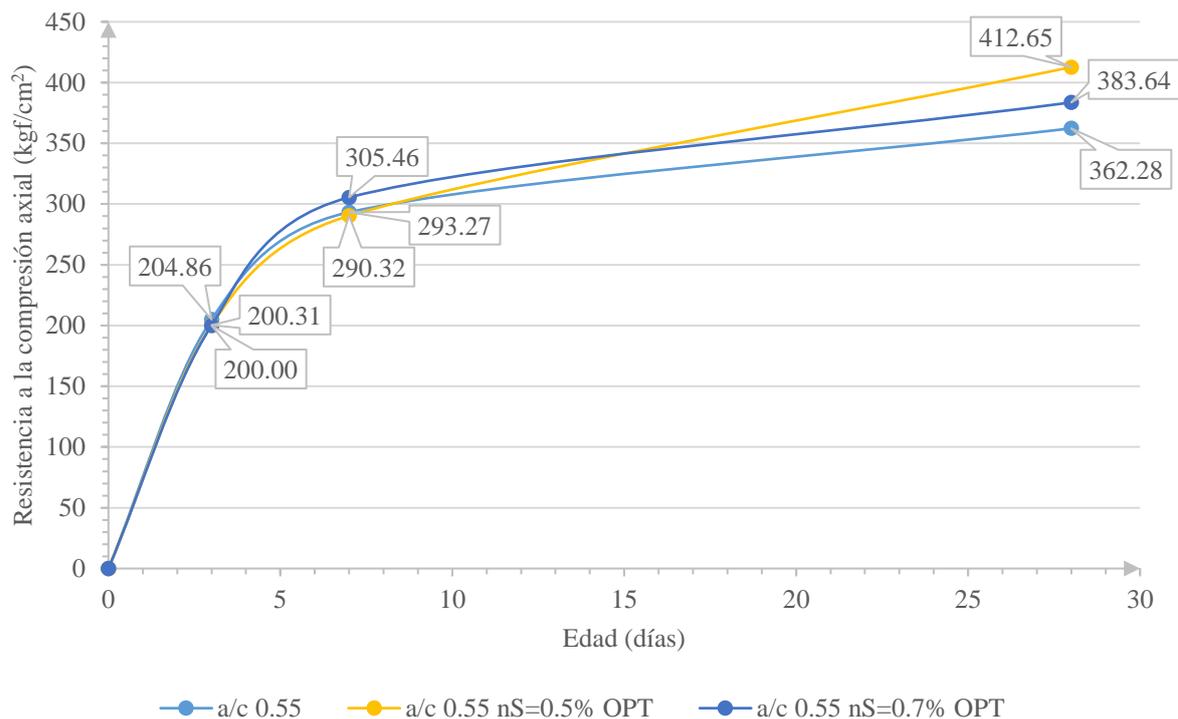
Código de diseño	Resistencia a la compresión por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.55	204.86	293.27	362.28	-	-	-
a/c 0.55 nS=0.5%	214.27	304.32	401.23	+4.59%	+3.77%	+10.75%
a/c 0.55 nS=0.7%	223.76	309.85	408.28	+9.23%	+5.65%	+12.70%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	200.31	290.32	412.65	-2.22%	-1.01%	+13.91%
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	200.00	305.46	383.64	-2.37%	+4.16%	+5.90%

Fuente: Elaboración propia.



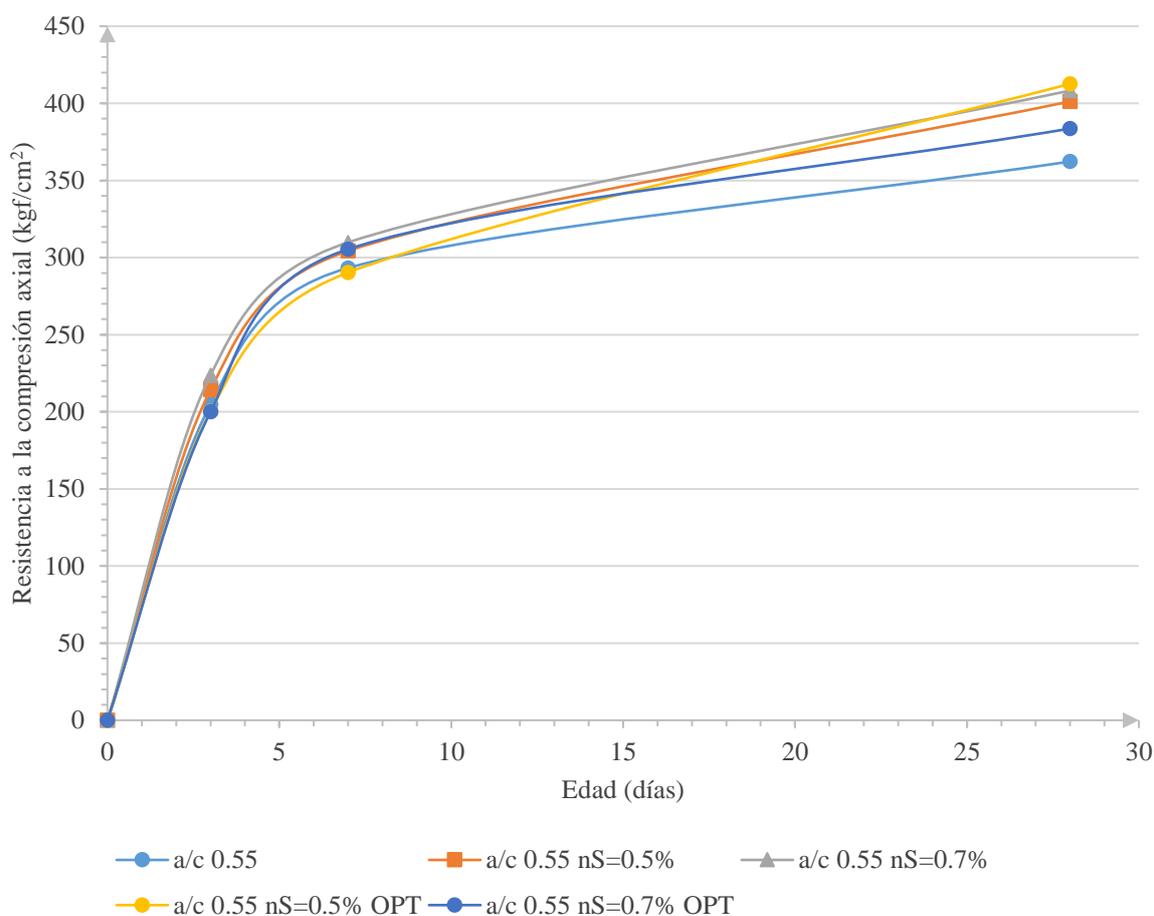
*Figura 28:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 28, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto con nanosílice al 0.7% desarrolla incrementos de 9.23% y 5.65% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que el concreto con este aditivo al 0.5% desarrolla incrementos menores, de 4.59% y 3.77% a 3 y 7 días, respectivamente. A medida que pasa el tiempo, las curvas de resistencia de los concretos con nanosílice se van separando de la curva del patrón. Es a 28 días cuando las resistencias de los concreto con nanosílice muestran el mayor incremento, siendo de 10.75% para aquel con aditivo al 0.5% y 12.70% para aquel con aditivo al 0.7%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo I es 0.7%.



*Figura 29:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 29, los concretos optimizados con nS desarrollan menos resistencia a 3 días (-2.22% para aquel con nanosílice al 0.5% y -2.37% para aquel con este aditivo al 0.7%) en comparación al concreto patrón. Sin embargo, a 7 días el concreto optimizado con nS al 0.7% desarrolla más resistencia que el concreto patrón (+4.16%), cosa que no sucede con aquel con aditivo al 0.5%, que sigue por debajo del patrón (-1.01%). Esto cambia a 28 días, cuando ambos concreto optimizados terminan superando la resistencia del patrón, donde el concreto optimizado con nS al 0.5% supera a aquel con dosis de 0.7%. Esto puede deberse a que la reducción del cemento hecha (-8.48%), respecto al patrón, pudo ser excesiva. Es con este concreto donde se ve que una reducción considerable de cemento debido a una dosis alta de nS no siempre resulta en un incremento de resistencia proporcional a la dosis de nS usada. Los incrementos son 13.91% para el optimizado con nS al 0.5% y 5.90% para aquel con aditivo al 0.7%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo I es 0.5%.



**Figura 30:** Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 30, solo los concretos con nanosílice desarrollan resistencias más altas desde el inicio, mientras que en los concretos optimizados con nanosílice la ganancia de resistencia se incrementa con el tiempo, de forma que a 28 días tanto los concretos con nanosílice como los optimizados con este aditivo superan la resistencia del patrón. Cabe resaltar que el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% supera en resistencia al optimizado con este aditivo al 0.7%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.7% y para optimizados con este aditivo es 0.5%, para la relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo I.

### 6.2.1.4 Comparación de la resistencia a la compresión entre todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.

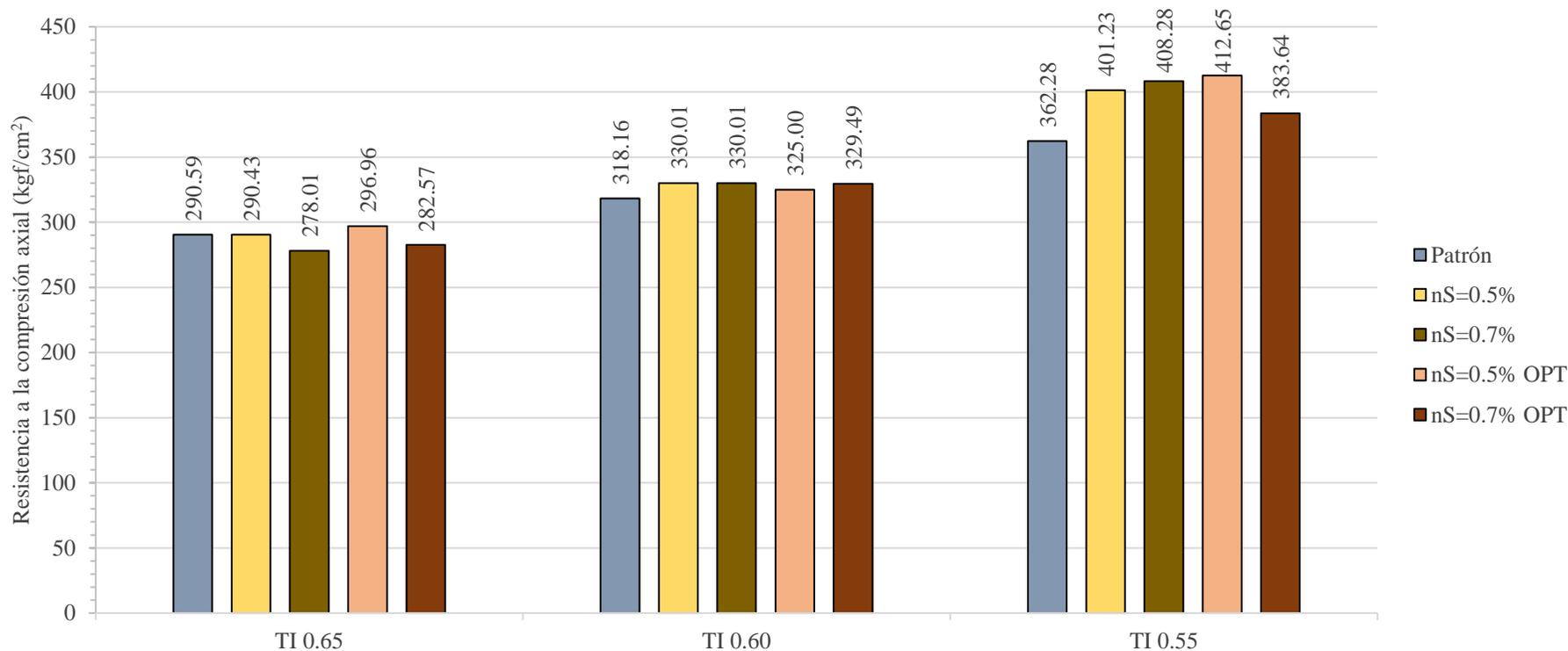
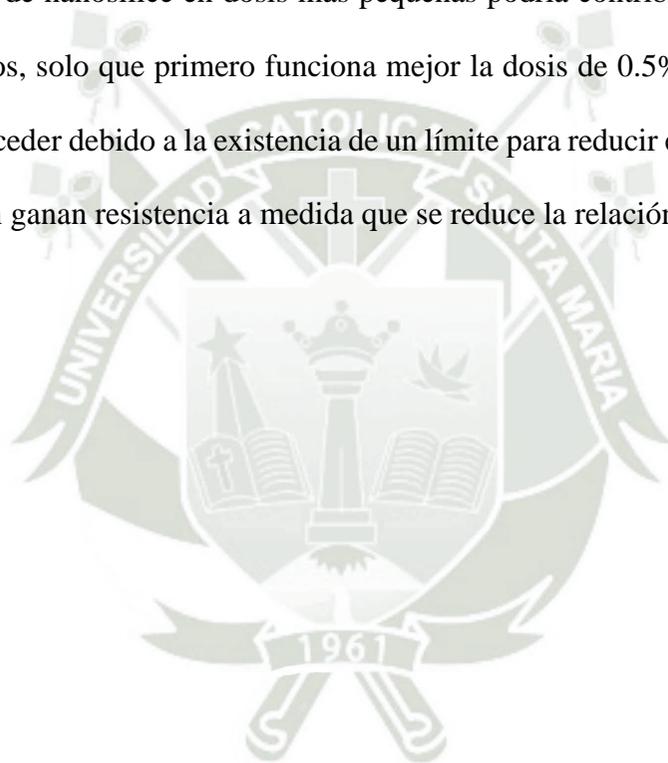


Figura 31: Comparación de la resistencia a la compresión a 28 días de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 31, la resistencia de los concretos patrones se incrementa a medida que la relación a/c disminuye, esto debido al aumento del contenido de cemento y agregado grueso. La resistencia de los concretos con nanosílice con respecto al patrón y la efectividad de las dosis de este aditivo, se incrementan también a medida que la relación a/c disminuye. No existe una relación lineal entre la resistencia que ofrece una dosis de nanosílice frente a otra en los concretos con este aditivo y la relación agua/cemento, puesto que, como se ve en

la Figura 31, primero funciona mejor una dosis de 0.5%, pero a medida que la relación agua/cemento disminuye, la dosis de 0.7% se vuelve más efectiva, esto podría indicar que a medida que se usa una relación agua/cemento más pequeña, la aplicación de una dosis mayor de nanosílice podría actuar mejor. Asimismo, la aplicación de nanosílice en dosis más pequeñas podría contribuir en relaciones agua/cemento mayores. Algo parecido sucede con los concretos optimizados, solo que primero funciona mejor la dosis de 0.5%, luego la dosis de 0.7% y al final la dosis de 0.5% vuelve a ser más efectiva. Esto puede suceder debido a la existencia de un límite para reducir el cemento, pues no siempre la nanosílice podrá suplir la falta de este. Estos concretos también ganan resistencia a medida que se reduce la relación agua/cemento.



6.2.1.5 Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65.

Tabla 67

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65.

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65	A1	22-May	25-May	3	82.60	5778	69.95	70.05	4.00	5.71
	A7	22-May	25-May	3	85.93	6720	<b>78.20</b>			
	A13	22-May	25-May	3	85.19	6313	74.10			
	A19	22-May	25-May	3	84.54	5588	66.10	100.90	3.07	3.05
	A2	22-May	29-May	7	85.69	7371	<b>86.02</b>			
	A8	22-May	29-May	7	83.89	8694	103.64			
	A14	22-May	29-May	7	82.76	8075	97.57			
	A20	22-May	29-May	7	81.95	8318	101.50	146.47	4.11	2.80
	A3	22-May	19-Jun	28	82.60	12481	151.11			
	A9	22-May	19-Jun	28	82.11	11907	145.01			
A15	22-May	19-Jun	28	85.19	12208	143.30				
A21	22-May	19-Jun	28	88.00	9944	<b>113.00</b>				
a/c 0.65 nS=0.5%	A1	21-May	24-May	3	85.11	4506	52.94	52.71	1.20	2.27
	A7	21-May	24-May	3	83.57	4494	53.78			
	A13	21-May	24-May	3	83.65	4301	51.42			
	A19	21-May	24-May	3	84.46	4761	<b>56.37</b>	106.69	2.48	2.32
	A2	21-May	28-May	7	84.22	8786	104.33			
	A8	21-May	28-May	7	85.44	9336	109.27			
	A14	21-May	28-May	7	84.79	9657	<b>113.90</b>			
	A20	21-May	28-May	7	86.59	9219	106.47	165.41	2.61	1.58
	A3	21-May	18-Jun	28	86.01	14138	164.37			
	A9	21-May	18-Jun	28	85.11	13915	163.49			
A15	21-May	18-Jun	28	85.77	14442	168.39				
A21	21-May	18-Jun	28	86.76	13107	<b>151.08</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65 nS=0.7%	A1	21-May	24-May	3	85.77	4651	<b>54.23</b>	57.88	0.17	0.29
	A7	21-May	24-May	3	85.44	4960	58.05			
	A13	21-May	24-May	3	85.44	4932	57.73			
	A19	21-May	24-May	3	84.13	4867	57.85	107.58	5.99	5.57
	A2	21-May	28-May	7	86.43	8707	100.75			
	A8	21-May	28-May	7	82.03	9180	111.91			
	A14	21-May	28-May	7	85.03	8141	<b>95.74</b>			
	A20	21-May	28-May	7	84.70	9326	110.10	157.82	2.75	1.74
	A3	21-May	18-Jun	28	85.44	13816	<b>161.71</b>			
	A9	21-May	18-Jun	28	85.85	13821	160.99			
A15	21-May	18-Jun	28	84.70	13227	156.16				
A21	21-May	18-Jun	28	84.05	13138	156.31				
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	A1	28-May	31-May	3	82.60	6868	83.15	79.60	4.28	5.38
	A7	28-May	31-May	3	86.10	6444	74.85			
	A13	28-May	31-May	3	87.17	5398	<b>61.93</b>			
	A19	28-May	31-May	3	83.16	6720	80.81	108.49	1.02	0.94
	A2	28-May	04-Jun	7	85.77	9205	107.33			
	A8	28-May	04-Jun	7	83.16	9085	109.25			
	A14	28-May	04-Jun	7	86.18	8624	<b>100.07</b>			
	A20	28-May	04-Jun	7	85.85	9348	108.89	143.96	6.12	4.25
	A3	28-May	25-Jun	28	85.69	12108	141.31			
	A9	28-May	25-Jun	28	85.36	13289	<b>155.69</b>			
A15	28-May	25-Jun	28	86.10	12020	139.61				
A21	28-May	25-Jun	28	85.11	12848	150.95				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 67

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	A1	28-May	31-May	3	82.92	6525	78.69	80.20	1.86	2.32
	A7	28-May	31-May	3	87.33	7186	82.28			
	A13	28-May	31-May	3	86.01	6363	<b>73.98</b>			
	A19	28-May	31-May	3	85.36	6796	79.62	111.05	5.25	4.73
	A2	28-May	04-Jun	7	85.85	9524	110.94			
	A8	28-May	04-Jun	7	84.62	8958	105.86			
	A14	28-May	04-Jun	7	84.87	7964	<b>93.84</b>			
	A20	28-May	04-Jun	7	85.77	9980	116.36	162.38	3.94	2.43
	A3	28-May	25-Jun	28	86.26	10621	<b>123.13</b>			
	A9	28-May	25-Jun	28	85.11	13744	161.48			
	A15	28-May	25-Jun	28	85.28	13556	158.97			
A21	28-May	25-Jun	28	82.76	13795	166.69				

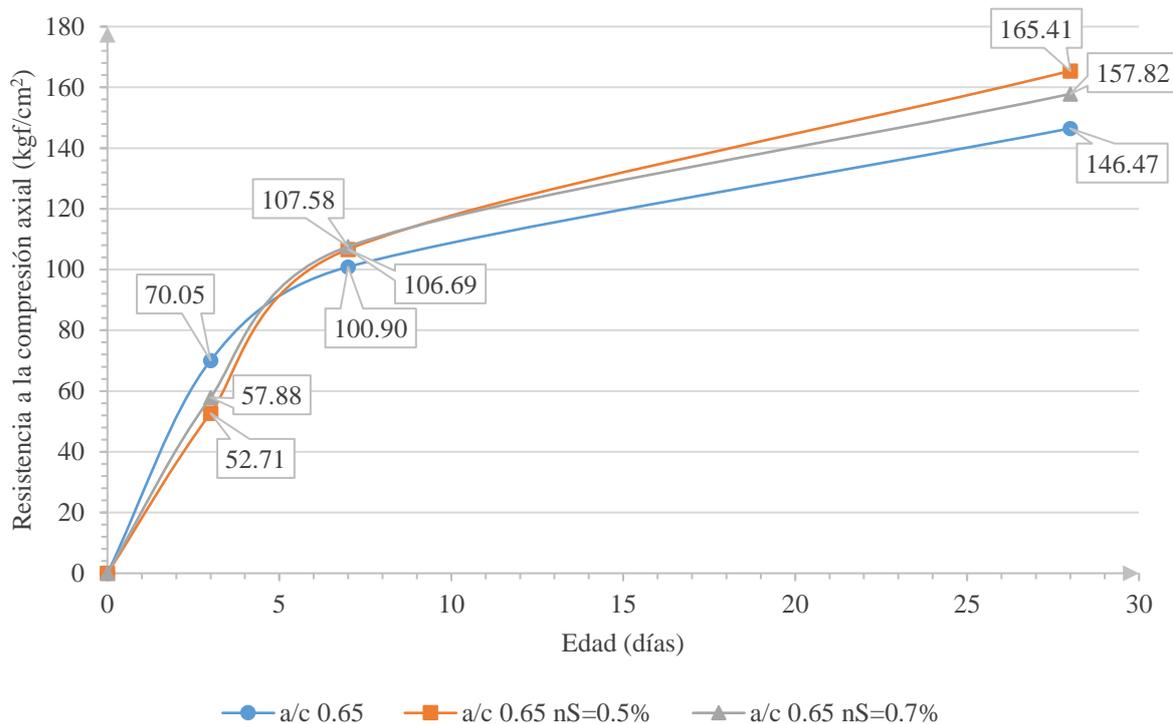
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 68

Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65.

Código de diseño	Resistencia a la compresión por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.65	70.05	100.90	146.47	-	-	-
a/c 0.65 nS=0.5%	52.71	106.69	165.41	-24.75%	+5.73%	+12.93%
a/c 0.65 nS=0.7%	57.88	107.58	157.82	-17.38%	+6.62%	+7.75%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	79.60	108.49	143.96	+13.63%	+7.52%	-1.72%
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	80.20	111.05	162.38	+14.48%	+10.06%	+10.86%

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 32:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 32, los concretos con nanosílice desarrollan primero, con respecto al concreto patrón, decrementos de resistencia a los 3 días (-24.75% para aquel con nanosílice al 0.5% y -17.38% para aquel con nanosílice al 0.7%) y luego a partir de los 7 días, los valores se vuelven mayores al patrón. El concreto con nanosílice al 0.5% desarrolla incrementos de 5.73% y 12.93% a 7 y 28 días, respectivamente. Mientras que el concreto con nanosílice al 0.7% lo hace con incremento de 6.62% y 7.75% a 7 y 28 días. A pesar que el concreto con nanosílice al 0.5% comenzó con la menor resistencia, terminó desarrollando la mayor a 28 días. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo IP es 0.5%.

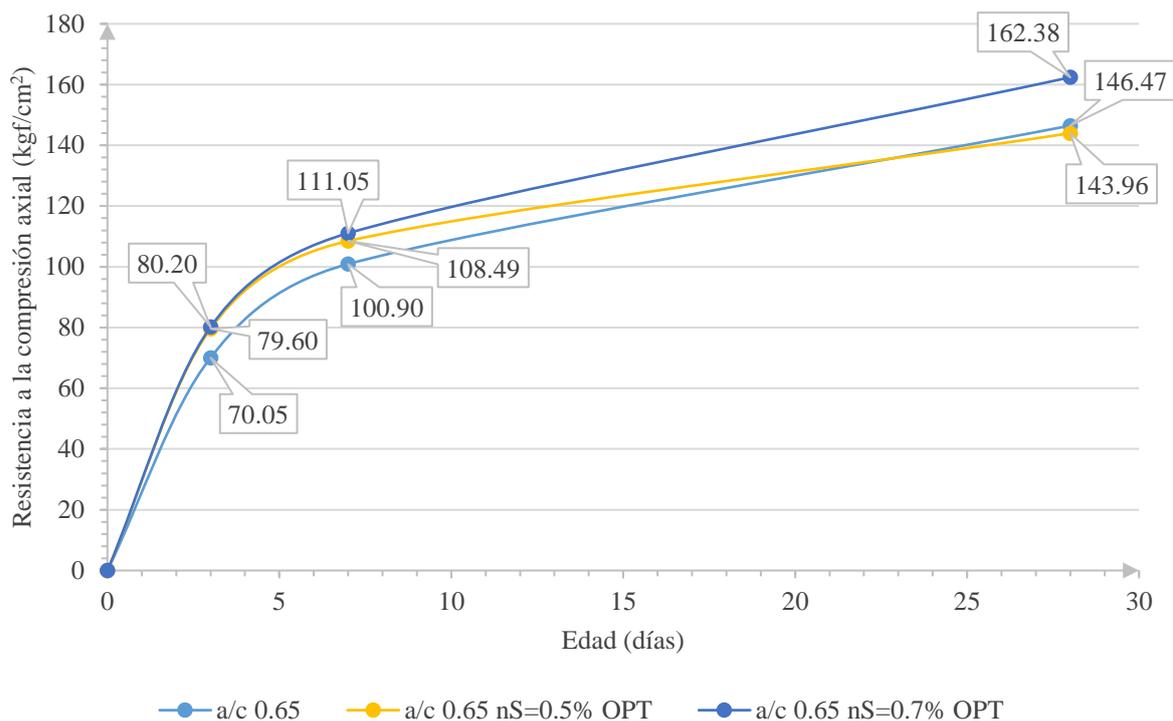
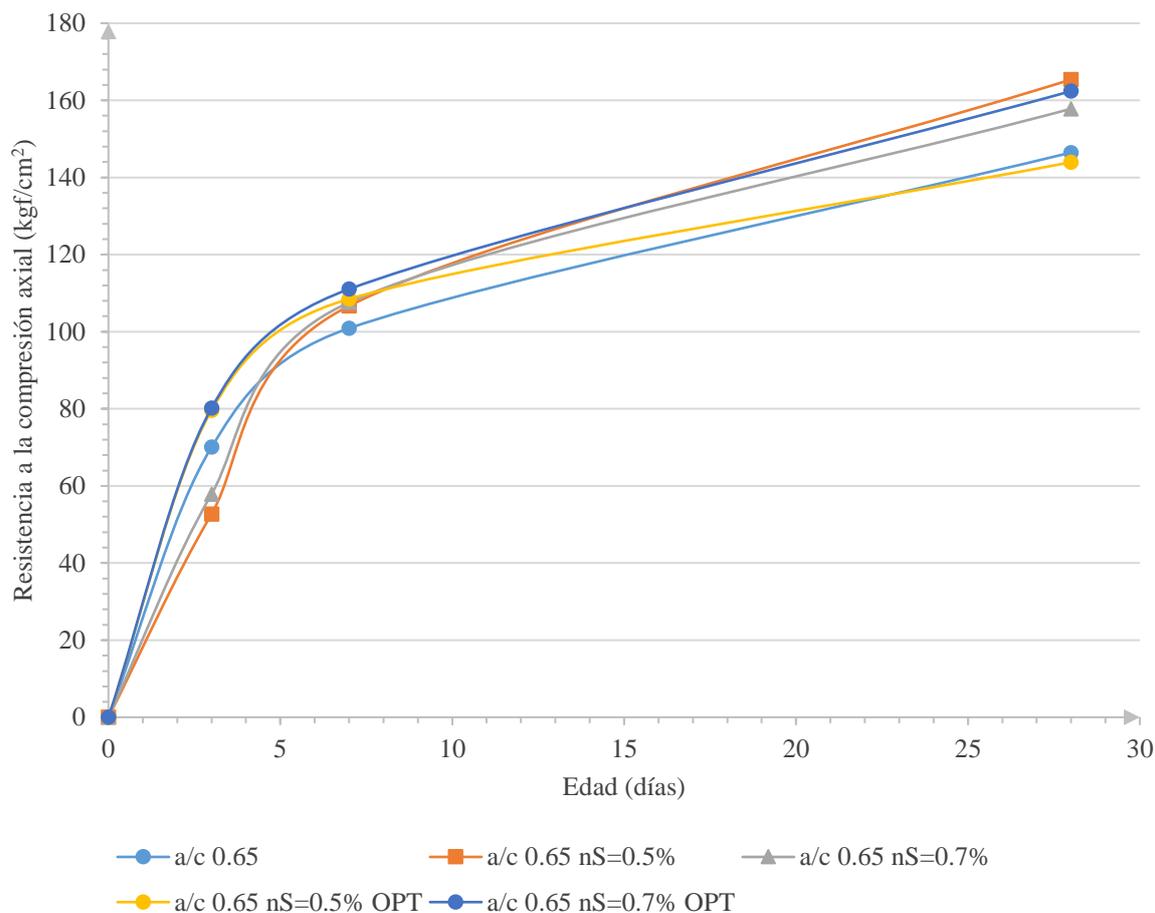


Figura 33: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 33, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto optimizado con nanosílice al 0.5% desarrolla incrementos de 13.63% y 7.52% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que el concreto optimizado con nanosílice al 0.7% lo hace con incrementos de 14.48% y 10.06% en los mismos periodos. A pesar de que las resistencias a edades tempranas del concreto optimizado con nanosílice al 0.5% fueron las mayores a las del concreto patrón, su resistencia a 28 días termina siendo menor a la de este por 1.72%. Esto puede deberse a que la reducción del cemento hecha (-5.72%), respecto al patrón, pudo ser excesiva. En cambio, el concreto optimizado con nanosílice al 0.7% logra superar la resistencia del concreto patrón a 28 días por un 10.86%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo IP es 0.7%.



**Figura 34:** Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 34, solo los concretos optimizados con nS desarrollan resistencias más altas desde el inicio, mientras que en los concretos con nS la ganancia de resistencia se incrementa con el tiempo, de forma que a 28 días tanto los concretos con nS como el optimizado con este aditivo al 0.7% superan la resistencia del patrón. Cabe resaltar que, a pesar de haber empezado con la menor resistencia, el concreto con nS al 0.5% logra superar a todos los demás concretos. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.5% y para optimizados con este aditivo es 0.7%, para la relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo IP.

6.2.1.6 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60.*

Tabla 69

*Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60	A1	22-May	25-May	3	86.51	8859	<b>102.41</b>	88.19	1.49	1.69
	A7	22-May	25-May	3	85.77	7701	89.79			
	A13	22-May	25-May	3	86.84	7637	87.95			
	A19	22-May	25-May	3	83.57	7257	86.84			
	A2	22-May	29-May	7	86.10	11710	<b>136.01</b>	125.78	1.11	0.88
	A8	22-May	29-May	7	86.01	10924	127.00			
	A14	22-May	29-May	7	86.43	10848	125.52			
	A20	22-May	29-May	7	85.93	10727	124.83			
	A3	22-May	19-Jun	28	85.77	15951	185.98	179.93	5.24	2.91
	A9	22-May	19-Jun	28	84.46	14960	177.13			
	A15	22-May	19-Jun	28	85.69	15140	176.69			
	A21	22-May	19-Jun	28	87.00	14598	<b>167.79</b>			
a/c 0.60 nS=0.5%	A1	22-May	25-May	3	86.92	8420	<b>96.87</b>	98.71	0.37	0.38
	A7	22-May	25-May	3	83.24	8237	98.95			
	A13	22-May	25-May	3	85.11	8417	98.89			
	A19	22-May	25-May	3	85.69	8421	98.28	127.51	1.40	1.10
	A2	22-May	29-May	7	85.52	10806	126.35			
	A8	22-May	29-May	7	86.67	11186	129.06			
	A14	22-May	29-May	7	86.92	11419	<b>131.37</b>	169.49	6.11	3.60
	A20	22-May	29-May	7	86.01	10933	127.11			
	A3	22-May	19-Jun	28	84.87	14395	169.62			
A9	22-May	19-Jun	28	85.93	15084	175.53	169.49	6.11	3.60	
A15	22-May	19-Jun	28	85.69	13994	163.32				
A21	22-May	19-Jun	28	87.17	15906	<b>182.47</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60 nS=0.7%	A1	22-May	25-May	3	85.36	7378	86.44	85.59	1.98	2.32
	A7	22-May	25-May	3	84.70	7370	87.01			
	A13	22-May	25-May	3	84.05	6495	<b>77.27</b>			
	A19	22-May	25-May	3	86.01	7167	83.32	127.38	6.16	4.84
	A2	22-May	29-May	7	81.55	10935	134.09			
	A8	22-May	29-May	7	84.62	10668	126.07			
	A14	22-May	29-May	7	83.08	9203	<b>110.77</b>			
	A20	22-May	29-May	7	86.59	10562	121.98	174.78	2.38	1.36
	A3	22-May	19-Jun	28	84.30	14539	172.47			
	A9	22-May	19-Jun	28	81.71	14270	174.64			
A15	22-May	19-Jun	28	85.69	11614	<b>135.54</b>				
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	A21	22-May	19-Jun	28	85.11	15084	177.23	88.45	0.36	0.41
	A1	28-May	31-May	3	86.26	7625	88.39			
	A7	28-May	31-May	3	85.77	7558	88.12			
	A13	28-May	31-May	3	86.43	6706	<b>77.59</b>	118.94	4.70	3.95
	A19	28-May	31-May	3	85.60	7605	88.84			
	A2	28-May	04-Jun	7	85.52	9843	115.09			
	A8	28-May	04-Jun	7	84.05	10437	124.17			
	A14	28-May	04-Jun	7	83.16	9775	117.54	161.11	7.30	4.53
	A20	28-May	04-Jun	7	81.55	10486	<b>128.58</b>			
A3	28-May	25-Jun	28	86.51	15424	<b>178.30</b>				
A9	28-May	25-Jun	28	83.57	12760	152.69				
A15	28-May	25-Jun	28	85.11	14090	165.55	165.10			
A21	28-May	25-Jun	28	84.54	13958	165.10				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	A1	29-May	01-Jun	3	87.42	7264	83.10	83.21	0.64	0.77
	A7	29-May	01-Jun	3	83.32	6886	82.64			
	A13	29-May	01-Jun	3	86.92	7293	83.90			
	A19	29-May	01-Jun	3	86.51	7016	<b>81.10</b>	117.45	5.88	5.01
	A2	29-May	05-Jun	7	84.87	11178	<b>131.71</b>			
	A8	29-May	05-Jun	7	85.77	9831	114.62			
	A14	29-May	05-Jun	7	84.79	9624	113.51			
	A20	29-May	05-Jun	7	85.19	10582	124.21	155.81	5.10	3.27
	A3	29-May	26-Jun	28	83.48	12658	151.62			
	A9	29-May	26-Jun	28	86.01	14764	<b>171.65</b>			
	A15	29-May	26-Jun	28	82.19	12684	154.32			
A21	29-May	26-Jun	28	86.43	13957	161.49				

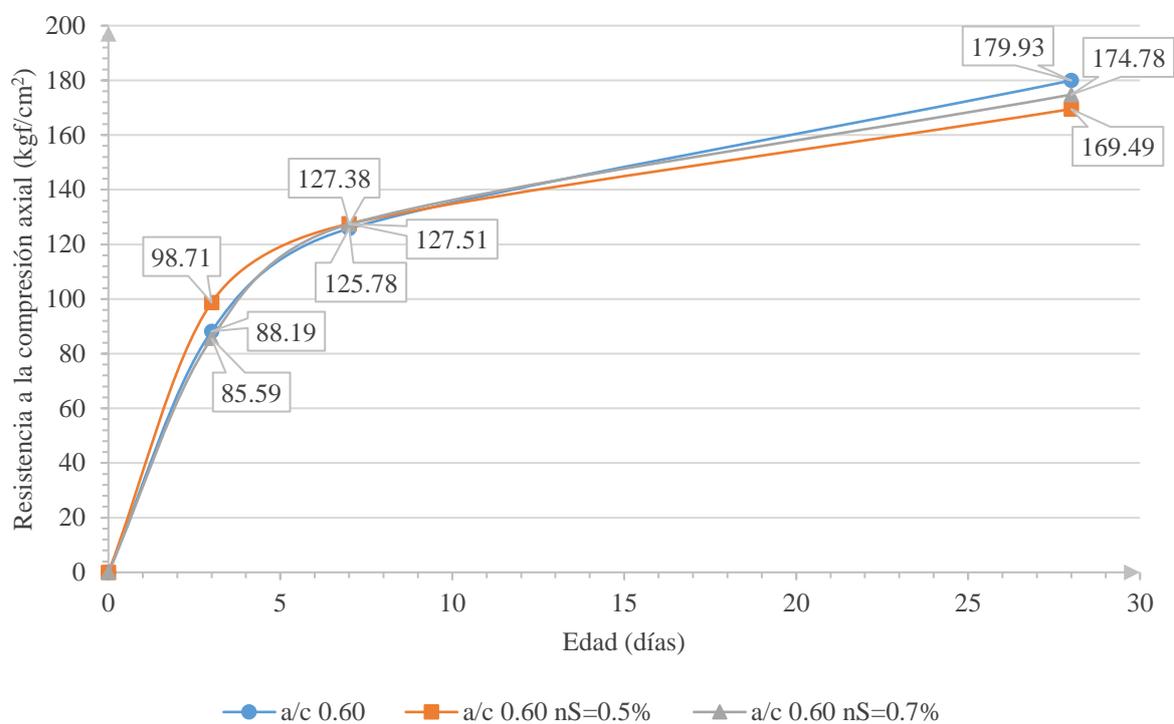
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70

Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60.

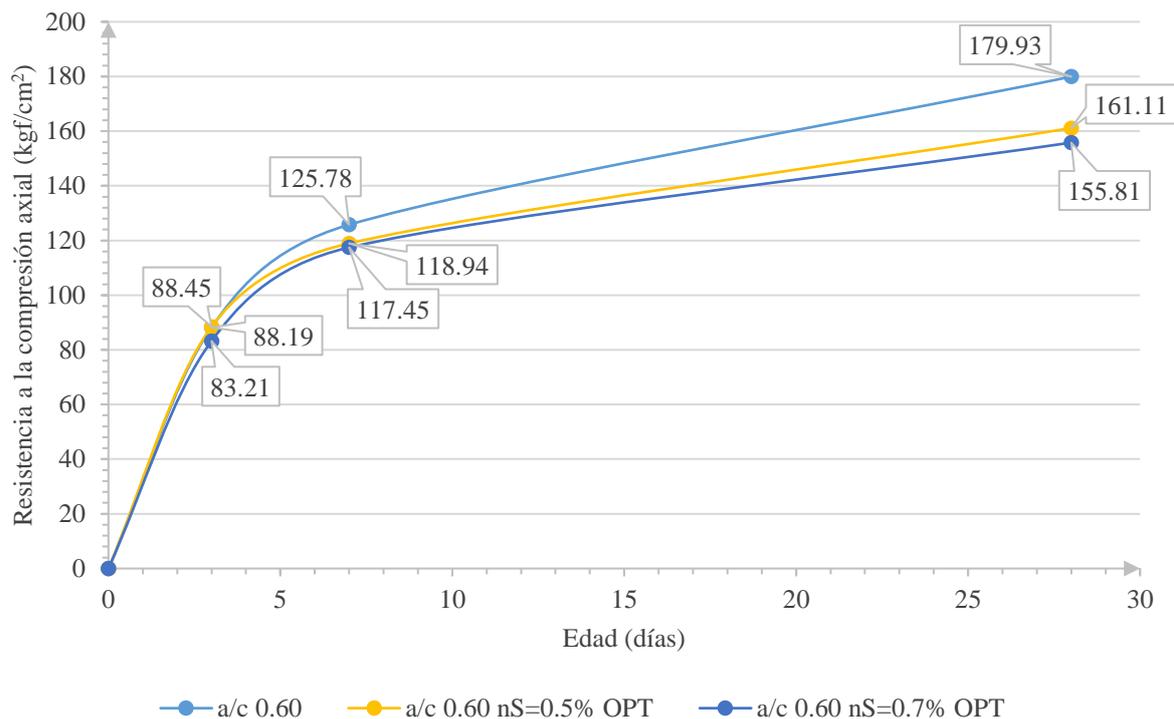
Código de diseño	Resistencia a la compresión por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
	a/c 0.60	88.19	125.78	179.93	-	-
a/c 0.60 nS=0.5%	98.71	127.51	169.49	+11.92%	+1.37%	-5.80%
a/c 0.60 nS=0.7%	85.59	127.38	174.78	-2.95%	+1.27%	-2.86%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	88.45	118.94	161.11	+0.29%	-5.44%	-10.46%
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	83.21	117.45	155.81	-5.64%	-6.63%	-13.41%

Fuente: Elaboración propia.



