

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO DE  
MEDIANA A ALTA RESISTENCIA CON CEMENTO  
TIPO MS(MH) Y ADICIÓN DE SÍLICE NACIONAL”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR  
ANTHONY BRAYAM BARRETO MONTES**

**ASESOR  
Ing. CARLOS ARMANDO BARZOLA GASTELÚ**

**Lima- Perú**

**2021**

© 2021, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir de la Tesis en su totalidad o en parte,  
con fines estrictamente académicos.”**

Barreto Montes, Anthony Brayam

[abarretom@uni.pe](mailto:abarretom@uni.pe)

988558669

## **DEDICATORIA**

A mi madre, Marcelina Montes, por su apoyo incondicional y palabras de aliento que me ha transmitido durante este proceso de elaboración de tesis.

A mis familiares y amigos que me dieron su apoyo y que hicieron posible este trabajo.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi madre, por educarme e inculcarme valores, por ser un ejemplo de perseverancia constante en la vida y de infinita bondad para quienes la rodean.

Agradezco a mi asesor, el Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú, por su apoyo y guía en la elaboración de la presente tesis y por las lecciones de vida profesional y ética compartidas.

Agradezco al Laboratorio N° 1 de Ensayo de Materiales de la UNI por permitirme realizar los ensayos de la presente investigación, así como a los técnicos y tesistas que me apoyaron durante mi estadía en el laboratorio.

Agradezco a mi querida alma máter, la Universidad Nacional de Ingeniería, por la formación académica y ética brindada durante mi etapa universitaria.

	<b>Pág.</b>
<b>RESUMEN</b>	5
<b>ABSTRACT</b>	6
<b>PRÓLOGO</b>	7
<b>LISTA DE CUADROS</b>	8
<b>LISTA DE GRÁFICOS</b>	13
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	17
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS</b>	18
<b>CAPITULO I: INTRODUCCION</b>	19
1.1 GENERALIDADES	19
1.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS	20
1.1.2 Objetivo Principal	20
1.1.3 Objetivos Específicos	20
1.3 HIPÓTESIS	20
<b>CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	21
2.1 MICROSÍLICE	21
2.1.1 Definición y producción	21
2.1.2 Propiedades en el concreto	22
2.1.2.1 Contribuciones físicas en el concreto	22
2.1.2.2 Contribuciones químicas en el concreto	23
<b>CAPITULO III: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES</b>	25
3.1 AGREGADOS	25
3.1.1 Propiedades físicas de los agregados	25
3.1.1.1 Peso Unitario	25
3.1.1.2 Peso Específico	26
3.1.1.3 Absorción	26
3.1.1.4 Contenido de humedad	27
3.1.1.5 Granulometría	27
3.1.1.6 Módulo de finura	29
3.1.1.7 Materiales finos que pasan la malla N°200	30
3.1.2 Datos y Resultados de los ensayos realizados en laboratorio	30
3.2 SÍLICE NACIONAL (MICROMINERAL SiO 400)	35
3.2.1 Densidad	35
3.2.2 Tamaño de partícula	36

3.2.3	Forma de partícula	37
3.2.4	Análisis Químico	38
3.3	ADITIVO	39
3.3.1	Definición	39
3.3.2	Propiedades del aditivo usado en la tesis	39
3.4	CEMENTO	40
3.5	AGUA	41
	<b>CAPITULO IV: DISEÑO DEL CONCRETO</b>	<b>42</b>
4.1	DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN	42
4.1.1	Peso Unitario Compactado Máximo del Agregado Global	42
4.1.2	Método de Diseño del Agregado Global	43
4.1.3	Obtención del Agua Patrón	44
4.1.4	Determinación de la cantidad de agregados por el método del Agregado Global	47
4.1.5	Diseño final del concreto patrón con a/c: 0.45, 0.50 y 0.55	51
4.2	DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN CON ADITIVO	52
4.2.1	Diseño del Concreto Patrón con Aditivo para a/c: 0.45	52
4.2.2	Diseño del Concreto Patrón con Aditivo para a/c: 0.50	53
4.2.3	Diseño del Concreto Patrón con Aditivo para a/c: 0.55	54
4.3	DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN CON ADITIVO Y SÍLICE NACIONAL AL 5%, 7.5% Y 10%	54
4.3.1	Diseño del Concreto Patrón con Aditivo y Sílice Nacional, a/c: 0.45	54
4.3.2	Diseño del concreto patrón con aditivo y sílice nacional, a/c: 0.50	56
4.3.3	Diseño del Concreto Patrón con Aditivo y Sílice Nacional, a/c: 0.55	57
	<b>CAPITULO V: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO</b>	<b>59</b>
5.1	ASENTAMIENTO	59
5.2	PESO UNITARIO	61
5.2.1	Peso Unitario, a/c: 0.45	61
5.2.2	Peso Unitario, a/c: 0.50	62
5.2.3	Peso Unitario, a/c: 0.55	63
5.3	FLUIDEZ	63
5.3.1	Ensayo de Fluidéz, a/c: 0.45	64
5.3.2	Ensayo de Fluidéz, a/c: 0.50	65
5.3.3	Ensayo de Fluidéz, a/c: 0.55	65