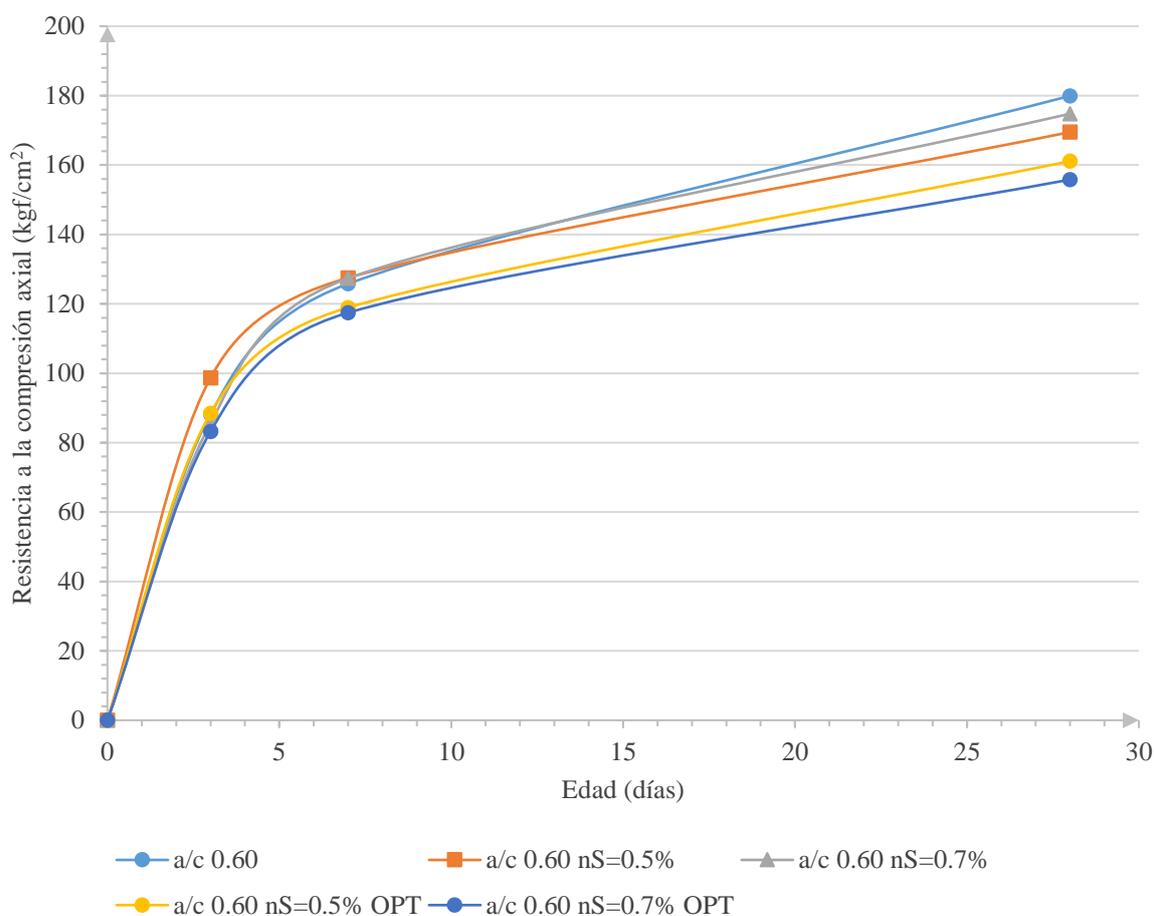
*Figura 35:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 35, el concreto con nanosílice al 0.5% desarrolla mayor resistencia a edades tempranas (+11.92% y +1.37% a 3 y 7 días, respectivamente) en comparación al concreto patrón. En cambio, aquel con nanosílice al 0.7% desarrolla un decremento, en comparación al patrón, de 2.95% a 3 días, para luego superarlo por un 1.27% a 7 días. A 28 días todo cambia, puesto que ambos concretos con nanosílice terminan con resistencias menores a la del patrón (-5.80% para aquel con nanosílice al 0.5% y -2.86% para aquel con este aditivo al 0.7%). Por esto, se puede decir que no hay dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo IP.



*Figura 36:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 36, el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% desarrolla un incremento de resistencia de 0.29% a 3 días, con respecto al concreto patrón. Este valor es el único, entre los concretos optimizados, por encima de los valores de resistencia del concreto patrón. Luego todos los demás valores se encuentran por debajo. El concreto optimizado con nanosílice al 0.5% presenta menores decrementos (-5.44% a 7 días y -10.46% a 28 días) que aquel con este aditivo al 0.7% (-6.63% a 7 días y -13.41% a 28 días). Esto puede deberse a que, en ambos casos, la reducción del cemento hecha (-7.07% para el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% y -9.03% para aquel con este aditivo al 0.7%), respecto al patrón, no pudo ser solventada por la nanosílice y el aumento de las cantidades de agregado fino y grueso respecto al patrón (+3.53% para el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% y +4.51% para aquel con este aditivo al 0.7%). Por esto, se puede decir que no hay dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo IP.



**Figura 37:** Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 37, los únicos valores por encima de la curva de resistencia del concreto patrón se encuentran a 3 (del concreto con nanosílice al 0.5% y del optimizado con este aditivo al 0.5%) y 7 días (de los concretos con nanosílice), mientras que a 28 días todos se encuentran por debajo. Por esto, se puede decir que no hay dosis óptima de nanosílice para concretos con relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo IP, es decir, su aplicación en estos casos no es favorable en cuanto a resistencia a la compresión.

6.2.1.7 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55.*

Tabla 71

*Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55	A1	24-May	27-May	3	81.95	8587	104.78	107.67	2.95	2.74
	A7	24-May	27-May	3	85.03	9410	110.67			
	A13	24-May	27-May	3	82.03	8823	107.55			
	A19	24-May	27-May	3	82.03	9582	<b>116.81</b>	160.45	4.22	2.63
	A2	24-May	31-May	7	82.60	13335	161.45			
	A8	24-May	31-May	7	82.44	11872	<b>144.02</b>			
	A14	24-May	31-May	7	84.46	13161	155.83			
	A20	24-May	31-May	7	82.03	13460	164.08			
	A3	24-May	21-Jun	28	81.95	18993	<b>231.75</b>			
	A9	24-May	21-Jun	28	81.95	17862	217.95	220.72	2.78	1.26
	A15	24-May	21-Jun	28	81.95	18087	220.70			
	A21	24-May	21-Jun	28	81.63	18246	223.51			
a/c 0.55 nS=0.5%	A1	27-May	30-May	3	86.84	10780	124.14	124.83	0.62	0.50
	A7	27-May	30-May	3	85.36	10668	124.98			
	A13	27-May	30-May	3	84.30	10330	<b>122.54</b>			
	A19	27-May	30-May	3	86.92	10896	125.36	167.84	2.83	1.68
	A2	27-May	03-Jun	7	83.81	15137	<b>180.61</b>			
	A8	27-May	03-Jun	7	84.79	14294	168.59			
	A14	27-May	03-Jun	7	85.60	14571	170.22			
	A20	27-May	03-Jun	7	83.89	13818	164.72			
	A3	27-May	24-Jun	28	85.19	19424	228.00			
A9	27-May	24-Jun	28	86.84	19565	225.31	225.31	2.69	1.19	
A15	27-May	24-Jun	28	84.70	18857	222.62				
A21	27-May	24-Jun	28	84.87	19830	<b>233.66</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55 nS=0.7%	A1	27-May	30-May	3	82.11	9123	111.10	112.65	3.93	3.49
	A7	27-May	30-May	3	87.17	10209	117.12			
	A13	27-May	30-May	3	81.95	8993	109.73			
	A19	27-May	30-May	3	81.39	9655	<b>118.62</b>	159.70	5.90	3.70
	A2	27-May	03-Jun	7	81.47	12490	153.30			
	A8	27-May	03-Jun	7	81.47	14089	<b>172.93</b>			
	A14	27-May	03-Jun	7	81.31	13081	160.87			
	A20	27-May	03-Jun	7	82.11	13543	164.93	233.57	4.69	2.01
	A3	27-May	24-Jun	28	81.07	18929	233.48			
	A9	27-May	24-Jun	28	83.24	19836	238.29			
A15	27-May	24-Jun	28	81.47	17967	<b>220.53</b>				
A21	27-May	24-Jun	28	81.71	18706	228.92				
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	A1	31-May	03-Jun	3	84.30	10203	<b>121.04</b>	113.75	2.80	2.46
	A7	31-May	03-Jun	3	88.83	9916	111.63			
	A13	31-May	03-Jun	3	85.11	9952	116.93			
	A19	31-May	03-Jun	3	86.84	9787	112.70	152.16	3.77	2.48
	A2	31-May	07-Jun	7	84.79	13171	155.35			
	A8	31-May	07-Jun	7	85.93	13159	153.13			
	A14	31-May	07-Jun	7	85.85	12706	148.00			
	A20	31-May	07-Jun	7	86.34	12480	<b>144.54</b>	210.98	3.46	1.64
	A3	31-May	28-Jun	28	82.60	17720	214.54			
	A9	31-May	28-Jun	28	86.34	18199	210.78			
A15	31-May	28-Jun	28	85.69	17790	207.62				
A21	31-May	28-Jun	28	85.19	18986	<b>222.86</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 71

Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Área	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	A1	31-May	03-Jun	3	86.59	10081	116.42	118.40	2.12	1.79
	A7	31-May	03-Jun	3	87.09	10287	118.13			
	A13	31-May	03-Jun	3	86.92	10486	120.64			
	A19	31-May	03-Jun	3	86.43	10870	<b>125.77</b>	158.85	1.53	0.97
	A2	31-May	07-Jun	7	84.38	13945	<b>165.27</b>			
	A8	31-May	07-Jun	7	86.18	13818	160.34			
	A14	31-May	07-Jun	7	85.28	13412	157.28			
	A20	31-May	07-Jun	7	85.52	13592	158.93	208.53	1.01	0.49
	A3	31-May	28-Jun	28	85.36	17754	208.00			
	A9	31-May	28-Jun	28	85.77	17831	207.90			
	A15	31-May	28-Jun	28	86.34	18106	209.70			
A21	31-May	28-Jun	28	81.87	15895	<b>194.14</b>				

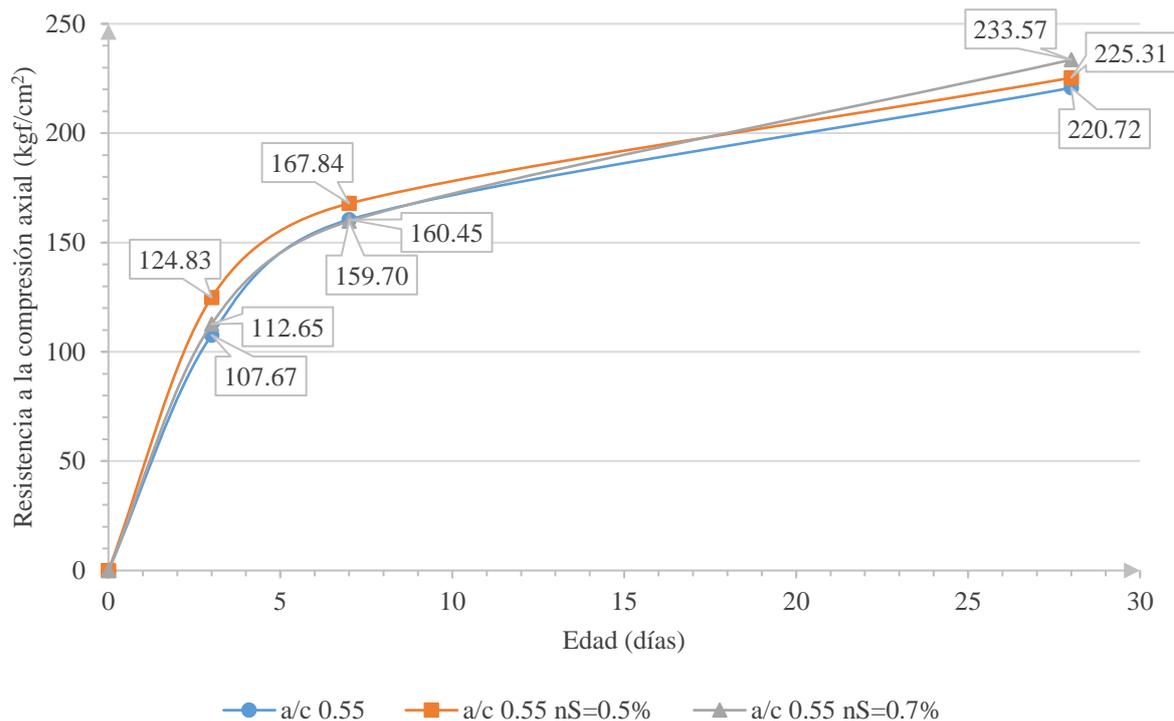
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72

Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55.

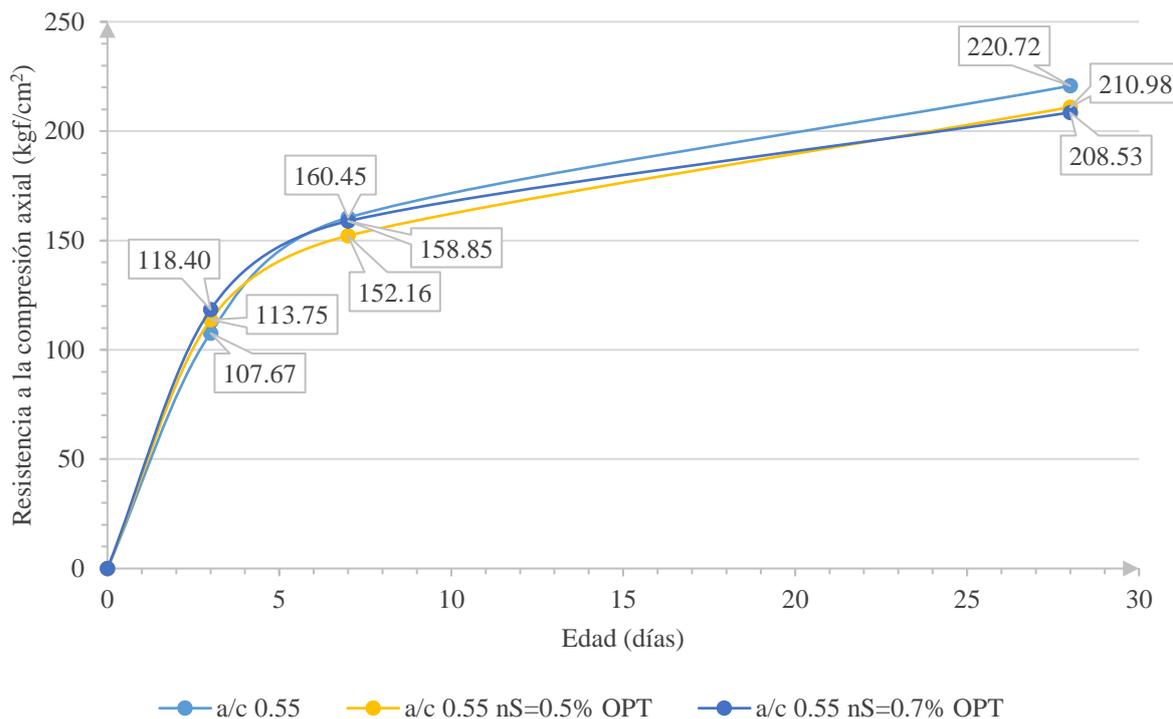
Código de diseño	Resistencia a la compresión por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.55	107.67	160.45	220.72	-	-	-
a/c 0.55 nS=0.5%	124.83	167.84	225.31	+15.94%	+4.61%	+2.08%
a/c 0.55 nS=0.7%	112.65	159.70	233.57	+4.63%	-0.47%	+5.82%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	113.75	152.16	210.98	+5.65%	-5.17%	-4.41%
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	118.40	158.85	208.53	+9.97%	-1.00%	-5.52%

Fuente: Elaboración propia.



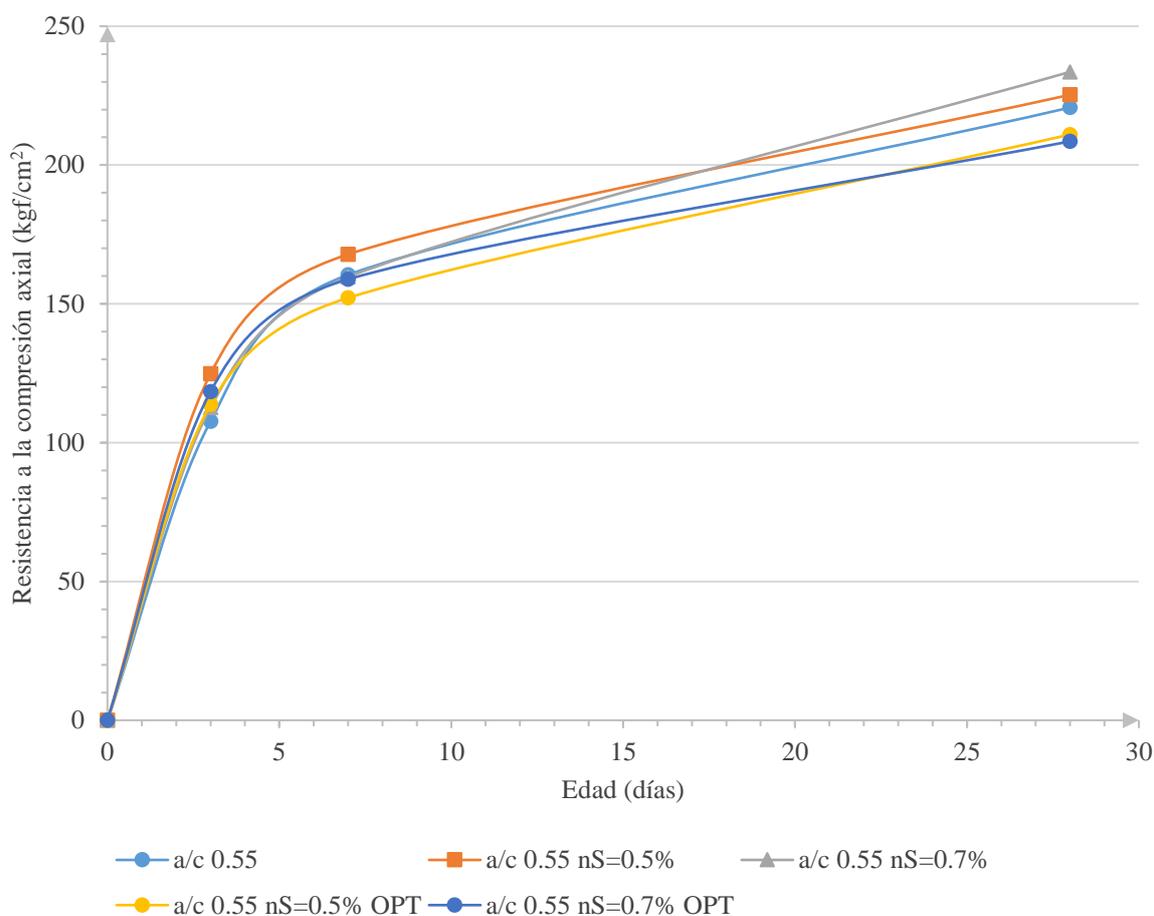
*Figura 38:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 38, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a los 3 días, con respecto al concreto patrón, de 15.94% para el concreto con nanosílice al 0.5% y de 4.63% para el concreto con este aditivo al 0.7%. Luego, a los 7 días, el concreto con nanosílice al 0.5% sigue teniendo el mayor valor, con un incremento de 4.61% con respecto al concreto patrón, mientras que aquel con este aditivo al 0.7% sufre un decremento de 0.47% en el mismo periodo. A 28 días ambos concretos con nanosílice logran superar la resistencia del concreto patrón, por 2.08% para el concreto con nanosílice al 0.5% y por 5.82% para el concreto con este aditivo al 0.7%. Cabe resaltar que teniendo resistencias iniciales menores que aquel con nanosílice al 0.5%, el concreto con este aditivo al 0.7% terminó ofreciendo la mayor resistencia (233.57 kgf/cm<sup>2</sup>). Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo IP es 0.7%.



*Figura 39:* Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 39, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia solo a 3 días de 5.65% para aquel con este aditivo al 0.5% y de 9.97% para aquel con una dosis de 0.7%, con respecto al patrón. A los 7 días, estos valores decrecen con respecto al patrón en 5.17%, para el concreto con nanosílice al 0.5%, y en 1%, para aquel con este aditivo al 0.7%. Y a los 28 días la tendencia continua, puesto que ambos concretos siguen presentando decrementos en resistencia con respecto al patrón (-4.41% para aquel con aditivo al 0.5% y -5.52% para aquel con aditivo al 0.7%). Esto puede deberse a que, en ambos casos, la reducción del cemento hecha (-8.94% para el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% y -9.66% para aquel con este aditivo al 0.7%), respecto al patrón, no pudo ser solventada por la nanosílice y el aumento de las cantidades de agregado fino y grueso respecto al patrón (+4.77% para el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% y +5.16% para aquel con este aditivo al 0.7%). Por esto, se puede decir que no hay dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo IP.



**Figura 40:** Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 40, todos los concretos presentan resistencias mayores a los 3 días. A los 7 días, suceden algunas cosas interesantes: el único que supera al patrón es el concreto con nanosílice al 0.5%, aquel con aditivo al 0.7% y optimizado con una dosis de 0.7% quedan muy cerca al patrón, pero por debajo, y aquel optimizado con nanosílice al 0.5% queda por debajo de todos. A los 28 días, los únicos por encima del patrón son los concretos con nanosílice. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice varía, puesto que para concretos con nS es 0.7% y para optimizados con este aditivo no hay dosis óptima, para la relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo IP.

### 6.2.1.8 Comparación de la resistencia a la compresión entre todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.

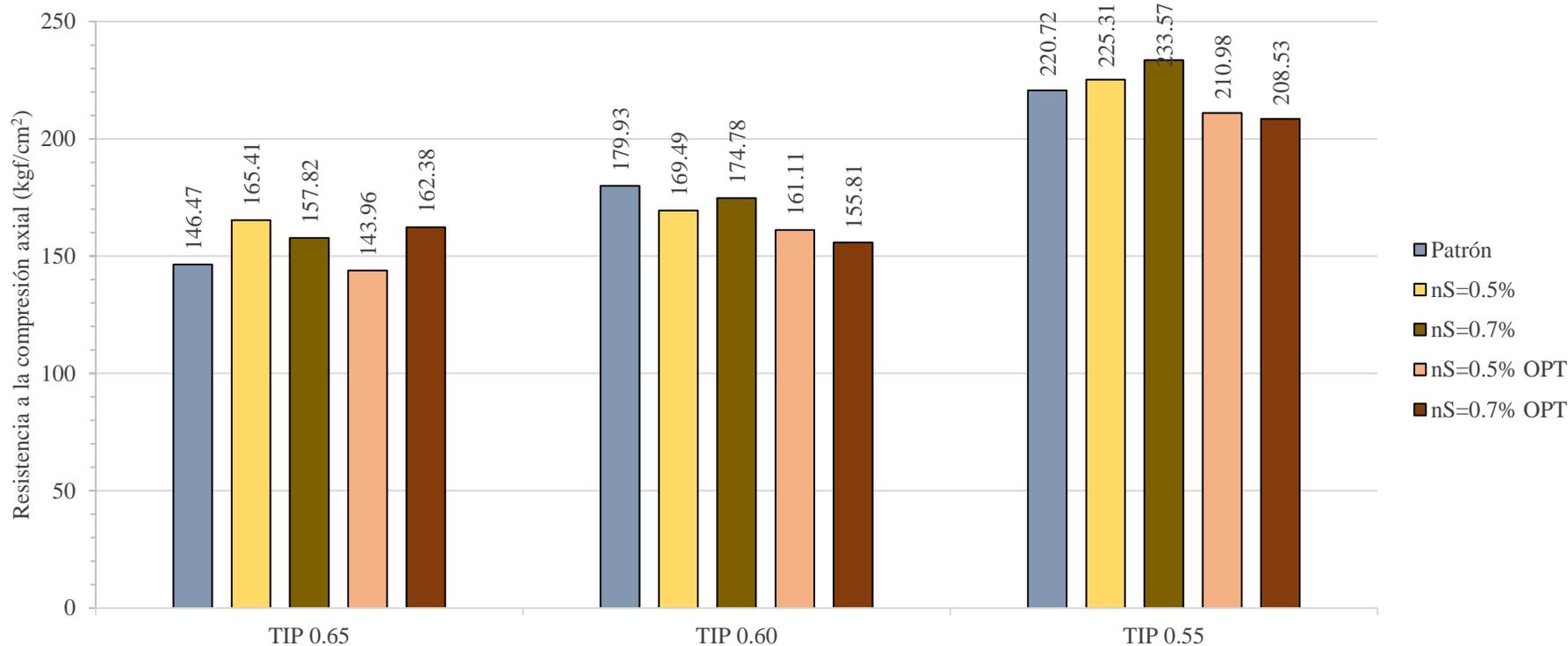


Figura 41: Comparación de la resistencia a la compresión a 28 días de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 41, la resistencia de los concretos patrones se incrementa a medida que la relación a/c disminuye, esto debido al aumento del contenido de cemento y agregado grueso. La resistencia de los concretos con nanosílice con respecto al patrón y la efectividad de las dosis de este aditivo, se incrementan también a medida que la relación a/c disminuye, excepto con la relación a/c 0.60 donde la nanosílice no incrementa la resistencia con respecto al patrón en concretos solo con este aditivo, esto lo hace parecer como una especie de punto

de inflexión. No existe una relación lineal entre la resistencia que ofrece una dosis de nanosílice frente a otra en los concretos con este aditivo y la relación agua/cemento, puesto que, como se ve en la Figura 41, primero funciona mejor una dosis de 0.5%, pero a medida que la relación agua/cemento disminuye a 0.60, ninguna dosis funciona, luego se llega a la relación a/c 0.55, donde la dosis de 0.7% se vuelve más efectiva; esto podría indicar que a medida que se usa una relación agua/cemento más pequeña, la aplicación de una dosis mayor de nanosílice podría actuar mejor. Asimismo, la aplicación de nanosílice en dosis más pequeñas podría contribuir en relaciones agua/cemento mayores. En cambio, en los concretos optimizados con nanosílice, este aditivo solo funciona con una dosis de 0.7% con una relación a/c de 0.65, luego ninguna dosis funciona con las relaciones a/c 0.60 y 0.55. Esto podría indicar que la nanosílice no podría suplir la reducción de cemento en relaciones a/c de 0.60 y menores usando este tipo de cemento. Entonces, se puede concluir que la elección de la dosis óptima de nanosílice dependerá del tipo de concreto (con nanosílice u optimizado con este aditivo) y su relación agua/cemento, y, en el caso de que las dos dosis presenten un mismo resultado, los beneficios que cada una ofrezca sobre la otra (puede ser de tipo técnico o económico, tema que se verá más adelante).

### 6.2.1.9 Comparación de la resistencia a la compresión entre todos los concretos elaborados.

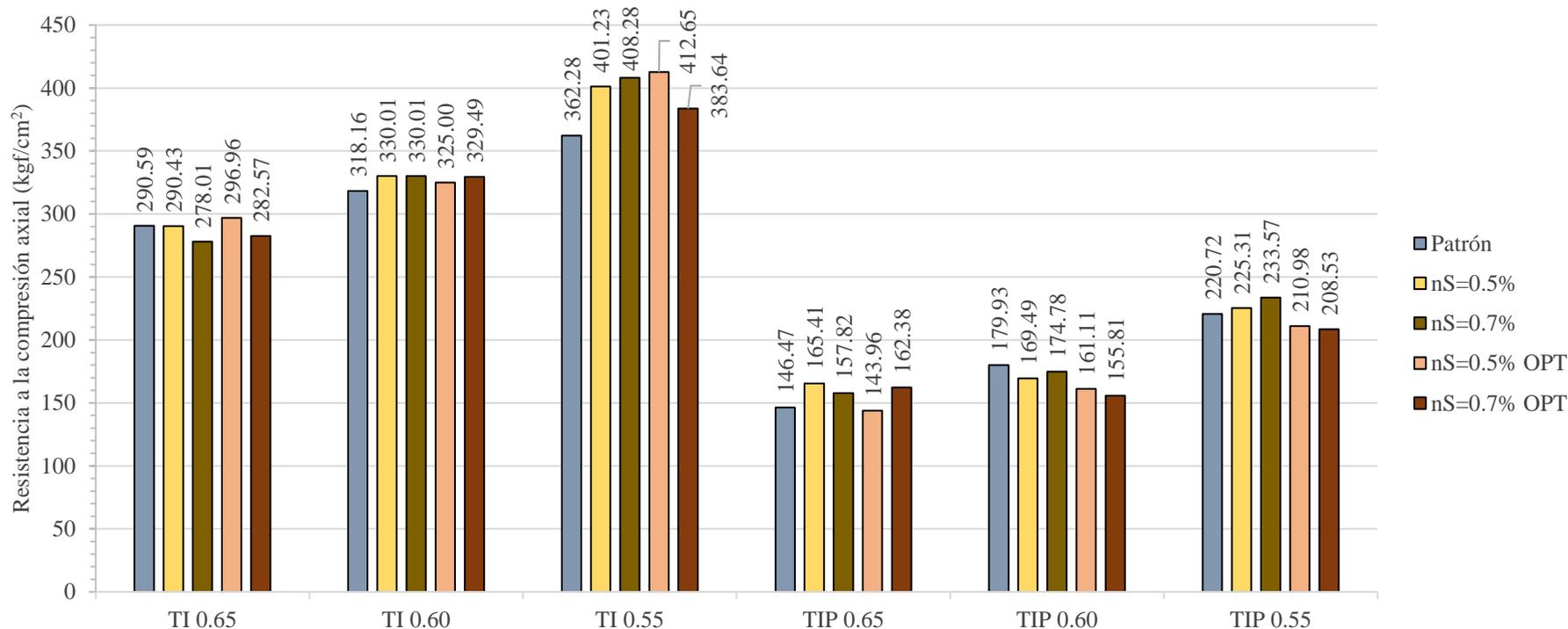


Figura 42: Comparación de la resistencia a la compresión a 28 días de todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 42, los concretos elaborados con cemento Yura tipo I ofrecen mayores resistencias que aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP. La nanosílice tiene mayor eficacia en los concretos elaborados con cemento Yura tipo I, pues incrementa la resistencia de todos los diseños de mezcla respecto a sus patrones, excepto en 2 (a/c 0.65 nS=0.7% y a/c 0.65 nS=0.7% OPT), en comparación con aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, donde solo 5 diseños (aquellos con nanosílice al 0.5% y 0.7% con relaciones agua/cemento de 0.65 y 0.55; y optimizado con este aditivo al 0.7% con una relación a/c de 0.65) de 12 logran superar a sus patrones.

## 6.2.2 Resistencia a la tracción.

### 6.2.2.1 Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65.

Tabla 73

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65.

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65	A4	13-May	16-May	3	102.25	205.25	5671	17.20	16.55	0.74	4.48
	A10	13-May	16-May	3	104.10	210.05	5736	16.70			
	A16	13-May	16-May	3	104.55	210.05	5431	15.74			
	A22	13-May	16-May	3	102.60	205.40	7033	<b>21.25</b>			
	A5	13-May	20-May	7	102.45	204.75	7458	22.63	22.14	0.74	3.35
	A11	13-May	20-May	7	102.40	206.20	7061	21.29			
	A17	13-May	20-May	7	104.45	208.25	6796	<b>19.89</b>			
	A23	13-May	20-May	7	105.55	210.15	7841	22.50			
	A6	13-May	10-Jun	28	104.10	209.15	8832	<b>25.82</b>	28.50	0.78	2.73
	A12	13-May	10-Jun	28	102.55	204.90	9158	27.75			
	A18	13-May	10-Jun	28	102.55	205.85	9716	29.30			
	A24	13-May	10-Jun	28	102.55	206.35	9458	28.45			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65 nS=0.5%	A4	07-May	10-May	3	103.90	209.50	4881	14.28	16.35	1.83	11.18
	A10	07-May	10-May	3	103.60	210.00	5829	17.06			
	A16	07-May	10-May	3	104.10	212.00	6143	17.72			
	A22	07-May	10-May	3	103.50	210.00	7013	<b>20.54</b>	23.72	0.60	2.54
	A5	07-May	14-May	7	105.20	210.25	8462	24.36			
	A11	07-May	14-May	7	104.50	210.10	7988	23.16			
	A17	07-May	14-May	7	103.45	209.30	8036	23.63	30.71	1.28	4.18
	A23	07-May	14-May	7	104.40	210.00	10419	<b>30.25</b>			
	A6	07-May	04-Jun	28	106.20	211.25	10786	30.61			
	A12	07-May	04-Jun	28	104.55	210.45	10188	29.48	17.45	0.89	5.12
	A18	07-May	04-Jun	28	104.00	210.90	8214	<b>23.84</b>			
	A24	07-May	04-Jun	28	103.70	209.75	10946	32.04			
a/c 0.65 nS=0.7%	A4	07-May	10-May	3	106.15	212.00	6532	18.48	24.93	0.14	0.56
	A10	07-May	10-May	3	104.20	212.00	5885	16.96			
	A16	07-May	10-May	3	105.35	210.00	5874	16.90			
	A22	07-May	10-May	3	104.00	211.50	7640	<b>22.11</b>	28.69	0.61	2.12
	A5	07-May	14-May	7	104.60	209.80	8563	24.84			
	A11	07-May	14-May	7	104.50	210.05	8652	25.09			
	A17	07-May	14-May	7	104.05	209.55	8516	24.86	28.69	0.61	2.12
	A23	07-May	14-May	7	105.00	210.85	8402	<b>24.16</b>			
A6	07-May	04-Jun	28	103.40	207.10	10770	<b>32.02</b>				
A12	07-May	04-Jun	28	105.40	210.55	9944	28.53	28.69	0.61	2.12	
A18	07-May	04-Jun	28	104.10	210.30	9690	28.18				
A24	07-May	04-Jun	28	105.30	211.35	10265	29.36				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	A4	15-May	18-May	3	104.45	210.50	5784	16.75	17.03	0.88	5.19
	A10	15-May	18-May	3	104.40	210.20	5626	16.32			
	A16	15-May	18-May	3	103.85	208.95	4406	<b>12.93</b>			
	A22	15-May	18-May	3	104.60	211.90	6274	18.02	23.60	1.87	7.93
	A5	15-May	22-May	7	105.40	210.65	9452	<b>27.10</b>			
	A11	15-May	22-May	7	105.15	209.70	7719	22.29			
	A17	15-May	22-May	7	105.20	210.80	7930	22.77			
	A23	15-May	22-May	7	104.80	211.50	8962	25.74			
	A6	15-May	12-Jun	28	103.95	210.15	10134	29.53			
	A12	15-May	12-Jun	28	105.10	210.75	10598	30.46	30.62	1.17	3.83
	A18	15-May	12-Jun	28	102.25	205.75	10529	31.86			
	A24	15-May	12-Jun	28	102.00	205.25	11651	<b>35.43</b>			
A4	15-May	18-May	3	102.05	205.40	5853	17.78				
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	A10	15-May	18-May	3	103.60	209.50	5739	16.83	17.22	0.50	2.88
	A16	15-May	18-May	3	104.95	209.75	4257	<b>12.31</b>			
	A22	15-May	18-May	3	104.55	210.25	5885	17.04			
	A5	15-May	22-May	7	103.80	207.60	6892	20.36	22.31	1.92	8.59
	A11	15-May	22-May	7	105.15	210.20	7772	22.39			
	A17	15-May	22-May	7	102.85	205.85	9635	<b>28.97</b>			
	A23	15-May	22-May	7	104.40	209.20	8300	24.19			
	A6	15-May	12-Jun	28	103.95	210.10	8828	25.73			
	A12	15-May	12-Jun	28	104.20	209.95	10347	<b>30.11</b>			
	A18	15-May	12-Jun	28	103.45	208.70	9034	26.64	26.33	0.52	1.97
	A24	15-May	12-Jun	28	103.70	208.30	9034	26.63			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74

Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65.

Código de diseño	Resistencia a la tracción por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.65	16.55	22.14	28.50	-	-	-
a/c 0.65 nS=0.5%	16.35	23.72	30.71	-1.20%	+7.10%	+7.74%
a/c 0.65 nS=0.7%	17.45	24.93	28.69	+5.43%	+12.60%	+0.66%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	17.03	23.60	30.62	+2.91%	+6.57%	+7.43%
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	17.22	22.31	26.33	+4.04%	+0.77%	-7.61%

Fuente: Elaboración propia.

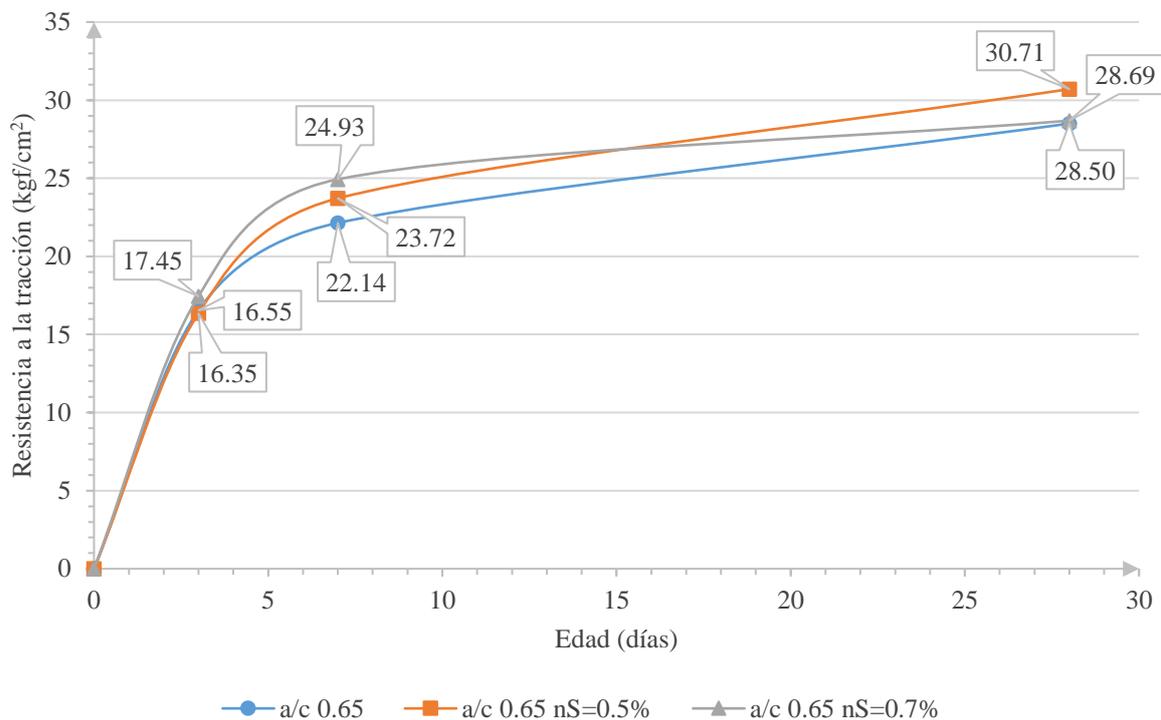


Figura 43: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 43, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto con nanosílice al 0.7% desarrolla incrementos de 5.43% y 12.60% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras aquel con este aditivo al 0.5% solo desarrolla un incremento de 7.10% a 7 días. A pesar de tener resistencias más altas a 3 y 7 días, la resistencia del concreto con nanosílice al 0.7% se torna idéntica a la del concreto patrón a 28 días, mientras que en aquel con una dosis de 0.5% la resistencia aumenta un 7.74% con respecto a este. Por esto, se puede decir que la

dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo I es 0.5%.

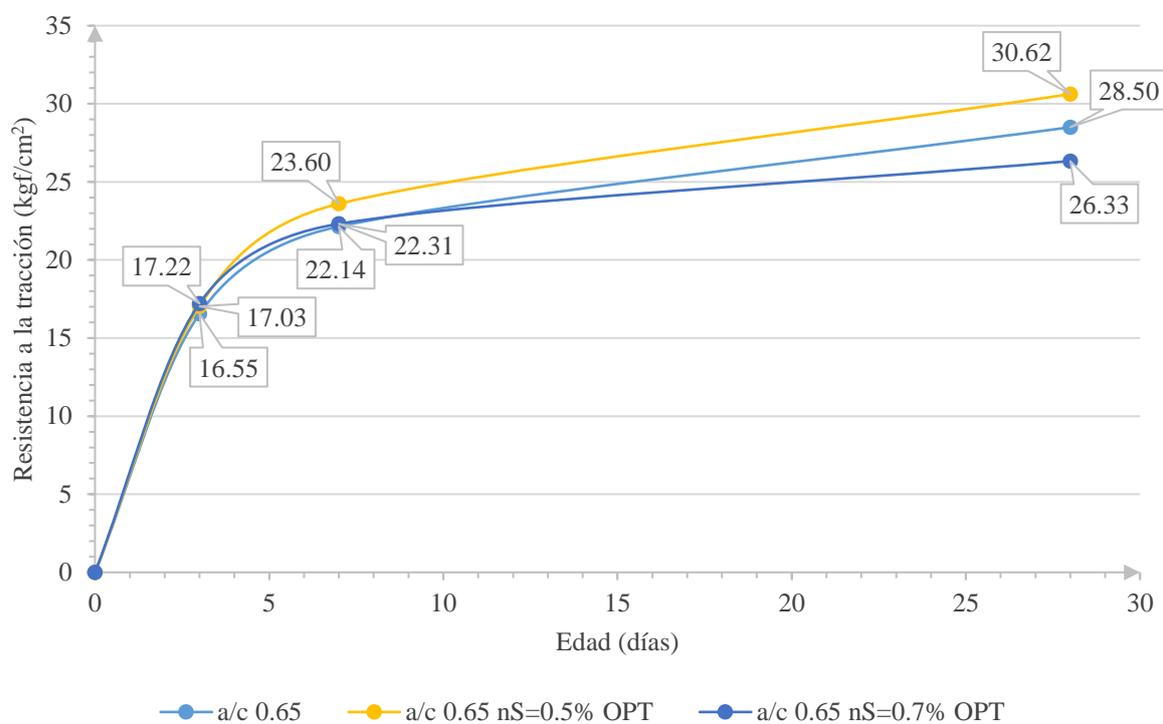
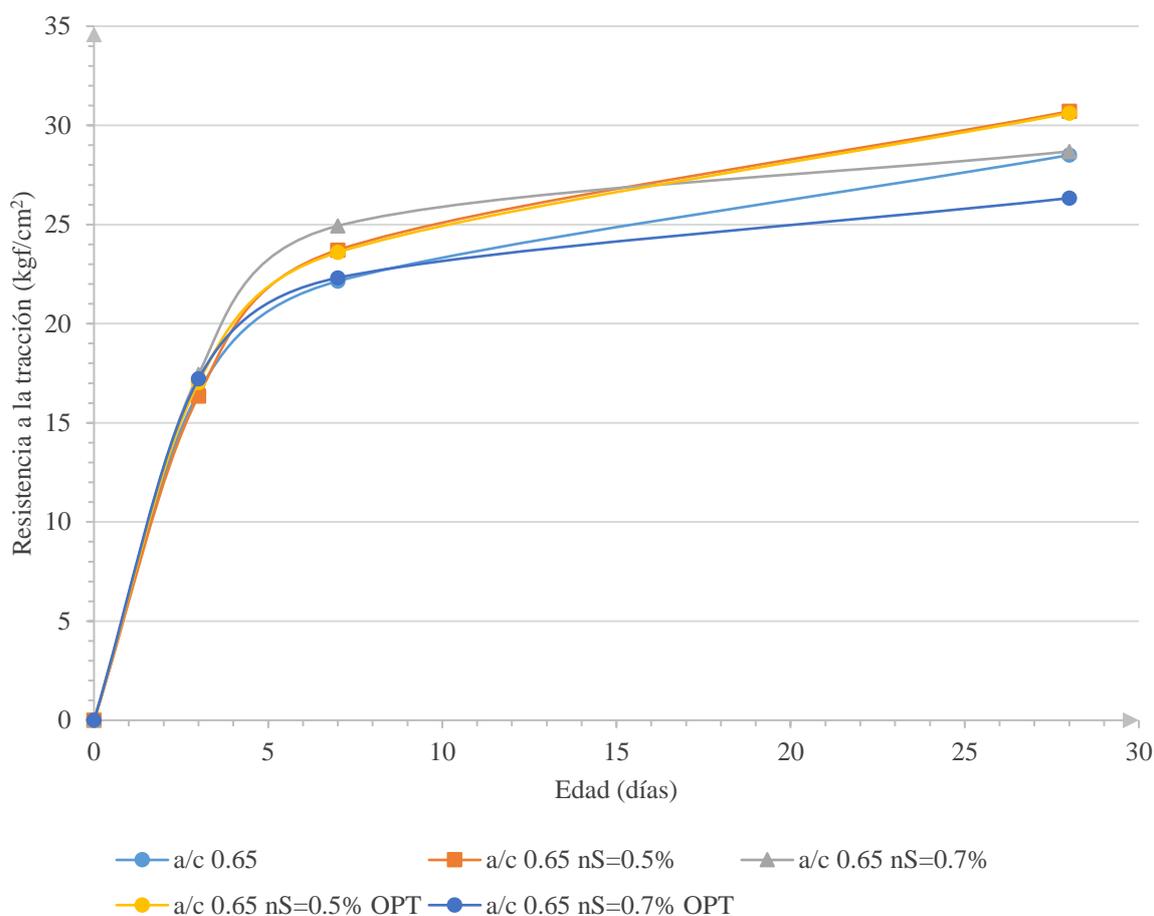


Figura 44: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 44, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto optimizado con nS al 0.5% desarrolla incrementos de 2.91% y 6.57% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que aquel con este aditivo al 0.7% desarrolla incrementos de 4.04% y 0.77% en los mismos periodos. A pesar de que las resistencias a edades tempranas del concreto optimizado con nanosílice al 0.7% fueron mayores a las del patrón, este termina con una reducción de su resistencia a 28 días de 7.61% respecto a este. Esto puede deberse a que la reducción del cemento hecha (-6.72%), respecto al patrón, pudo ser excesiva. En cambio, el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% logra superar la resistencia del concreto patrón a 28 días por un 7.43%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo I es 0.5%.



*Figura 45:* Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 45, tantos los concretos con nanosílice como los optimizados con este aditivo desarrollan resistencias más altas a edades tempranas, sobre todo a los 7 días. A los 3 días los concretos con nanosílice al 0.7% y optimizados con este aditivo al 0.5% y 0.7% tienen resistencias mayores a la del patrón, mientras que aquel con nanosílice al 0.5% desarrolla un ligero decremento respecto a este. A 28 días todos los concretos con nanosílice superan al patrón, excepto aquel optimizado con nS al 0.7%, que desarrolla una resistencia menor a este. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice, en general, para concretos con relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo I es 0.5%.

6.2.2.2 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60.*

Tabla 75

*Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)			
a/c 0.60	A4	08-May	11-May	3	103.20	207.50	5877	17.47	18.76	1.12	5.99			
	A10	08-May	11-May	3	105.15	211.00	6732	19.32						
	A16	08-May	11-May	3	104.40	211.50	7490	<b>21.59</b>						
	A22	08-May	11-May	3	103.55	210.50	6678	19.50	25.06	1.06	4.24			
	A5	08-May	15-May	7	103.60	204.45	8340	25.07						
	A11	08-May	15-May	7	104.75	209.75	8283	24.00						
	A17	08-May	15-May	7	104.75	211.35	9085	26.12						
	A23	08-May	15-May	7	104.45	210.65	9401	<b>27.20</b>	30.39	3.08	10.14			
	A6	08-May	05-Jun	28	104.05	209.05	10161	29.74						
	A12	08-May	05-Jun	28	104.45	209.40	9510	27.68						
	A18	08-May	05-Jun	28	103.75	209.80	11536	33.74						
	A24	08-May	05-Jun	28	104.30	211.60	13808	<b>39.83</b>	16.72	1.33	7.98			
a/c 0.60 nS=0.5%	A4	08-May	11-May	3	104.55	209.50	8319	<b>24.18</b>						
	A10	08-May	11-May	3	104.40	210.50	6170	17.87						
	A16	08-May	11-May	3	104.25	211.50	5284	15.26						
	A22	08-May	11-May	3	104.10	210.00	5845	17.02						
	A5	08-May	15-May	7	103.95	207.50	10105	29.82						
	A11	08-May	15-May	7	103.10	205.95	8090	<b>24.26</b>				28.51	1.22	4.26
	A17	08-May	15-May	7	102.65	205.20	9075	27.43						
	A23	08-May	15-May	7	105.40	211.45	9898	28.27						
	A6	08-May	05-Jun	28	103.80	209.15	7869	<b>23.08</b>				32.29	0.40	1.25
	A12	08-May	05-Jun	28	103.95	209.05	10946	32.07						
	A18	08-May	05-Jun	28	105.25	211.50	11206	32.05						
	A24	08-May	05-Jun	28	103.65	208.45	11117	32.76						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60 nS=0.7%	A4	08-May	11-May	3	104.35	210.50	6364	18.44	20.11	1.49	7.41
	A10	08-May	11-May	3	104.55	210.50	7112	20.57			
	A16	08-May	11-May	3	104.20	211.00	7362	21.32			
	A22	08-May	11-May	3	104.85	208.50	6040	<b>17.59</b>			
	A5	08-May	15-May	7	105.25	209.95	9309	<b>26.82</b>	30.60	0.98	3.19
	A11	08-May	15-May	7	104.75	209.90	10299	29.82			
	A17	08-May	15-May	7	104.40	209.70	10411	30.27			
	A23	08-May	15-May	7	103.45	207.35	10679	31.69			
	A6	08-May	05-Jun	28	103.90	210.55	11597	33.75			
	A12	08-May	05-Jun	28	103.80	208.55	9848	<b>28.96</b>			
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	A18	08-May	05-Jun	28	104.50	210.20	11160	32.34	32.25	1.54	4.78
	A24	08-May	05-Jun	28	105.05	211.00	10679	30.67			
	A4	15-May	18-May	3	102.60	206.05	6234	<b>18.77</b>	15.72	1.13	7.20
	A10	15-May	18-May	3	104.10	209.60	4939	14.41			
	A16	15-May	18-May	3	104.25	210.25	5624	16.33			
	A22	15-May	18-May	3	102.70	206.20	5456	16.40			
	A5	15-May	22-May	7	104.05	210.30	10487	<b>30.51</b>	22.61	1.35	5.99
	A11	15-May	22-May	7	104.65	210.95	7301	21.05			
	A17	15-May	22-May	7	106.05	211.10	8193	23.30			
	A23	15-May	22-May	7	102.85	205.60	7802	23.49			
A6	15-May	12-Jun	28	103.70	209.55	9207	26.97				
A12	15-May	12-Jun	28	102.50	207.00	12811	38.44				
A18	15-May	12-Jun	28	102.05	206.80	10109	30.49	31.97	5.87	18.37	
	A24	15-May	12-Jun	28	103.55	209.00	5949				<b>17.50</b>

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	A4	20-May	23-May	3	102.85	206.80	6135	18.36	16.60	1.55	9.34
	A10	20-May	23-May	3	103.55	209.50	5444	15.98			
	A16	20-May	23-May	3	104.40	210.70	5341	15.46			
	A22	20-May	23-May	3	104.35	211.95	7274	<b>20.94</b>	24.44	1.22	4.98
	A5	20-May	27-May	7	103.85	208.15	8495	25.02			
	A11	20-May	27-May	7	105.10	210.00	6053	<b>17.46</b>			
	A17	20-May	27-May	7	104.65	211.00	7994	23.05			
	A23	20-May	27-May	7	104.10	211.00	8718	25.27			
	A6	20-May	17-Jun	28	104.05	211.05	10078	29.22			
	A12	20-May	17-Jun	28	103.65	211.60	9005	<b>26.14</b>	32.03	2.73	8.53
	A18	20-May	17-Jun	28	104.40	210.80	11986	34.67			
	A24	20-May	17-Jun	28	102.90	208.60	10854	32.19			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76

Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60.

Código de diseño	Resistencia a la tracción por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.60	18.76	25.06	30.39	-	-	-
a/c 0.60 nS=0.5%	16.72	28.51	32.29	-10.91%	+13.74%	+6.27%
a/c 0.60 nS=0.7%	20.11	30.60	32.25	+7.18%	+22.07%	+6.15%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	15.72	22.61	31.97	-16.25%	-9.78%	+5.21%
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	16.60	24.44	32.03	-11.54%	-2.47%	+5.40%

Fuente: Elaboración propia.

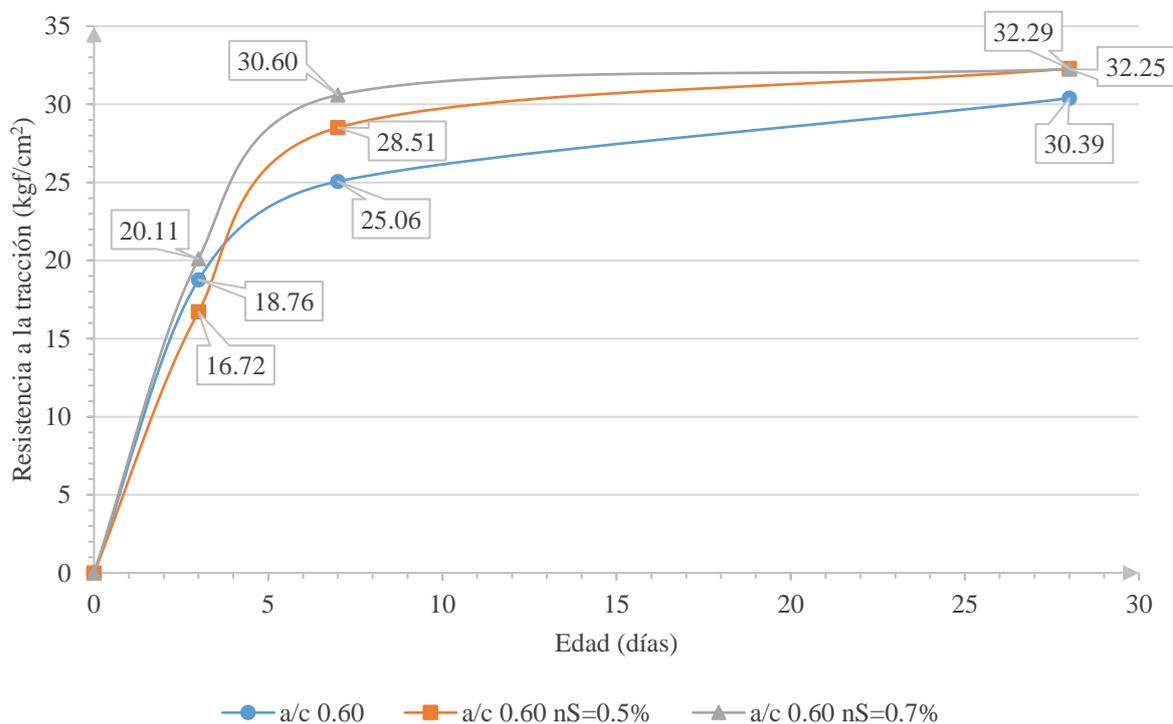


Figura 46: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 46, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto con nanosílice al 0.7% desarrolla incrementos de 7.18% y 22.07% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que el concreto con nanosílice al 0.5% solo desarrolla un incremento de 13.74% a los 7 días y un decremento de 10.91% a los 3. A pesar de los incrementos mayores en el concreto con nanosílice al 0.7%, su resistencia a 28 días termina siendo prácticamente la misma que la del concreto con este aditivo al 0.5% (32.25 kgf/cm<sup>2</sup> para aquel con nanosílice al 0.7% y 32.29 kgf/cm<sup>2</sup> para aquel con este aditivo al 0.5%), pero ambos mayores, por 6.15% y 6.27%, respectivamente, a la del concreto patrón. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo I es 0.7%.

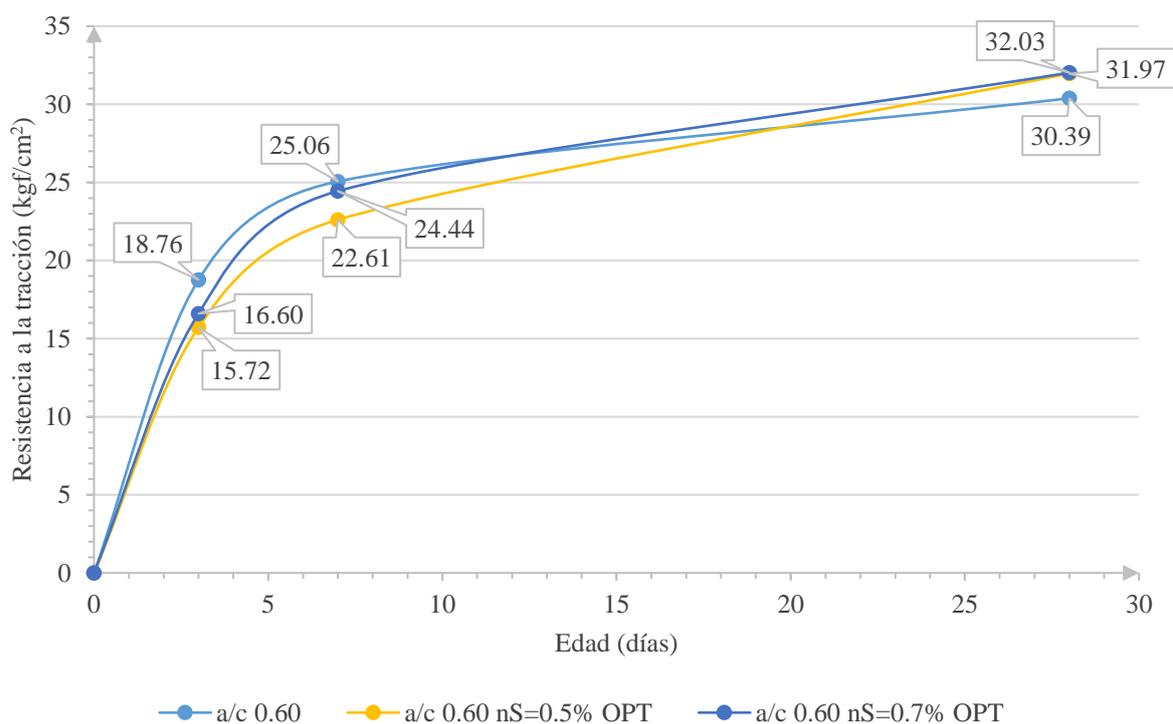


Figura 47: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 47, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan decrementos de resistencia a edades tempranas, con respecto al concreto patrón, de 16.25% y 9.78% a 3 y 7 días para el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% y de 11.54% y 2.47% para aquel optimizado con este aditivo al 0.7%. Sin embargo, a 28 días ambos concretos optimizados superan al patrón por 5.21%, para aquel optimizado con nanosílice al 0.5%, y por 5.40%, para aquel optimizado con este aditivo al 0.7%. Cabe resaltar que el concreto optimizado con nanosílice al 0.7% siempre tuvo resistencias mayores a aquel optimizado con este aditivo al 0.5%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo I es 0.7%.

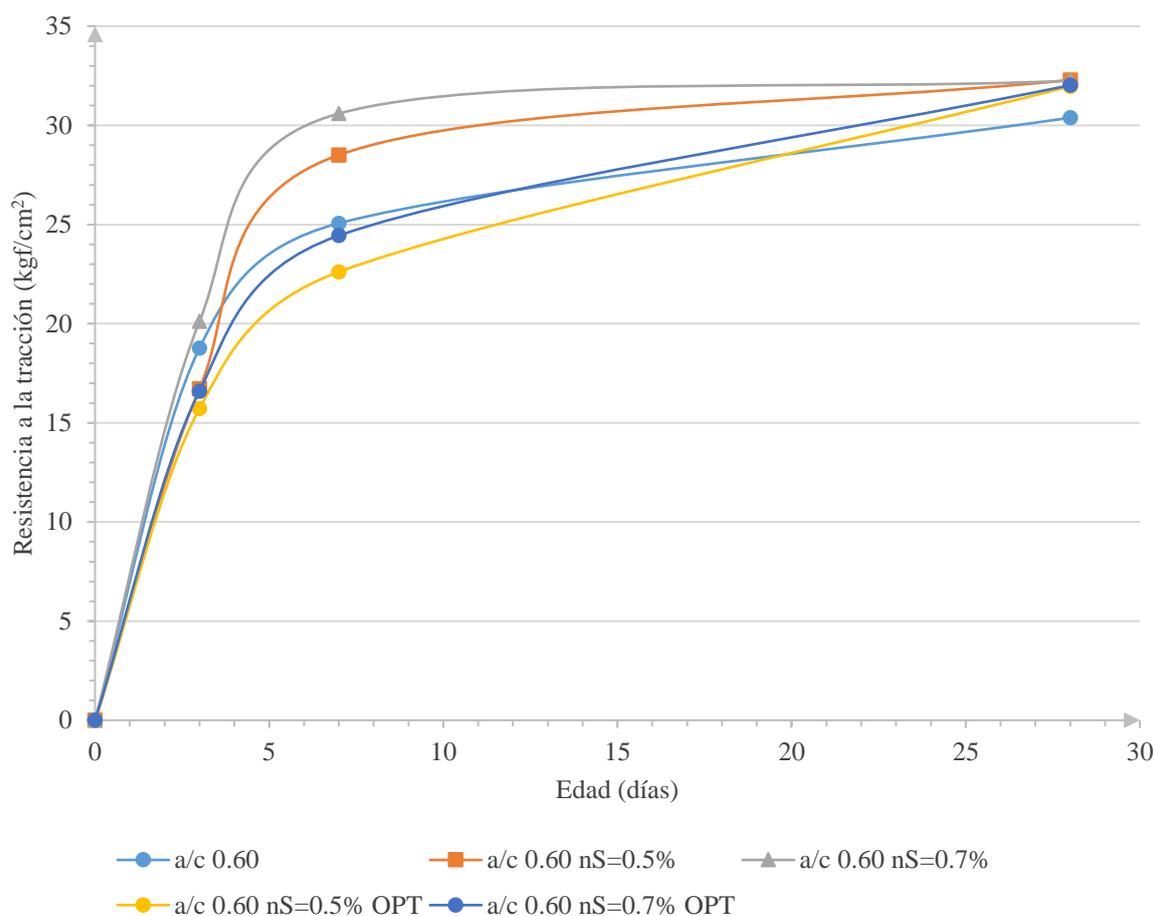


Figura 48: Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 48, solo el concreto con nanosílice al 0.7% desarrolla resistencias mayores al patrón desde el inicio, mientras que todos los demás concretos con nS empiezan con resistencias menores. A 7 días solo los concretos con nS se encuentran por encima del patrón. A 28 días todos los concretos con nS ofrecen mayor resistencia que el concreto patrón. Cabe mencionar que todos estos ofrecen casi la misma resistencia, pero siempre aquellos con nS al 0.7% se mantienen por encima de aquel con este aditivo al 0.5%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice, en general, para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo I es 0.7%.

6.2.2.3 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55.*

Tabla 77

*Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55	A4	13-May	16-May	3	105.00	209.70	7100	20.53	22.49	1.71	7.61
	A10	13-May	16-May	3	102.30	205.75	7699	23.29			
	A16	13-May	16-May	3	104.90	210.50	8207	23.66			
	A22	13-May	16-May	3	104.50	213.10	10039	<b>28.70</b>	27.72	2.62	9.46
	A5	13-May	20-May	7	104.90	208.80	10077	29.29			
	A11	13-May	20-May	7	106.00	201.75	9798	29.17			
	A17	13-May	20-May	7	104.30	209.70	8389	<b>24.42</b>	32.72	2.24	6.86
	A23	13-May	20-May	7	105.25	211.10	8617	24.69			
	A6	13-May	10-Jun	28	103.65	209.05	11738	34.49			
	A12	13-May	10-Jun	28	102.65	207.35	11190	33.47	30.19		
	A18	13-May	10-Jun	28	105.80	211.20	13445	<b>38.31</b>			
	A24	13-May	10-Jun	28	103.80	209.60	10318	30.19			
a/c 0.55 nS=0.5%	A4	13-May	16-May	3	106.55	212.40	8810	<b>24.78</b>	20.75	0.41	1.99
	A10	13-May	16-May	3	104.90	211.55	7179	20.59			
	A16	13-May	16-May	3	103.40	207.90	7163	21.21			
	A22	13-May	16-May	3	104.80	211.55	7114	20.43	32.74	1.25	3.83
	A5	13-May	20-May	7	104.95	211.75	9831	<b>28.16</b>			
	A11	13-May	20-May	7	105.50	211.85	11255	32.06			
	A17	13-May	20-May	7	104.05	210.20	11744	34.18	33.61	1.14	3.40
	A23	13-May	20-May	7	105.40	212.00	11222	31.97			
A6	13-May	10-Jun	28	104.90	210.80	14606	<b>42.05</b>				
A12	13-May	10-Jun	28	106.30	213.00	11650	32.76	33.61	1.14	3.40	
A18	13-May	10-Jun	28	104.00	210.50	12005	34.91				
A24	13-May	10-Jun	28	103.50	208.20	11228	33.17				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)	
a/c 0.55 nS=0.7%	A4	13-May	16-May	3	105.65	209.15	7890	22.73	23.01	1.26	5.48	
	A10	13-May	16-May	3	104.35	211.60	8456	24.38				
	A16	13-May	16-May	3	104.50	210.85	8922	<b>25.78</b>				
	A22	13-May	16-May	3	104.05	209.00	7483	21.91	34.37	2.57	7.48	
	A5	13-May	20-May	7	103.10	204.85	7608	<b>22.93</b>				
	A11	13-May	20-May	7	104.25	210.60	11301	32.77				
	A17	13-May	20-May	7	104.60	211.15	11451	33.01				
	A23	13-May	20-May	7	104.15	210.30	12846	37.34				
	A6	13-May	10-Jun	28	104.70	211.40	12182	35.04				
	a/c 0.55 nS=0.5% OPT	A12	13-May	10-Jun	28	103.85	210.65	14561	<b>42.37</b>	35.02	0.23	0.66
		A18	13-May	10-Jun	28	104.75	210.90	12067	34.77			
		A24	13-May	10-Jun	28	102.30	206.00	11664	35.24			
a/c 0.55 nS=0.5% OPT		A4	20-May	23-May	3	102.55	208.85	5691	16.92	19.08	3.19	16.71
		A10	20-May	23-May	3	104.10	210.25	6045	17.58			
		A16	20-May	23-May	3	104.50	212.30	8552	<b>24.54</b>			
		A22	20-May	23-May	3	104.25	212.00	7895	22.74	25.09	3.19	12.70
		A5	20-May	27-May	7	105.35	211.70	8119	23.18			
		A11	20-May	27-May	7	104.55	211.10	9975	28.77			
		A17	20-May	27-May	7	102.90	207.70	10877	<b>32.40</b>			
		A23	20-May	27-May	7	105.20	211.40	8152	23.34			
		A6	20-May	17-Jun	28	104.20	211.00	11427	33.09			
	a/c 0.55 nS=0.5% OPT	A12	20-May	17-Jun	28	104.55	211.15	9178	<b>26.47</b>	31.32	2.44	7.79
		A18	20-May	17-Jun	28	103.30	209.25	9690	28.54			
		A24	20-May	17-Jun	28	104.30	211.35	11200	32.35			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 77

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	A4	21-May	24-May	3	105.05	211.20	10038	<b>28.80</b>	21.85	1.65	7.54
	A10	21-May	24-May	3	104.25	211.00	7242	20.96			
	A16	21-May	24-May	3	102.90	206.65	6960	20.84			
	A22	21-May	24-May	3	104.90	211.60	8281	23.75	26.65	1.75	6.56
	A5	21-May	28-May	7	107.15	213.15	8913	24.84			
	A11	21-May	28-May	7	104.30	210.05	9750	28.33			
	A17	21-May	28-May	7	104.35	210.85	12027	<b>34.80</b>	30.71	3.10	10.09
	A23	21-May	28-May	7	104.65	211.40	9300	26.76			
	A6	21-May	18-Jun	28	103.80	208.95	11669	34.25			
	A12	21-May	18-Jun	28	104.50	208.90	12739	<b>37.15</b>	30.71	3.10	10.09
	A18	21-May	18-Jun	28	104.85	210.90	10203	29.37			
	A24	21-May	18-Jun	28	106.35	213.20	10151	28.50			

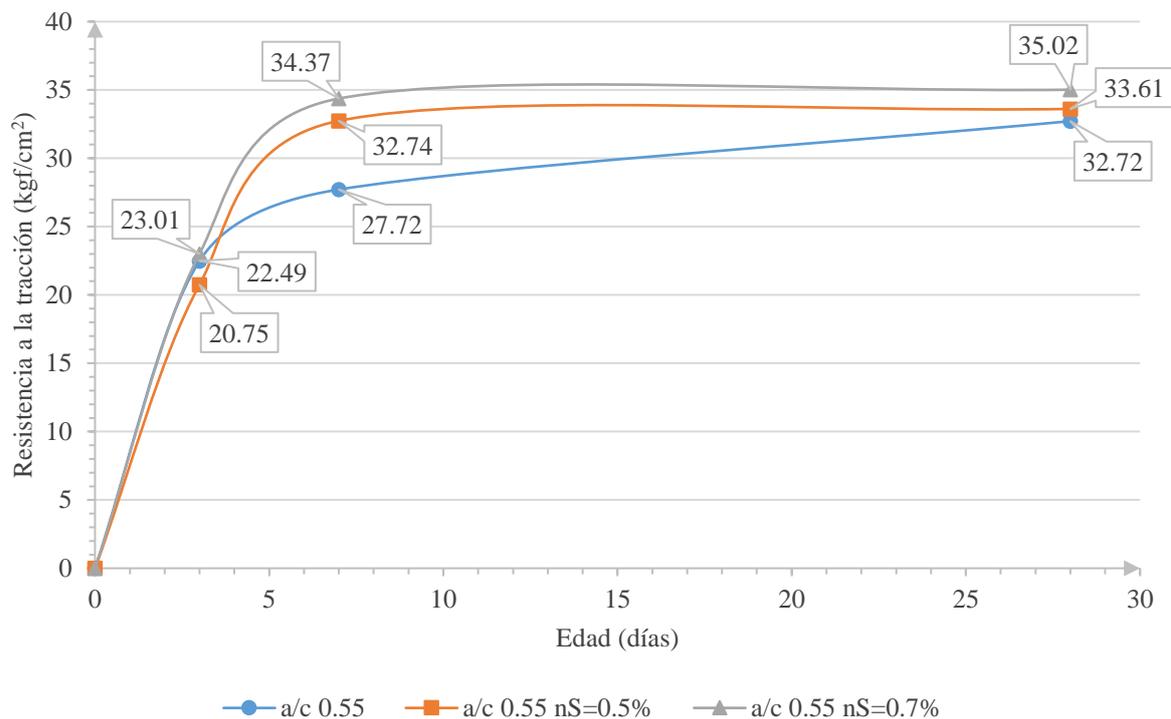
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78

Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55.

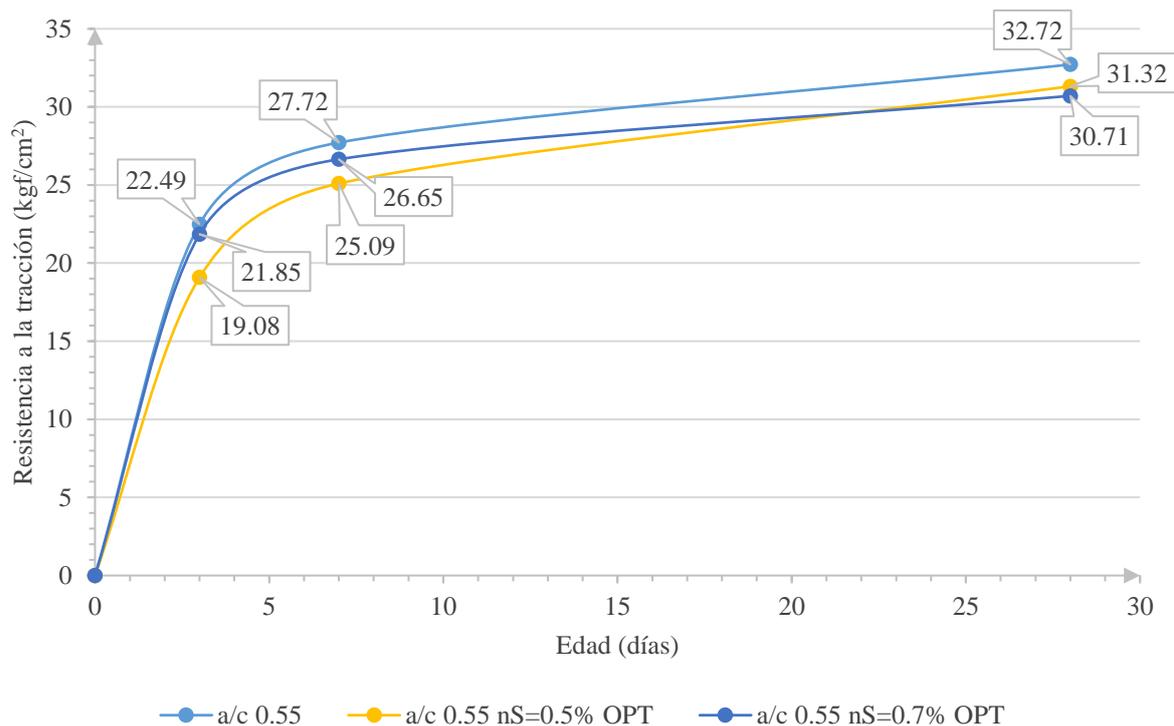
Código de diseño	Resistencia a la tracción por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.55	22.49	27.72	32.72	-	-	-
a/c 0.55 nS=0.5%	20.75	32.74	33.61	-7.77%	+18.12%	+2.74%
a/c 0.55 nS=0.7%	23.01	34.37	35.02	+2.29%	+24.01%	+7.03%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	19.08	25.09	31.32	-15.17%	-9.46%	-4.26%
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	21.85	26.65	30.71	-2.86%	-3.86%	-6.14%

Fuente: Elaboración propia.



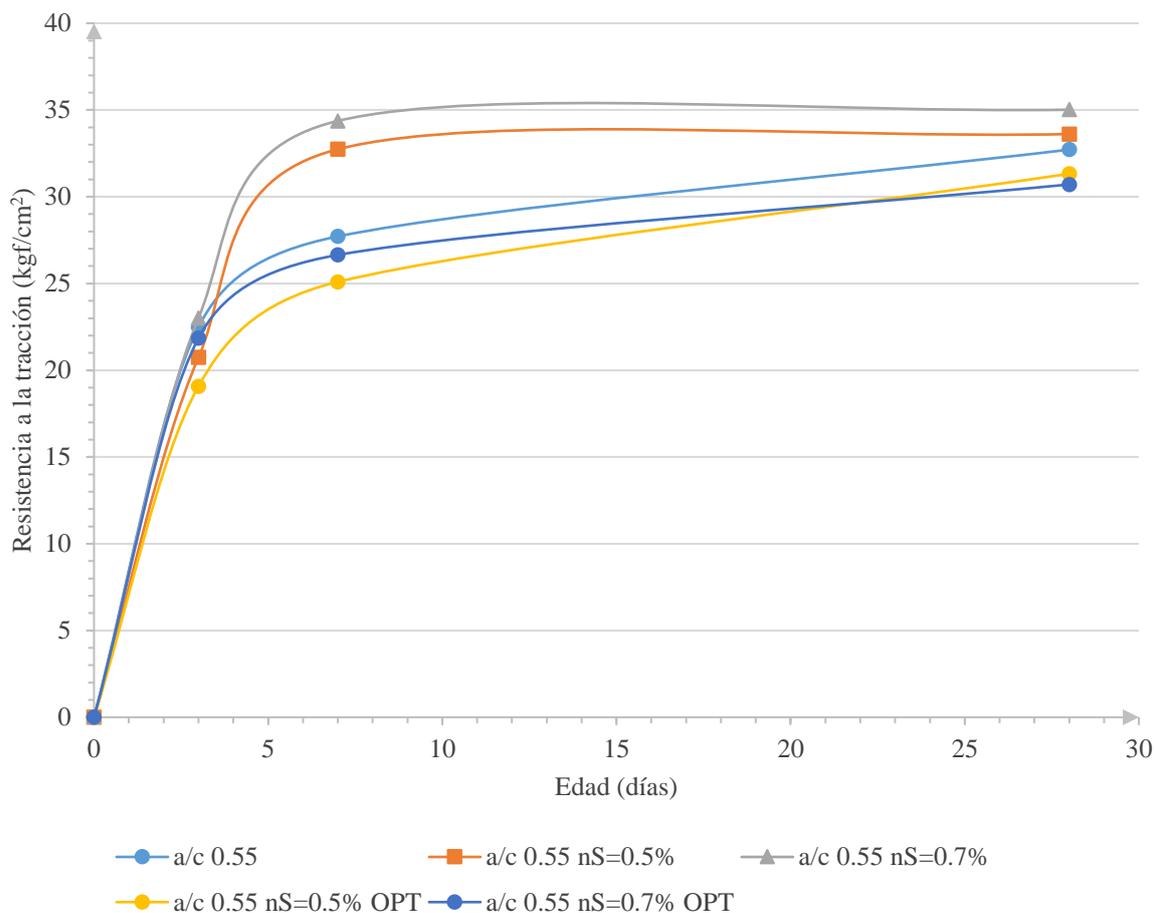
*Figura 49:* Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 49, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto con nanosílice al 0.7% desarrolla incrementos de 2.29% y 24.01% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que el concreto con nanosílice al 0.5% solo desarrolla un incremento de 18.12% a los 7 días y un decremento de 7.77% a los 3. A 28 días ambos concretos nanosílice superan al patrón, por 2.74% para aquel con este aditivo al 0.5% y por 7.03% para aquel con una dosis de 0.7%. Cabe resaltar que el concreto con nS al 0.7% siempre mantuvo resistencias mayores a aquel con este aditivo al 0.5%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo I es 0.7%.



*Figura 50:* Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 50, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan decrementos de resistencia, con respecto al concreto patrón, desde edades tempranas. El concreto optimizado con nanosílice al 0.5% tiene decrementos de 15.17%, 9.46% y 4.26% a 3, 7 y 28 días, respectivamente, mientras aquel optimizado con este aditivo al 0.7% tiene decrementos de 2.86%, 3.86% y 6.14% en los mismos periodos. Esto puede deberse a que, en ambos casos, la reducción del cemento hecha (-7.99% para el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% y -8.25% para aquel optimizado con este aditivo al 0.7%), respecto al patrón, no pudo ser solventada por la nanosílice y el aumento de las cantidades de agregado fino y grueso respecto al patrón (+3.55% para el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% y +3.66% para aquel optimizado con este aditivo al 0.7%). Cabe resaltar que el concreto optimizado con nanosílice al 0.7% termina desarrollando la menor resistencia a 28 días. Por esto, se puede decir que no hay dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo I.



*Figura 51:* Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 51, solo los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas, excepto aquel con nanosílice al 0.5% a 3 días. Estos terminan con una resistencia mayor a la del patrón. En cambio, los concretos optimizados con nanosílice mantienen resistencias menores a la del patrón desde el comienzo. A 28 días el concreto con menor resistencia es aquel optimizado con nanosílice al 0.7%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.7% y para optimizados con este aditivo no hay dosis óptima, para la relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo I.