5.4	CONTENIDO DE AIRE	66
5.4.1	Contenido de Aire, a/c: 0.45	67
5.4.2	Contenido de Aire, a/c: 0.50	67
5.4.3	Contenido de Aire, a/c: 0.55	68
5.5	TIEMPO DE FRAGUADO (NTP 339.082:2017)	69
5.5.1	Tiempo de Fraguado Inicial – Final, a/c: 0.45	69
5.5.2	Tiempo de Fraguado Inicial – Final, a/c: 0.50	70
5.5.3	Tiempo de Fraguado Inicial – Final, a/c: 0.55	71
5.6	EXUDACIÓN (NTP 339.077:2013)	71
5.6.1	Exudación, a/c: 0.45	72
5.6.2	Exudación, a/c: 0.50	73
5.6.3	Exudación, a/c: 0.55	73
<b>CAPITULO VI: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO</b>		<b>75</b>
6.1	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	75
6.1.1	Resistencia a la compresión, a/c: 0.45	75
6.1.2	Resistencia a la compresión, a/c: 0.50	81
6.1.3	Resistencia a la compresión, a/c: 0.55	86
6.2	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL	93
6.2.1	Resistencia a la tracción, a/c: 0.45	94
6.2.2	Resistencia a la tracción, a/c: 0.50	94
6.2.3	Resistencia a la tracción, a/c: 0.55	95
6.3	MÓDULO ELÁSTICO	96
6.3.1	Módulo Elástico, a/c: 0.45	97
6.3.2	Módulo Elástico, a/c: 0.50	97
6.3.3	Módulo Elástico, a/c: 0.55	98
6.4	ABSORCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO	99
6.4.1	Absorción del Concreto Endurecido, a/c: 0.45	99
6.4.2	Absorción del Concreto Endurecido, a/c: 0.50	100
6.4.3	Absorción del Concreto Endurecido, a/c: 0.55	101
<b>CAPITULO VII: ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS</b>		<b>102</b>
7.1	GENERALIDADES	102
7.2	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO	102
7.2.1	Asentamiento	102
7.2.2	Peso Unitario	102

7.2.3	Ensayo de Fluidez	103
7.2.4	Contenido de Aire	104
7.2.5	Tiempo de Fraguado	106
7.2.6	Exudación	107
7.3	PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO	108
7.3.1	Resistencia a la Compresión	108
7.3.2	Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral	111
7.3.3	Módulo Elástico	112
7.3.4	Absorción del Concreto Endurecido	113
	<b>CAPITULO VIII: ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS</b>	114
8.1	COSTOS DE LOS CONCRETOS, a/c: 0.45	114
8.2	COSTOS DE LOS CONCRETOS, a/c: 0.50	114
8.3	COSTOS DE LOS CONCRETOS, a/c: 0.55	115
8.4	ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO, a/c: 0.45, 0.50 Y 0.55	116
	<b>CONCLUSIONES</b>	120
	<b>RECOMENDACIONES</b>	124
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	125
	<b>ANEXOS</b>	128



## RESUMEN

En la presente investigación, se utiliza el Micromineral SiO 400 en lugar de la microsílíce tradicional en el concreto, como alternativa de trabajar con un producto de origen nacional en lugar de uno importado, que viene a ser de mayor costo.

El concreto estudiado viene a ser de mediana a alta resistencia, utilizando cemento tipo MS(MH) (cemento de propiedades físicas similares al tipo II), aditivo plastificante Chemaplast y el Micromineral SiO 400, para las relaciones agua/cemento de 0.45, 0.50 y 0.55.

Se realiza el estudio de las componentes del concreto que se investiga en la tesis. Los ensayos del agregado fino y grueso fueron realizados en el LEM-UNI; al Micromineral SiO 400 se le hizo un análisis químico para obtener el contenido de SiO<sub>2</sub>, además se calculó su densidad, así como también la finura y forma de sus partículas.

En el diseño del Concreto Patrón (CP), se tiene como requisito mantener un slump de 4"; para el caso del diseño del Concreto Patrón con Aditivo (CPA), se añade el aditivo plastificante Chemaplast al Concreto Patrón, al 1% respecto al peso del cemento. Como consecuencia del uso del aditivo, se disminuye la cantidad de agua con la finalidad de mantener la consistencia del concreto deseada. Finalmente se realiza el diseño del Concreto con Aditivo y Micromineral SiO 400, con dosificación del 5%, 7.5% y 10% (CS5, CS7.5 y CS10) respecto al peso del cemento. Como consecuencia de la adición del Micromineral SiO 400, se aumentó el agua de diseño para mantener la consistencia establecida.

En total se obtiene 15 diseños, los cuáles se hallaron sus propiedades en estado fresco y estado endurecido, obteniendo un máximo aumento porcentual de la resistencia a la compresión usando el Micromineral SiO 400 al 7.5% y el aditivo plastificante Chemaplast con una relación agua/cemento de 0.55, obteniendo el 134% respecto a la resistencia a la compresión a los 28 días de curado del Concreto Patrón. Además se realizó el análisis comparativo de costos de los diseños de mezcla, obteniendo que el porcentaje más rentable para el uso del Micromineral SiO 400 en el concreto es cuando se adiciona el 5% con respecto al peso del cemento, concluyendo que el Micromineral SiO 400 es favorable para usarse en el concreto por sus buenos resultados y costo accesible.

## ABSTRACT

In the present research, the micromineral SiO 400 is used instead of the traditional microsilica in concrete, as an alternative to work with a product of national origin instead of an imported one, which is more expensive.

The concrete studied is medium to high strength, using cement type MS(MH) (cement with physical properties similar to type II), plasticizing additive Chemaplast and Micromineral SiO 400, for water/cement ratios of 0.45, 0.50 and 0.55.

The study of the concrete components investigated in the thesis is carried out. The tests of the fine and coarse aggregate were carried out at the LEM-UNI; a chemical analysis was made of the micro-mineral SiO 400 to obtain the SiO<sub>2</sub> content, and its density was calculated, as well as the fineness and shape of its particles.

In the design of the Pattern Concrete (CP), it is a requirement to maintain a slump of 4"; in the case of the design of the Pattern Concrete with Additive (CPA), the plasticizer additive Chemaplast is added to the Pattern Concrete, at 1% with respect to the weight of the cement. As a consequence of the use of the additive, the amount of water is reduced in order to maintain the consistency of the desired concrete. Finally, the design of the Concrete with Additive and Micromineral SiO 400 is designed, with a dosage of 5%, 7.5% and 10% (CS5, CS7.5 and CS10) with respect to the weight of the cement. As a consequence of the addition of the Micromineral SiO 400, the design water was increased to maintain the established consistency.