#### 6.2.2.4 Comparación de la resistencia a la tracción entre todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.

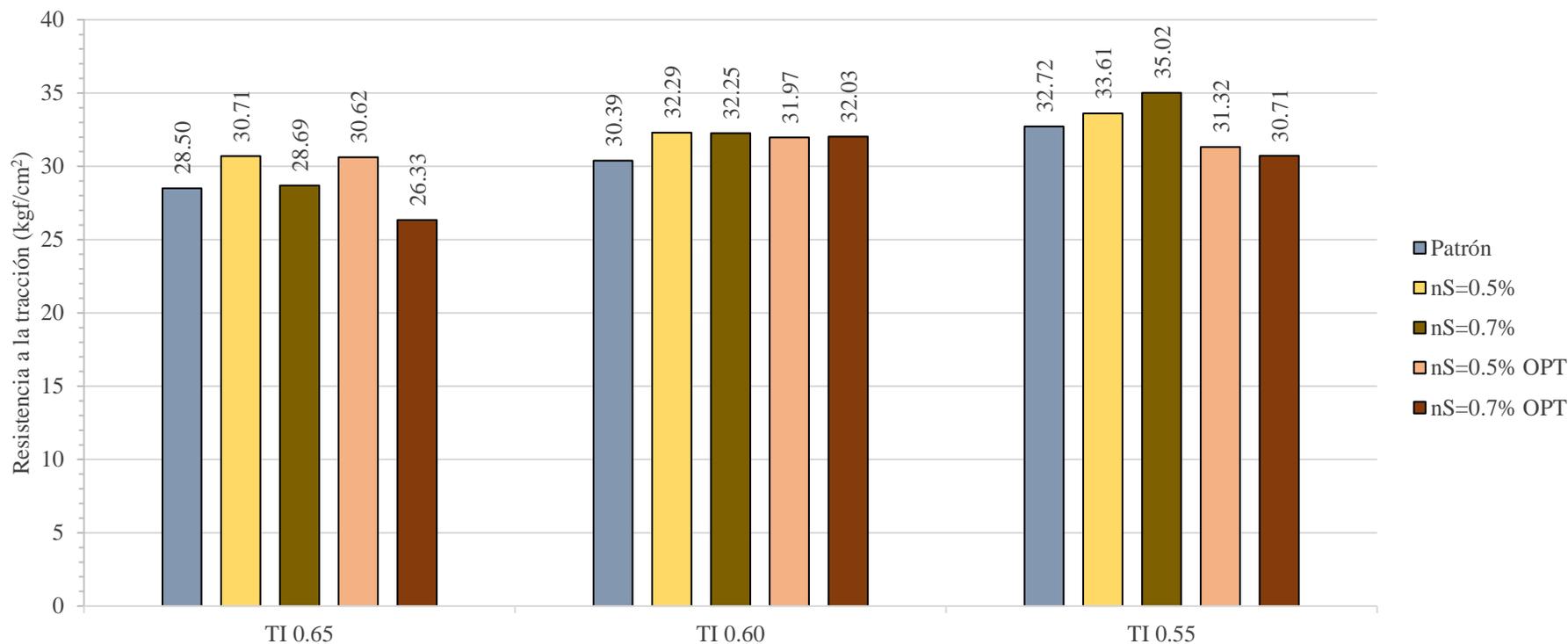
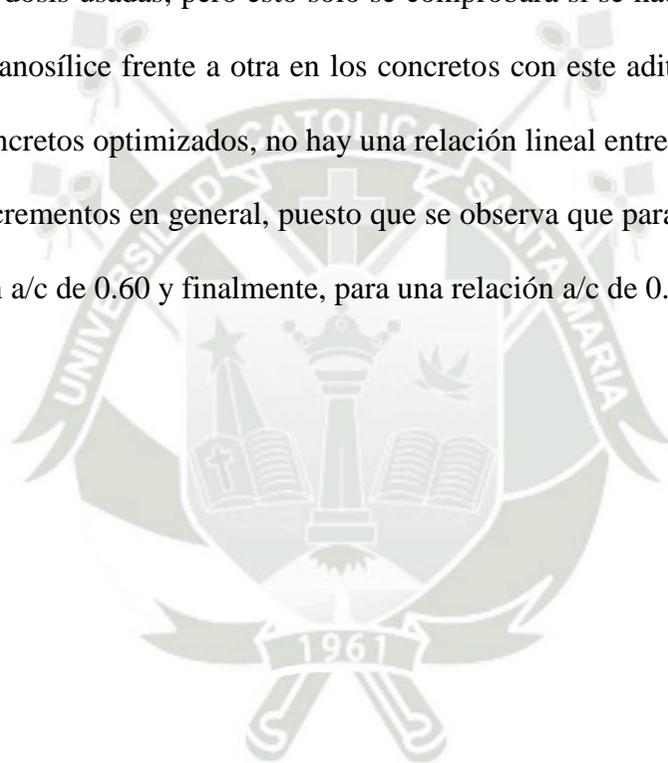


Figura 52: Comparación de la resistencia a la tracción a 28 días de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 52, la resistencia de los concretos patrones se incrementa a medida que la relación a/c disminuye, esto debido al aumento del contenido de cemento y agregado grueso. La resistencia de los concretos con nanosílice con respecto al patrón, en todos los casos estudiados, son mayores a sus patrones a medida que la relación agua/cemento disminuye, pero la efectividad de las dosis de nanosílice varía cuando esto sucede, puesto que como se puede ver en la Figura 52, el incremento de resistencia con respecto al patrón debido a una dosis de

0.5%, es cada vez menor, mientras que una dosis mayor (0.7%) se vuelve más efectiva cuando la relación a/c se reduce. Entonces, así como esto sucede, podría pasar que la aplicación de una dosis menor a las usadas (por ejemplo, 0.3%) en concretos con relaciones agua/cemento mayores que 0.65 ofrecería mejores resultados que las dosis usadas, pero esto solo se comprobará si se hacen más estudios. No existe una relación lineal entre la resistencia que ofrece una dosis de nanosílice frente a otra en los concretos con este aditivo y la relación agua/cemento, por el motivo anteriormente explicado. En el caso de los concretos optimizados, no hay una relación lineal entre el incremento de resistencia respecto al patrón y sus relaciones agua/cemento ni entre sus incrementos en general, puesto que se observa que para una relación a/c de 0.65 una dosis de 0.5% es efectiva, luego ambas lo son para una relación a/c de 0.60 y finalmente, para una relación a/c de 0.55 ambas son ineficaces.



6.2.2.5 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65.*

Tabla 79

*Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65	A4	22-May	25-May	3	103.40	207.90	2752	8.15	8.34	0.31	3.75
	A10	22-May	25-May	3	104.55	210.25	2821	8.17			
	A16	22-May	25-May	3	105.05	210.65	3829	<b>11.02</b>			
	A22	22-May	25-May	3	104.80	211.75	3033	8.70	10.74	1.09	10.14
	A5	22-May	29-May	7	102.40	205.00	3940	11.95			
	A11	22-May	29-May	7	101.95	205.15	3231	9.83			
	A17	22-May	29-May	7	103.90	208.00	4332	<b>12.76</b>			
	A23	22-May	29-May	7	103.55	209.80	3562	10.44			
	A6	22-May	19-Jun	28	104.80	210.60	5620	16.21			
	A12	22-May	19-Jun	28	102.45	206.20	6574	<b>19.81</b>	16.55	1.51	9.12
	A18	22-May	19-Jun	28	102.50	206.10	6039	18.20			
	A24	22-May	19-Jun	28	102.05	206.25	5038	15.24			
A4	21-May	24-May	3	104.20	210.70	2908	8.43				
a/c 0.65 nS=0.5%	A10	21-May	24-May	3	103.95	209.35	2882	8.43	8.57	0.24	2.81
	A16	21-May	24-May	3	104.20	209.95	3041	8.85			
	A22	21-May	24-May	3	105.20	211.75	3198	<b>9.14</b>			
	A5	21-May	28-May	7	105.10	210.00	3932	11.34	11.48	0.19	1.67
	A11	21-May	28-May	7	102.60	205.40	5109	<b>15.43</b>			
	A17	21-May	28-May	7	102.10	203.45	3816	11.70			
	A23	21-May	28-May	7	103.50	206.95	3833	11.39			
	A6	21-May	18-Jun	28	104.05	199.05	4626	14.22			
A12	21-May	18-Jun	28	103.90	208.50	6868	20.18	17.36	2.99	17.25	
A18	21-May	18-Jun	28	104.20	199.25	5767	17.68				
A24	21-May	18-Jun	28	102.45	192.05	7713	<b>24.96</b>				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65 nS=0.7%	A4	21-May	24-May	3	104.25	210.05	3551	10.32	10.28	0.36	3.46
	A10	21-May	24-May	3	102.70	208.10	3323	9.90			
	A16	21-May	24-May	3	104.25	210.45	3655	10.61			
	A22	21-May	24-May	3	104.35	211.80	3192	<b>9.19</b>	12.98	0.52	3.99
	A5	21-May	28-May	7	104.15	210.20	4310	12.53			
	A11	21-May	28-May	7	104.10	210.65	3827	<b>11.11</b>			
	A17	21-May	28-May	7	105.75	210.55	4495	12.85			
	A23	21-May	28-May	7	103.35	207.50	4563	13.55	17.02	1.80	10.56
	A6	21-May	18-Jun	28	105.20	212.10	5615	16.02			
	A12	21-May	18-Jun	28	102.65	207.50	6390	19.10			
A18	21-May	18-Jun	28	103.80	209.25	7189	<b>21.07</b>				
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	A24	21-May	18-Jun	28	101.85	206.85	5278	15.95	9.68	0.95	9.83
	A4	28-May	31-May	3	104.35	210.55	3163	9.17			
	A10	28-May	31-May	3	105.55	210.85	3766	10.77			
	A16	28-May	31-May	3	104.20	209.70	3119	9.09			
	A22	28-May	31-May	3	105.10	211.95	4043	<b>11.55</b>			
	A5	28-May	04-Jun	7	101.90	207.05	3500	<b>10.56</b>			
	A11	28-May	04-Jun	7	104.40	211.35	5106	14.73			
	A17	28-May	04-Jun	7	104.65	211.90	4200	12.06			
A23	28-May	04-Jun	7	104.95	212.45	4766	13.61	13.47	1.34	9.97	
A6	28-May	25-Jun	28	104.35	210.80	6820	19.74				
A12	28-May	25-Jun	28	103.45	209.60	7373	<b>21.65</b>				
A18	28-May	25-Jun	28	104.70	211.90	5286	15.17				
A24	28-May	25-Jun	28	104.75	211.15	5747	16.54	17.15	2.34	13.67	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	A4	28-May	31-May	3	105.25	211.40	3631	10.39	10.66	0.42	3.98
	A10	28-May	31-May	3	104.60	210.95	3864	11.15			
	A16	28-May	31-May	3	105.25	212.40	3666	10.44			
	A22	28-May	31-May	3	105.85	211.25	3385	<b>9.64</b>	14.04	0.94	6.67
	A5	28-May	04-Jun	7	104.30	212.00	5030	14.48			
	A11	28-May	04-Jun	7	103.00	208.45	4374	12.97			
	A17	28-May	04-Jun	7	104.50	210.90	3858	<b>11.14</b>			
	A23	28-May	04-Jun	7	104.20	210.65	5062	14.68			
	A6	28-May	25-Jun	28	105.10	211.50	6742	19.31			
	A12	28-May	25-Jun	28	102.70	206.00	5570	<b>16.76</b>	20.59	1.28	6.22
	A18	28-May	25-Jun	28	104.60	210.45	7562	21.87			
	A24	28-May	25-Jun	28	104.10	210.10	7073	20.59			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 80

Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65.

Código de diseño	Resistencia a la tracción por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.65	8.34	10.74	16.55	-	-	-
a/c 0.65 nS=0.5%	8.57	11.48	17.36	+2.76%	+6.85%	+4.91%
a/c 0.65 nS=0.7%	10.28	12.98	17.02	+23.21%	+20.82%	+2.86%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	9.68	13.47	17.15	+16.00%	+25.37%	+3.63%
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	10.66	14.04	20.59	+27.80%	+30.76%	+24.41%

Fuente: Elaboración propia.

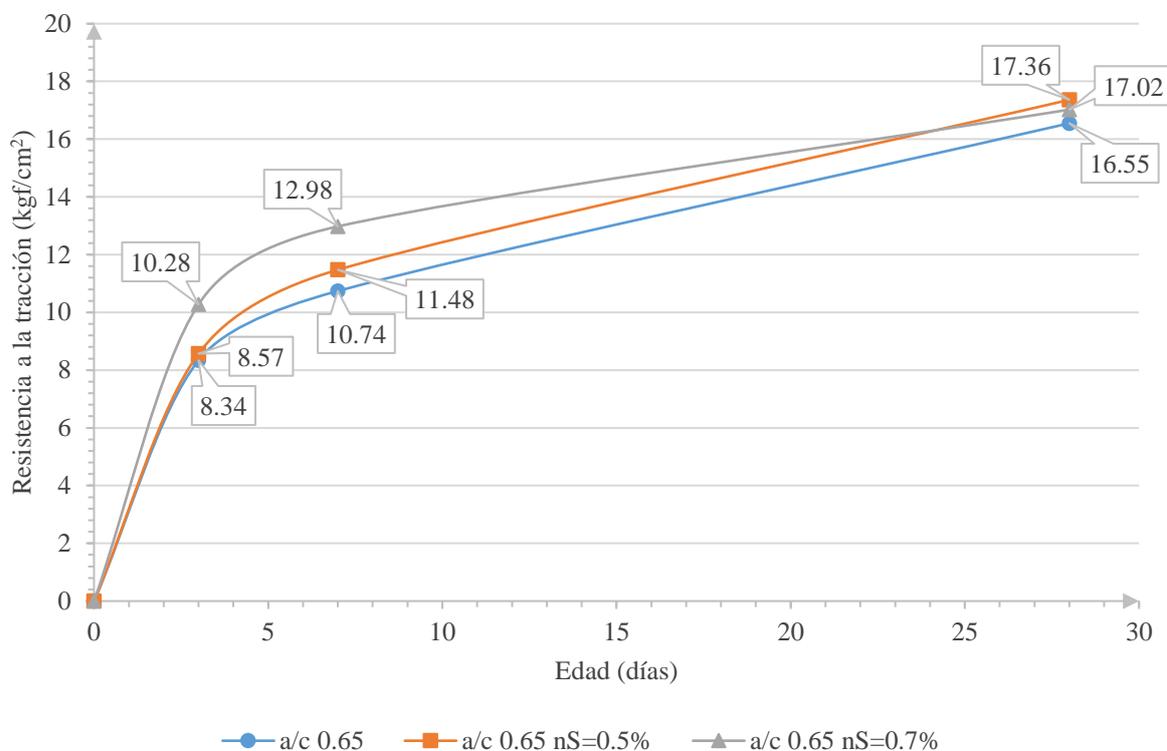
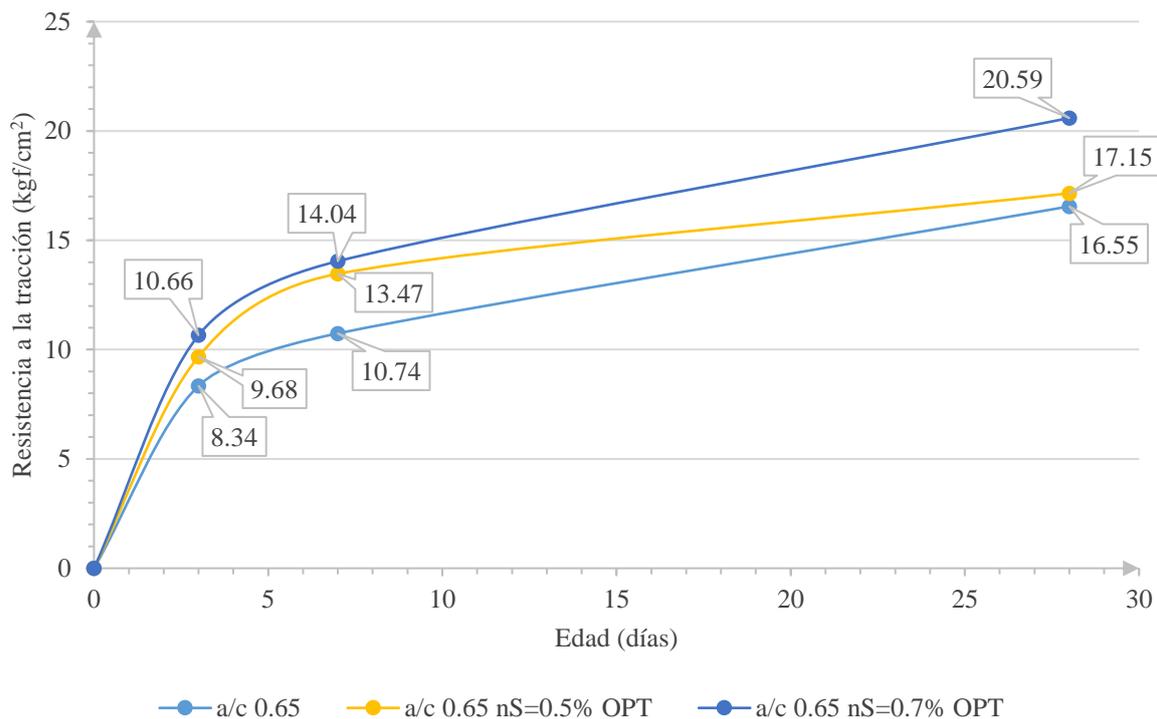


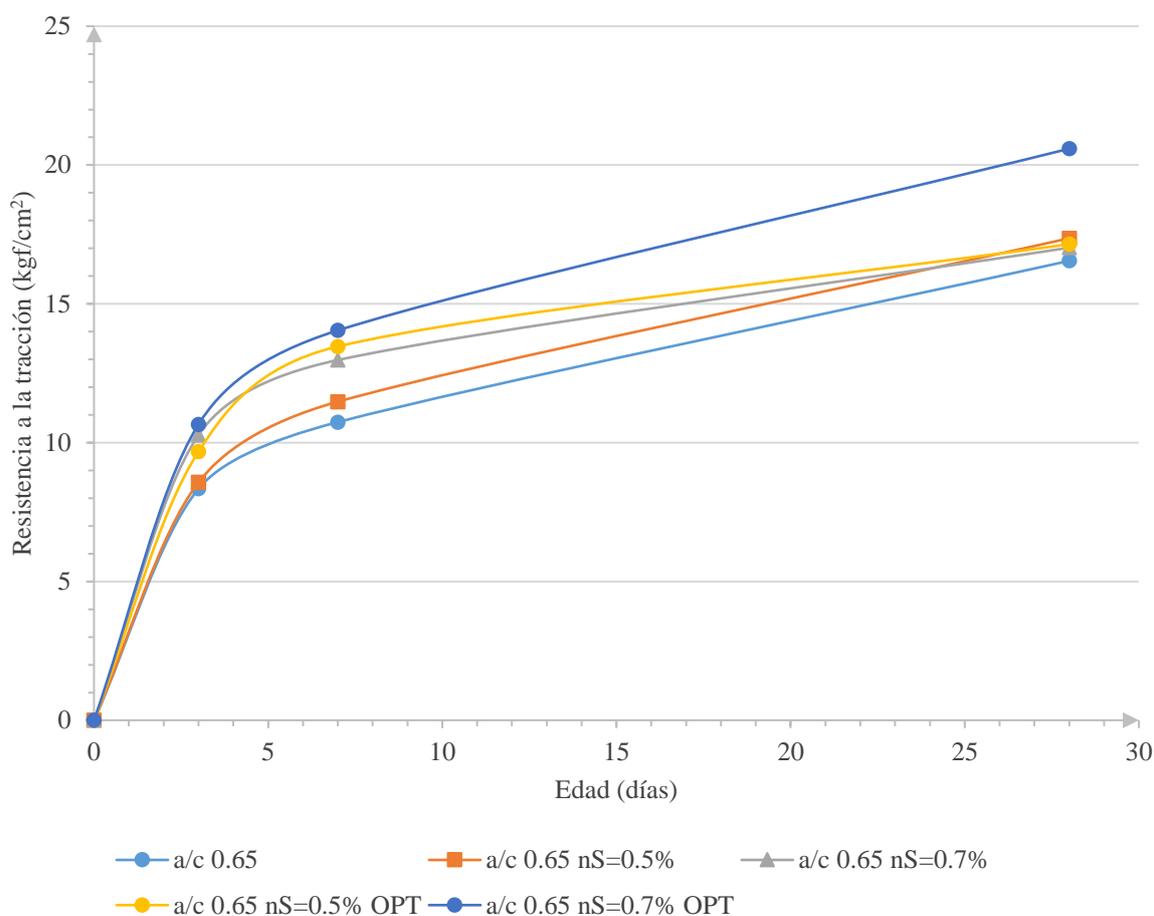
Figura 53: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 53, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia desde el comienzo. El concreto con nanosílice al 0.5% desarrolla incrementos de 2.76%, 12.60% y 4.91% a 3, 7 y 28 días, respectivamente, mientras aquel con este aditivo al 0.7% desarrolla incrementos de 23.21%, 20.82% y 2.86% en los mismos periodos. A pesar de tener resistencias mucho más altas a 3 y 7 días, la resistencia a 28 días del concreto con nanosílice al 0.7% se torna menor a aquel con este aditivo al 0.5%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo IP es 0.5%.



*Figura 54:* Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 54, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia desde el comienzo. El concreto optimizado con nanosílice al 0.5% desarrolla incrementos de 16.00%, 25.37% y 3.63% a 3, 7 y 28 días, respectivamente, mientras aquel optimizado con este aditivo al 0.7% desarrolla incrementos de 27.80%, 30.76% y 24.41% en los mismos periodos. A pesar de tener resistencias mucho más altas a 3 y 7 días, respecto al concreto patrón, la resistencia a 28 días del concreto con nanosílice al 0.5% se torna mayor por un pequeño margen de 3.63%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo IP es 0.7%.



*Figura 55:* Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 55, tantos los concretos con nanosílice como los optimizados con este desarrollan resistencias más altas desde el comienzo, sobre todo a los 3 días. A los 28 días todos los concretos desarrollan casi la misma resistencia, superando al patrón por poco, excepto aquel optimizado con nanosílice al 0.7%, que desarrolla la mayor resistencia entre todos. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.5% y para optimizados con este aditivo es 0.7%, para la relación a/c 0.65 usando cemento Yura tipo IP.

6.2.2.6 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60.*

Tabla 81

*Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60	A4	22-May	25-May	3	102.85	206.95	3391	10.14	9.58	0.49	5.12
	A10	22-May	25-May	3	105.10	211.95	3923	<b>11.21</b>			
	A16	22-May	25-May	3	104.65	211.40	3251	9.36			
	A22	22-May	25-May	3	104.20	210.20	3180	9.24	13.77	1.23	8.96
	A5	22-May	29-May	7	102.20	205.40	5008	15.19			
	A11	22-May	29-May	7	104.30	210.00	4463	12.97			
	A17	22-May	29-May	7	105.25	212.20	5924	<b>16.89</b>			
	A23	22-May	29-May	7	104.90	211.65	4582	13.14	20.33	1.17	5.73
	A6	22-May	19-Jun	28	102.80	208.40	7176	21.32			
	A12	22-May	19-Jun	28	103.35	209.75	6486	19.05			
	A18	22-May	19-Jun	28	104.35	210.70	7121	20.62			
	A24	22-May	19-Jun	28	102.90	208.20	9344	<b>27.77</b>	11.43	0.28	2.43
a/c 0.60 nS=0.5%	A4	22-May	25-May	3	104.90	210.75	3718	<b>10.71</b>			
	A10	22-May	25-May	3	104.45	211.60	4073	11.73			
	A16	22-May	25-May	3	104.85	211.30	3960	11.38			
	A22	22-May	25-May	3	105.05	211.50	3903	11.18			
	A5	22-May	29-May	7	104.50	210.85	4753	13.73			
	A11	22-May	29-May	7	105.10	211.05	4067	<b>11.67</b>			
	A17	22-May	29-May	7	104.70	210.75	5142	14.84			
	A23	22-May	29-May	7	107.20	213.10	5439	15.16			
	A6	22-May	19-Jun	28	104.20	210.75	7249	21.01			
	A12	22-May	19-Jun	28	102.25	205.30	6378	19.34			
	A18	22-May	19-Jun	28	104.45	211.35	6282	18.12			
	A24	22-May	19-Jun	28	106.90	213.55	8879	<b>24.76</b>			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60 nS=0.7%	A4	22-May	25-May	3	104.65	211.30	3755	10.81	10.72	0.12	1.09
	A10	22-May	25-May	3	104.40	209.35	3635	10.59			
	A16	22-May	25-May	3	103.60	209.40	3775	<b>11.08</b>			
	A22	22-May	25-May	3	104.55	211.75	3742	10.76			
	A5	22-May	29-May	7	104.90	211.35	5442	15.63	15.51	0.52	3.39
	A11	22-May	29-May	7	103.25	207.15	4408	<b>13.12</b>			
	A17	22-May	29-May	7	105.55	211.35	5232	14.93			
	A23	22-May	29-May	7	103.80	209.40	5449	15.96			
	A6	22-May	19-Jun	28	103.95	210.05	7279	21.22	20.72	0.48	2.31
	A12	22-May	19-Jun	28	104.50	210.80	7156	20.68			
	A18	22-May	19-Jun	28	105.00	211.15	6434	<b>18.47</b>			
	A24	22-May	19-Jun	28	104.55	211.60	7043	20.27			
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	A4	28-May	31-May	3	104.30	210.90	3652	<b>10.57</b>	12.46	0.38	3.02
	A10	28-May	31-May	3	104.10	209.85	4222	12.30			
	A16	28-May	31-May	3	104.40	210.95	4213	12.18			
	A22	28-May	31-May	3	105.00	210.60	4475	12.88			
	A5	28-May	04-Jun	7	104.55	211.75	5378	15.47	16.18	1.06	6.58
	A11	28-May	04-Jun	7	104.55	211.75	5452	15.68			
	A17	28-May	04-Jun	7	104.50	211.85	6053	17.41			
	A23	28-May	04-Jun	7	106.55	212.60	4586	<b>12.89</b>			
A6	28-May	25-Jun	28	105.50	211.20	6935	19.81	22.07	2.10	9.50	
A12	28-May	25-Jun	28	104.00	210.60	5698	<b>16.56</b>				
A18	28-May	25-Jun	28	104.15	211.05	7744	22.43				
A24	28-May	25-Jun	28	106.45	211.75	8483	23.96				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	A4	29-May	01-Jun	3	104.30	211.50	3823	11.03	10.17	0.76	7.45
	A10	29-May	01-Jun	3	105.20	211.95	3998	<b>11.41</b>			
	A16	29-May	01-Jun	3	105.05	211.55	3440	9.85			
	A22	29-May	01-Jun	3	104.10	208.90	3286	9.62	14.25	0.54	3.79
	A5	29-May	05-Jun	7	104.10	211.00	4190	<b>12.14</b>			
	A11	29-May	05-Jun	7	104.10	211.65	4749	13.72			
	A17	29-May	05-Jun	7	104.55	211.60	4947	14.24			
	A23	29-May	05-Jun	7	102.30	207.50	4935	14.80			
	A6	29-May	26-Jun	28	105.15	211.60	7874	22.53			
	A12	29-May	26-Jun	28	103.85	209.65	6783	19.83	21.09	1.36	6.44
	A18	29-May	26-Jun	28	104.60	211.45	7260	20.90			
	A24	29-May	26-Jun	28	104.45	210.85	5984	<b>17.30</b>			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82

Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60.

Código de diseño	Resistencia a la tracción por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.60	9.58	13.77	20.33	-	-	-
a/c 0.60 nS=0.5%	11.43	14.58	19.49	+19.32%	+5.88%	-4.13%
a/c 0.60 nS=0.7%	10.72	15.51	20.72	+11.90%	+12.64%	+1.93%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	12.46	16.18	22.07	+30.01%	+17.56%	+8.54%
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	10.17	14.25	21.09	+6.15%	+3.54%	+3.72%

Fuente: Elaboración propia.

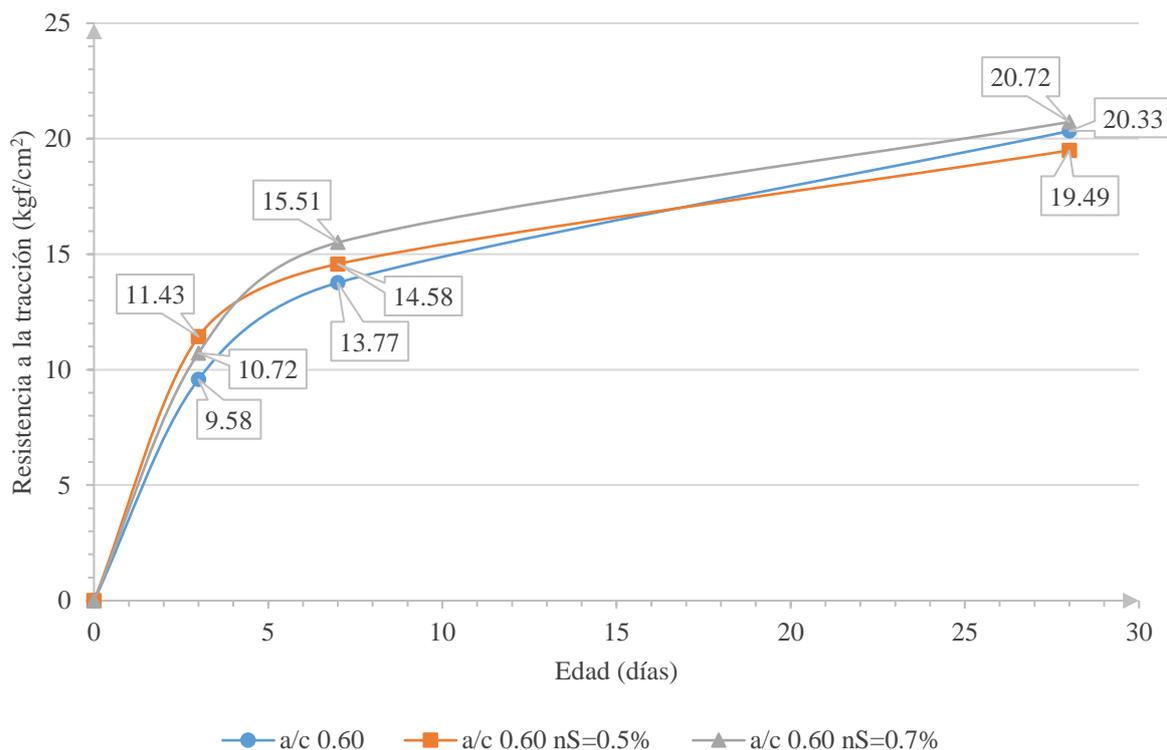
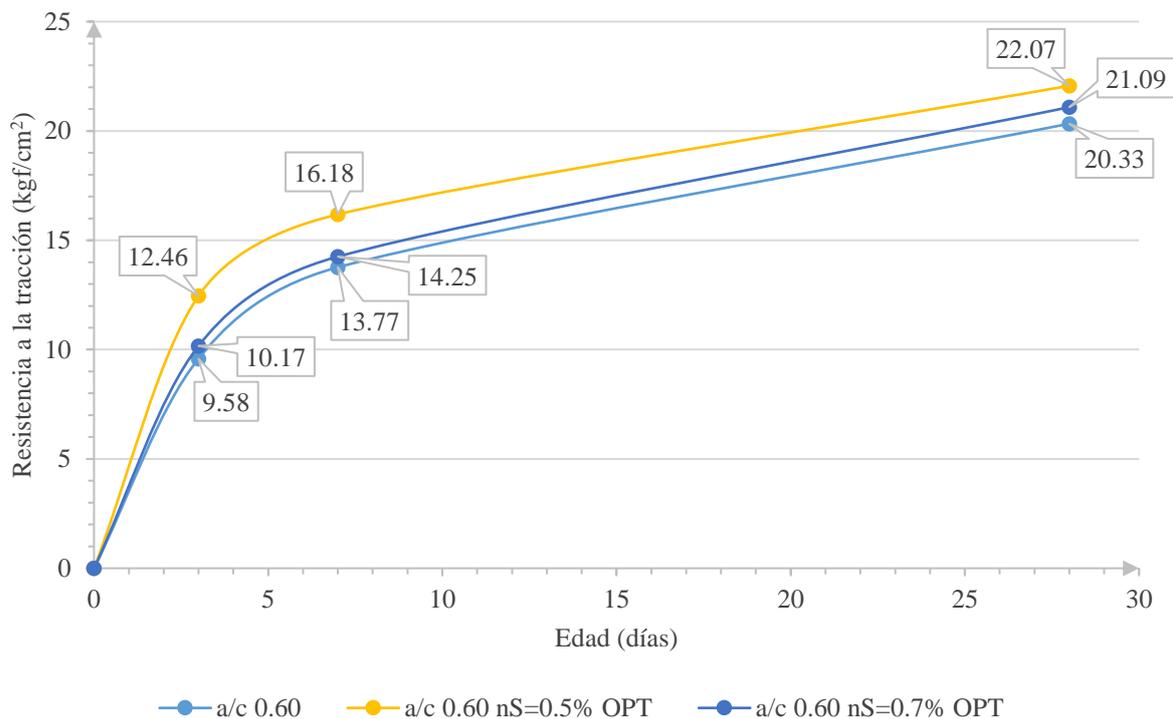


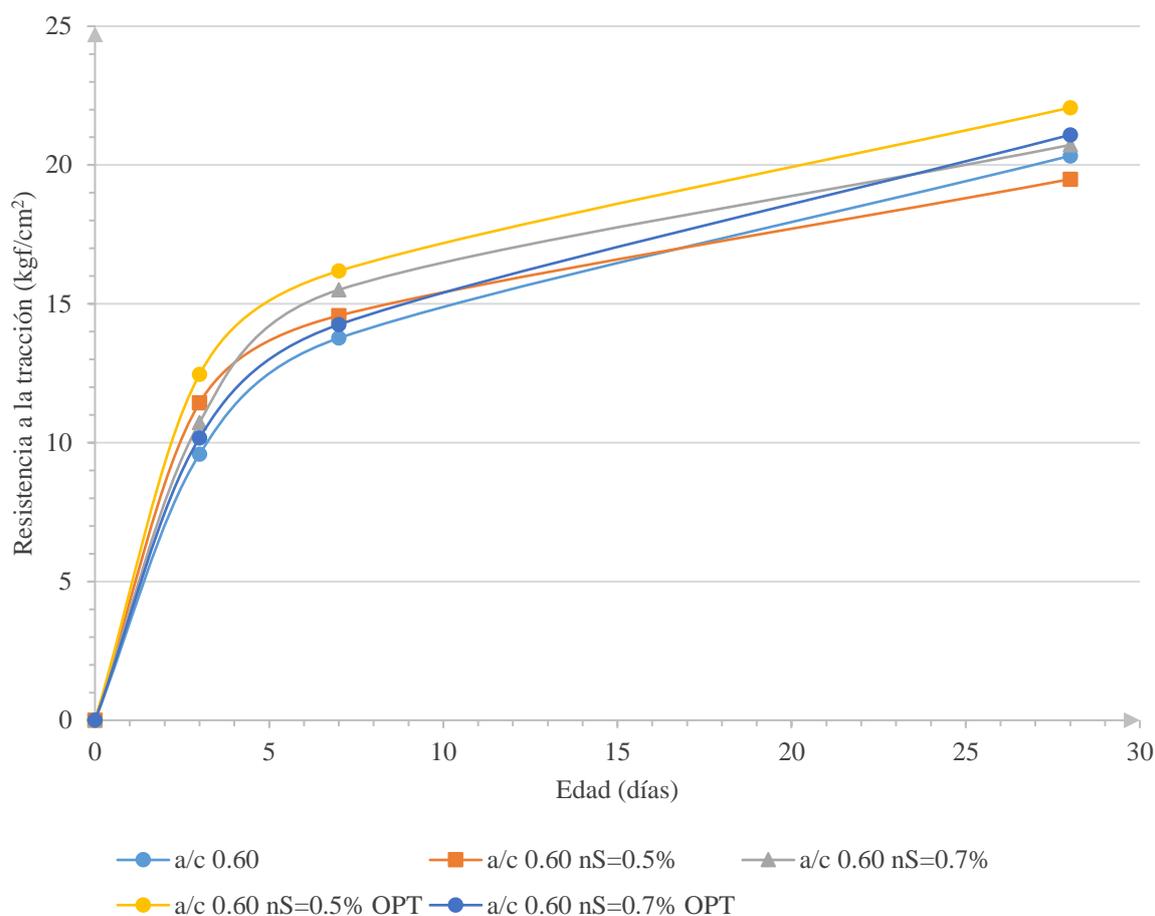
Figura 56: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 56, los concretos con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto con nanosílice al 0.5% desarrolla incrementos de 19.32% y 5.88% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que aquel con este aditivo al 0.7% desarrolla un incremento menor a 3 días (+11.90%) pero el mayor a los 7 (+12.6%). A pesar de que las resistencias a edades tempranas del concreto con nanosílice al 0.5% fueron mayores en comparación al patrón, termina con una reducción de su resistencia a 28 días de 4.13% respecto a este. En cambio, el concreto con nanosílice al 0.7% logra superar la resistencia del concreto patrón a 28 días por un 1.93%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo IP es 0.7%.



*Figura 57:* Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 57, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan un incremento de resistencia desde el comienzo respecto al patrón. El concreto optimizado con nanosílice al 0.5% desarrolla incrementos de 30.01%, 17.56% y 8.54% a 3, 7 y 28 días, respectivamente, mientras que el concreto optimizado con este aditivo al 0.7% desarrolla incrementos menores, de 6.15%, 3.54% y 3.72% en los mismos periodos. Cabe resaltar que en todo momento el concreto con nanosílice al 0.5% tuvo resistencias superiores a la del concretos con este aditivo al 0.7%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo IP es 0.5%.



*Figura 58:* Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 58, todos los concretos con nanosílice desarrollan resistencias más altas que la del concreto patrón a edades tempranas. A partir del día 7 se va notando una reducción de la resistencia en el concreto con nanosílice al 0.5%, siendo el único que termina con una resistencia menor a la del patrón a 28 días. La mayor resistencia la tiene el concreto optimizado con nanosílice al 0.5%, desde el comienzo. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.7% y para optimizados con este aditivo es 0.5%, para la relación a/c 0.60 usando cemento Yura tipo IP.

6.2.2.7 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55.*

Tabla 83

*Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55.*

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)			
a/c 0.55	A4	24-May	27-May	3	102.25	204.70	3304	10.05	11.24	1.66	14.77			
	A10	24-May	27-May	3	101.80	205.25	4718	<b>14.38</b>						
	A16	24-May	27-May	3	101.95	204.35	4298	13.13						
	A22	24-May	27-May	3	102.05	204.55	3452	10.53	17.75	0.93	5.25			
	A5	24-May	31-May	7	101.45	204.85	6855	<b>21.00</b>						
	A11	24-May	31-May	7	101.70	204.85	5844	17.86						
	A17	24-May	31-May	7	102.10	204.70	6114	18.62						
	A23	24-May	31-May	7	102.30	204.95	5523	16.77	23.37	1.97	8.42			
	A6	24-May	21-Jun	28	104.05	210.55	7262	21.10						
	A12	24-May	21-Jun	28	101.90	204.10	7974	24.41						
	A18	24-May	21-Jun	28	101.90	204.50	9905	<b>30.26</b>						
	A24	24-May	21-Jun	28	102.05	205.05	8087	24.60	12.06	0.90	7.43			
a/c 0.55 nS=0.5%	A4	27-May	30-May	3	104.10	210.55	4488	13.04						
	A10	27-May	30-May	3	102.35	206.30	3741	11.28						
	A16	27-May	30-May	3	104.40	210.95	4101	11.85						
	A22	27-May	30-May	3	104.95	211.85	4842	<b>13.86</b>						
	A5	27-May	03-Jun	7	103.95	210.25	6839	19.92				18.82	1.46	7.75
	A11	27-May	03-Jun	7	104.20	210.60	5917	17.17						
	A17	27-May	03-Jun	7	104.25	211.20	6699	19.37						
	A23	27-May	03-Jun	7	104.20	210.60	5715	<b>16.58</b>				22.26	1.16	5.23
	A6	27-May	24-Jun	28	104.25	210.95	7316	21.18						
	A12	27-May	24-Jun	28	102.70	207.40	7396	22.11						
	A18	27-May	24-Jun	28	103.90	210.35	9521	<b>27.73</b>						
	A24	27-May	24-Jun	28	101.75	205.40	7712	23.49						

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)	
a/c 0.55 nS=0.7%	A4	27-May	30-May	3	104.60	209.95	4958	14.37	14.31	0.38	2.67	
	A10	27-May	30-May	3	101.45	204.75	5225	<b>16.01</b>				
	A16	27-May	30-May	3	102.00	205.20	4570	13.90				
	A22	27-May	30-May	3	101.90	205.60	4823	14.66	20.28	0.89	4.38	
	A5	27-May	03-Jun	7	101.85	203.75	5603	<b>17.19</b>				
	A11	27-May	03-Jun	7	102.05	205.15	6563	19.96				
	A17	27-May	03-Jun	7	102.10	204.30	6421	19.60				
	A23	27-May	03-Jun	7	101.85	204.55	6965	21.28				
	A6	27-May	24-Jun	28	101.65	205.05	8497	25.95				
	a/c 0.55 nS=0.5% OPT	A12	27-May	24-Jun	28	101.95	204.20	6278	<b>19.20</b>	24.22	1.99	8.21
		A18	27-May	24-Jun	28	101.75	205.05	7225	22.05			
		A24	27-May	24-Jun	28	101.65	205.55	8090	24.65			
a/c 0.55 nS=0.5% OPT		A4	31-May	03-Jun	3	105.00	211.70	5771	<b>16.53</b>	13.44	1.33	9.86
		A10	31-May	03-Jun	3	104.65	211.80	4652	13.36			
		A16	31-May	03-Jun	3	105.35	211.10	5170	14.80			
		A22	31-May	03-Jun	3	104.70	212.30	4243	12.15	17.55	1.19	6.77
		A5	31-May	07-Jun	7	104.60	210.95	5094	<b>14.70</b>			
		A11	31-May	07-Jun	7	104.35	211.50	5721	16.50			
		A17	31-May	07-Jun	7	104.00	211.35	6506	18.84			
		A23	31-May	07-Jun	7	102.75	208.15	5818	17.32			
		A6	31-May	28-Jun	28	101.95	205.05	7387	22.50			
	a/c 0.55 nS=0.5% OPT	A12	31-May	28-Jun	28	104.45	211.60	7551	21.75	22.45	0.68	3.04
		A18	31-May	28-Jun	28	102.95	208.30	5932	<b>17.61</b>			
		A24	31-May	28-Jun	28	103.30	210.45	7893	23.11			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83

Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. (Continuación)

Código de diseño	Código	Fecha de vaciado	Fecha de rotura	Edad	Diám. (mm)	Long. (mm)	Carga (kgf)	Resistencia (kgf/cm <sup>2</sup> )	Resistencia promedio (kgf/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar (kgf/cm <sup>2</sup> )	Coefficiente de variación (%)
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	A4	31-May	03-Jun	3	104.10	211.95	4942	14.26	12.72	1.36	10.67
	A10	31-May	03-Jun	3	103.90	209.95	4173	12.18			
	A16	31-May	03-Jun	3	104.75	212.25	4090	11.71			
	A22	31-May	03-Jun	3	102.25	207.25	5024	<b>15.09</b>	16.74	3.05	18.23
	A5	31-May	07-Jun	7	104.40	211.90	4151	<b>11.95</b>			
	A11	31-May	07-Jun	7	104.30	211.50	6506	18.78			
	A17	31-May	07-Jun	7	105.05	211.00	4607	13.23			
	A23	31-May	07-Jun	7	102.70	208.05	6113	18.21			
	A6	31-May	28-Jun	28	104.00	210.20	7624	22.20			
	A12	31-May	28-Jun	28	104.45	210.35	7408	21.47	21.56	0.60	2.79
	A18	31-May	28-Jun	28	104.30	211.30	8851	<b>25.57</b>			
	A24	31-May	28-Jun	28	104.45	212.45	7323	21.01			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 84

Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55.