In total 15 designs were obtained, which were found their properties in the fresh and hardened state, obtaining a maximum percentage increase of the compressive strength using the Micromineral SiO 400 at 7.5% and the Chemaplast plasticizer additive with a water/cement ratio of 0.55, obtaining 134% with respect to the compressive strength at 28 days of curing of the Standard Concrete. In addition, a comparative cost analysis of the mix designs was carried out, obtaining that the most profitable percentage for the use of the Micromineral SiO 400 in concrete is when 5% is added with respect to the weight of cement, concluding that the Micromineral SiO 400 is favorable to be used in concrete for its good results and accessible cost.

## PRÓLOGO

Durante estos años en el Perú se vienen utilizando las adiciones y aditivos de forma exclusiva para los grandes proyectos de infraestructura y de gran inversión, sin embargo, las exigencias en las especificaciones técnicas son para todas las construcciones, incluyendo las de viviendas, que en muchos casos no cuentan con la solvencia económica para recurrir a estos productos importados.

Por lo tanto se tomó la decisión de estudiar una sílice de origen nacional como alternativa a la microsílice, este material denominado Micromineral SiO 400 es necesario investigarla y ver las cualidades que puede aportar al concreto, tema que se ha desarrollado en la presente tesis.

Finalmente, el ideal de la presente investigación es compartir los conocimientos y experiencias sobre el estudio del concreto usando esta puzolana a los técnicos, ingenieros y público en general, con el fin de incentivar la utilización de los productos nacionales.

Ing. Carlos A. Barzola Gastelú  
Asesor

## LISTA DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
Cuadro N° 2.1 Comparación del tamaño de partículas de la microsílíce con otros componentes del concreto	23
Cuadro N° 2.2 Comparación de las características físicas y químicas del cemento portland, ceniza volante, cemento con escoria y microsílíce	24
Cuadro N° 3.1 Requisitos granulométricos del agregado fino	27
Cuadro N° 3.2 Requisitos granulométricos del agregado grueso	28
Cuadro N° 3.3 Requisitos granulométricos del agregado global	29
Cuadro N° 3.4 Resumen de las propiedades físicas de los agregados	30
Cuadro N° 3.5 Granulometría del agregado fino, cantera "Trapiche"	31
Cuadro N° 3.6 Granulometría del Agregado Grueso, cantera "Unicon"	32
Cuadro N° 3.7 Peso Unitario Compactado del Agregado Global	33
Cuadro N° 3.8 Granulometría del Agregado Global	34
Cuadro N° 3.9 Valores para obtener la densidad del Micromineral SiO 400	36
Cuadro N° 3.10 Resultados del histograma de partícula de muestra del Micromineral SiO 400	36
Cuadro N° 3.11 Compuestos químicos del Micromineral SiO 400	38
Cuadro N° 3.12 Límites químicos para la calidad del agua	41
Cuadro N° 4.1 Diseño resultante	44
Cuadro N° 4.2 Agua Patrón para cada relación a/c, para un Slump = 4"	45
Cuadro N° 4.3 Resistencia a la compresión a los 7 días de curado, a/c: 0.45	47
Cuadro N° 4.4 Resistencia a la compresión a los 7 días de curado, a/c: 0.50	48
Cuadro N° 4.5 Resistencia a la compresión a los 7 días de curado, a/c: 0.55	50
Cuadro N° 4.6 Diseño final del Concreto Patrón, a/c: 0.45	51
Cuadro N° 4.7 Diseño final del Concreto Patrón, a/c: 0.50	51
Cuadro N° 4.8 Diseño final del Concreto Patrón, a/c: 0.55	52
Cuadro N° 4.9 Diseño final del Concreto con aditivo, a/c: 0.45	53
Cuadro N° 4.10 Diseño final del concreto con aditivo, a/c: 0.50	53
Cuadro N° 4.11 Diseño final del concreto con aditivo, a/c: 0.55	54

Cuadro N° 4.12	Diseño final del concreto con aditivo y 5% de Sílice Nacional, a/c: 0.45	55
Cuadro N° 4.13	Diseño final del concreto con aditivo y 7.5% de Sílice Nacional, a/c: 0.45	55
Cuadro N° 4.14	Diseño final del concreto con aditivo y 10% de Sílice Nacional, a/c: 0.45	55
Cuadro N° 4.15	Diseño final del concreto con aditivo y 5% de Sílice Nacional, a/c: 0.50	56
Cuadro N° 4.16	Diseño final del concreto con aditivo y 7.5% de Sílice Nacional, a/c: 0.50	56
Cuadro N° 4.17	Diseño final del concreto con aditivo y 10% de Sílice Nacional, a/c: 0.50	57
Cuadro N° 4.18	Diseño final del concreto con aditivo y 5% de Sílice Nacional, a/c: 0.55	57
Cuadro N° 4.19	Diseño final del concreto con aditivo y 7.5% de Sílice Nacional, a/c: 0.55	58
Cuadro N° 4.20	Diseño final del concreto con aditivo y 10% de Sílice Nacional, a/c: 0.55	58
Cuadro N° 5.1	Cantidades de agua usadas en los diseños secos	59
Cuadro N° 5.2	Porcentajes de agua usadas en los diseños secos	60
Cuadro N° 5.3	Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	61
Cuadro N° 5.4	Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	62
Cuadro N° 5.5	Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	63
Cuadro N° 5.6	Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	64
Cuadro N° 5.7	Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	65
Cuadro N° 5.8	Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	65
Cuadro N° 5.9	Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	67
Cuadro N° 5.10	Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	67
Cuadro N° 5.11	Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	68
Cuadro N° 5.12	Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.45	69
Cuadro N° 5.13	Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.50	70
Cuadro N° 5.14	Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.55	71
Cuadro N° 5.15	Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	72
Cuadro N° 5.16	Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	73
Cuadro N° 5.17	Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	73