Código de diseño	Resistencia a la tracción por días de curado			Variación		
	3	7	28	3	7	28
a/c 0.55	11.24	17.75	23.37	-	-	-
a/c 0.55 nS=0.5%	12.06	18.82	22.26	+7.29%	+6.02%	-4.76%
a/c 0.55 nS=0.7%	14.31	20.28	24.22	+27.34%	+14.25%	+3.61%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	13.44	17.55	22.45	+19.59%	-1.10%	-3.93%
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	12.72	16.74	21.56	+13.17%	-5.69%	-7.76%

Fuente: Elaboración propia.

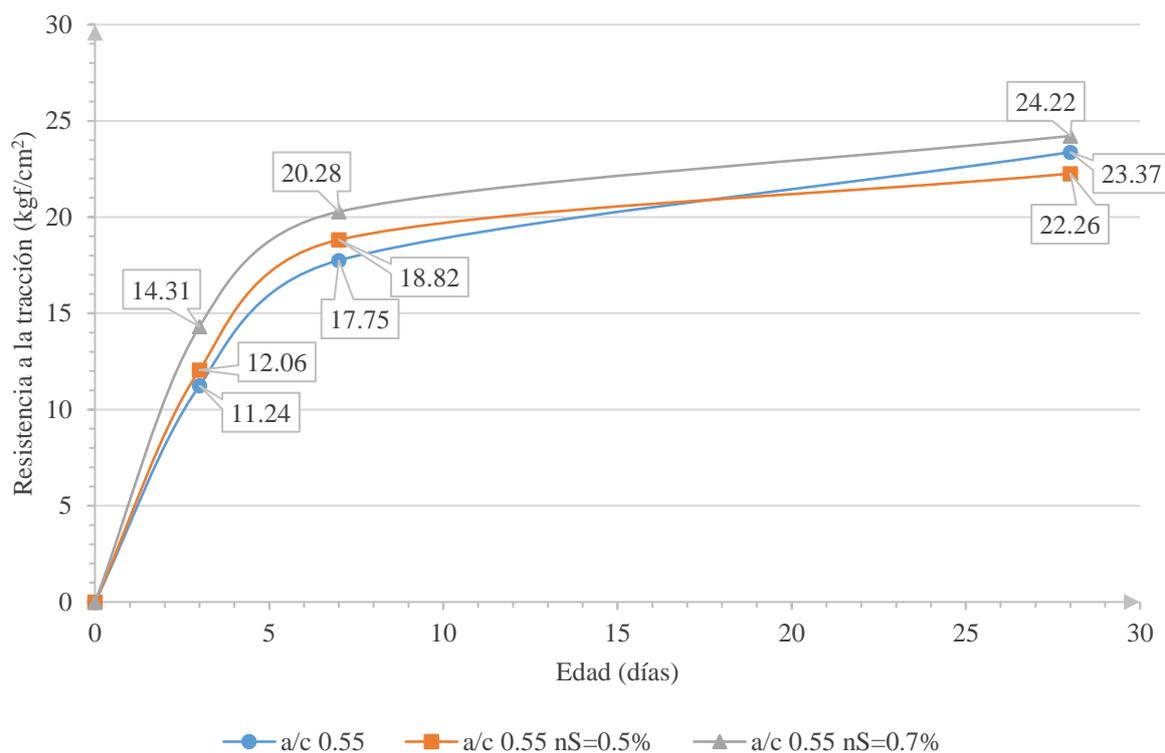


Figura 59: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílíce elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 59, los concretos con nanosílíce desarrollan incrementos de resistencia a edades tempranas con respecto al patrón. El concreto con nanosílíce al 0.5% desarrolla incrementos de 7.29% y 6.02% a 3 y 7 días, respectivamente, mientras que aquel con este aditivo al 0.7% desarrolla incrementos de 27.34% y 14.25% en los mismos periodos. A pesar de que las resistencias a edades tempranas del concreto con nanosílíce al 0.5% fueron mayores a las del patrón, este termina con una reducción de su resistencia a 28 días de 4.76% respecto a este. En cambio, el concreto optimizado con nanosílíce al 0.7% logra superar la resistencia del concreto patrón a 28 días por un 3.61%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílíce para un concreto con este aditivo y relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo IP es 0.7%.

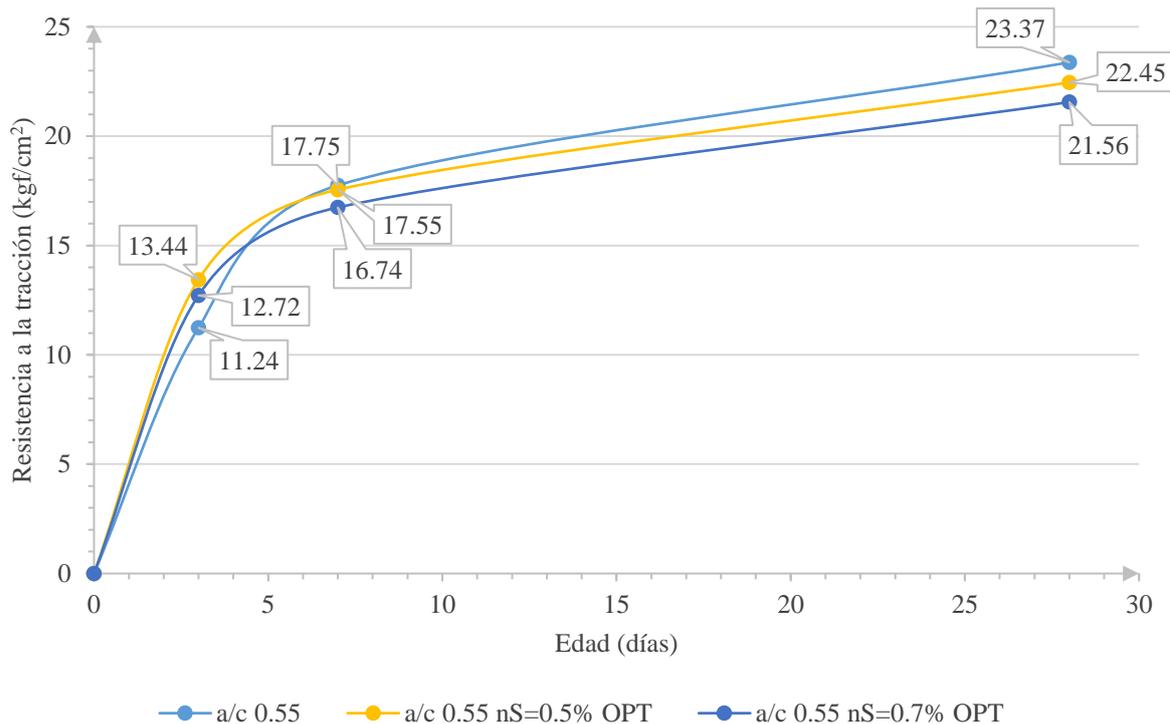
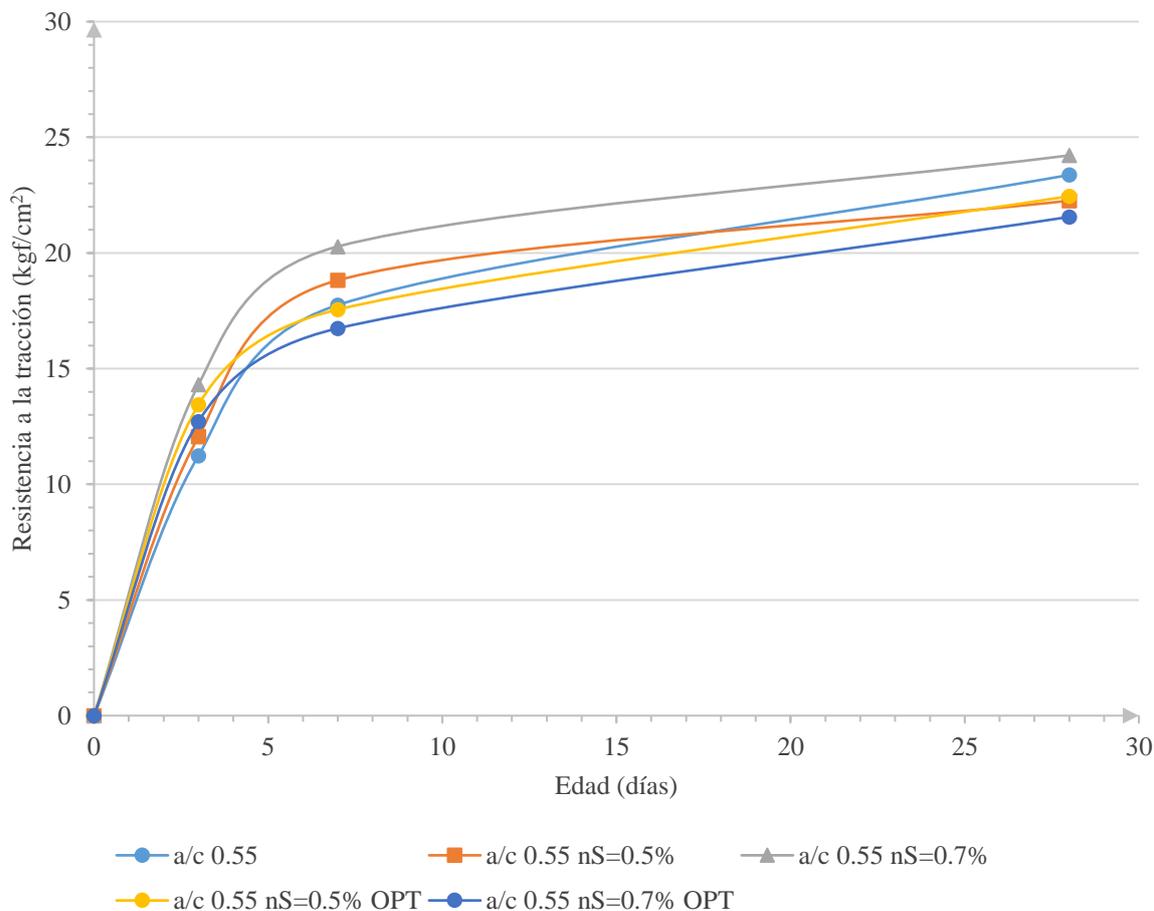


Figura 60: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 60, los concretos optimizados con nanosílice desarrollan incrementos de resistencia solo a 3 días (de 19.59% para aquel con este aditivo al 0.5% y de 13.17% para aquel con una dosis de 0.7%) con respecto al patrón. A los 7 días, estos valores decrecen con respecto al patrón en 1.10%, para el concreto con nanosílice al 0.5%, y en 5.69%, para aquel con este aditivo al 0.7%. Y a los 28 días la tendencia continua, puesto que ambos concretos siguen presentando decrementos en resistencia con respecto al patrón (-3.93% para aquel con aditivo al 0.5% y -7.76% para aquel con aditivo al 0.7%). Esto puede deberse a que, en ambos casos, la reducción del cemento hecha (-8.94% para el concreto optimizado con nanosílice al 0.5% y -9.66% para aquel con este aditivo al 0.7%), respecto al patrón, no pudo ser solventada por la nanosílice y el aumento de las cantidades de agregado fino y grueso respecto al patrón (+4.77% para el concreto optimizado con nS al 0.5% y +5.16% para aquel con este aditivo al 0.7%). Por esto, se puede decir que no hay dosis óptima de nS para un concreto optimizado con este aditivo y relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo IP.



*Figura 61:* Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 61, todos los concretos presentan resistencias mayores a los 3 días. A los 7 días, suceden dos cosas interesantes: los concretos con nanosílice desarrollan más resistencia que el patrón, mientras que aquellos optimizados con este aditivo, tienen resistencias menores al patrón. A los 28 días, el único por encima del patrón es el concreto con nanosílice al 0.7%. Por esto, se puede decir que la dosis óptima de nanosílice varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.7% y para optimizados con este aditivo no hay dosis óptima, para la relación a/c 0.55 usando cemento Yura tipo IP.

### 6.2.2.8 Comparación de la resistencia a la tracción entre todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.

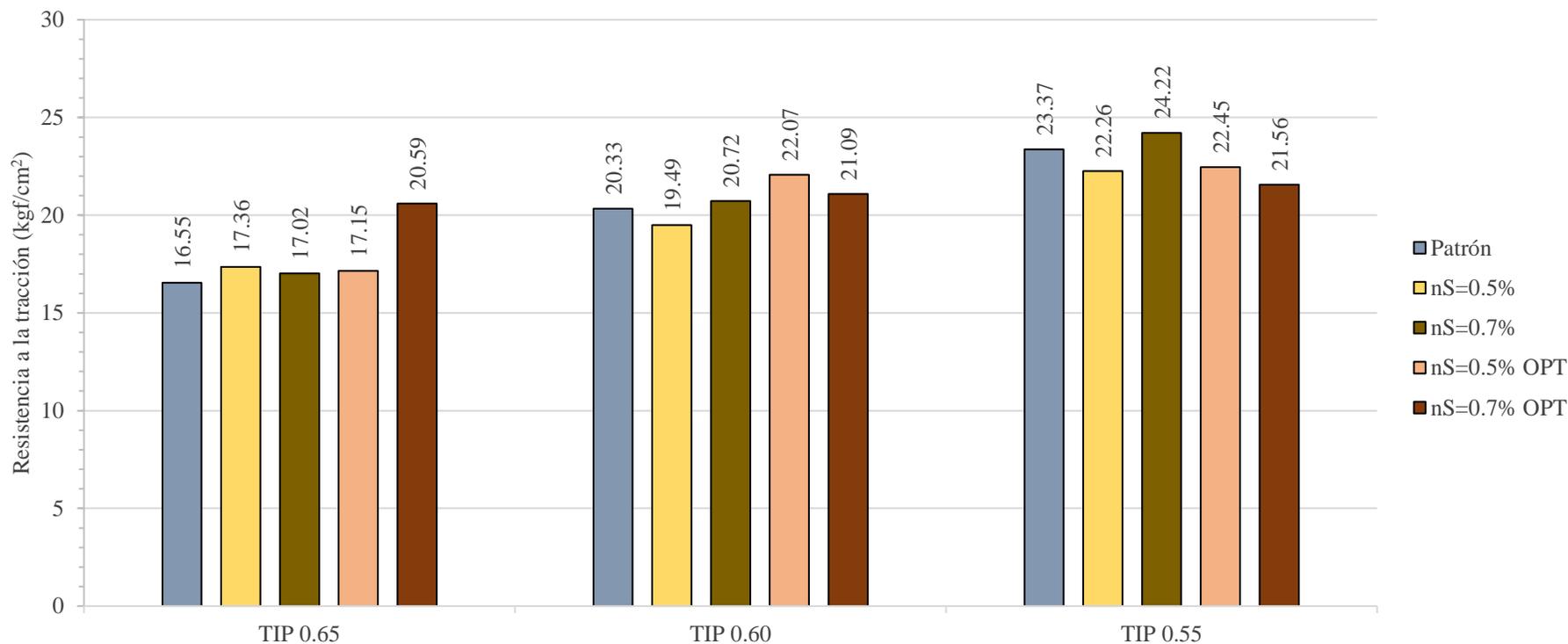
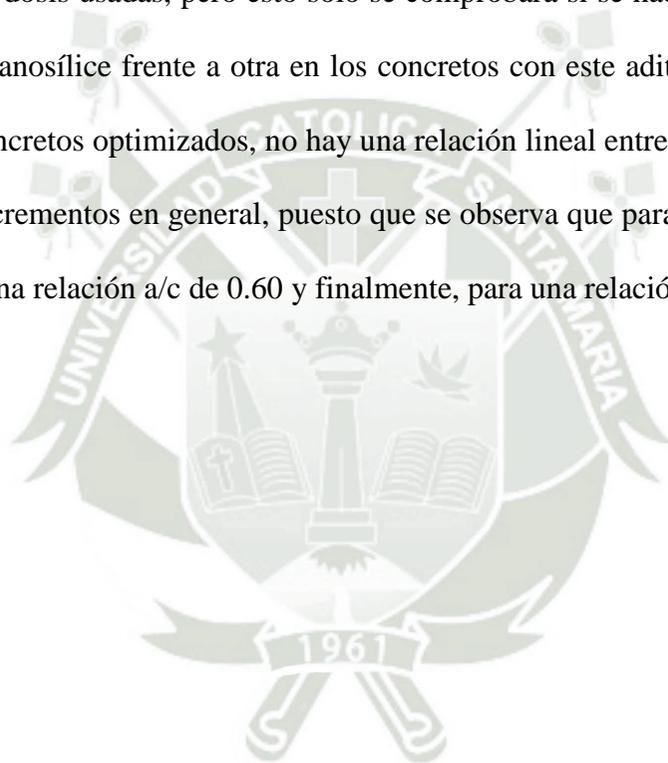


Figura 62: Comparación de la resistencia a la tracción a 28 días de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 62, la resistencia de los concretos patrones se incrementa a medida que la relación a/c disminuye, esto debido al aumento del contenido de cemento y agregado grueso. La resistencia de los concretos con nanosílice con respecto al patrón no tiene una relación lineal con la relación agua/cemento. Como se puede ver en la Figura 62, la efectividad de las dosis de nanosílice varía cuando la relación agua/cemento disminuye, ya que el incremento de resistencia con respecto al patrón debido a una dosis de 0.5%, es cada vez menor, hasta

perder su efectividad, mientras que una dosis mayor (0.7%) se vuelve más efectiva cuando la relación a/c se reduce. Entonces, así como esto sucede, podría pasar que la aplicación de una dosis menor a las usadas (por ejemplo, 0.3%) en concretos con relaciones agua/cemento mayores que 0.65 ofrecería mejores resultados que las dosis usadas, pero esto solo se comprobará si se hacen más estudios. No existe una relación lineal entre la resistencia que ofrece una dosis de nanosílice frente a otra en los concretos con este aditivo y la relación agua/cemento, por el motivo anteriormente explicado. En el caso de los concretos optimizados, no hay una relación lineal entre el incremento de resistencia respecto al patrón y sus relaciones agua/cemento ni entre sus incrementos en general, puesto que se observa que para una relación a/c de 0.65 una dosis de 0.7% es efectiva, luego una dosis de 0.5% lo es para una relación a/c de 0.60 y finalmente, para una relación a/c de 0.55 ambas son ineficaces.



### 6.2.2.9 Comparación de la resistencia a la tracción entre todos los concretos elaborados.

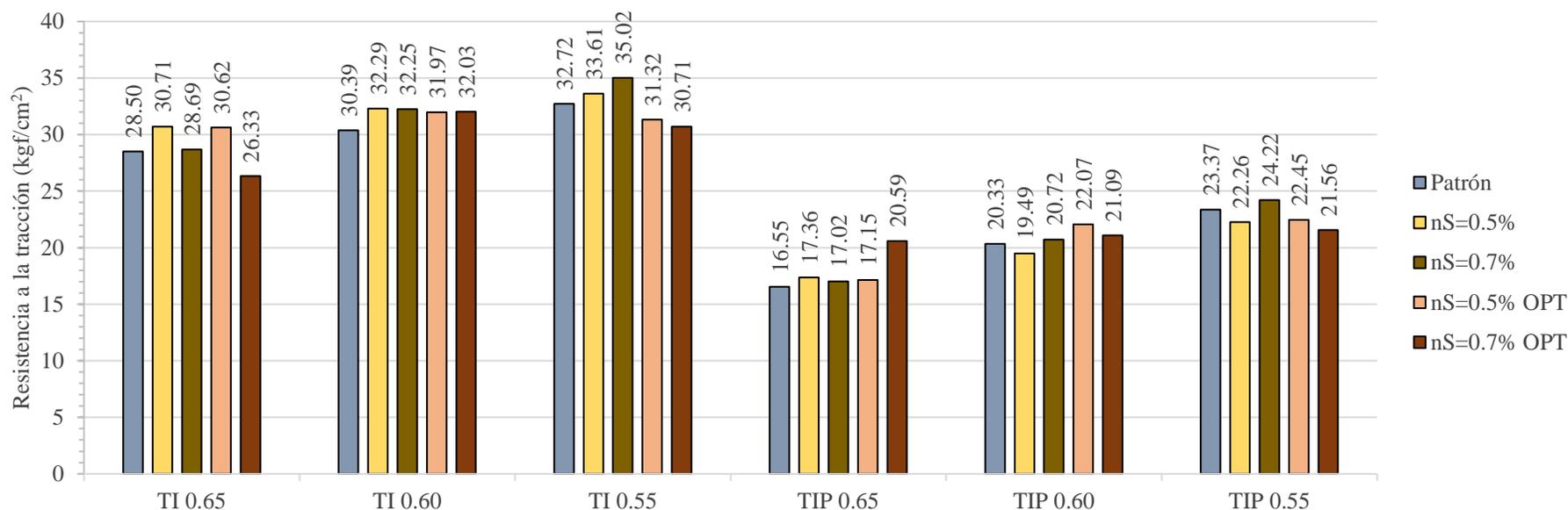


Figura 63: Comparación de la resistencia a la tracción a 28 días de todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 63, los concretos elaborados con cemento Yura tipo I ofrecen mayores resistencias que aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP. La nanosílice tiene mayor eficacia en los concretos elaborados con cemento Yura tipo I, pues incrementa la resistencia de todos los diseños de mezcla de forma notable, respecto a sus patrones, excepto en 3 (a/c 0.65 nS=0.7% OPT, a/c 0.55 nS=0.5% OPT y 0.7% OPT), a los cuales no favorece, en comparación con aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, donde los incrementos son mínimos en relación a sus patrones para todos los diseños, excepto en 4 de ellos (aquellos con nS al 0.5% con relaciones agua/cemento de 0.60 y 0.55; y optimizados con este aditivo al 0.5% y 0.7% con una relación a/c de 0.55) donde no favorece la resistencia.

### 6.2.3 Resistencia a la abrasión.

#### 6.2.3.1 Concretos elaborados con cemento Yura tipo I.

Tabla 85

Resultados de resistencia a la abrasión, expresada en porcentaje de desgaste, para los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.

Código de diseño	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad	Peso inicial (gf)	Peso retenido en tamiz N°12 (gf)	% de desgaste
a/c 0.65	09-May	06-Jun	28	2746.6	1231	<b>55.18</b>
a/c 0.65 nS=0.5%	07-May	04-Jun	28	2675.3	1418.4	<b>46.98</b>
a/c 0.65 nS=0.7%	07-May	04-Jun	28	2679.4	1420.6	<b>46.98</b>
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	30-May	27-Jun	28	2764.1	1353.4	<b>51.04</b>
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	15-May	12-Jun	28	2720.9	1454.2	<b>46.55</b>
a/c 0.60	09-May	06-Jun	28	2709.7	1402.9	<b>48.23</b>
a/c 0.60 nS=0.5%	08-May	05-Jun	28	2749.9	1475.3	<b>46.35</b>
a/c 0.60 nS=0.7%	08-May	05-Jun	28	2744.3	1566.5	<b>42.92</b>
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	31-May	28-Jun	28	2821.5	1330	<b>52.86</b>
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	03-Jun	01-Jul	28	2718.6	1378.6	<b>49.29</b>
a/c 0.55	16-May	13-Jun	28	2759.2	1619	<b>41.32</b>
a/c 0.55 nS=0.5%	13-May	10-Jun	28	2775.6	1686.5	<b>39.24</b>
a/c 0.55 nS=0.7%	13-May	10-Jun	28	2801.3	1733.7	<b>38.11</b>
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	03-Jun	01-Jul	28	2781.8	1538.3	<b>44.70</b>
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	21-May	18-Jun	28	2835.9	1674.1	<b>40.97</b>

Fuente: Elaboración propia.

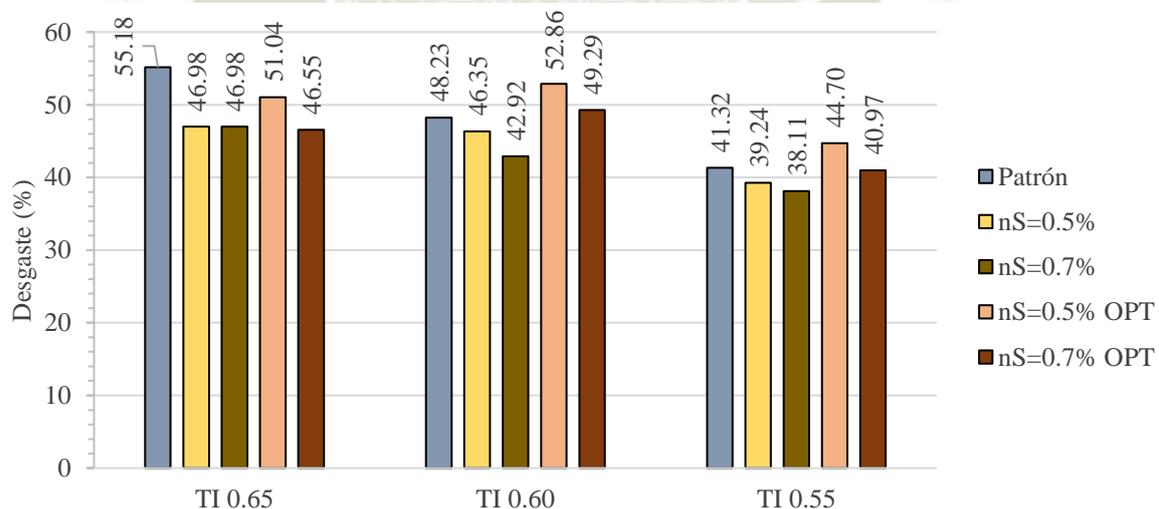


Figura 64: Comparación de porcentaje de desgaste (donde menos es mejor) entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 64, el porcentaje de desgaste en los concretos patrones disminuye a medida que lo hace la relación agua/cemento. Esto puede deberse a que a menor relación a/c, tanto el contenido de cemento como el de agregado grueso aumenta y

como este último tiene una buena resistencia a la abrasión, contribuye a que el concreto la tenga también. La resistencia al desgaste de los concretos con nanosílice es mayor a la de sus patrones y, además, esta aumenta a medida que lo hace la dosis de aditivo usada, a pesar de que en estado fresco hace la mezcla muy fluida; este comportamiento se mantiene a medida que la relación agua/cemento disminuye. En cuanto a los concretos optimizados con nanosílice, se observa que a medida que la dosis de este aditivo aumenta, también lo hace la resistencia al desgaste, puesto que a medida que se aumenta la dosis, mayor es la cantidad de agregado grueso, como es el caso de los patrones, y este al tener una buena resistencia al desgaste, hace que el concreto la tenga también. A pesar de esto, no hay una relación lineal de la resistencia al desgaste de los concretos optimizados ni con sus concretos patrones, ni con sus relaciones agua/cemento. Luego de revisar los resultados mostrados en la Figura 64, se puede decir lo siguiente:

Para concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65, la dosis óptima es 0.5%, debido a que su elaboración sería menos costosa que usando aditivo al 0.7%.

Para concretos optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65, la dosis óptima es 0.7%.

Entonces, para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65, la dosis óptima varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.5% y para aquellos optimizados con este aditivo es 0.7%.

Para concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60, la dosis óptima es 0.7%.

Para concretos optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60, no hay dosis óptima.

Entonces, para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60, la dosis óptima varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.5% y para aquellos optimizados con este aditivo no hay dosis óptima.

Para concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55, la dosis óptima es 0.7%.

Para concretos optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55, la dosis óptima es 0.7%.

Entonces, para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55, la dosis óptima es 0.7%.

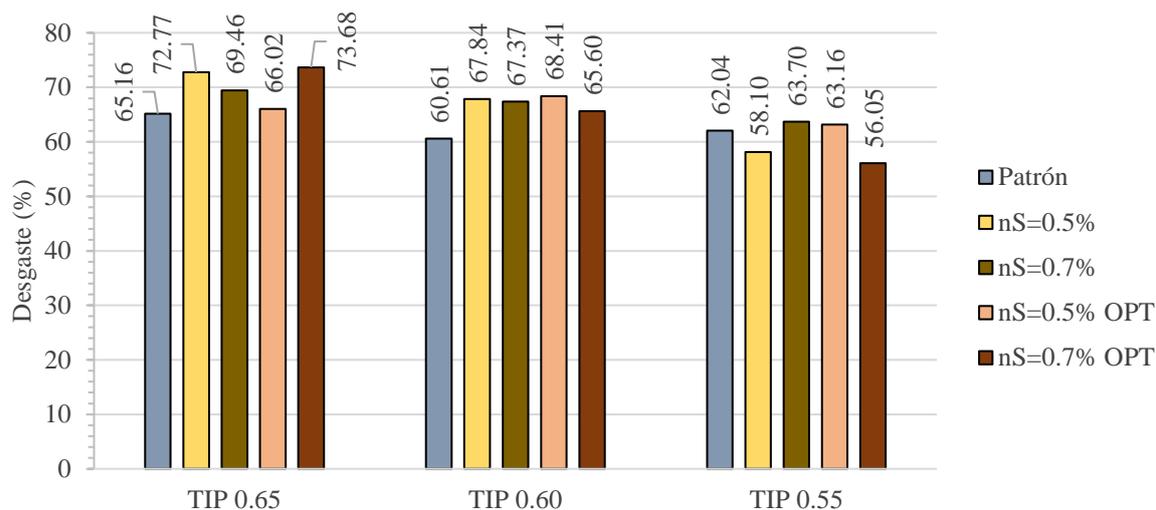
### 6.2.3.2 Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.

Tabla 86

*Resultados de resistencia a la abrasión, expresada en porcentaje de desgaste, para los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.*

Código de diseño	Fecha de vaciado	Fecha de ensayo	Edad	Peso inicial (gf)	Peso retenido en tamiz N°12 (gf)	% de desgaste
a/c 0.65	22-May	19-Jun	28	2718.4	947.1	<b>65.16</b>
a/c 0.65 nS=0.5%	03-Jun	01-Jul	28	2541.6	692.1	<b>72.77</b>
a/c 0.65 nS=0.7%	03-Jun	01-Jul	28	2714.8	829	<b>69.46</b>
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	28-May	25-Jun	28	2721.2	924.6	<b>66.02</b>
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	04-Jun	02-Jul	28	2736.2	720.3	<b>73.68</b>
a/c 0.60	23-May	20-Jun	28	2730.7	1075.7	<b>60.61</b>
a/c 0.60 nS=0.5%	04-Jun	02-Jul	28	2620	842.7	<b>67.84</b>
a/c 0.60 nS=0.7%	04-Jun	02-Jul	28	2654.2	866.1	<b>67.37</b>
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	05-Jun	03-Jul	28	2658.3	839.8	<b>68.41</b>
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	29-May	26-Jun	28	2799.5	962.9	<b>65.60</b>
a/c 0.55	24-May	21-Jun	28	2729.2	1036	<b>62.04</b>
a/c 0.55 nS=0.5%	27-May	24-Jun	28	2686.4	1125.5	<b>58.10</b>
a/c 0.55 nS=0.7%	04-Jun	02-Jul	28	2783.9	1010.5	<b>63.70</b>
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	05-Jun	03-Jul	28	2742.6	1010.4	<b>63.16</b>
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	31-May	28-Jun	28	2637.7	1159.2	<b>56.05</b>

**Fuente: Elaboración propia.**



*Figura 65:* Comparación de porcentaje de desgaste (donde menos es mejor) entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 65, no hay una relación entre el porcentaje de desgaste en los concretos patrones y su relación agua/cemento. La resistencia al desgaste de los concretos con nanosílice tampoco tiene una relación lineal con la de sus patrones. Sucede que la resistencia de estos concretos va aumentando, entre concretos con igual dosis de nanosílice, a medida que se reduce la relación agua/cemento, pero no existe una relación lineal entre dosis de nanosílice con una misma relación agua/cemento. En cuanto a los concretos optimizados, las resistencias al desgaste de estos no tienen una relación lineal con las de sus patrones. Tampoco presentan una relación entre dosis de nanosílice en una misma relación agua/cemento. De los concretos optimizados con nanosílice, solo aquel con este aditivo al 0.7% tiene una resistencia al desgaste que tiene relación lineal con la relación agua/cemento, puesto que a medida que esta última disminuye, la resistencia al desgaste se incrementa.

Luego de revisar los resultados mostrados en la Figura 65, se puede decir lo siguiente:

Para concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65, no hay dosis óptima.

Para concretos optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65, no hay dosis óptima.

Entonces, para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65, no hay dosis óptima, es decir, la aplicación de nanosílice en estos casos no es favorable en cuanto a resistencia a la abrasión.

Para concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60, no hay dosis óptima.

Para concretos optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60, no hay existe dosis óptima.

Entonces, para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60, no hay dosis óptima, es decir, la aplicación de nanosílice en estos casos no es favorable en cuanto a resistencia a la abrasión.

Para concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55, la dosis óptima es 0.5%.

Para concretos optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55, la dosis óptima es 0.7%.

Entonces, para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55, la dosis óptima varía, puesto que para concretos con nanosílice es 0.5% y para aquellos optimizados es 0.7%.

### 6.2.3.3 Comparación del porcentaje de desgaste entre todos los concretos elaborados.

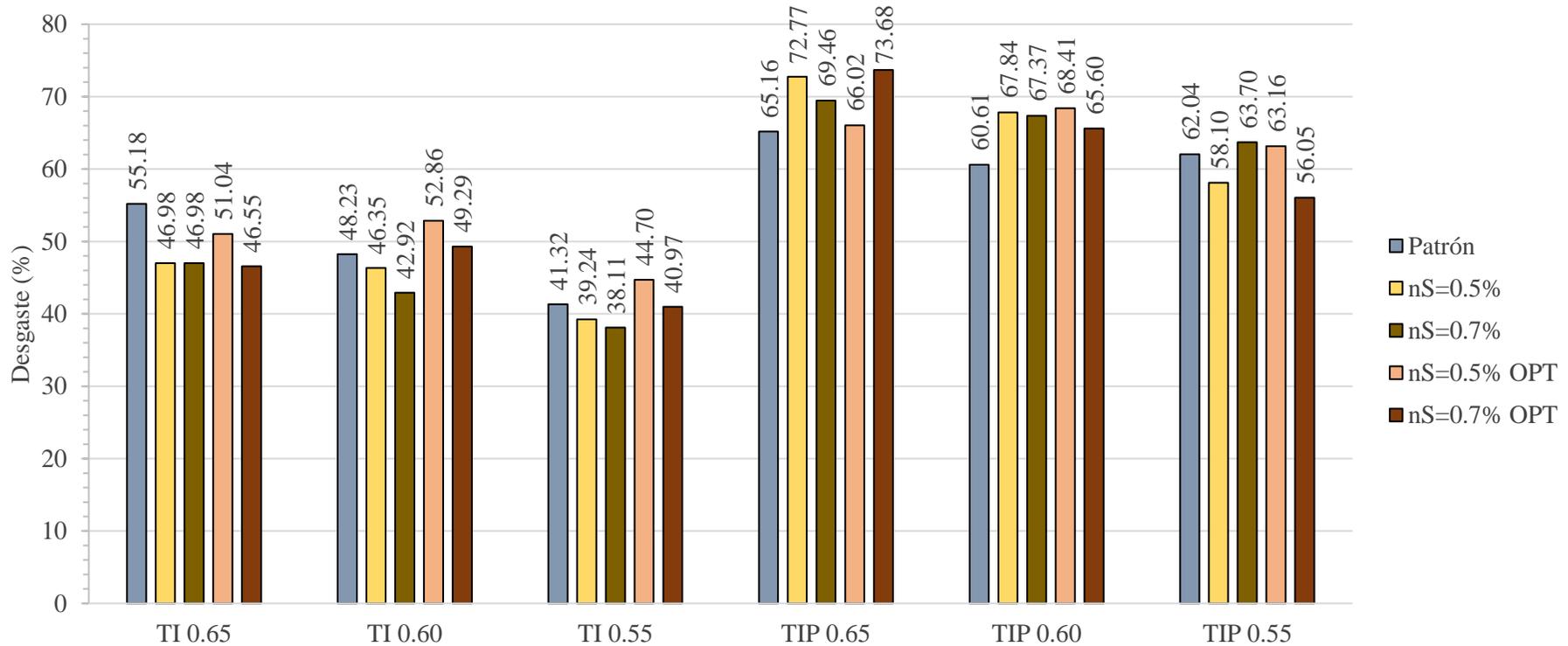


Figura 66: Comparación de porcentaje de desgaste (donde menos es mejor) entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 66, los concretos patrones elaborados con cemento Yura tipo I ofrecen una mayor resistencia a la abrasión que aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP. Los concretos con nanosílice y optimizados con este aditivo elaborados con cemento Yura tipo I tienen un mejor desempeño que aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, puesto que todos, excepto aquellos optimizados con nanosílice al 0.5% con relaciones agua/cemento 0.60 y 0.55 y aquel optimizado con nanosílice al 0.7% con relación a/c 0.60, ofrecen porcentajes

de desgaste menores a sus patrones, no como aquellos elaborados con cemento Yura IP, donde todos ofrecen porcentajes de desgaste mayores a sus patrones, excepto los concretos con nanosílice al 0.5% y optimizado con este aditivo al 0.7% con relación agua/cemento de 0.55.

#### 6.2.4 Resumen de dosis óptimas de nanosílice de acuerdo a los ensayos en estado endurecido realizados a los concretos elaborados.

Tabla 87

*Dosis óptima de nanosílice de acuerdo a ensayos realizados al concreto y para propósitos de esta investigación.*

Código de diseño	Resistencia a la compresión	Resistencia a la tracción	Resistencia a la abrasión	General	Para propósitos de esta investigación (resistencia a la compresión)
<b>Yura tipo I</b>					
a/c 0.65 nS	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
a/c 0.65 nS OPT	0.5%	0.5%	0.7%	Dependerá de qué uso se le dará al concreto	0.5%
a/c 0.60 nS	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
a/c 0.60 nS OPT	0.7%	0.7%	NO TIENE	0.7%, si la resistencia a la abrasión no es muy importante	0.7%
a/c 0.55 nS	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%	0.7%
a/c 0.55 nS OPT	0.5%	NO TIENE	0.7%	Dependerá de qué uso se le dará al concreto	0.5%
<b>Yura tipo IP</b>					
a/c 0.65 nS	0.5%	0.5%	NO TIENE	0.5%, si la resistencia a la abrasión no es muy importante	0.5%

**Nota:** Donde se haya escrito “NO TIENE” significa que las dosis de nanosílice utilizadas en dicho ensayo (0.5% y 0.7%) para tal concreto elaborado no proveen de mejoras respecto a los concretos patrones. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87

*Dosis óptima de nanosílice de acuerdo a ensayos realizados al concreto y para propósitos de esta investigación. (Continuación)*

Código de diseño	Resistencia a la compresión	Resistencia a la tracción	Resistencia a la abrasión	General	Para propósitos de esta investigación (resistencia a la compresión)
			<b>Yura tipo IP</b>		
a/c 0.65 nS OPT	0.7%	0.7%	NO TIENE	0.7%, si la resistencia a la abrasión no es muy importante	0.7%
a/c 0.60 nS	NO TIENE	0.7%	NO TIENE	0.7%, si el parámetro más importante es la resistencia a la tracción	NO TIENE
a/c 0.60 nS OPT	NO TIENE	0.5%	NO TIENE	0.5%, si la resistencia a la compresión y a la abrasión no son muy importantes	NO TIENE
a/c 0.55 nS	0.7%	0.7%	0.5%	Dependerá de qué uso se le dará al concreto	0.7%
a/c 0.55 nS OPT	NO TIENE	NO TIENE	0.7%	0.7%, si el parámetro más importante es la resistencia a la abrasión	NO TIENE

**Nota:** Donde se haya escrito “NO TIENE” significa que las dosis de nanosílice utilizadas en dicho ensayo (0.5% y 0.7%) para tal concreto elaborado no proveen de mejoras respecto a los concretos patrones. Fuente: Elaboración propia.

### 6.3 Análisis de costos

Se realizó el análisis de costos por m<sup>3</sup> de cada diseño de mezclas realizado, con el fin de determinar para cada relación y tipo de cemento, el concreto con la mejor relación costo/beneficio.

#### 6.3.1 Costo de mano de obra, equipos y materiales.

En los precios de mano de obra y equipos se consideró aquellos valores actuales de mercado. En los precios unitarios de cada material se consideró el costo final de este (incluido IGV) y el costo de su transporte desde el sitio donde se elabora o comercializa hasta las instalaciones del Laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María, lugar donde se realizaron los ensayos presentados en esta tesis.

#### 6.3.2 Costo de los concretos elaborados.

Se realizaron análisis de precios unitarios basados en una partida de concreto para columnas a partir de un segundo piso. El desarrollo de estos se encontrarán en los anexos.

##### 6.3.2.1 Concretos elaborados con cemento Yura tipo I.

Tabla 88

*Resultados parciales y totales de análisis de precios unitarios por m<sup>3</sup> para cada concreto elaborado con cemento Yura tipo I.*

Código de diseño	Mano de obra (S/)	Materiales (S/)	Equipos (S/)	Costo por m <sup>3</sup> (S/)	Variación c/r a patrón
a/c 0.65	215.52	261.70	27.47	504.69	-
a/c 0.65 nS=0.5%	193.32	280.31	20.80	494.43	-2.03%
a/c 0.65 nS=0.7%	193.32	287.75	20.80	501.87	-0.56%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	215.52	272.19	27.47	515.18	2.08%
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	215.52	276.69	27.47	519.68	2.97%
a/c 0.60	215.52	275.91	27.47	518.89	-
a/c 0.60 nS=0.5%	193.32	296.12	20.80	510.23	-1.67%
a/c 0.60 nS=0.7%	193.32	304.20	20.80	518.32	-0.11%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	215.52	282.32	27.47	525.30	1.24%
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	215.52	289.30	27.47	532.28	2.58%
a/c 0.55	215.52	292.70	27.47	535.69	-
a/c 0.55 nS=0.5%	193.32	314.80	20.80	528.92	-1.26%
a/c 0.55 nS=0.7%	193.32	323.65	20.80	537.77	0.39%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	215.52	300.58	27.47	543.57	1.47%
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	215.52	306.71	27.47	549.69	2.61%

**Fuente: Elaboración propia.**

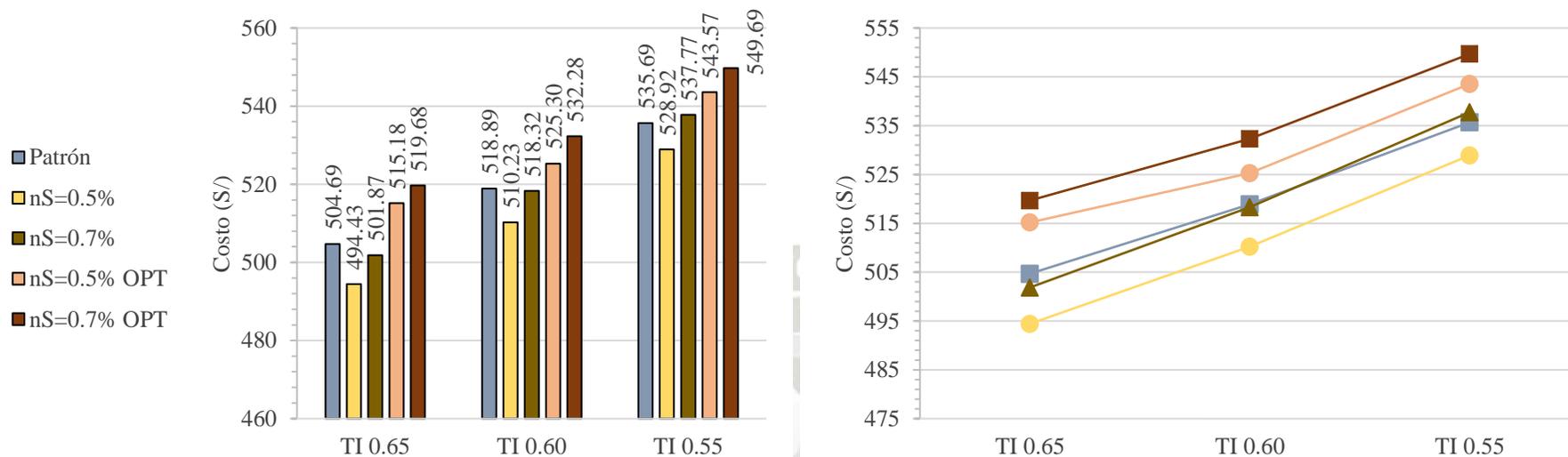


Figura 67: Comparación de costos por m<sup>3</sup> entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 67, los costos por m<sup>3</sup> de los concretos patrones se incrementan a medida que la relación agua/cemento se reduce. En el caso de los concretos con nanosílice se ve una reducción de costos con respecto a los patrones debido a que, al otorgarle la nanosílice propiedades autocompactantes a los concretos con este aditivo, la mano de obra, así como el equipo usado para consolidar el concreto ya no serían necesarios, por lo que se omitieron en los análisis de precios unitarios. La reducción de precio es mayor en los concretos con nanosílice al 0.5% en comparación a aquellos con este aditivo al 0.7% debido al contenido de nanosílice. Inicialmente ambas dosis resultan en costos menores al patrón, pero a medida que aumenta el contenido de nanosílice debido a la reducción de la relación agua/cemento, el costo del aditivo llega a superar la reducción lograda al omitir de los análisis de precios unitario la mano de obra y equipo antes mencionado, por lo que al final, con una relación a/c de 0.55, el costo por m<sup>3</sup> del concreto con nanosílice al 0.7% supera el costo de su patrón. En el caso de los concretos optimizados con

nanosílice, todos resultan con costos mayores a sus patrones, aun teniendo reducciones en sus contenidos de cementos respecto a estos, debido a que cuentan con la misma mano de obra y equipos de los concretos patrones, y adicionalmente la nanosílice.

### 6.3.2.2 Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.

Tabla 89

Resultados parciales y totales de análisis de precios unitarios por m<sup>3</sup> para cada concreto elaborado con cemento Yura tipo IP.

Código de diseño	Mano de obra (S/)	Materiales (S/)	Equipos (S/)	Costo por m <sup>3</sup> (S/)	Variación c/r a patrón
a/c 0.65	215.52	247.69	27.47	490.67	-
a/c 0.65 nS=0.5%	193.32	267.01	20.80	481.13	-1.94%
a/c 0.65 nS=0.7%	193.32	274.74	20.80	488.86	-0.37%
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	215.52	258.77	27.47	501.76	2.26%
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	215.52	263.79	27.47	506.78	3.28%
a/c 0.60	215.52	263.21	27.47	506.19	-
a/c 0.60 nS=0.5%	193.32	284.56	20.80	498.68	-1.48%
a/c 0.60 nS=0.7%	193.32	293.10	20.80	507.22	0.20%
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	215.52	273.17	27.47	516.16	1.97%
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	215.52	277.80	27.47	520.78	2.88%
a/c 0.55	215.52	280.09	27.47	523.08	-
a/c 0.55 nS=0.5%	193.32	303.62	20.80	517.74	-1.02%
a/c 0.55 nS=0.7%	193.32	313.03	20.80	527.14	0.78%
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	215.52	287.58	27.47	530.56	1.43%
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	215.52	294.77	27.47	537.76	2.81%

Fuente: Elaboración propia.

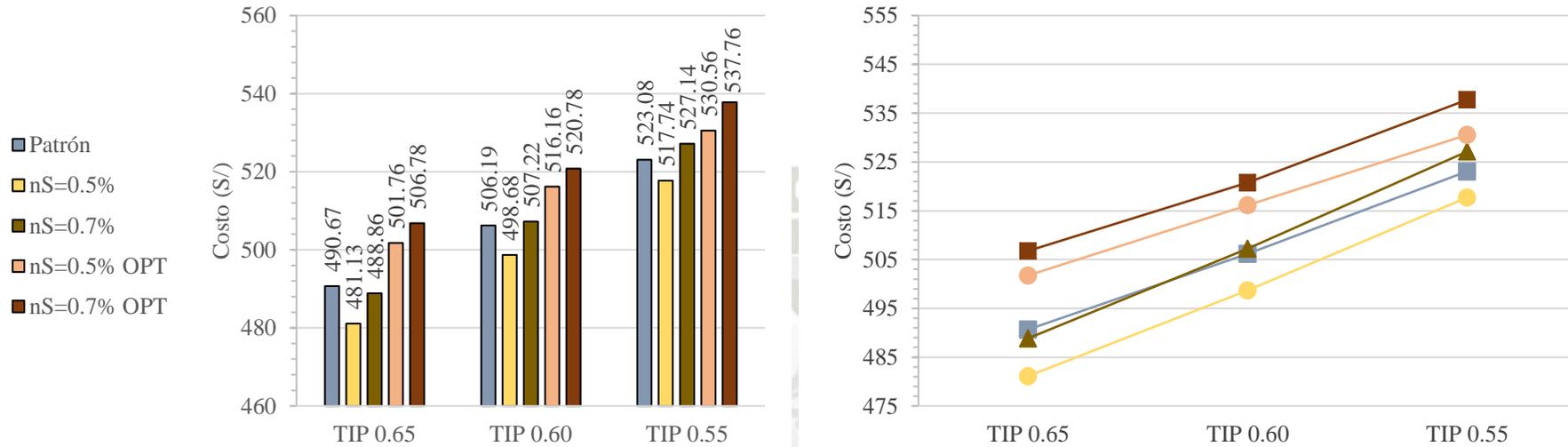


Figura 68: Comparación de costos por m<sup>3</sup> entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 68, los costos por m<sup>3</sup> de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP se relacionan entre sí de la misma manera que lo hacen los costos en los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. La única diferencia es que el costo de la nanosílice supera la reducción hecha por la omisión de mano de obra y equipo antes mencionada a partir de la relación a/c 0.60, mientras que para aquellos elaborados con cemento Yura tipo I, esto sucede en la relación a/c 0.55.

### 6.3.2.3 Comparación del costo por m<sup>3</sup> entre todos los concretos elaborados.

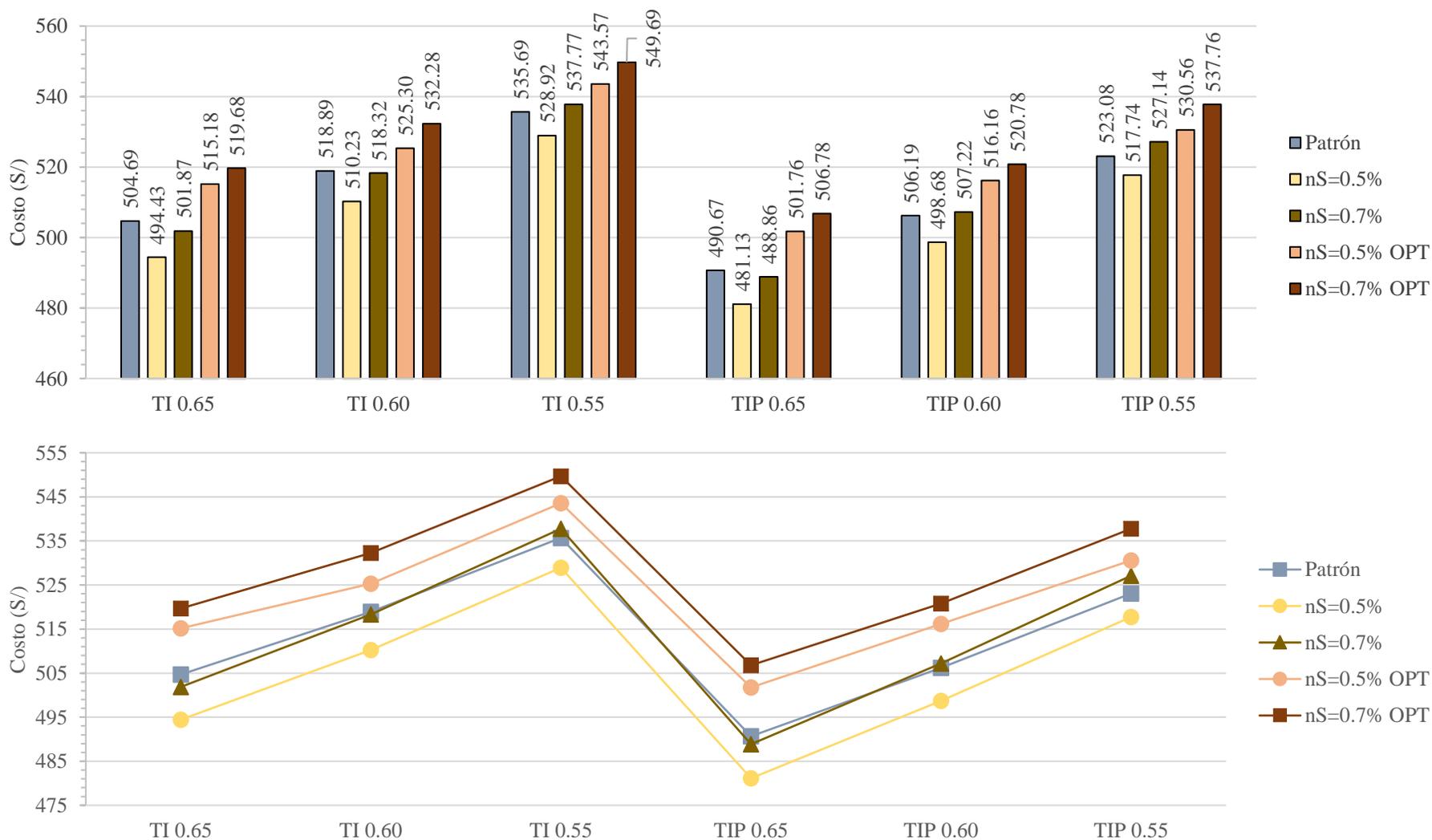


Figura 69: Comparación de costos por m<sup>3</sup> entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 69, los concretos elaborados con cemento Yura tipo I presentan costos por m<sup>3</sup> mayores a los de los elaborados con cemento Yura tipo IP, esto debido a la diferencia de costos unitarios entre cementos (S/23.53 cuesta la bolsa de cemento Yura tipo y S/21.00 la bolsa de cemento Yura tipo IP), que siendo de solo S/2.53, influye en gran medida en los costos finales por diseño. Tanto para los concretos elaborados con cemento Yura tipo I como para aquellos con cemento Yura tipo IP, los concretos con nanosílice presentan costos menores al de sus patrones, siendo las reducciones mayores con el primer cemento, pero a medida que la relación agua/cemento se reduce, el costo de estos va aumentando hasta que aquellos con nanosílice al 0.7% superan en costo a sus patrones. En todos los casos, los concretos optimizados presentan costos mayores al de sus patrones, debido a que el costo de la nanosílice supera la reducción lograda al optimizar el consumo del cemento. De esta manera se muestra la influencia del costo de la nanosílice en el costo total.

### 6.3.3 Costo/beneficio de los concretos elaborados.

Para esta investigación el costo/beneficio se obtendrá dividiendo el costo por m<sup>3</sup> de los concretos elaborados y la resistencia a la compresión a 28 días lograda por estos. De esta forma se determinará qué diseño para cada relación agua/cemento y tipo de cemento ofrece el menor costo por kgf/cm<sup>2</sup> logrado, por lo que a medida que el valor del costo/beneficio se vuelva menor, indicará un diseño más conveniente.

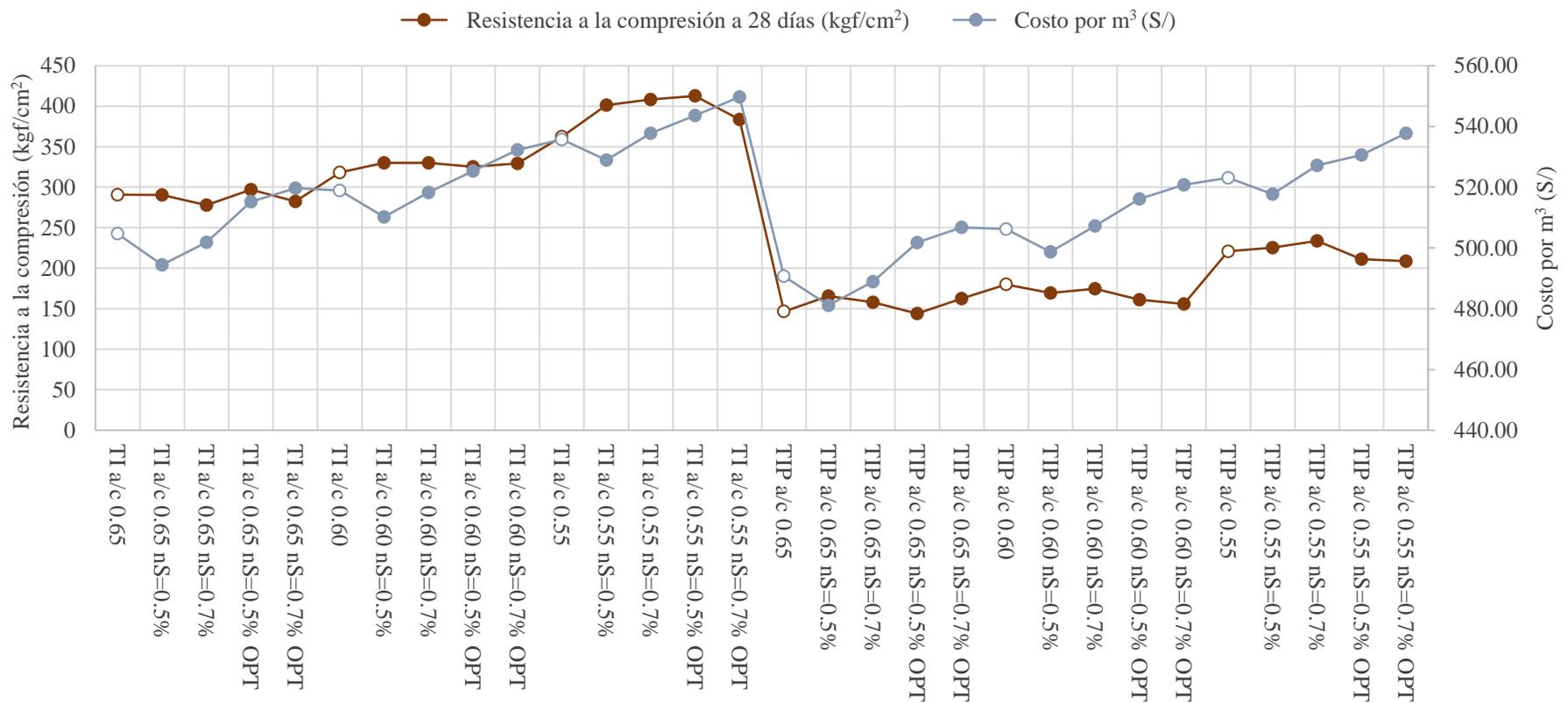


Figura 70: Resistencia a la compresión a 28 días y costo por m<sup>3</sup> de los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

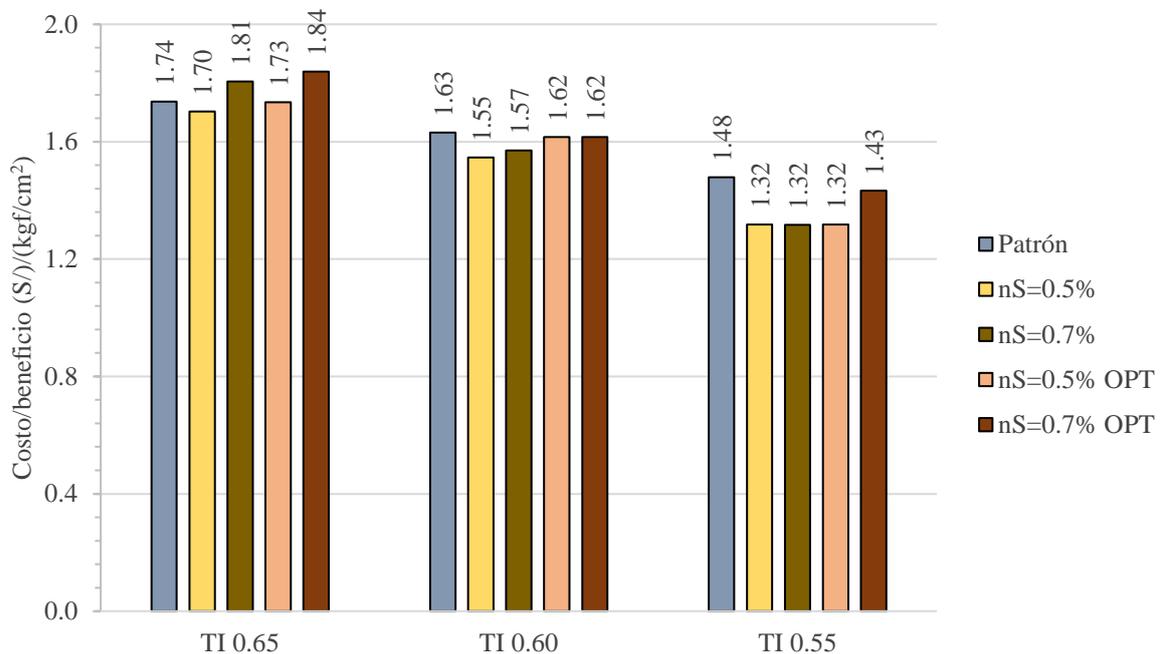
6.3.3.1 *Concretos elaborados con cemento Yura tipo I.*

Tabla 90

*Costo/beneficio de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I.*

a/c	Costo por m <sup>3</sup> (S/)	Resistencia a la compresión a 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	Costo/beneficio (S/)/(kgf/cm <sup>2</sup> )
a/c 0.65	504.69	290.59	1.74
a/c 0.65 nS=0.5%	494.43	290.43	1.70
a/c 0.65 nS=0.7%	501.87	278.01	1.81
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	515.18	296.96	1.73
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	519.68	282.57	1.84
a/c 0.60	518.89	318.16	1.63
a/c 0.60 nS=0.5%	510.23	330.01	1.55
a/c 0.60 nS=0.7%	518.32	330.01	1.57
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	525.30	325.00	1.62
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	532.28	329.49	1.62
a/c 0.55	535.69	362.28	1.48
a/c 0.55 nS=0.5%	528.92	401.23	1.32
a/c 0.55 nS=0.7%	537.77	408.28	1.32
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	543.57	412.65	1.32
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	549.69	383.64	1.43

**Fuente: Elaboración propia.**



*Figura 71: Comparación del costo/beneficio (donde menos es mejor) de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar en la Figura 71, el costo/beneficio de los concretos patrones se reduce a medida que lo hace la relación agua/cemento, esto debido a que el aumento del contenido de cemento provee de mayor resistencia y no incrementa el costo por m<sup>3</sup>

considerablemente. Los concretos con nanosílice al 0.5% en todos los casos ofrecen un costo/beneficio menor al de los patrones, mientras que aquellos con este aditivo al 0.7% empiezan con un valor mayor al patrón (a/c 0.65) y terminan con un valor menor (a/c 0.55). Esto puede indicar que a medida que la relación agua/cemento disminuye, la eficacia del aditivo aumentará, por lo que su costo/beneficio disminuirá aún más. En el caso de los concretos optimizados, el costo/beneficio de estos se vuelva cada vez menor en comparación a sus patrones a medida que la relación agua/cemento decrece. Sin embargo, esto no significa que una dosis mayor de nanosílice reducirá un mejor costo/beneficio puesto que, como se puede ver en la Figura 71, al inicio funciona mejor una dosis de 0.5%, luego ambas dosis igualan su costo/beneficio, y al final la dosis de 0.5% vuelve a ser la mejor. Esto dependerá de la resistencia ya que, como se vio anteriormente, una reducción grande de cemento no podrá ser suplida y mejorada por el aditivo así sea una dosis mayor a una que ya entregó resultados muy buenos (dosis de nanosílice al 0.5% con relación a/c de 0.55).

### 6.3.3.2 Concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.

Tabla 91

*Costo/beneficio de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.*

a/c	Costo por m <sup>3</sup> (S/)	Resistencia a la compresión a 28 días (kgf/cm <sup>2</sup> )	Costo/beneficio (S/)/(kgf/cm <sup>2</sup> )
a/c 0.65	490.67	146.47	3.35
a/c 0.65 nS=0.5%	481.13	165.41	2.91
a/c 0.65 nS=0.7%	488.86	157.82	3.10
a/c 0.65 nS=0.5% OPT	501.76	143.96	3.49
a/c 0.65 nS=0.7% OPT	506.78	162.38	3.12
a/c 0.60	506.19	179.93	2.81
a/c 0.60 nS=0.5%	498.68	169.49	2.94
a/c 0.60 nS=0.7%	507.22	174.78	2.90
a/c 0.60 nS=0.5% OPT	516.16	161.11	3.20
a/c 0.60 nS=0.7% OPT	520.78	155.81	3.34
a/c 0.55	523.08	220.72	2.37
a/c 0.55 nS=0.5%	517.74	225.31	2.30
a/c 0.55 nS=0.7%	527.14	233.57	2.26
a/c 0.55 nS=0.5% OPT	530.56	210.98	2.51
a/c 0.55 nS=0.7% OPT	537.76	208.53	2.58

**Fuente:** Elaboración propia.

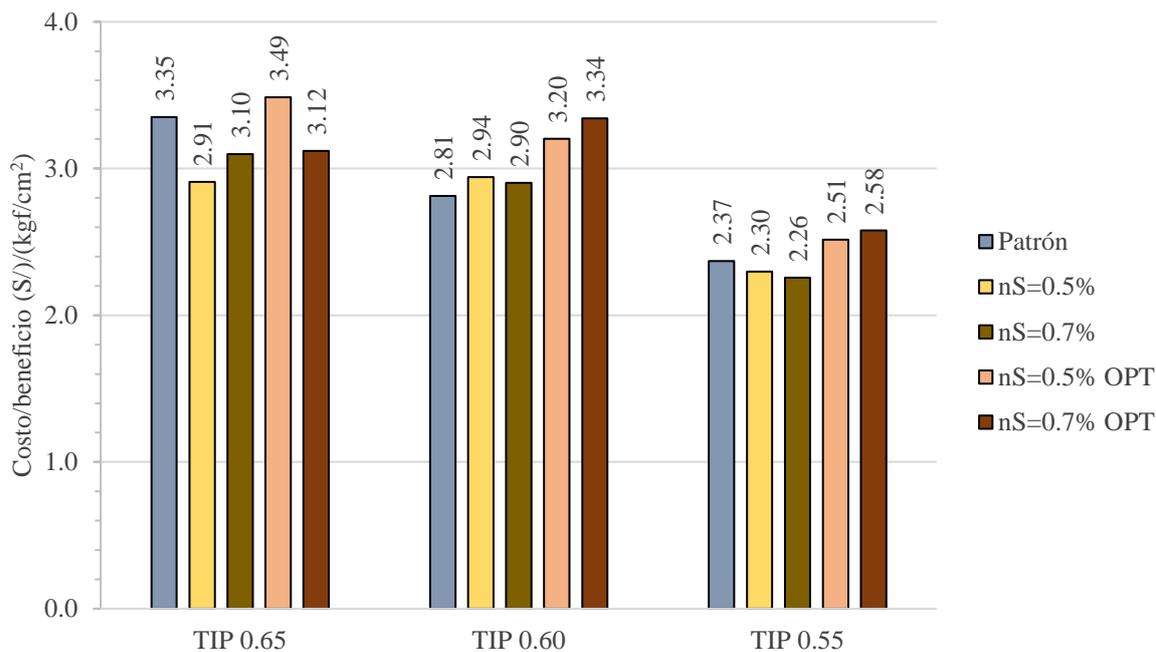


Figura 72: Comparación del costo/beneficio (donde menos es mejor) de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la Figura 72, el costo/beneficio de los concretos patrones se reduce a medida que lo hace la relación agua/cemento, esto debido a que el aumento del contenido de cemento provee de mayor resistencia y no incrementa el costo por  $m^3$  considerablemente. Los concretos con nanosílice al 0.5% ofrecen valores de costo/beneficio variables en comparación a sus patrones: al inicio la nanosílice es efectiva, luego no y finalmente lo es de nuevo. La dosis de 0.7% funciona de la misma forma. No hay una relación lineal entre los valores de costo/beneficio que ofrecen ambas dosis de nanosílice para este tipo de concretos. En el caso de los concretos optimizados, solo el costo/beneficio del concreto optimizado con nanosílice al 0.7% ofrece un valor menor a su patrón, puesto que todos los demás son mayores.

### 6.3.3.3 Comparación del costo/beneficio entre todos los concretos elaborados.

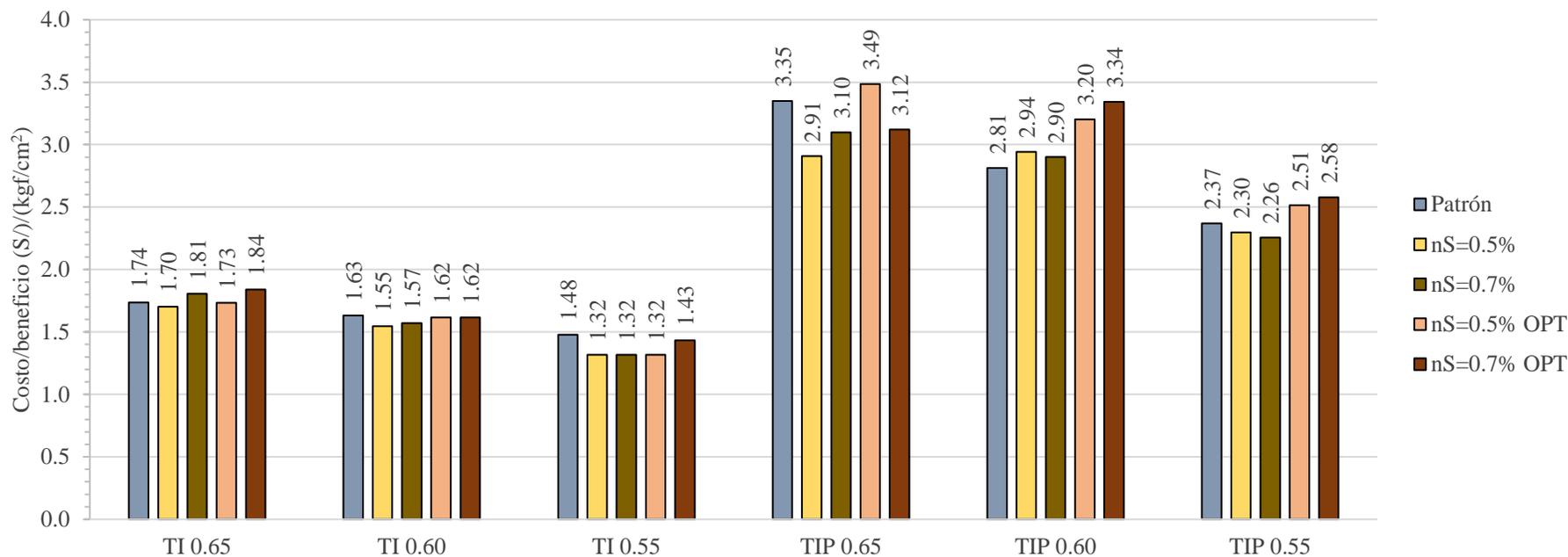


Figura 73: Comparación del costo/beneficio entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la Figura 73, los valores de costo/beneficio de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I son muchos menores al de aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, en algunos casos la diferencia llega a ser el doble. La mayoría (10 de 12) de los concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I ofrecen menores valores de costo/beneficio que sus patrones, en comparación a aquellos con cemento Yura tipo IP, donde la nanosílice actúa de forma más variable, teniendo solo 5 diseños con este aditivo que ofrecen menores valores de costo/beneficio que sus patrones. Esto indica, en general, que es más conveniente usar la nanosílice en concretos con cemento Yura tipo I que en aquellos con cemento Yura tipo IP.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### CONCLUSIONES

#### SEGÚN OBJETIVOS

1. Se analizó la influencia de la adición de nanosílice en las propiedades en estado fresco y endurecido – con un especial enfoque en las propiedades resistentes – y en el costo de producción de concretos convencionales elaborados con cemento Yura tipo I y IP en la ciudad de Arequipa.
2. Se comparó el revenimiento (asentamiento) de los concretos patrones (en el rango de 4 a 5 pulgadas) con el de los elaborados con la adición con nanosílice, resultando en lo siguiente:
  - a. La nanosílice es más efectiva en concretos con cemento Yura tipo I, al presentar incrementos promedio de revenimiento mayores (82.54% y 106%, para dosis de 0.5% y 0.7% respectivamente) que aquellos con cemento Yura tipo IP (66.98% y 86.69%, para dosis de 0.5% y 0.7% respectivamente).
  - b. A medida que se va aumentando la dosis de nanosílice en concretos elaborados con cemento Yura tipo I se observa cierta tendencia a segregarse, mientras que con cemento Yura tipo IP se mantiene la cohesividad de las mezclas.
  - c. El revenimiento de los concretos con nanosílice está en función de la dosis de nanosílice usada, puesto que se presentaron valores de asentamiento muy cercanos entre sí, entre concretos con diferente relación agua/cemento, pero con igual dosis de este aditivo.
3. Se comparó el peso unitario de los concretos patrones con el de los elaborados con la adición con nanosílice, resultando en lo siguiente:
  - a. En los concretos elaborados con cemento Yura tipo I la adición de nanosílice genera una disminución del peso unitario a medida que se aumenta la dosis de este aditivo de 0.5% a 0.7%, esto debido a muestras cada vez más sueltas. En cambio, en concretos

elaborados con cemento Yura tipo IP, la adición de nanosílice empieza generando una disminución del peso unitario con una dosis de 0.5%, pero al aumentar esta a 0.7%, aumenta el peso unitario, debido a una ganancia de cohesividad, lo que podría indicar que esta tendencia podría continuar al aumentar la dosis de nanosílice.

4. Se comparó la temperatura de los concretos patrones con la de los elaborados con la adición con nanosílice, resultando en lo siguiente:
  - a. Para ambos cementos, con relaciones agua/cemento de 0.65, se observa que la adición de nanosílice aumenta la temperatura respecto a los patrones, pero a medida que la relación agua/cemento se reduce, la temperatura de estos concretos se reduce también con respecto a sus patrones.
  - b. En todos los casos, los concretos con nanosílice al 0.7% presentan una temperatura mayor a aquellos con este aditivo al 0.5%.
  - c. La ganancia de temperatura o pérdida de esta en los concretos con nanosílice no está directamente relacionada a la relación agua/cemento, ni al tipo de cemento.
5. Se comparó la resistencia a la compresión de los concretos patrones con la de los elaborados con la adición con nanosílice, resultando en lo siguiente:
  - a. En concretos elaborados con cemento Yura tipo I la adición de nanosílice genera incrementos de resistencia a edades tempranas, y a 28 días hay ganancia de resistencia a partir de las relaciones agua/cemento 0.60 y 0.55, esta es mayor a medida que se reduce la relación/agua cemento, es decir, la efectividad de la nanosílice es mayor a medida que se reduce la relación agua/cemento. En la relación agua/cemento 0.65 una dosis de nanosílice de 0.5% funciona mejor que una de 0.7%, y esta relación se va invirtiendo a medida que se reduce la relación agua/cemento.
  - b. En concretos elaborados con cemento Yura tipo IP la adición de nanosílice no genera incrementos de resistencia a edades tempranas en todos los casos, solo para relaciones

agua/cemento de 0.60 y 0.55. A 28 días la ganancia de resistencia es variable pues funciona para todas las relaciones agua/cemento excepto para la de 0.60. es decir, la efectividad de la nanosílice con este tipo de cemento no está asegurada. En la relación agua/cemento 0.65 una dosis de nanosílice de 0.5% funciona mejor que una de 0.7%, y esta relación se va invirtiendo a medida que se reduce la relación agua/cemento, excepto para una relación agua/cemento de 0.60, donde no hay ganancia de resistencia.

- c. Entonces se puede decir que la nanosílice es más efectiva en concretos con cemento Yura tipo I que en aquellos con cemento Yura tipo IP.
6. Se comparó la resistencia a la tracción de los concretos patrones con la de los elaborados con la adición con nanosílice, resultando en lo siguiente:
- a. En concretos elaborados con cemento Yura tipo I la adición de nanosílice genera incrementos de resistencia a edades tempranas, sobre todo a 7 días, y a 28 días hay ganancia de resistencia en todas las relaciones agua/cemento estudiadas, siendo esta mayor a medida que se reduce la relación/agua cemento, es decir, la efectividad de la nanosílice es mayor a medida que se reduce la relación agua/cemento. Como con la resistencia a la compresión, en la relación agua/cemento 0.65 una dosis de nanosílice de 0.5% funciona mejor que una de 0.7%, y esta relación se va invirtiendo a medida que se reduce la relación agua/cemento.
  - b. En concretos elaborados con cemento Yura tipo IP la adición de nanosílice también genera incrementos de resistencia a edades tempranas, y a 28 días hay ganancia de resistencia casi en todas las relaciones agua/cemento estudiadas, pero dependiendo de la dosis de nanosílice pues en para una relación agua/cemento de 0.65, el incremento es mayor con una dosis de 0.5% que con 0.7%, mientras para las relaciones agua/cemento 0.60 y 0.55, solo la dosis de 0.7% ofrece un incremento de resistencia frente a los patrones.

- c. A diferencia de los concretos con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I, donde ambas dosis funcionan, pero dependiendo de la relación agua/cemento una es más efectiva que la otra, en aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, ambas dosis solo funcionan con una relación 0.65, mientras que para las relaciones 0.60 y 0.55, solo la dosis de 0.7% ofrece incrementos de resistencia.
7. Se comparó la resistencia a la abrasión de los concretos patrones con la de los elaborados con la adición con nanosílice, resultando en lo siguiente:
    - a. En concretos elaborados con cemento Yura tipo I la adición de nanosílice disminuye el porcentaje de desgaste del concreto, el cual se vuelve menor a medida que se aumenta la dosis de este aditivo.
    - b. En concretos elaborados con cemento Yura tipo IP la adición de nanosílice solo genera una disminución del porcentaje de desgaste con la relación agua/cemento 0.55 y dosis de 0.5%, para todos los demás casos estudiados, los concretos patrones son más resistentes.
  8. Se determinó las dosis óptimas para cada relación agua/cemento usada y tipos de cemento. Se tomó como resultados aquellas dosis óptimas para la resistencia a la compresión, es decir, aquellas que lograron el mayor incremento de esta a 28 días respecto a los patrones o mayores resistencias a edades tempranas en los casos donde la resistencia a 28 días igualó, mas no superó, el patrón:
    - a. En concretos elaborados con cemento Yura tipo I:
      - i. Para una relación a/c 0.65, tanto para concretos con nanosílice como optimizados con este aditivo es 0.5%, dando incrementos de 20.06% y 7.55% a 3 y 7 días respectivamente para aquel con nanosílice y de 2.20% a 28 días para aquel optimizados con este aditivo.