Cuadro N° 6.1	Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.45	75
Cuadro N° 6.2	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.45	76
Cuadro N° 6.3	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%, a/c: 0.45	77
Cuadro N° 6.4	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%, a/c: 0.45	77
Cuadro N° 6.5	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%, a/c: 0.45	78
Cuadro N° 6.6	Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.45	79
Cuadro N° 6.7	Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.45	80
Cuadro N° 6.8	Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.50	81
Cuadro N° 6.9	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.50	81
Cuadro N° 6.10	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%, a/c: 0.50	82
Cuadro N° 6.11	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%, a/c: 0.50	83
Cuadro N° 6.12	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%, a/c: 0.50	83
Cuadro N° 6.13	Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.50	84
Cuadro N° 6.14	Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.50	85
Cuadro N° 6.15	Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.55	86
Cuadro N° 6.16	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.55	87
Cuadro N° 6.17	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%, a/c: 0.55	88

Cuadro N° 6.18	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%, a/c: 0.55	88
Cuadro N° 6.19	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%, a/c: 0.55	89
Cuadro N° 6.20	Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.55	90
Cuadro N° 6.21	Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.55	91
Cuadro N° 6.22	Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	94
Cuadro N° 6.23	Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	94
Cuadro N° 6.24	Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	95
Cuadro N° 6.25	Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	97
Cuadro N° 6.26	Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	97
Cuadro N° 6.27	Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	98
Cuadro N° 6.28	Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	99
Cuadro N° 6.29	Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	100
Cuadro N° 6.30	Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	101
Cuadro N° 7.1	Porcentajes de peso unitario del concreto	102
Cuadro N° 7.2	Porcentajes de fluidez del concreto	103
Cuadro N° 7.3	Porcentaje de contenido de aire del concreto	104
Cuadro N° 7.4	Porcentaje de tiempo de fraguado inicial y final del concreto	106
Cuadro N° 7.5	Porcentajes de exudación del concreto	107
Cuadro N° 7.6	Porcentajes de resistencia a la compresión del concreto	108
Cuadro N° 7.7	Porcentajes de resistencia a la tracción del concreto	111
Cuadro N° 7.8	Porcentajes de módulo elástico del concreto	112
Cuadro N° 7.9	Porcentajes de la absorción del concreto endurecido	113
Cuadro N° 8.1	Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.45	114
Cuadro N° 8.2	Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.50	114

Cuadro N° 8.3	Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.55	115
Cuadro N° 8.4	Comparación costo y resistencia a la compresión a los 56 días	116
Cuadro N° 8.5	Beneficio-costo, diseños de concreto con sílice, para cada a/c	117
Cuadro N° 8.6	Beneficio-costo, diseños de concreto con sílice, para cada día de curado	119



**LISTA DE GRÁFICOS**

	<b>Pág.</b>
Gráfico N° 3.1 Curva granulométrica del agregado fino, cantera “Trapiche”	31
Gráfico N° 3.2 Curva Granulométrica del agregado grueso, cantera “Unicon”	32
Gráfico N° 3.3 Peso Unitario Compactado máximo del Agregado Global	33
Gráfico N° 3.4 Curva Granulométrica del Agregado Global	34
Gráfico N° 3.5 Histograma de tamaño de partícula de muestra del Micromineral SiO 400	36
Gráfico N° 3.6 Difractograma de rayos X de muestra del Micromineral SiO 400	37
Gráfico N° 3.7 Composición química en forma de óxidos de la muestra de Microsílice SiO 400	38
Gráfico N° 4.1 Peso Unitario Compactado del Agregado Global	42
Gráfico N° 4.2 Estimación del Agua Patrón, para a/c: 0.45	45
Gráfico N° 4.3 Estimación del Agua Patrón, para a/c: 0.50	46
Gráfico N° 4.4 Estimación del Agua Patrón, para a/c: 0.55	46
Gráfico N° 4.5 Resistencia a la compresión vs Porcentaje de Arena, a/c: 0.45	47
Gráfico N° 4.6 Superposición entre P.U.C. y Resistencia a la compresión, a/c: 0.45	48
Gráfico N° 4.7 Resistencia a la compresión vs Porcentaje de Arena, a/c: 0.50	49
Gráfico N° 4.8 Superposición entre P.U.C. y Resistencia a la compresión, a/c: 0.50	49
Gráfico N° 4.9 Resistencia a la compresión vs Porcentaje de Arena, a/c: 0.55	50
Gráfico N° 4.10 Superposición entre P.U.C. y Resistencia a la compresión, a/c: 0.55	50
Gráfico N° 5.1 Comparación de las cantidades de agua usadas en los diseños secos	60
Gráfico N° 5.2 Comparación de los porcentajes de agua usadas en los diseños secos	60

Gráfico N° 5.3	Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	62
Gráfico N° 5.4	Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	62
Gráfico N° 5.5	Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	63
Gráfico N° 5.6	Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	64
Gráfico N° 5.7	Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	65
Gráfico N° 5.8	Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	66
Gráfico N° 5.9	Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	67
Gráfico N° 5.10	Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	68
Gráfico N° 5.11	Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	68
Gráfico N° 5.12	Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.45	70
Gráfico N° 5.13	Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.50	70
Gráfico N° 5.14	Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.55	71
Gráfico N° 5.15	Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	72
Gráfico N° 5.16	Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	73
Gráfico N° 5.17	Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	74
Gráfico N° 6.1	Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.45	76
Gráfico N° 6.2	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.45	76
Gráfico N° 6.3	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%, a/c: 0.45	77
Gráfico N° 6.4	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%, a/c: 0.45	78
Gráfico N° 6.5	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%, a/c: 0.45	78
Gráfico N° 6.6	Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.45	79
Gráfico N° 6.7	Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.45	80
Gráfico N° 6.8	Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.50	81
Gráfico N° 6.9	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.50	82
Gráfico N° 6.10	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%, a/c: 0.50	82