- ii. Para una relación a/c 0.60, tanto para concretos con nanosílice como optimizados con este aditivo es 0.7%, dando incrementos de 21.95% y 11.16% a 3 y 7 días respectivamente para aquel con nanosílice y de 3.56% a 28 días para aquel optimizados con este aditivo.
  - iii. Para una relación a/c 0.55, para concretos con nanosílice es 0.7% dando un incremento de 12.70% a 28 días, mientras para concretos optimizados con este aditivo es 0.5%, dando un incremento de 13.91% a 28 días.
- b. En concretos elaborados con cemento Yura tipo IP:
- i. Para una relación a/c 0.65, para concretos con nanosílice es 0.5% dando un incremento de 12.93% a 28 días, mientras para concretos optimizados con este aditivo es 0.7%, dando un incremento de 10.86% a 28 días.
  - ii. Para una relación a/c 0.60, no hay dosis óptima.
  - iii. Para una relación a/c 0.55, para concretos con nanosílice es 0.7% dando un incremento de 5.82% a 28 días, mientras para concretos optimizados con este aditivo no hay dosis óptima.
9. Se optimizó los diseños de mezcla para cada dosis de nanosílice usada para alcanzar revenimientos en el rango de 4 a 5 pulgadas, típicos para vaciados de elementos estructurales, para cada relación agua/cemento usada y tipos de cemento.
10. Se comparó las propiedades en estado fresco de los concretos patrones con las de los diseños optimizados, resultando en lo siguiente:
- a. Revenimiento: Al disminuir el cemento (ya que son los concretos optimizados) y no compensar esta disminución con arena puesto que se mantuvo la proporción de agregados de los concretos con nanosílice, las mezclas resultaron un tanto pedregosas, pero aun así se lograron revenimientos en el rango de 4 a 5 pulgadas.

- b. Peso unitario: En los concretos optimizados elaborados con cemento Yura tipo I, el peso unitario aumenta a medida que la relación agua/cemento disminuye. En los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP, no hay una relación lineal entre esta propiedad y la relación agua/cemento. En todos los casos, los concretos optimizados con nanosílice al 0.7% tienen esos unitarios mayores a aquellos optimizados elaborados con este aditivo al 0.5%, esto puede deberse a la mayor cantidad de agregado grueso presente en los primeros.
- c. Temperatura: La temperatura de los concretos optimizados con nanosílice al 0.7% se reduce a medida que disminuye la relación agua/cemento, mientras que la de aquellos optimizados con nanosílice al 0.5% no tiene una relación lineal con la relación agua/cemento.
11. Se comparó la resistencia a la compresión de los concretos patrones con la de los diseños optimizados, resultando en lo siguiente:
- a. En concretos elaborados con cemento Yura tipo I la optimización con nanosílice genera incrementos de resistencia a edades tempranas, sobre todo a 7 días, y a 28 días hay ganancia de resistencia, esta es mayor a medida que se reduce la relación/agua cemento. En la relación agua/cemento 0.65 una dosis de nanosílice de 0.5% funciona mejor que una de 0.7%, luego para una relación a/c 0.60 lo hace la dosis de 0.7% y finalmente la de 0.5% funciona mejor, esto debido a que la reducción considerable de cemento con una dosis de 0.7% no puede ser compensada por la nanosílice y el aumento de agregados.
- b. En concretos elaborados con cemento Yura tipo IP la optimización con nanosílice genera incrementos de resistencia a edades tempranas solo en las relaciones a/c 0.65 y 0.55, mientras que para la relación a/c 0.60 no hay incrementos. A 28 días la ganancia

de resistencia es variable pues funciona solo para una dosis de 0.7% y relación a/c 0.65.

En todos los demás casos, la resistencia es menor a los patrones.

- c. Entonces se puede decir que optimizar concretos con nanosílice es más efectivo con cemento Yura tipo I que con cemento Yura tipo IP.
12. Se comparó la resistencia a la tracción de los concretos patrones con la de los diseños optimizados, resultando en lo siguiente:
- a. En concretos elaborados con cemento Yura tipo I la optimización con nanosílice genera incrementos de resistencia a edades tempranas solo en la relación a/c 0.65, mientras que para las relaciones a/c 0.60 y 0.55 no hay incrementos. A 28 días la ganancia de resistencia es variable pues primero funciona mejor una dosis de 0.5%, luego ambas dosis ofrecen mejores resultados y finalmente para una relación a/c 0.55 ninguna dosis lo hace.
  - b. En concretos elaborados con cemento Yura tipo IP la optimización con nanosílice genera incrementos de resistencia a edades tempranas con las relaciones a/c 0.65 y 0.60. A 28 días la ganancia de resistencia es variable pues primero funciona mejor una dosis de 0.7%, luego lo hace la dosis de 0.5% y finalmente para una relación a/c 0.55 ninguna dosis ofrece mejoras.
13. Se comparó la resistencia a la abrasión de los concretos patrones con la de los diseños optimizados, resultando en lo siguiente:
- a. En concretos optimizados elaborados con cemento Yura tipo I el comportamiento es variable puesto que el porcentaje de desgaste del concreto disminuye, con respecto al patrón, solo en la relación a/c 0.65 para ambas dosis de nanosílice, luego ninguna dosis funciona y finalmente lo hace la dosis de 0.7%.
  - b. En concretos optimizados elaborados con cemento Yura tipo IP la adición de nanosílice solo genera una disminución del porcentaje de desgaste, con respecto al patrón, con la

relación agua/cemento 0.55 y dosis de 0.7%, para todos los demás casos estudiados, los concretos patrones son más resistentes.

14. Se determinó el costo/beneficio de adicionar nanosílice a las mezclas de concreto, resultando en lo siguiente:
  - a. Para concretos elaborados con cemento Yura tipo I el uso de nanosílice se justifica económicamente porque en cada relación agua/cemento estudiada, usar nanosílice resulta en el mejor costo/beneficio, pero dependiendo de la dosis, es decir, los concretos con este aditivo, en algunos casos solo adicionándolo, y en otros, optimizando las mezclas, ofrecen el mejor costo por  $\text{kgf/cm}^2$  logrado. La dosis de 0.5% de nanosílice ofreció el mejor valor para todas las relaciones agua/cemento estudiadas. Los valores de los concretos con nanosílice van decreciendo con respecto al patrón, es decir, mejorando, a medida que se reduce la relación agua/cemento.
  - b. Para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP el uso de nanosílice se justificará económicamente dependiendo de la relación agua/cemento necesaria, puesto que solo en las relaciones a/c 0.65 y 0.55 los concretos con este aditivo presentan valores menores al de los patrones. La dosis óptima por costo/beneficio también dependerá de la relación agua/cemento.

## GENERALES

15. Es posible realizar diseños de mezcla con nanosílice que cuenten con mayor resistencia a un costo de producción igual o menor al de los diseños patrón, dependerá del tipo de cemento y relación agua/cemento utilizada.
16. Se pueden alcanzar mayores porcentajes de reducción de cemento en concretos elaborados con cemento tipo IP, pero como contra se tiene que la nanosílice y los agregados no llegan a suplir este déficit de cemento en la mayoría de los casos.

17. Para alcanzar un mismo revenimiento, considerando igual relación agua/cemento y proporción de agregados, se tendrá que usar más agua en concretos elaborados con cemento Yura tipo IP.
18. Los concretos elaborados con cemento Yura tipo I presentaron pesos unitarios mayores al de aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, esto debido a que al ser el peso específico del primer cemento mayor al del segundo (y, por ende, el volumen absoluto en el primer caso menor al segundo), la cantidad de agregado a utilizarse por mezcla será mayor con cemento Tipo I, siendo el agregado grueso el que más influye debido también a su peso específico.
19. Los concretos elaborados con cemento Yura tipo I presentan una temperatura promedio mayor ( $19.13^{\circ}\text{C}$ ) que los elaborados con cemento Yura tipo IP ( $17.47^{\circ}\text{C}$ ).
20. La temperatura del agua influye en gran medida en la temperatura de la mezcla.
21. La resistencia a la compresión y a la tracción de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I son mucho mayores a las ofrecidas por aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, aun cuando estos últimos contienen cantidades de cemento mayores para las mismas relaciones agua/cemento.
22. La resistencia a la abrasión de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I es mayor a la de los elaborados con cemento Yura tipo IP, esto puede deberse a que el primer cemento ofrece muestras más dureza y mejor adherencia con el agregado.
23. El costo por  $\text{m}^3$  de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I es ligeramente mayor al de aquellos elaborados con cemento Yura tipo IP, esto se debe a la diferencia de precios unitarios entre estos cementos.
24. El costo/beneficio de los concretos patrones mejora a medida que se reduce la relación agua/cemento.

25. El costo/beneficio de los concretos estudiados es menor, es decir, mejor, en el caso de aquellos elaborados con cemento Yura tipo I, esto significa que es más beneficioso usar este cemento que el Yura tipo IP, puesto que para producir iguales resistencias se tendría que usar menos cantidad de este material en el primer caso, por lo que sería más barato.

### RECOMENDACIONES

1. Al momento de conseguir los materiales para la investigación, se recomienda comprar tal cantidad de este que se puede asegurar la realización de todos los ensayos programados para esta, puesto que, al comprar por segunda vez, las propiedades de estos variarán y es muy posible que no se tengan resultados coherentes.
2. Se recomienda realizar los ensayos a los materiales con equipo de gran precisión y exactitud para tener datos más cercanos a los reales, sobre todo en aquellos ensayos donde la variación de peso influye de gran manera en el resultado final.
3. Se recomienda llevar el control de la temperatura del agua al momento de realizar las mezclas para determinar de manera más precisa de qué forma afecta este parámetro en la temperatura final de la mezcla.

## PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

1. Hacer estudios para determinar curvas de relación agua/cemento vs resistencia considerando diferentes marcas y tipos de cemento, agregados de diferentes canteras y porcentajes de agregado para optimizar el uso de cemento, puesto que los métodos convencionales dan un amplio margen de seguridad, los cuales en algunos casos resultan en un sobredimensionamiento de la cantidad de cemento por diseño.
2. Ampliar esta investigación con el uso de otras marcas y tipos de cemento, agregados de otras canteras y aditivos similares. Así como con la realización de otros ensayos como de resistencia a la flexión, permeabilidad, etc.
3. Investigar la variación de la resistencia entre concretos con nanosílice curados en laboratorio y en condiciones de obra.
4. Investigar la influencia de la nanosílice en combinación con adiciones minerales y/o fibras en concretos de alta resistencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009). *Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas)*. Lima, Perú: Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Aguilar, J. (2015). *Fabricación y evaluación de concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante y sílices con cemento Portland tipo IP en la ciudad de Tacna* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, Tacna, Perú.
- ASOCRETO. (2010). *COLECCIÓN DEL CONCRETO – TECNOLOGÍA DEL CONCRETO - TOMO 1: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto – ASOCRETO.
- Carpio, E. & Peña E. (2017). *Análisis comparativo de las diferentes canteras de puzolana de la ciudad de Arequipa para concretos de resistencias  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ,  $280 \text{ kg/cm}^2$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$  en el año 2017* (tesis de pregrado). Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú.
- Ehsani, A., Nili, M. y Shaabani, K. (2016). Effect of nanosilica on the compressive strength development and water absorption properties of cement paste and concrete containing fly ash. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21(5), 1854-1865.
- Escobedo, G. (2014). *Incidencia de la nanosílice en la resistencia mecánica de un concreto de alta resistencia con cemento Portland tipo I* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- González, J. G. (Abril de 2016). Nanotecnología y concreto. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA EN CONCRETO*, 6(2), pp. 16-21.
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.
- Hanco, N. (17 de setiembre de 2018). Censo 2017: Solo el 46.5% de la población vive en una casa con título en Arequipa. *Diario Correo*. Recuperado de <https://diariocorreo.pe/>.

- Huincho, E. (2011). *Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento Portland tipo I* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Isfahani, F., Redaelli, E., Lollinni, F., Li, W. y Bertolini L. (2016). Effects of nanosilica on compressive strength and durability properties of concrete with different water to binder ratios. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2016, 16 pages.
- Khaloo, A., Mobini, M. y Hosseini, P. (2016). Influence of different types of nano-SiO<sub>2</sub> particles on properties of high-performance concrete. *Construction and Building Materials*, 113, 188-201.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Illinois, EE.UU.: Portland Cement Association.
- Kumar Mehta, P. y Monteiro, P. (2006). *CONCRETE: Microstructure, Properties, and Materials*. doi: 10.1036/0071462899.
- Loayza, K. (2017). *Influencia del nanosílíce en el concreto con agregado angular y agregado redondeado* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Molina, F., & Chara, H. (2017). *Influencia de la adición de nanosílíce en las propiedades de un concreto de alta resistencia para la ciudad de Arequipa* (tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- NTP 334.001. (2011). *CEMENTOS. Definiciones y nomenclatura*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 334.005. (2011). *CEMENTOS. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 334.009. (2016). *CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos*. Dirección de Normalización – INACAL.

- NTP 334.090. (2013). *CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 339.034. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 339.035. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Pórtland*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 339.046. (2013). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 339.084. (2017). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 339.184. (2018). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 339.185. (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 400.012. (2013). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 400.017. (2011). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso unitario”) y los vacíos en los agregados*.

Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.

NTP 400.019. (2014). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles*. Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – INDECOPI.

NTP 400.021. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. Dirección de Normalización – INACAL.

NTP 400.022. (2018). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*. Dirección de Normalización – INACAL.

NTP 400.037. (2018). *AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos*. Dirección de Normalización – INACAL.

Palla, R., Karade, S.R., Mishra, G., Sharma U. y Singh, L.P. (2017). High strength sustainable concrete using silica nanoparticles. *Construction and Building Materials*, 138, 285-295.

Parra, S. (10 de julio de 2010). *Nanomateriales: el futuro de la construcción*. Xataka Ciencia. Recuperado de <https://www.xatakaciencia.com>.

Pasquel, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Lima, Perú: Colegio de ingenieros del Perú.

Quercia, G. & Brouwers, H. J. H. (Junio de 2010). Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures. 8<sup>th</sup> fib PhD Symposium in Kgs. Lyngby, Denmark.

Rivva, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima, Perú: Capítulo Peruano ACI.

Rivva, E. (2010). *Diseño de mezclas*. Lima, Perú: Fondo Editorial ICG.

RNE Norma E.060. (2009). *Concreto armado*. SENCICO. Perú.

Rodgers, L. (17 de diciembre de 2018). La enorme fuente de emisiones de CO<sub>2</sub> que está por todas partes y que quizás no conocías. *BBC*. Recuperado de <https://www.bbc.com/>.

Saloma, Nasution, A., Imran, I. y Abdullah, M. (2015). Improvement of concrete durability by nanomaterials. *Procedia Engineering*, 125, 608-612.

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá, Colombia: Bhandar Editores Ltda.

YURA. (2012). *Ficha técnica: Cemento Portland Yura Tipo I*. Perú.

YURA. (2019). *Ficha técnica: Cemento Portland Yura Tipo IP*. Perú.



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Definición y operacionalización de las variables. ....	5
Tabla 2: Requisitos granulométricos para el agregado fino de acuerdo a NTP 400.037.....	25
Tabla 3: Requisitos granulométricos para el agregado grueso de acuerdo a NTP 400.037.....	26
Tabla 4: Granulometría de agregado grueso M1. ....	27
Tabla 5: Granulometría de agregado grueso – M2. ....	28
Tabla 6: Granulometría de agregado grueso – M3. ....	29
Tabla 7: Granulometría de agregado grueso – Promedio. ....	30
Tabla 8: Granulometría de agregado fino – M1.....	31
Tabla 9: Granulometría de agregado fino – M2.....	32
Tabla 10: Granulometría de agregado fino – M3.....	33
Tabla 11: Granulometría de agregado fino - Promedio. ....	34
Tabla 12: Capacidad de recipiente dependiente de TMN de acuerdo a NTP 400.017. ....	36
Tabla 13: Requisitos para los recipientes de acuerdo a NTP 400.017.....	36
Tabla 14: Medidas del recipiente usado para peso unitario del agregado grueso.....	38
Tabla 15: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – M1.....	38
Tabla 16: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – M2.....	39
Tabla 17: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – M3.....	39
Tabla 18: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso – Promedio.....	39
Tabla 19: Medidas del recipiente usado para peso unitario del agregado fino.....	40
Tabla 20: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino – M1.....	40
Tabla 21: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino – M2.....	40
Tabla 22: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino – M3.....	41
Tabla 23: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino – Promedio.....	41
Tabla 24: Peso mínimo de muestra de ensayo de acuerdo a NTP 400.021. ....	43
Tabla 25: Datos para cálculo de pesos específicos y absorción del agregado grueso. ....	44
Tabla 26: Pesos específicos y absorción promedio del agregado grueso. ....	45
Tabla 27: Datos para cálculo de pesos específicos y absorción del agregado fino.....	48
Tabla 28: Pesos específicos y absorción promedio del agregado fino.....	48
Tabla 29: Tamaño de muestra de agregado para contenido de humedad de acuerdo a NTP 339.185.....	50
Tabla 30: Datos para cálculo del contenido de humedad de los agregados.....	51
Tabla 31: Contenido de humedad promedio de los agregados. ....	51
Tabla 32: Número de esferas y peso de la carga para ensayo de acuerdo a NTP 400.019.....	52
Tabla 33: Gradación de las muestras de ensayo de acuerdo a NTP 400.019.....	53
Tabla 34: Porcentaje de desgaste por abrasión e impacto en Máquina de los Ángeles. ....	54
Tabla 35: Datos para cálculo de densidad de cemento Pórtland Yura tipo I. ....	57
Tabla 36: Resumen de propiedades de los materiales usados en la investigación.....	58
Tabla 37: Valores del factor de incremento $\alpha$ de acuerdo al número de ensayos anteriores. ...	60
Tabla 38: Valores de $f'_{cr}$ de acuerdo al $f'_c$ si no se cuenta con ensayos anteriores.....	60
Tabla 39: Valores de asentamiento para distintos tipos de construcción.....	61
Tabla 40: Cantidad de agua en $L/m^3$ para distintos asentamientos y TMN.....	61
Tabla 41: Contenido de aire atrapado de acuerdo a TMN. ....	62

Tabla 42: Contenido de aire total, de acuerdo a TMN y condiciones de exposición. ....	62
Tabla 43: Relación agua/cemento de acuerdo a $f'_{cr}$ para concretos sin y con aire incorporado. .....	63
Tabla 44: Relación agua/cemento de acuerdo a condiciones especiales de exposición. ....	63
Tabla 45: Peso seco y compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.	64
Tabla 46: Cálculo de volúmenes absolutos.....	65
Tabla 47: Cálculo de pesos corregidos y aportes de agua. ....	66
Tabla 48: Dosificaciones en seco y corregida por humedad para primera aproximación al diseño base. ....	67
Tabla 49: Dosificaciones en seco y corregida por humedad para diseño base definitivo.....	70
Tabla 50: Dosificaciones en seco y corregida por humedad para diseño patrón Yura tipo I a/c 0.55.....	74
Tabla 51: Dosificaciones en seco y corregida por humedad para diseño optimizado Yura tipo I a/c 0.55 nS=0.5% OPT. ....	77
Tabla 52: Dosificaciones en seco, corregida por humedad y por tanda de vaciado para concretos elaborados con cemento Yura tipo I. ....	78
Tabla 53: Dosificaciones en seco, corregida por humedad y por tanda de vaciado para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. ....	79
Tabla 54: Variación de las cantidades de material por diseño de mezcla elaborado con cemento Yura tipo I con respecto a los patrones. ....	80
Tabla 55: Variación de las cantidades de material por diseño de mezcla elaborado con cemento Yura tipo IP con respecto a los patrones. ....	80
Tabla 56: Capacidad del recipiente de medida dependiente de TMN de acuerdo a NTP 339.046.....	87
Tabla 57: Edades de ensayo y tolerancias permisibles de acuerdo a NTP 339.034. ....	90
Tabla 58: Revenimiento en pulgadas de cada dosificación realizada para cada relación agua/cemento y tipo de cemento.....	95
Tabla 59: Peso unitario de cada dosificación realizada para cada relación agua/cemento y tipo de cemento. ....	99
Tabla 60: Temperatura de cada dosificación realizada para cada relación agua/cemento y tipo de cemento. ....	103
Tabla 61: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. ....	108
Tabla 61: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. (Continuación) .....	109
Tabla 61: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. (Continuación) .....	110
Tabla 62: Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. ....	111
Tabla 63: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. ....	114
Tabla 63: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. (Continuación) .....	115

Tabla 63: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. (Continuación) .....	116
Tabla 64: Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. ....	116
Tabla 65: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. ....	120
Tabla 65: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. (Continuación) .....	121
Tabla 65: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. (Continuación) .....	122
Tabla 66: Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. ....	122
Tabla 67: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. ....	128
Tabla 67: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. (Continuación) .....	129
Tabla 67: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. (Continuación) .....	130
Tabla 68: Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. ....	130
Tabla 69: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. ....	134
Tabla 69: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. (Continuación) .....	135
Tabla 69: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. (Continuación) .....	136
Tabla 70: Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. ....	136
Tabla 71: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. ....	140
Tabla 71: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. (Continuación) .....	141
Tabla 71: Resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. (Continuación) .....	142
Tabla 72: Resumen de resultados de resistencia a la compresión para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. ....	142
Tabla 73: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. ....	149
Tabla 73: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. (Continuación) .....	150
Tabla 73: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. (Continuación) .....	151
Tabla 74: Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. ....	152

Tabla 75: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. ....	155
Tabla 75: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. (Continuación) .....	156
Tabla 75: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. (Continuación) .....	157
Tabla 76: Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. ....	157
Tabla 77: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. ....	161
Tabla 77: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. (Continuación) .....	162
Tabla 77: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. (Continuación) .....	163
Tabla 78: Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. ....	163
Tabla 79: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. ....	169
Tabla 79: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. (Continuación) .....	170
Tabla 79: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. (Continuación) .....	171
Tabla 80: Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. ....	171
Tabla 81: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. ....	175
Tabla 81: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. (Continuación) .....	176
Tabla 81: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. (Continuación) .....	177
Tabla 82: Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. ....	177
Tabla 83: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. ....	181
Tabla 83: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. (Continuación) .....	182
Tabla 83: Resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. (Continuación) .....	183
Tabla 84: Resumen de resultados de resistencia a la tracción para concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. ....	183
Tabla 85: Resultados de resistencia a la abrasión, expresada en porcentaje de desgaste, para los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. ....	190
Tabla 86: Resultados de resistencia a la abrasión, expresada en porcentaje de desgaste, para los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. ....	192

Tabla 87: Dosis óptima de nanosílice de acuerdo a ensayos realizados al concreto y para propósitos de esta investigación.....	196
Tabla 87: Dosis óptima de nanosílice de acuerdo a ensayos realizados al concreto y para propósitos de esta investigación. (Continuación) .....	197
Tabla 88: Resultados parciales y totales de análisis de precios unitarios por m <sup>3</sup> para cada concreto elaborado con cemento Yura tipo I. ....	198
Tabla 89: Resultados parciales y totales de análisis de precios unitarios por m <sup>3</sup> para cada concreto elaborado con cemento Yura tipo IP. ....	200
Tabla 90: Costo/beneficio de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. ....	205
Tabla 91: Costo/beneficio de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. ....	206



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Curva granulométrica M1 del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.....	27
Figura 2: Curva granulométrica M2 del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.....	28
Figura 3: Curva granulométrica M3 del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia.....	29
Figura 4: Curva granulométrica promedio del agregado grueso. Fuente: Elaboración propia. .....	30
Figura 5: Curva granulométrica M1 del agregado fino. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 6: Curva granulométrica M2 del agregado fino. Fuente: Elaboración propia.....	32
Figura 7: Curva granulométrica M3 del agregado fino. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 8: Curva granulométrica promedio del agregado fino. Fuente: Elaboración propia. ...	34
Figura 9: Frasco Le Chatelier de acuerdo a NTP 334.005 (2011). .....	56
Figura 10: Contenido de cemento en los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia.	81
Figura 11: Reducción del contenido de cemento en los concretos optimizados. Fuente: Elaboración propia. ....	82
Figura 12: Molde de acuerdo a NTP 339.035 (2015). .....	83
Figura 13: Comparación de revenimientos entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia. ....	96
Figura 14: Comparación de revenimientos entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia. ....	97
Figura 15: Comparación de revenimientos entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	98
Figura 16: Comparación de pesos unitarios entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia. ....	100
Figura 17: Comparación de pesos unitarios entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia. ....	101
Figura 18: Comparación de pesos unitarios entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	102
Figura 19: Comparación de temperatura entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia.....	104
Figura 20: Comparación de temperatura entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia. ....	105
Figura 21: Comparación de temperaturas entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	106
Figura 22: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	111
Figura 23: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	112
Figura 24: Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	113
Figura 25: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	117

Figura 26: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	118
Figura 27: Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	119
Figura 28: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	123
Figura 29: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	124
Figura 30: Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	125
Figura 31: Comparación de la resistencia a la compresión a 28 días de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia. ....	126
Figura 32: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	131
Figura 33: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	132
Figura 34: Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	133
Figura 35: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	137
Figura 36: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	138
Figura 37: Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	139
Figura 38: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	143
Figura 39: Evolución de la resistencia a la compresión de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	144
Figura 40: Evolución de la resistencia a la compresión de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	145
Figura 41: Comparación de la resistencia a la compresión a 28 días de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia. ....	146
Figura 42: Comparación de la resistencia a la compresión a 28 días de todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	148
Figura 43: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	152
Figura 44: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	153

Figura 45: Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	154
Figura 46: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	158
Figura 47: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	159
Figura 48: Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	160
Figura 49: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	164
Figura 50: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	165
Figura 51: Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	166
Figura 52: Comparación de la resistencia a la tracción a 28 días de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia. ....	167
Figura 53: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	172
Figura 54: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	173
Figura 55: Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.65. Fuente: Elaboración propia. ....	174
Figura 56: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	178
Figura 57: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	179
Figura 58: Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.60. Fuente: Elaboración propia. ....	180
Figura 59: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	184
Figura 60: Evolución de la resistencia a la tracción de los concretos patrón y optimizados con nanosílice elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	185
Figura 61: Evolución de la resistencia a la tracción de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP y relación a/c 0.55. Fuente: Elaboración propia. ....	186
Figura 62: Comparación de la resistencia a la tracción a 28 días de todos los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia. ....	187
Figura 63: Comparación de la resistencia a la tracción a 28 días de todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	189

Figura 64: Comparación de porcentaje de desgaste (donde menos es mejor) entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia. ....	190
Figura 65: Comparación de porcentaje de desgaste (donde menos es mejor) entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia. ....	193
Figura 66: Comparación de porcentaje de desgaste (donde menos es mejor) entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	195
Figura 67: Comparación de costos por m <sup>3</sup> entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia. ....	199
Figura 68: Comparación de costos por m <sup>3</sup> entre los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia. ....	201
Figura 69: Comparación de costos por m <sup>3</sup> entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	202
Figura 70: Resistencia a la compresión a 28 días y costo por m <sup>3</sup> de los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	204
Figura 71: Comparación del costo/beneficio (donde menos es mejor) de los concretos elaborados con cemento Yura tipo I. Fuente: Elaboración propia. ....	205
Figura 72: Comparación del costo/beneficio (donde menos es mejor) de los concretos elaborados con cemento Yura tipo IP. Fuente: Elaboración propia. ....	207
Figura 73: Comparación del costo/beneficio entre todos los concretos elaborados. Fuente: Elaboración propia. ....	208
Figura 74: Gaia Nanosílice. Fuente: Elaboración propia. ....	235
Figura 75: Peso específico del cemento. Fuente: Elaboración propia. ....	235
Figura 76: Ensayos al concreto en estado fresco. Fuente: Elaboración propia. ....	235
Figura 77: Revenimiento de muestras de concreto con nanosílice (izquierda) y optimizado con este aditivo (derecha). Fuente: Elaboración propia. ....	236
Figura 78: Probetas y cubos de concreto codificados. Fuente: Elaboración propia. ....	236
Figura 79: Curado de probetas y cubos de concreto. Fuente: Elaboración propia. ....	236
Figura 80: Compresión y tracción de probetas. Fuente: Elaboración propia. ....	237
Figura 81: Ensayo de abrasión con cubos de concreto. Fuente: Elaboración propia. ....	237

## LISTA DE ECUACIONES

Ecuación (1): Porcentaje retenido en tamiz. ....	24
Ecuación (2): Primer porcentaje retenido acumulado.....	24
Ecuación (3): Segundo a último porcentaje retenido acumulado. ....	24
Ecuación (4): Porcentaje pasante en tamiz. ....	24
Ecuación (5): Módulo de fineza.....	24
Ecuación (6): Volumen interno de recipiente cilíndrico.....	38
Ecuación (7): Peso unitario suelto y compactado del agregado. ....	38
Ecuación (8): Peso específico de masa del agregado grueso.....	44
Ecuación (9): Peso específico de masa saturado superficialmente seco del agregado grueso.....	44
Ecuación (10): Peso específico aparente del agregado grueso. ....	44
Ecuación (11): Porcentaje de absorción del agregado grueso. ....	44
Ecuación (12): Densidad de masa del agregado fino.....	47
Ecuación (13): Peso específico saturado superficialmente seco del agregado fino.....	47
Ecuación (14): Peso específico aparente del agregado fino.....	47
Ecuación (15): Porcentaje de absorción del agregado fino.....	47
Ecuación (16): Contenido de humedad de los agregados. ....	50
Ecuación (17): Porcentaje de desgaste del agregado grueso. ....	54
Ecuación (18): Densidad del cemento Pórtland.....	57
Ecuación (19): $f'_{cr 1}$ .....	60
Ecuación (20): $f'_{cr 2}$ .....	60
Ecuación (21): Peso del agregado corregido por humedad. ....	66
Ecuación (22): Aporte de agua del agregado.....	66
Ecuación (23): Proporciones en peso de los materiales.....	67
Ecuación (24): Incidencia del agregado fino sobre el volumen absoluto total de agregados. ....	69
Ecuación (25): Incidencia del agregado grueso sobre el volumen absoluto total de agregados. ....	69
Ecuación (26): Nuevo volumen absoluto de agregados.....	69
Ecuación (27): Nueva cantidad de agregado por $m^3$ .....	69
Ecuación (28): Volumen absoluto del agregado grueso. ....	73
Ecuación (29): Resistencia a la tracción del concreto. ....	92

## PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 74: Gaia Nanosíllice. Fuente: Elaboración propia.



Figura 75: Peso específico del cemento. Fuente: Elaboración propia.



Figura 76: Ensayos al concreto en estado fresco. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 77:* Revenimiento de muestras de concreto con nanoslice (izquierda) y optimizado con este aditivo (derecha). Fuente: Elaboración propia.



*Figura 78:* Probetas y cubos de concreto codificados. Fuente: Elaboración propia.



*Figura 79:* Curado de probetas y cubos de concreto. Fuente: Elaboración propia.



Figura 80: Compresión y tracción de probetas. Fuente: Elaboración propia.



Figura 81: Ensayo de abrasión con cubos de concreto. Fuente: Elaboración propia.

## ANEXOS

### ANEXO A: FICHAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

VERSIÓN: 2012 - CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I

## CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I



#### DESCRIPCIÓN:



El Cemento Portland Yura Tipo I, es elaborado con Clinker de Alta Calidad y Yeso, molidos industrialmente hasta lograr un alto grado de finura. Cumple con la norma NTP 334.009 y la ASTM C150.

Su fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001.

#### USOS Y APLICACIONES

El cemento portland Yura tipo I, puede ser utilizado en todo tipo de construcción, que no requiera de propiedades especiales.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

REQUERIMIENTOS QUÍMICOS	CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I	NORMA TÉCNICA NTP 334.009 - ASTM C150
Óxido de Magnesio, MgO, %	2.55	6.00 Máximo
Trióxido de Azufre, SO <sub>3</sub> , %	2.10	3.00 Máximo
Pérdida por Ignición o al Fuego, P.F. %	0.60	3.00 Máximo
Residuo Insoluble, R.I. %	0.55	0.75 Máximo

REQUERIMIENTOS FÍSICOS	CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I	NORMA TÉCNICA NTP 334.009 - ASTM C150
Finura( Superficie Especifica - Blaine), cm <sup>2</sup> /g	3150	2600 Mínimo
Expansión en Autoclave, %	0.07	0.80 Máximo
Tiempo de Fraguado, Ensayo Vicat, minutos		
Tiempo de Fraguado (Inicial)	140	45 Mínimo
Tiempo de Fraguado (Final)	160	420 Máximo
Contenido de Aire del mortero, %	5.55	12.00 Máximo
Resistencia a la compresión, Kgf/cm <sup>2</sup>		Mínimo:
01 día	135	-
03 días	240	122.36
07 días	330	193.75
28 días	430	-

**EL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA Y DURABILIDAD**

VERSIÓN: 2012 - CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I

## CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I



### PRESENTACIONES DISPONIBLES

- Bolsa 42.5 kg Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
- Big Bag 1.0TM Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
- Big Bag 1.5 TM Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
- Granel Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

### ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corrientes de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas de altura en 2 pallet de altura.

### RECOMENDACION DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Galetes  
Impermeables



Protección  
Ocular



Botas  
Impermeables



Protección  
Respiratoria

EL CEMENTO DE **ALTA RESISTENCIA** Y DURABILIDAD



FICHA TÉCNICA / Versión 2018

# IP CEMENTO MULTI-PROPÓSITO Alta Durabilidad

## DESCRIPCIÓN

**EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP** es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del Intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

*Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.*

## DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

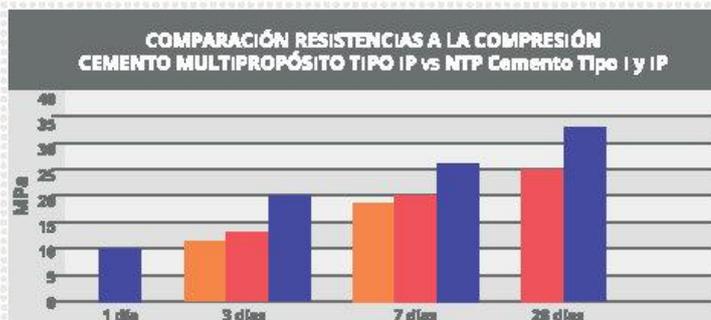
## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.000 ASTM C-595		REQUISITOS NORMA NTP 334.000 ASTM C-595 (CEMENTO TIPO 0)	
REQUISITOS QUÍMICOS			kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
MgO (%)	1.5 a 2.4		6.00 Máx.			
SO <sub>3</sub> (%)	1.5 a 2.3		4.00 Máx.			
Pérdida por Ignición (%)	1.5 a 3.8		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.77 a 2.85		-			
Expansión en autoclave (%)	-0.05 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat Inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx.			
Resistencia a la compresión	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa	kg/cm <sup>2</sup>	MPa
1 día	80 a 104	7.8 a 10.2	-	-	-	-
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Mín.	13	122 Mín.	12
7 días	225 a 260	22.0 a 25.4	204 Mín.	20	194 Mín.	19
28 días	306 a 350	30.0 a 34.3	255 Mín.	25	-	-
Resistencia a los sulfatos			%			
% Expansión a los 6 meses	< 0.021%		0.05 Máx.			
% Expansión a 1 año	< 0.023%		0.10 Máx.			

**YURA**

FICHA TÉCNICA / Versión 2019

**COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS**



- CEMENTO TIPO I  
NORMA TÉCNICA  
NTP 334.009 (ASTM C150)
- CEMENTO TIPO IP  
NORMA TÉCNICA  
NTP 334.090 (ASTM C595)
- CEMENTO MULTI-PROPÓSITO  
YURA TIPO IP

**PROPIEDADES**

**1 ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolanas, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

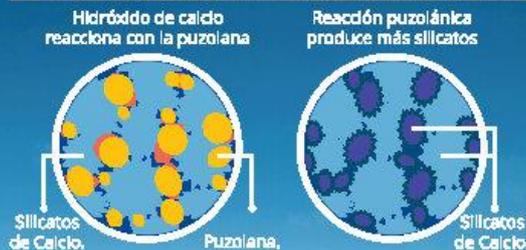
Los aluminosilicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

**CON CEMENTO TIPO I**

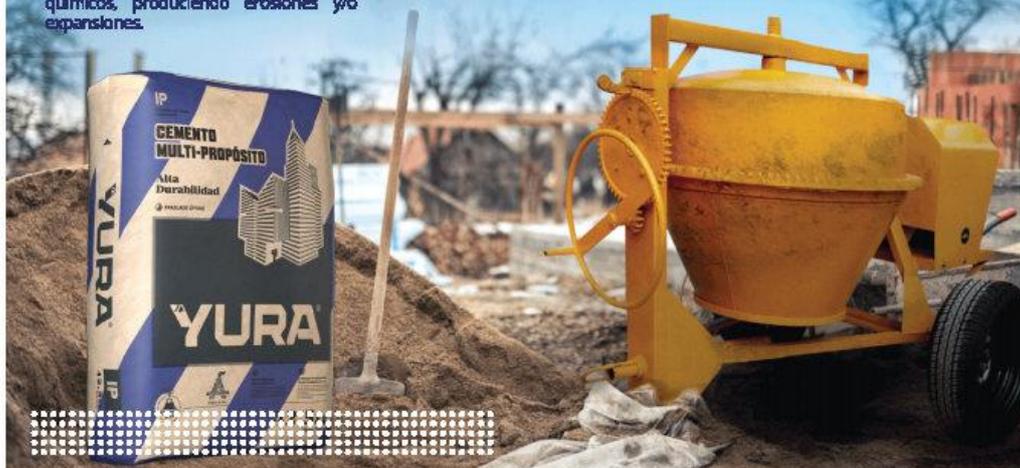


El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

**CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP**



La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.



**YURA**

**2 RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS**

El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio deshidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es resistente a los sulfatos, cloruros y al ataque químico de otros iones agresivos.

Resultados de laboratorio demuestran que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.



**3 MAYOR IMPERMEABILIDAD**

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los aluminosilicatos de la puzolana con los hidróxidos de calcio producidos en la hidratación del cemento, disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace más impermeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

**4 REDUCE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO**

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali - agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos.

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.



**RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD**

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:

**BENEFICIOS AMBIENTALES**

- Menor consumo energético.
- Cemento fabricado con menor emisión de CO<sub>2</sub>.



Botas Impermeables



Protección Respiratoria



Gauchos Impermeables



Protección Ocular

FICHA TÉCNICA / Versión 2018

**YURA**



### ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

### PRESENTACIONES DISPONIBLES

<b>Bolsas 25 Kg</b>	Ergonómico. Ideal para proyectos pequeños y pocas áreas de almacenamiento.
<b>Bolsas 42.5 Kg</b>	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
<b>Big Bag 1.0 TM</b>	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
<b>Big Bag 1.5 TM</b>	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
<b>Granel</b>	Abastecido en bombonas para descargar en silos cortenedores.

### NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAÍS	NORMA	DENOMINACIÓN	
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.090	Cemento Portland Pozolánico	TIPO IP
NORMA CHILENA	NCh 148 07.68	Cemento Pozolánico	GRADO CORRIENTE
NORMA AMERICANA	ASTM C595	Portland Pozzolan Cement	TYPE IP
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Pozolánico	TIPO P 30
NORMA ECUATORIANA	NTE INEN 490	Cemento Portland Pozolánico	TIPO IP
NORMA BRASILEÑA	NBR 5786	Cimento Portland pozolánico	TIPO CP IV 32
NORMA COLOMBIANA	NTC 121 - 321	Cemento Portland	TIPO 1

### DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.

**YURA**



Cuidemos juntos el medio ambiente.  
Big Bag: Se sugiere desechar como basura común.  
Bolsas: Se sugiere reciclar el envase.