Gráfico N° 6.11	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%, a/c: 0.50	83
Gráfico N° 6.12	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%, a/c: 0.50	84
Gráfico N° 6.13	Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.50	85
Gráfico N° 6.14	Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.50	86
Gráfico N° 6.15	Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.55	87
Gráfico N° 6.16	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.55	87
Gráfico N° 6.17	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%, a/c: 0.55	88
Gráfico N° 6.18	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%, a/c: 0.55	89
Gráfico N° 6.19	Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%, a/c: 0.55	90
Gráfico N° 6.20	Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.55	91
Gráfico N° 6.21	Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.55	92
Gráfico N° 6.22	Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	94
Gráfico N° 6.23	Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	95
Gráfico N° 6.24	Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	95
Gráfico N° 6.25	Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	97
Gráfico N° 6.26	Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	98
Gráfico N° 6.27	Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	98
Gráfico N° 6.28	Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45	100
Gráfico N° 6.29	Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50	100

Gráfico N° 6.30	Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55	101
Gráfico N° 7.1	Comparación de los porcentajes de peso unitario del concreto	103
Gráfico N° 7.2	Comparación de los porcentajes de fluidez del concreto	104
Gráfico N° 7.3	Porcentaje de contenido de aire del concreto	105
Gráfico N° 7.4	Porcentaje de tiempo de fraguado inicial y final del concreto	106
Gráfico N° 7.5	Porcentajes de exudación del concreto	107
Gráfico N° 7.6	Porcentajes de resistencia a la compresión del concreto	109
Gráfico N° 7.7	Comparación de los porcentajes de la resistencia a la tracción del concreto	111
Gráfico N° 7.8	Comparaciones de los porcentajes del módulo elástico del concreto	112
Gráfico N° 7.9	Comparación de los porcentajes de absorción del concreto endurecido	113
Gráfico N° 8.1	Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.45	114
Gráfico N° 8.2	Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.50	115
Gráfico N° 8.3	Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.55	115
Gráfico N° 8.4	Curva beneficio-costo	117
Gráfico N° 8.5	Curva beneficio-costo, diseños de concreto con sílice, para cada a/c	118
Gráfico N° 8.6	Curva beneficio-costo, diseños de concreto con sílice, para cada día de curado	119

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>	
Figura N° 2.1	Esquema de la producción de microsílíce	21
Figura N° 2.2	Esquema del proceso de recolección de la microsílíce	22
Figura N° 2.3	Esquema de la densificación de la Microsílíce en el concreto	23
Figura N° 3.1	Ensayo de Peso Unitario de la arena	25
Figura N° 3.2	Ensayo de Peso Específico y Absorción de la arena	27
Figura N° 3.3	Ensayo de granulometría de la piedra	28
Figura N° 3.4	Microfotografía SEM de la muestra de Micromineral SiO 400	37
Figura N° 5.1	Ensayo de Asentamiento del concreto fresco	59
Figura N° 5.2	Ensayo de Peso Unitario del concreto fresco	61
Figura N° 5.3	Ensayo de fluidez del concreto fresco	64
Figura N° 5.4	Ensayo de Contenido de Aire	66
Figura N° 5.5	Ensayo de tiempo de fraguado	69
Figura N° 6.1	Ensayo de compresión axial del concreto	75
Figura N° 6.2	Ensayo de tracción por compresión diametral del concreto	93
Figura N° 6.3	Ensayo de módulo elástico del concreto	96
Figura N° 6.4	Secado al horno para el ensayo de absorción	99

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- Abs: Absorción.
- a/c: Agua/cemento.
- ACI: American Concrete Institute.
- ASTM: American Society for Testing and Materials.
- CEPIS: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- CH: Contenido de humedad.
- CP: Concreto Patrón.
- CPA: Concreto Patrón con Aditivo.
- CS5: Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 5%.
- CS7.5: Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 7.5%.
- CS10: Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 10%.
- EDS: Energy Dispersion Spectrometry.
- F'c: Resistencia a la compresión del concreto.
- M.F.: Módulo de Finura.
- NTP: Norma Técnica Peruana.
- PE: Peso Específico.
- PE<sub>ssss</sub>: Peso Específico Saturado Superficialmente Seco.
- PUC: Peso Unitario Compactado.
- PUS: Peso Unitario Suelto.
- SEM: Scanning Electron Microscope.
- SFA: Silica Fume Association.
- T.F.F.: Tiempo de fragua final.
- T.F.I.: Tiempo de fragua final.
- TMN: Tamaño Máximo Nominal.

## CAPITULO I: INTRODUCCION

### 1.1 GENERALIDADES

En la actualidad, el Perú viene desarrollando proyectos de gran envergadura, como consecuencia esto trae nuevas exigencias y requisitos para construir tales proyectos. Estas exigencias también recaen en mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales a usarse para la construcción, especialmente en el concreto, que es el tema a estudiar en la presente investigación.

Se ha hecho diversos estudios para mejorar las propiedades del concreto, sobretodo en la resistencia a la compresión, requisito primordial para el desarrollo de los grandes proyectos de la actualidad. La investigación de los concretos de alta resistencia en el Perú se encuentra aún en desarrollo, probando diversas adiciones y aditivos para el concreto, métodos de diseño, entre otros, dando resultados favorables en esta área de estudio.

Uno de las novedades que ha traído resultados favorables es el uso de la microsilíce, adicionado que aporta una mejora en la resistencia a la compresión y otros beneficios al concreto, sin embargo, este adicionado tiene algunas observaciones a tomar en cuenta. Un aspecto es el riesgo de su uso, ya que puede deteriorar la salud de las personas que lo trabajen, por lo que se debe usar los implementos de seguridad del caso; otro aspecto es el tema económico, ya que este adicionado al ser importado su costo es muy alto.

La presente investigación propone como alternativa el uso del Micromineral SiO<sub>2</sub> 400 en el concreto, que es un material de origen nacional, producida por la empresa Mineral Mundi Corp., buscando con esto determinar las propiedades que puede aportarle al concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, comparándola con un concreto convencional.

## 1.2 DEFINICIÓN DE OBJETIVOS

### 1.1.2 Objetivo Principal

Determinar las propiedades que se obtienen con la adición de sílice de origen nacional (Micromineral SiO 400) y cemento tipo MS(MH) al concreto de mediana a alta resistencia y compararlas a las del concreto convencional, esto para conocer las ventajas del uso de la sílice de origen nacional.

### 1.1.3 Objetivos Específicos

- Analizar los resultados de los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas del concreto de mediana a alta resistencia con cemento tipo MS(MH) y Micromineral SiO 400.
- Comparar las propiedades y los costos del uso del concreto con cemento tipo MS(MH) y Micromineral SiO 400 con respecto a un concreto convencional.
- Incentivar la investigación de los productos nacionales que pueden aportar en la mejora de las propiedades del concreto, para incrementar su uso en los siguientes años.

## 1.3 HIPÓTESIS

La sílice nacional (Micromineral SiO 400) es un producto peruano que se obtiene de la molienda de la sílice, producto cuyas partículas vienen a ser pequeñas, aunque de mayor tamaño comparada a las de la microsílice; sin embargo, debido a su contenido alto en sílice, pueden aportar en la mejora de la resistencia a la compresión y en otras propiedades del concreto.

Mediante ensayos en laboratorio, se hará un comparativo de los resultados de las propiedades físicas y mecánicas del concreto de mediana a alta resistencia con adición de Micromineral SiO 400 con el concreto convencional, ambos usando cemento tipo MS(MH) (equivalente al cemento portland tipo II), esto con la intención de mostrar los beneficios de la sílice nacional en el concreto, así como también la de incentivar su investigación y su uso en el rubro de la construcción. Como estudio adicional, esperando que también sea beneficioso, se realizará un comparativo en los costos de ambos concretos.



## CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 MICROSÍLICE

#### 2.1.1 Definición y producción

El Instituto Americano del Concreto (ACI) precisa el concepto de la microsíllice como un “material muy fino compuesto de principalmente de sílice, generados en los hornos de arco eléctrico como subproducto de la producción de silicio elemental o aleaciones que contienen silicio”.

La microsíllice (también conocido como humo de sílice) es un subproducto del desecho de las fundiciones de metales silíceos y ferrosilíceos, que contienen micropartículas de sílice, estas son recolectadas por los sistemas que evitan la contaminación ambiental.

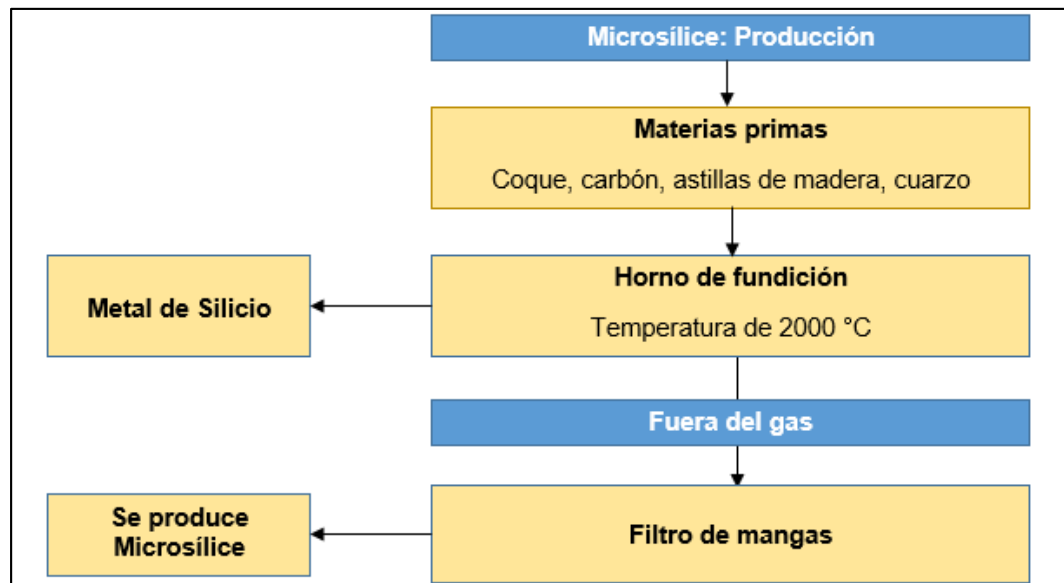


Figura N° 2.1 Esquema de la producción de microsíllice

Fuente: Silica Fume User's Manual (2005)

En la figura N° 2.1 se puede ver un esquema sobre la producción de la sílice, donde materiales con componentes de silicio entran a un horno de fundición con una temperatura de 2000 °C, produciendo metal de silicio, material industrial que tiene muchas aplicaciones que incluyen la producción de acero y aluminio, chips de computadoras y la fabricación de siliconas que son usadas en lubricantes y selladores. Si bien estos materiales son muy valiosos, los residuos generados son de mayor interés para la ingeniería civil.

Estos residuos desechados contienen óxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) en grandes cantidades, lo cual eran expulsados hacia la atmósfera. Sin embargo, en la actualidad estos desechos de  $\text{SiO}_2$  son atrapados en grandes filtros de mangas, para luego ser almacenados y utilizados como adición para el concreto. En la figura N° 2.2 se muestra un esquema de este proceso de recolección.