## GAIA Nanosilice

Adicionante a cementos para  
concretos de altas prestaciones

Fecha de Emisión: Mar 10, 05  
Revisión: 11  
Fecha de Revisión: Ago 26, 16  
Página 1 de 1

### Descripción

GAIA Nanosilice es el primer adiconante base nanosilice generado durante 2004 por la sinergia Scitech Cognoscible / Ulmen.

Pertenece a la línea GAIA NANOSILICE, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento.

### Aspectos Técnicos

Elimina el total de la sílice en polvo en cualquiera de sus alternativas, y también los superplastificantes, reduciendo al mínimo los reductores plastificantes.

Con GAIA Nanosilice se obtiene concretos de alto rendimiento : 70 MPa a R28.

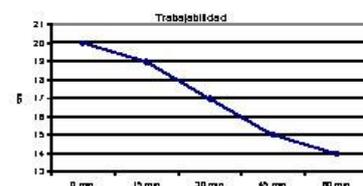
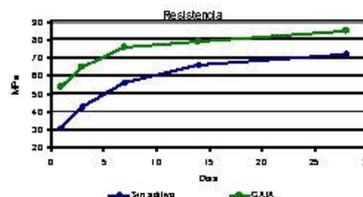
Ideal para concretos tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores al vaciado, con adecuadas dosificaciones, que permiten obtener hormigones impermeables según norma DIN 1048 o Nch 2262.

### Propiedades

Consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario, y - - - es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

### Duración

6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008



H-70 con 1,5% de GAIA

### Dosis

Se recomienda su uso en dosis de 0,5 a 3% en base al peso del cemento. Para dosis fuera de este rango, contacte al equipo técnico ULMEN.

### Presentación

Bidón plástico de 230 Kg.  
Contenedor retornable de 1.000 kg

### Propiedades Físicas

Aspecto : Líq. Levemente viscoso.  
Color : Blanco  
Densidad : 1,032 ± 0,004 g/mL  
pH : 5 ± 1  
Viscosidad : 14 ± 1 (s) (C.Ford N°4)

### Clasificación

Gaia Nanosilice no tiene clasificación normada, sin embargo cumple como aditivo superplastificante tipo F, según NCh 2182-2010

Lautaro # 2430 – Tel. (56-2) 28973468 – (56-2) 25952838 – La Pintana  
Santiago – Chile

[www.cognoscibletechnologies.com](http://www.cognoscibletechnologies.com)

[www.ulmen.cl](http://www.ulmen.cl)

[atencionalcliente@ulmen.cl](mailto:atencionalcliente@ulmen.cl)



Fabricación y Comercialización de Aditivos para Concretos

CERTIFICADO DE CALIDAD

El departamento de Control de Calidad de Industrias ULMEN S.A., certifica que el producto identificado a continuación cumple los requisitos de uniformidad indicados en la tabla 7 de la norma NCh 2182 of 95 fact/ ASTM C494. y con nuestros estándares de calidad.

Producto : GAIA  
Lote : 14951218  
Fabricado : 13/12/2018  
Vence : 13/06/2019

Los parámetros controlados se muestran a continuación

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Densidad	1,03 ± 0,02 (g/mL)	1,031
Viscosidad	14 ± 1 (segundos)	13,69
pH	6 ± 1	5,1

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenados en lugar fresco y protegido del sol, según recomendaciones por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001



Encargado control de Calidad  
Industrias Ulmen S.A.

[www.ulmen.cl](http://www.ulmen.cl)

[ulmen@ulmen.cl](mailto:ulmen@ulmen.cl)



HOJA DE SEGURIDAD

GAIA NANOSILICE

Fecha de Emisión: Sept 18, 15  
Revisión:  
Fecha de Revisión:  
Página 1 de 2

SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR

Nombre del producto : **GAIA NANOSILICE**  
Clasificación : Aditivo para Concretos  
Vida útil : 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado  
Por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001  
Proveedor : INDUSTRIAS ULMEN S.A.  
E-mail : [atencionalcliente@ulmen.cl](mailto:atencionalcliente@ulmen.cl)  
Página Web : [www.ulmen.cl](http://www.ulmen.cl)  
Fono Emergencia : (56 -2) 28543667

**Toda llamada de emergencia dentro y/o fuera del país será reembolsada previa revisión**



SECCION 2: COMPOSICIÓN/ INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Nombre químico : Mezcla de sales de sodio y ácidos carboxílicos.  
Fórmula química : Confidencial  
N° CAS : No aplica

SECCION 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Marca en etiqueta : Rombo NFPA  
Clasificación de Salud (1) / Inflamabilidad (0)  
Reactividad (0) / Riesgo Especial (0)  
Riesgos : Ninguno  
Peligros para la salud : Ninguno



SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos : Lavar con abundante agua durante 15 min. Referir al médico  
Contacto con la piel : Lavar de inmediato con agua y jabón  
Inhalación : Dar aire fresco si fuese necesario  
Ingestión : Enjuagar boca con agua tibia. Referir al médico

SECCION 5: MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO

Agentes extintores : No inflamable ni combustible. Actuar según tipo de fuego existente  
Protección especial : Ninguna  
Proce. Especiales : No aplica  
Riesgo explosión : No aplica

SECCION 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

Medidas de emergencia : Lavar con agua y trapear  
Protección personal : Antiparras y guantes  
Daños al ambiente : Ninguno, líquido inofensivo  
Métodos de eliminación : Tratar como líquido inofensivo

SECCION 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación : Usar antiparras y guantes  
Almacenamiento : Almacenar en lugar fresco y seco  
Embalajes : Almacenar sólo en envase original

SECCION 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN ESPECIAL

Medidas por exposición : No se requiere  
Protección respiratoria : No se requiere  
Protección de los ojos : Antiparras

[www.cognoscibletechnologies.com](http://www.cognoscibletechnologies.com)

[www.ulmen.cl](http://www.ulmen.cl)

[atencionalcliente@ulmen.cl](mailto:atencionalcliente@ulmen.cl)



HOJA DE SEGURIDAD  
GAIA NANOSILICE

Fecha de Emisión: Sept 18, 15  
Revisión:  
Fecha de Revisión:  
Página 2 de 2

SECCION 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico	:	Líquido
Color	:	Café Claro
Olor	:	Característico
pH	:	6 ± 1
Densidad a 20° C	:	1,03 ± 0,02 (g/mL)
Viscosidad (Copa Ford N°4)	:	14 ± 1 seg.
Inflamación, Combustión, Explosión	:	No inflamable, No combustible, No explosivo
Solubilidad	:	Completamente soluble en agua

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	:	Estable bajo condiciones normales
Reactividad	:	Ninguna

SECCION 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda	:	Por ingestión, dosis > 4000 mg/kg
Efectos peligrosos para la salud	:	Ninguno

SECCION 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Inestabilidad	:	Estable
Persistencia/ degradabilidad	:	Los métodos para determinación de la biodegradabilidad No son aplicables a sustancias inorgánicas
Bio-acumulación	:	No aplica

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

Método de eliminación del producto	:	Debe tratarse como líquido inofensivo
Eliminación de envases	:	Depositar en vertedero autorizado según Legislación vigente

SECCION 14: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

NCh 2190	:	No aplica
Código NFPA	:	Salud. 1/ Inflam. 0/ React. 0/ Riesgo Especial: 0
N° UN	:	No clasificado

SECCION 15: NORMAS VIGENTES

Normas internacionales aplicables	:	ASTMC-494
Normas nacionales aplicables	:	Ley N° 28256
Marca en etiqueta	:	Código NFPA

SECCION 16: OTRAS INFORMACIONES

El formato de esta hoja de seguridad cumple con ley N° 28256, Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.  
La información contenida se entrega de buena fe y voluntariamente. ULMEN S.A. no se hace responsable por el buen o mal uso de esta información. Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, ULMEN S.A. no asume responsabilidad alguna por este concepto. Las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

[www.cognoscibletechnologies.com](http://www.cognoscibletechnologies.com)

[www.ulmen.cl](http://www.ulmen.cl)

[atencionalcliente@ulmen.cl](mailto:atencionalcliente@ulmen.cl)

## ANEXO B: SELECCIÓN DE VALORES QUE NO FUERON CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DEL PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS A COMPRESIÓN Y A TRACCIÓN

Para realizar esto se calculó la desviación estándar muestral por cada día de rotura para cada diseño realizado. Luego se hallaron los límites superiores e inferiores respecto a la media y se descartó aquellos valores fuera de estos y en los casos donde todos los valores se encontraron dentro de este rango, se descartaron los más cercanos a los límites. A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos:

### Yura tipo I

Código de diseño	a/c 0.65					
	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	Resistencia a la...	3	7	28	3	7
Edad						
ProbetaN°1	124.80	222.69	291.21	17.20	22.63	25.82
ProbetaN°2	139.59	216.05	290.78	16.70	21.29	27.75
ProbetaN°3	119.17	189.35	286.03	15.74	19.89	29.30
ProbetaN°4	132.35	206.33	289.77	21.25	22.50	28.45
Promedio	128.98	208.60	289.45	17.72	21.58	27.83
Desviación estándar	8.90	14.49	2.36	2.43	1.28	1.48
Límite superior	137.88	223.09	291.80	20.15	22.86	29.31
Límite inferior	120.08	194.11	287.09	15.30	20.30	26.35

Código de diseño	a/c 0.65 nS=0.5%					
	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
	Resistencia a la...	3	7	28	3	7
Edad						
ProbetaN°1	156.30	239.10	246.92	14.28	24.36	30.61
ProbetaN°2	160.37	237.54	293.20	17.06	23.16	29.48
ProbetaN°3	148.58	208.12	284.66	17.72	23.63	23.84
ProbetaN°4	146.91	217.11	293.45	20.54	30.25	32.04
Promedio	153.04	225.47	279.56	17.40	25.35	28.99
Desviación estándar	6.37	15.30	22.14	2.57	3.31	3.59
Límite superior	159.41	240.77	301.69	19.97	28.66	32.58
Límite inferior	146.67	210.17	257.42	14.83	22.04	25.40

Código de diseño	a/c 0.65 nS=0.7%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	140.10	214.73	295.62	18.48	24.84	32.02
ProbetaN°2	133.06	215.04	286.74	16.96	25.09	28.53
ProbetaN°3	147.71	206.56	269.39	16.90	24.86	28.18
ProbetaN°4	139.42	214.54	277.90	22.11	24.16	29.36
<b>Promedio</b>	140.07	212.72	282.41	18.61	24.74	29.52
<b>Desviación estándar</b>	6.00	4.11	11.30	2.44	0.40	1.74
<b>Límite superior</b>	146.07	216.82	293.71	21.06	25.14	31.26
<b>Límite inferior</b>	134.07	208.61	271.11	16.17	24.34	27.78

Código de diseño	a/c 0.65 nS=0.5% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	146.59	214.73	292.65	16.75	27.10	29.53
ProbetaN°2	139.15	220.40	291.92	16.32	22.29	30.46
ProbetaN°3	121.98	215.95	252.93	12.93	22.77	31.86
ProbetaN°4	144.26	222.61	306.33	18.02	25.74	35.43
<b>Promedio</b>	138.00	218.42	285.96	16.00	24.47	31.82
<b>Desviación estándar</b>	11.12	3.71	23.00	2.17	2.33	2.59
<b>Límite superior</b>	149.12	222.13	308.95	18.18	26.80	34.41
<b>Límite inferior</b>	126.88	214.71	262.96	13.83	22.15	29.23

Código de diseño	a/c 0.65 nS=0.7% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	159.33	238.99	294.17	17.78	20.36	25.73
ProbetaN°2	146.53	206.72	292.45	16.83	22.39	30.11
ProbetaN°3	116.16	182.01	261.10	12.31	28.97	26.64
ProbetaN°4	150.81	246.04	334.47	17.04	24.19	26.63
<b>Promedio</b>	143.21	218.44	295.55	15.99	23.98	27.28
<b>Desviación estándar</b>	18.80	29.71	30.07	2.49	3.68	1.94
<b>Límite superior</b>	162.01	248.15	325.62	18.48	27.66	29.21
<b>Límite inferior</b>	124.41	188.73	265.47	13.50	20.30	25.34

Código de diseño	a/c 0.60					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	151.86	250.02	326.14	17.47	25.07	29.74
ProbetaN°2	171.68	225.07	314.82	19.32	24.00	27.68
ProbetaN°3	152.63	236.05	313.52	21.59	26.12	33.74
ProbetaN°4	155.91	249.79	298.29	19.50	27.20	39.83
<b>Promedio</b>	158.02	240.23	313.20	19.47	25.60	32.75
<b>Desviación estándar</b>	9.28	12.04	11.44	1.69	1.38	5.35
<b>Límite superior</b>	167.29	252.27	324.64	21.16	26.97	38.10
<b>Límite inferior</b>	148.74	228.20	301.76	17.79	24.22	27.40

Código de diseño	a/c 0.60 nS=0.5%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	176.18	248.12	339.20	24.18	29.82	23.08
ProbetaN°2	136.34	257.39	318.23	17.87	24.26	32.07
ProbetaN°3	150.54	259.00	332.61	15.26	27.43	32.05
ProbetaN°4	175.23	269.59	357.56	17.02	28.27	32.76
<b>Promedio</b>	159.57	258.53	336.90	18.58	27.45	29.99
<b>Desviación estándar</b>	19.51	8.80	16.32	3.89	2.35	4.62
<b>Límite superior</b>	179.08	267.32	353.22	22.47	29.79	34.61
<b>Límite inferior</b>	140.06	249.73	320.58	14.70	25.10	25.37

Código de diseño	a/c 0.60 nS=0.7%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	189.98	276.94	341.60	18.44	26.82	33.75
ProbetaN°2	189.53	262.80	326.98	20.57	29.82	28.96
ProbetaN°3	181.95	278.27	327.40	21.32	30.27	32.34
ProbetaN°4	179.96	258.95	335.65	17.59	31.69	30.67
<b>Promedio</b>	185.36	269.24	332.91	19.48	29.65	31.43
<b>Desviación estándar</b>	5.15	9.80	7.04	1.75	2.05	2.07
<b>Límite superior</b>	190.51	279.04	339.94	21.23	31.70	33.50
<b>Límite inferior</b>	180.20	259.43	325.87	17.73	27.60	29.36

Código de diseño	a/c 0.60 nS=0.5% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	158.36	243.77	333.42	18.77	30.51	26.97
ProbetaN°2	156.32	238.69	322.27	14.41	21.05	38.44
ProbetaN°3	136.87	215.16	295.62	16.33	23.30	30.49
ProbetaN°4	132.72	237.88	319.29	16.40	23.49	17.50
<b>Promedio</b>	146.07	233.87	317.65	16.48	24.59	28.35
<b>Desviación estándar</b>	13.15	12.75	15.90	1.79	4.10	8.68
<b>Límite superior</b>	159.22	246.62	333.55	18.27	28.69	37.03
<b>Límite inferior</b>	132.92	221.12	301.76	14.69	20.49	19.67

Código de diseño	a/c 0.60 nS=0.7% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	152.77	268.11	341.97	18.36	25.02	29.22
ProbetaN°2	144.68	253.96	315.45	15.98	17.46	26.14
ProbetaN°3	149.52	231.96	331.05	15.46	23.05	34.67
ProbetaN°4	175.67	252.20	362.91	20.94	25.27	32.19
<b>Promedio</b>	155.66	251.56	337.85	17.68	22.70	30.55
<b>Desviación estándar</b>	13.75	14.88	19.94	2.51	3.63	3.69
<b>Límite superior</b>	169.41	266.44	357.79	20.19	26.33	34.25
<b>Límite inferior</b>	141.91	236.68	317.91	15.17	19.07	26.86

Código de diseño	a/c 0.55					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	218.00	327.18	376.55	20.53	29.29	34.49
ProbetaN°2	175.57	265.05	362.40	23.29	29.17	33.47
ProbetaN°3	189.65	207.21	347.87	23.66	24.42	38.31
ProbetaN°4	206.92	287.58	396.12	28.70	24.69	30.19
<b>Promedio</b>	197.53	271.75	370.74	24.04	26.89	34.11
<b>Desviación estándar</b>	18.73	50.11	20.58	3.40	2.70	3.34
<b>Límite superior</b>	216.26	321.87	391.31	27.45	29.59	37.46
<b>Límite inferior</b>	178.81	221.64	350.16	20.64	24.19	30.77

Código de diseño	a/c 0.55 nS=0.5%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	212.47	334.08	397.18	24.78	28.16	42.05
ProbetaN°2	218.85	297.34	392.04	20.59	32.06	32.76
ProbetaN°3	211.49	311.04	402.03	21.21	34.18	34.91
ProbetaN°4	200.76	304.58	404.48	20.43	31.97	33.17
<b>Promedio</b>	210.89	311.76	398.93	21.75	31.59	35.72
<b>Desviación estándar</b>	7.50	15.89	5.51	2.05	2.51	4.32
<b>Límite superior</b>	218.39	327.65	404.44	23.80	34.10	40.04
<b>Límite inferior</b>	203.39	295.87	393.42	19.71	29.09	31.40

Código de diseño	a/c 0.55 nS=0.7%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	224.85	303.27	424.03	22.73	22.93	35.04
ProbetaN°2	220.49	311.77	403.51	24.38	32.77	42.37
ProbetaN°3	214.50	295.35	415.89	25.78	33.01	34.77
ProbetaN°4	225.96	314.52	405.44	21.91	37.34	35.24
<b>Promedio</b>	221.45	306.23	412.21	23.70	31.51	36.86
<b>Desviación estándar</b>	5.20	8.69	9.57	1.73	6.09	3.68
<b>Límite superior</b>	226.65	314.92	421.78	25.43	37.60	40.54
<b>Límite inferior</b>	216.25	297.54	402.64	21.97	25.42	33.17

Código de diseño	a/c 0.55 nS=0.5% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	201.84	309.06	412.42	16.92	23.18	33.09
ProbetaN°2	192.35	291.70	430.04	17.58	28.77	26.47
ProbetaN°3	203.39	293.45	410.36	24.54	32.40	28.54
ProbetaN°4	195.69	285.81	415.17	22.74	23.34	32.35
<b>Promedio</b>	198.32	295.00	417.00	20.45	26.92	30.11
<b>Desviación estándar</b>	5.19	9.92	8.91	3.77	4.48	3.14
<b>Límite superior</b>	203.51	304.93	425.91	24.22	31.41	33.25
<b>Límite inferior</b>	193.13	285.08	408.09	16.67	22.44	26.97

Código de diseño	a/c 0.55 nS=0.7% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	227.77	297.19	394.71	28.80	24.84	34.25
ProbetaN°2	203.01	308.32	367.55	20.96	28.33	37.15
ProbetaN°3	208.15	301.45	345.29	20.84	34.80	29.37
ProbetaN°4	188.84	306.60	388.67	23.75	26.76	28.50
Promedio	206.94	303.39	374.05	23.59	28.68	32.32
Desviación estándar	16.11	5.06	22.44	3.73	4.32	4.10
Límite superior	223.05	308.45	396.49	27.32	33.00	36.41
Límite inferior	190.84	298.33	351.62	19.86	24.37	28.22

### Yura tipo IP

Código de diseño	a/c 0.65					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	69.95	86.02	151.11	8.15	11.95	16.21
ProbetaN°2	78.20	103.64	145.01	8.17	9.83	19.81
ProbetaN°3	74.10	97.57	143.30	11.02	12.76	18.20
ProbetaN°4	66.10	101.50	113.00	8.70	10.44	15.24
Promedio	72.09	97.18	138.10	9.01	11.25	17.36
Desviación estándar	5.22	7.85	17.07	1.36	1.35	2.04
Límite superior	77.31	105.03	155.17	10.37	12.59	19.41
Límite inferior	66.87	89.33	121.04	7.65	9.90	15.32

Código de diseño	a/c 0.65 nS=0.5%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	52.94	104.33	164.37	8.43	11.34	14.22
ProbetaN°2	53.78	109.27	163.49	8.43	15.43	20.18
ProbetaN°3	51.42	113.90	168.39	8.85	11.70	17.68
ProbetaN°4	56.37	106.47	151.08	9.14	11.39	24.96
Promedio	53.63	108.49	161.83	8.71	12.47	19.26
Desviación estándar	2.07	4.13	7.48	0.35	1.98	4.52
Límite superior	55.70	112.63	169.31	9.06	14.45	23.78
Límite inferior	51.55	104.36	154.35	8.37	10.48	14.74

Código de diseño	a/c 0.65 nS=0.7%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	54.23	100.75	161.71	10.32	12.53	16.02
ProbetaN°2	58.05	111.91	160.99	9.90	11.11	19.10
ProbetaN°3	57.73	95.74	156.16	10.61	12.85	21.07
ProbetaN°4	57.85	110.10	156.31	9.19	13.55	15.95
Promedio	56.96	104.62	158.79	10.01	12.51	18.03
Desviación estándar	1.83	7.68	2.97	0.61	1.02	2.50
Límite superior	58.79	112.30	161.76	10.62	13.54	20.54
Límite inferior	55.13	96.94	155.82	9.39	11.49	15.53

Código de diseño	a/c 0.65 nS=0.5% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	83.15	107.33	141.31	9.17	10.56	19.74
ProbetaN°2	74.85	109.25	155.69	10.77	14.73	21.65
ProbetaN°3	61.93	100.07	139.61	9.09	12.06	15.17
ProbetaN°4	80.81	108.89	150.95	11.55	13.61	16.54
<b>Promedio</b>	75.18	106.38	146.89	10.14	12.74	18.27
<b>Desviación estándar</b>	9.50	4.29	7.70	1.22	1.82	2.95
<b>Límite superior</b>	84.69	110.67	154.59	11.36	14.56	21.23
<b>Límite inferior</b>	65.68	102.09	139.19	8.93	10.92	15.32

Código de diseño	a/c 0.65 nS=0.7% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	78.69	110.94	123.13	10.39	14.48	19.31
ProbetaN°2	82.28	105.86	161.48	11.15	12.97	16.76
ProbetaN°3	73.98	93.84	158.97	10.44	11.14	21.87
ProbetaN°4	79.62	116.36	166.69	9.64	14.68	20.59
<b>Promedio</b>	78.64	106.75	152.57	10.40	13.32	19.63
<b>Desviación estándar</b>	3.46	9.62	19.89	0.62	1.64	2.18
<b>Límite superior</b>	82.10	116.36	172.46	11.02	14.96	21.81
<b>Límite inferior</b>	75.18	97.13	132.68	9.79	11.68	17.45

Código de diseño	a/c 0.60					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	102.41	136.01	185.98	10.14	15.19	21.32
ProbetaN°2	89.79	127.00	177.13	11.21	12.97	19.05
ProbetaN°3	87.95	125.52	176.69	9.36	16.89	20.62
ProbetaN°4	86.84	124.83	167.79	9.24	13.14	27.77
<b>Promedio</b>	91.75	128.34	176.90	9.99	14.55	22.19
<b>Desviación estándar</b>	7.21	5.19	7.43	0.91	1.86	3.84
<b>Límite superior</b>	98.96	133.53	184.33	10.90	16.40	26.03
<b>Límite inferior</b>	84.54	123.15	169.47	9.08	12.69	18.35

Código de diseño	a/c 0.60 nS=0.5%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	96.87	126.35	169.62	10.71	13.73	21.01
ProbetaN°2	98.95	129.06	175.53	11.73	11.67	19.34
ProbetaN°3	98.89	131.37	163.32	11.38	14.84	18.12
ProbetaN°4	98.28	127.11	182.47	11.18	15.16	24.76
<b>Promedio</b>	98.25	128.47	172.74	11.25	13.85	20.81
<b>Desviación estándar</b>	0.97	2.24	8.19	0.43	1.57	2.89
<b>Límite superior</b>	99.22	130.72	180.92	11.68	15.42	23.70
<b>Límite inferior</b>	97.28	126.23	164.55	10.82	12.28	17.92

Código de diseño	a/c 0.60 nS=0.7%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	86.44	134.09	172.47	10.81	15.63	21.22
ProbetaN°2	87.01	126.07	174.64	10.59	13.12	20.68
ProbetaN°3	77.27	110.77	135.54	11.08	14.93	18.47
ProbetaN°4	83.32	121.98	177.23	10.76	15.96	20.27
Promedio	83.51	123.23	164.97	10.81	14.91	20.16
Desviación estándar	4.46	9.71	19.71	0.20	1.27	1.19
Límite superior	87.97	132.93	184.68	11.01	16.18	21.35
Límite inferior	79.05	113.52	145.26	10.61	13.64	18.97

Código de diseño	a/c 0.60 nS=0.5% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	88.39	115.09	178.30	10.57	15.47	19.81
ProbetaN°2	88.12	124.17	152.69	12.30	15.68	16.56
ProbetaN°3	77.59	117.54	165.55	12.18	17.41	22.43
ProbetaN°4	88.84	128.58	165.10	12.88	12.89	23.96
Promedio	85.74	121.35	165.41	11.98	15.36	20.69
Desviación estándar	5.44	6.16	10.45	0.99	1.86	3.24
Límite superior	91.18	127.51	175.86	12.98	17.22	23.93
Límite inferior	80.30	115.19	154.96	10.99	13.50	17.45

Código de diseño	a/c 0.60 nS=0.7% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	83.10	131.71	151.62	11.03	12.14	22.53
ProbetaN°2	82.64	114.62	171.65	11.41	13.72	19.83
ProbetaN°3	83.90	113.51	154.32	9.85	14.24	20.90
ProbetaN°4	81.10	124.21	161.49	9.62	14.80	17.30
Promedio	82.69	121.01	159.77	10.48	13.73	20.14
Desviación estándar	1.18	8.60	8.95	0.88	1.14	2.20
Límite superior	83.86	129.61	168.72	11.36	14.87	22.33
Límite inferior	81.51	112.42	150.82	9.60	12.58	17.94

Código de diseño	a/c 0.55					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	104.78	161.45	231.75	10.05	21.00	21.10
ProbetaN°2	110.67	144.02	217.95	14.38	17.86	24.41
ProbetaN°3	107.55	155.83	220.70	13.13	18.62	30.26
ProbetaN°4	116.81	164.08	223.51	10.53	16.77	24.60
Promedio	109.95	156.34	223.48	12.02	18.56	25.09
Desviación estándar	5.16	8.91	5.96	2.07	1.79	3.80
Límite superior	115.12	165.25	229.44	14.09	20.36	28.89
Límite inferior	104.79	147.43	217.51	9.95	16.77	21.29

Código de diseño	a/c 0.55 nS=0.5%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	124.14	180.61	228.00	13.04	19.92	21.18
ProbetaN°2	124.98	168.59	225.31	11.28	17.17	22.11
ProbetaN°3	122.54	170.22	222.62	11.85	19.37	27.73
ProbetaN°4	125.36	164.72	233.66	13.86	16.58	23.49
<b>Promedio</b>	124.25	171.03	227.40	12.51	18.26	23.63
<b>Desviación estándar</b>	1.25	6.79	4.72	1.16	1.63	2.90
<b>Límite superior</b>	125.50	177.82	232.11	13.67	19.89	26.53
<b>Límite inferior</b>	123.01	164.24	222.68	11.35	16.62	20.73

Código de diseño	a/c 0.55 nS=0.7%					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	111.10	153.30	233.48	14.37	17.19	25.95
ProbetaN°2	117.12	172.93	238.29	16.01	19.96	19.20
ProbetaN°3	109.73	160.87	220.53	13.90	19.60	22.05
ProbetaN°4	118.62	164.93	228.92	14.66	21.28	24.65
<b>Promedio</b>	114.14	163.01	230.31	14.74	19.51	22.96
<b>Desviación estándar</b>	4.38	8.18	7.56	0.91	1.71	2.99
<b>Límite superior</b>	118.53	171.19	237.86	15.64	21.21	25.95
<b>Límite inferior</b>	109.76	154.83	222.75	13.83	17.80	19.97

Código de diseño	a/c 0.55 nS=0.5% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	121.04	155.35	214.54	16.53	14.70	22.50
Probeta N°2	111.63	153.13	210.78	13.36	16.50	21.75
ProbetaN°3	116.93	148.00	207.62	14.80	18.84	17.61
ProbetaN°4	112.70	144.54	222.86	12.15	17.32	23.11
<b>Promedio</b>	115.57	150.26	213.95	14.21	16.84	21.24
<b>Desviación estándar</b>	4.30	4.90	6.58	1.89	1.73	2.48
<b>Límite superior</b>	119.87	155.15	220.53	16.10	18.57	23.73
<b>Límite inferior</b>	111.27	145.36	207.37	12.32	15.11	18.76

Código de diseño	a/c 0.55 nS=0.7% OPT					
Resistencia a la...	Compresión (kgf/cm <sup>2</sup> )			Tracción (kgf/cm <sup>2</sup> )		
Edad	3	7	28	3	7	28
ProbetaN°1	116.42	165.27	208.00	14.26	11.95	22.20
ProbetaN°2	118.13	160.34	207.90	12.18	18.78	21.47
ProbetaN°3	120.64	157.28	209.70	11.71	13.23	25.57
ProbetaN°4	125.77	158.93	194.14	15.09	18.21	21.01
<b>Promedio</b>	120.24	160.45	204.93	13.31	15.54	22.56
<b>Desviación estándar</b>	4.08	3.44	7.24	1.62	3.46	2.06
<b>Límite superior</b>	124.32	163.90	212.18	14.93	19.00	24.62
<b>Límite inferior</b>	116.16	157.01	197.69	11.69	12.08	20.50

## ANEXO C: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LOS CONCRETOS

### ELABORADOS

#### Yura tipo I

Partida	1	CONCRETO A/C 0.65 EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>504.69</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5254	64.46 33.87
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6729	77.99 52.48
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		7.0045	24.91 174.48
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1935	4.55 0.88
						<b>261.70</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	2	CONCRETO A/C 0.65 nS=0.5% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>494.43</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5254	64.46 33.87
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6729	77.99 52.48
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		7.0045	24.91 174.48
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1935	4.55 0.88
NANOSÍLICE			kgf		1.4885	12.50 18.61
						<b>280.31</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	3	CONCRETO A/C 0.65 nS=0.7% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>501.87</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5254	64.46 33.87
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6729	77.99 52.48
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		7.0045	24.91 174.48
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1935	4.55 0.88
NANOSÍLICE			kgf		2.0838	12.50 26.05
						<b>287.75</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	4	CONCRETO A/C 0.65 nS=0.5% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>515.18</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5369	64.46 34.61
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6878	77.99 53.64
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		6.6426	24.91 165.46
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1835	4.55 0.83
NANOSÍLICE			kgf		1.4116	12.50 17.65
						<b>272.19</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	5	CONCRETO A/C 0.65 nS=0.7% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>519.68</b>	
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5404	64.46 34.83
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6922	77.99 53.98
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		6.5339	24.91 162.75
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1805	4.55 0.82
NANOSÍLICE			kgf		1.9438	12.50 24.30
						<b>276.69</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	6	CONCRETO A/C 0.60 EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>518.89</b>	
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5007	64.46 32.28
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6827	77.99 53.24
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		7.6078	24.91 189.51
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1940	4.55 0.88
						<b>275.91</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	7	CONCRETO A/C 0.60 nS=0.5% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>510.23</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5007	64.46 32.28
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6827	77.99 53.24
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		7.6078	24.91 189.51
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1940	4.55 0.88
NANOSÍLICE			kgf		1.6167	12.50 20.21
						<b>296.12</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	8	CONCRETO A/C 0.60 nS=0.7% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>518.32</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5007	64.46 32.28
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6827	77.99 53.24
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		7.6078	24.91 189.51
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1940	4.55 0.88
NANOSÍLICE			kgf		2.2633	12.50 28.29
						<b>304.20</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	9	CONCRETO A/C 0.60 nS=0.5% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>525.30</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5184	64.46 33.42
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.7069	77.99 55.13
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		7.0000	24.91 174.37
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1785	4.55 0.81
NANOSÍLICE			kgf		1.4875	12.50 18.59
						<b>282.32</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	10	CONCRETO A/C 0.60 nS=0.7% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>532.28</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5190	64.46 33.45
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.7077	77.99 55.19
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		6.9805	24.91 173.88
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1780	4.55 0.81
NANOSÍLICE			kgf		2.0767	12.50 25.96
						<b>289.30</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	11	CONCRETO A/C 0.55 EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>535.69</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4715	64.46 30.39
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6944	77.99 54.16
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		8.3209	24.91 207.27
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1945	4.55 0.88
						<b>292.70</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	12	CONCRETO A/C 0.55 nS=0.5% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>528.92</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4715	64.46 30.39
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6944	77.99 54.16
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		8.3209	24.91 207.27
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1945	4.55 0.88
NANOSÍLICE			kgf		1.7682	12.50 22.10
						<b>314.80</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	13	CONCRETO A/C 0.55 nS=0.7% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>537.77</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4715	64.46 30.39
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6944	77.99 54.16
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		8.3209	24.91 207.27
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1945	4.55 0.88
NANOSÍLICE			kgf		2.4755	12.50 30.94
						<b>323.65</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	14	CONCRETO A/C 0.55 nS=0.5% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>543.57</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4879	64.46 31.45
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.7186	77.99 56.04
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)			bls		7.7005	24.91 191.81
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1800	4.55 0.82
NANOSÍLICE			kgf		1.6364	12.50 20.46
						<b>300.58</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	15	CONCRETO A/C 0.55 nS=0.7% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>549.69</b>	
<b>Descripción Recurso</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/</b>	<b>Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ		hh	0.1000	0.1000	25.20	2.52
OPERARIO		hh	2.0000	2.0000	24.00	48.00
OFICIAL		hh	1.0000	1.0000	22.20	22.20
PEÓN		hh	7.0000	7.0000	20.40	142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA		m <sup>3</sup>		0.4901	64.46	31.59
PIEDRA CHANCADA 1/2"		m <sup>3</sup>		0.7219	77.99	56.30
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO I (42.5 KGF)		bls		7.6151	24.91	189.69
AGUA		m <sup>3</sup>		0.1780	4.55	0.81
NANOSÍLICE		kgf		2.2655	12.50	28.32
						<b>306.71</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	215.52	6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"		hm	0.5000	0.5000	12.00	6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3		hm	0.5000	0.5000	15.00	7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP		hm	0.5000	0.5000	15.00	7.50
						<b>27.47</b>

### Yura tipo IP

Partida	16	CONCRETO A/C 0.65 EN COLUMNAS (A PARTIR DE SEGUNDO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>490.67</b>	
<b>Descripción Recurso</b>		<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/</b>	<b>Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ		hh	0.1000	0.1000	25.20	2.52
OPERARIO		hh	2.0000	2.0000	24.00	48.00
OFICIAL		hh	1.0000	1.0000	22.20	22.20
PEÓN		hh	7.0000	7.0000	20.40	142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA		m <sup>3</sup>		0.5166	64.46	33.30
PIEDRA CHANCADA 1/2"		m <sup>3</sup>		0.6493	77.99	50.64
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)		bls		7.2760	22.38	162.83
AGUA		m <sup>3</sup>		0.2010	4.55	0.91
						<b>247.69</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.0000	215.52	6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"		hm	0.5000	0.5000	12.00	6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3		hm	0.5000	0.5000	15.00	7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP		hm	0.5000	0.5000	15.00	7.50
						<b>27.47</b>

Partida	17	CONCRETO A/C 0.65 nS=0.5% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>481.13</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5166	64.46 33.30
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6493	77.99 50.64
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		7.2760	22.38 162.83
AGUA			m <sup>3</sup>		0.2010	4.55 0.91
NANOSÍLICE			kgf		1.5462	12.50 19.33
						<b>267.01</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	18	CONCRETO A/C 0.65 nS=0.5% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>488.86</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5166	64.46 33.30
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6493	77.99 50.64
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		7.2760	22.38 162.83
AGUA			m <sup>3</sup>		0.2010	4.55 0.91
NANOSÍLICE			kgf		2.1646	12.50 27.06
						<b>274.74</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	19	CONCRETO A/C 0.65 nS=0.5% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>501.76</b>	
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5303	64.46 34.18
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6666	77.99 51.99
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		6.8598	22.38 153.52
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1895	4.55 0.86
NANOSÍLICE			kgf		1.4577	12.50 18.22
						<b>258.77</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	20	CONCRETO A/C 0.65 nS=0.7% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>506.78</b>	
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5339	64.46 34.42
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6711	77.99 52.34
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		6.7511	22.38 151.08
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1865	4.55 0.85
NANOSÍLICE			kgf		2.0084	12.50 25.11
						<b>263.79</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	21	CONCRETO A/C 0.60 EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>506.19</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4822	64.46 31.08
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6575	77.99 51.28
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		8.0393	22.38 179.91
AGUA			m <sup>3</sup>		0.2050	4.55 0.93
						<b>263.21</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	22	CONCRETO A/C 0.60 nS=0.5% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>498.68</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4822	64.46 31.08
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6575	77.99 51.28
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		8.0393	22.38 179.91
AGUA			m <sup>3</sup>		0.2050	4.55 0.93
NANOSÍLICE			kgf		1.7084	12.50 21.36
						<b>284.56</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	23	CONCRETO A/C 0.60 nS=0.7% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>507.22</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4822	64.46 31.08
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6575	77.99 51.28
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		8.0393	22.38 179.91
AGUA			m <sup>3</sup>		0.2050	4.55 0.93
NANOSÍLICE			kgf		2.3917	12.50 29.90
						<b>293.10</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	24	CONCRETO A/C 0.60 nS=0.5% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>516.16</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4992	64.46 32.18
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6808	77.99 53.10
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		7.4706	22.38 167.19
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1905	4.55 0.87
NANOSÍLICE			kgf		1.5875	12.50 19.84
						<b>273.17</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	25	CONCRETO A/C 0.60 nS=0.7% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>520.78</b>	
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.5039	64.46 32.48
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6872	77.99 53.59
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		7.3136	22.38 163.67
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1865	4.55 0.85
NANOSÍLICE			kgf		2.1758	12.50 27.20
						<b>277.80</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	26	CONCRETO A/C 0.55 EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>523.08</b>	
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4471	64.46 28.82
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6687	77.99 52.15
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		8.8555	22.38 198.18
AGUA			m <sup>3</sup>		0.2070	4.55 0.94
						<b>280.09</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	27	CONCRETO A/C 0.55 nS=0.5% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>517.74</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4471	64.46 28.82
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6687	77.99 52.15
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		8.8555	22.38 198.18
AGUA			m <sup>3</sup>		0.2070	4.55 0.94
NANOSÍLICE			kgf		1.8818	12.50 23.52
						<b>303.62</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	28	CONCRETO A/C 0.55 nS=0.7% EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>527.14</b>
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>193.32</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4471	64.46 28.82
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.6687	77.99 52.15
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		8.8555	22.38 198.18
AGUA			m <sup>3</sup>		0.2070	4.55 0.94
NANOSÍLICE			kgf		2.6345	12.50 32.93
						<b>313.03</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	193.32 5.80
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>20.80</b>

Partida	29	CONCRETO A/C 0.55 nS=0.5% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>530.56</b>	
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4684	64.46 30.19
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.7005	77.99 54.63
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		8.0642	22.38 180.47
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1885	4.55 0.86
NANOSÍLICE			kgf		1.7137	12.50 21.42
						<b>287.58</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>

Partida	30	CONCRETO A/C 0.55 nS=0.7% OPT EN COLUMNAS (A PARTIR DE 2DO PISO)				
Rendimiento	m <sup>3</sup> /DIA MO.	8.0000	EQ. 8.0000	Costo unitario directo por : m <sup>3</sup>	<b>537.76</b>	
<b>Descripción Recurso</b>			<b>Unidad</b>	<b>Cuadrilla</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio S/ Parcial S/</b>
<b>Mano de Obra</b>						
CAPATAZ			hh	0.1000	0.1000	25.20 2.52
OPERARIO			hh	2.0000	2.0000	24.00 48.00
OFICIAL			hh	1.0000	1.0000	22.20 22.20
PEÓN			hh	7.0000	7.0000	20.40 142.80
						<b>215.52</b>
<b>Materiales</b>						
ARENA GRUESA			m <sup>3</sup>		0.4701	64.46 30.30
PIEDRA CHANCADA 1/2"			m <sup>3</sup>		0.7031	77.99 54.83
CEMENTO PÓRTLAND YURA TIPO IP (42.5 KGF)			bls		8.0000	22.38 179.03
AGUA			m <sup>3</sup>		0.1870	4.55 0.85
NANOSÍLICE			kgf		2.3800	12.50 29.75
						<b>294.77</b>
<b>Equipos</b>						
HERRAMIENTAS MANUALES			%MO		3.0000	215.52 6.47
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"			hm	0.5000	0.5000	12.00 6.00
MEZCLADORA DE TAMBOR 18 HP 11P3			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
WINCHE DE DOS BALDES (350 KGF) M.E. 3.6 HP			hm	0.5000	0.5000	15.00 7.50
						<b>27.47</b>