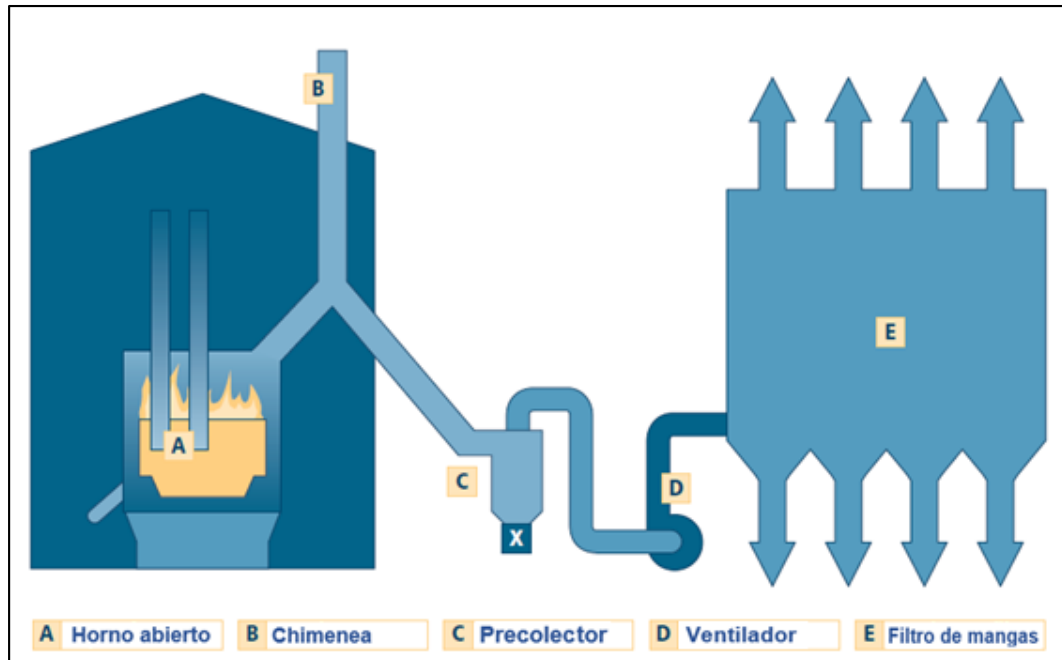


Figura N° 2.2 Esquema del proceso de recolección de la microsílíce

Fuente: Silica Fume User's Manual (2005)

La SFA (Silica Fume Association) reporta que la microsílíce se comercializa de tres formas: sin densificar, en suspensión y densificada. La primera es usada en productos mezclados como grouts y morteros reparadores, la segunda no está disponible en el mercado estadounidense y la tercera es la que se vende para usarse en mezclas de concreto.

## 2.1.2 Propiedades en el concreto

### 2.1.2.1 Contribuciones físicas en el concreto

Cuando añadimos microsílíce a la mezcla de concreto, las partículas del material ocupa y llena los espacios entre las partículas de cemento, debido a su menor tamaño. Como se puede apreciar en la figura N° 2.3, a pesar de que la microsílíce no reaccione químicamente por completo con el cemento, ésta ocuparía un espacio generando una mejora en la naturaleza del concreto.

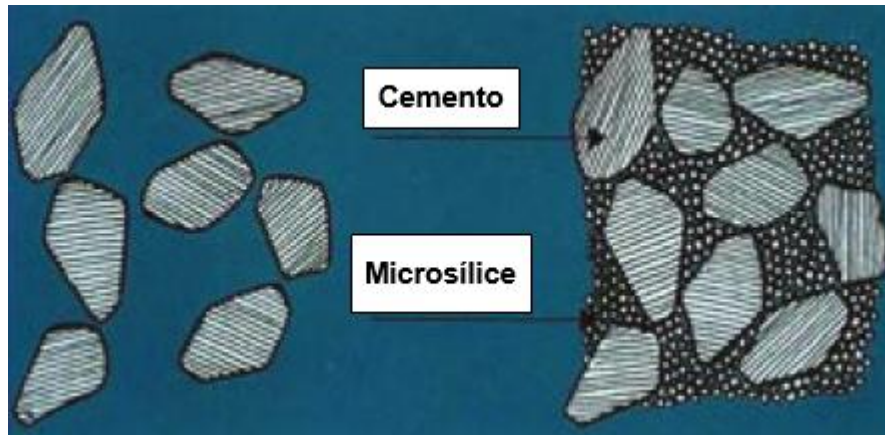


Figura N° 2.3 Esquema de la densificación de la Microsilíce en el concreto

Fuente: Silica Fume User's Manual (2005)

Vemos en el cuadro N° 2.1 la gran diferencia numérica respecto al tamaño entre las partículas de la microsilíce y los granos del cemento, quien viene a ser casi 100 veces más grande.

Cuadro N° 2.1 Comparación del tamaño de partículas de la microsilíce con otros componentes del concreto

Material	Tamaño nominal	Unidades SI
Partícula de microsilíce	N/A	0.5 $\mu\text{m}$
Grano de cemento	Tamiz N° 325	45 $\mu\text{m}$
Partícula de grano fino	Tamiz N° 08	2.36 mm
Partícula de grano fuerte	Tamiz 3/4"	19.00 mm

Fuente: Silica Fume User's Manual (2005)

### 2.1.2.2 Contribuciones químicas en el concreto

La microsilíce es un material cuyas partículas son amorfas, haciéndola una puzolana muy reactiva en el concreto. En la reacción química del cemento, este genera hidróxido de calcio (compuesto que no aporta en la resistencia del concreto), el  $\text{SiO}_2$  de la microsilíce reacciona con este compuesto y forma silicato de calcio hidratado (C-S-H), este último aporta resistencia al concreto, mejorando las propiedades en estado endurecido.

El cuadro N° 2.2 muestra la comparación de la microsilíce con otros materiales cementantes que son usados como adiciones para el concreto, teniendo la microsilíce el mayor porcentaje de  $\text{SiO}_2$  y menor tamaño de sus partículas.

Cuadro N° 2.2 Comparación de las características físicas y químicas del cemento portland, ceniza volante, cemento con escoria y microsílíce

Propiedades	Cemento Portland	Ceniza volante clase F	Ceniza volante clase C	Cemento con escoria	Microsílíce
SiO <sub>2</sub> (%)	21	52	35	35	85 a 97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5	23	18	12	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3	11	6	1	
CaO (%)	62	5	21	40	<1
Área específica (m <sup>2</sup> /Kg)	370	420	420	400	15000 a 30000
Peso específico	3.15	2.38	2.65	2.94	2.22
Uso en el concreto	Aglutinante primario	Reemplazo del cemento	Reemplazo del cemento	Reemplazo del cemento	Potenciador de propiedades

Fuente: Silica Fume User's Manual (2005)

## CAPITULO III: CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

### 3.1 AGREGADOS

Los agregados se definen como al conjunto de partículas inorgánicas (por lo general arena y piedra), los cuáles debido a sus características y propiedades influyen en las propiedades de concreto. Los agregados se clasifican según la Norma Técnica Peruana en:

- a) Agregado Fino: Agregado proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, en donde sus partículas pasan el tamiz 9.51 mm (3/8") y son retenidas en el tamiz 0.074 mm (N° 200).
- b) Agregado Grueso: Agregado proveniente de la grava o de la trituración natural o artificial de la piedra, en donde sus partículas pasan el tamiz 4.75 mm (N° 4).

En la investigación presentada, se utilizó el agregado fino de la cantera "Trapiche" y el agregado grueso de la cantera "Unicon".

#### 3.1.1 Propiedades físicas de los agregados

##### 3.1.1.1 Peso Unitario: (NTP 400.017:2011)

Es el peso del material que se presenta en un volumen unitario determinado. El peso unitario es influenciado por condiciones intrínsecas tales como: granulometría, contenido de humedad, gravedad específica, perfil y textura superficial, y de factores externos como: relación del diámetro nominal máximo con el volumen de recipiente, grado de compactación impuesto, entre otros.



Figura N° 3.1 Ensayo de Peso Unitario de la arena

Fuente: Elaboración Propia

El Peso Unitario se clasifica en:

- a) **Peso Unitario Suelto (P.U.S.):** Es el valor que se obtiene de la relación peso/volumen del agregado que cae sobre el recipiente, hasta llenarlo por acción de la gravedad.

$$P.U.S. = \frac{\text{Peso del Material}}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

- b) **Peso Unitario Compactado (P.U.C.):** Ensayo parecido al peso unitario suelto, pero con la diferencia de que se compacta el agregado por capas usando una varilla normalizada.

$$P.U.C. = \frac{\text{Peso del Material Compactado}}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

#### 3.1.1.2 *Peso Específico: (NTP 400.022:2013)*

Es la relación del peso del material con el peso del agua con el mismo valor de volumen; este valor es de gran importancia para los cálculos de control y diseño de las mezclas de concreto. Con el valor del peso específico obtenido, el material se puede clasificar en:

- Ligero, cuando el peso específico es menor a 2.5 g/cm<sup>3</sup>.
- Normal, cuando el peso específico se encuentra entre 2.5 a 2.75 g/cm<sup>3</sup>.
- Pesado, cuando el peso específico es mayor a 2.75 g/cm<sup>3</sup>.

#### 3.1.1.3 *Absorción: (NTP 400.022:2013)*

Es la disposición que tiene el material de atrapar agua en sus poros, luego de ser sumergidos en ésta durante 24 horas. El valor de la absorción influye en la dosificación del agua en el concreto y puede hacer variar propiedades tales como la resistencia o la trabajabilidad de éste.

$$\% \text{Absorción} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = Peso del agregado seco (g).

B = Peso del agregado saturado superficialmente seco (g).



Figura N° 3.2 Ensayo de Peso Específico y Absorción de la arena

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.1.1.4 Contenido de humedad: (NTP 339.185:2013)

Los agregados en su estado natural presentan humedad en su superficie, y con el contenido de humedad se establece la cantidad de agua que contiene, este valor varía según las condiciones ambientales y el tiempo de almacenaje; por lo que es importante tener ya que dicho valor influye en la dosificación del agua en el concreto y por lo tanto, influye en la resistencia y otras propiedades de éste.

$$C. H. = \frac{(\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco})}{\text{Peso seco}} \times 100$$

#### 3.1.1.5 Granulometría: (NTP 400.012:2013)

Es la determinación de la distribución por tamaños de las partículas de los agregados, expresándolos en porcentajes con respecto al peso total. Los valores se obtienen por medio de la separación de las partículas usando tamices que se colocan progresivamente de aberturas de mayor a menor tamaño.

La norma NTP 400.037 (2018) establece los límites granulométricos tanto para agregado fino (cuadro N° 3.1), como para agregado grueso (cuadro N° 3.2), esto con el fin de que sean aptos para usarse en la elaboración de concreto.

Cuadro N° 3.1 Requisitos granulométricos del agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa (%)
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 µm (N° 30)	25 a 60
300 µm (N° 50)	05 a 30
150 µm (N° 100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (2018)

Cuadro N° 3.2 Requisitos granulométricos del agregado grueso

Huso ASTM	Tamaño Máximo Nominal	Porcentajes que pasa (%)						
		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
5	25 mm a 12.5 mm (1" a 1/2")	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1" a 3/8")	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-
57	19 mm a 4.75 mm (1" a N° 4)	100	95 a 100	-	25 a 65	-	0 a 10	0 a 5
6	19 mm a 9.5 mm (3/4" a 3/8")	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4" a N° 4)	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (2018)



Figura N° 3.3 Ensayo de granulometría de la piedra

Fuente: Elaboración Propia



Con respecto al agregado global, la NTP 400.037 (2018) también presenta límites granulométricos que referencia la calidad del agregado fino y grueso en su conjunto. Es importante la granulometría del agregado global para garantizar que sea lo más compacto posible, es decir, tener la cantidad de poros al mínimo y un agregado más denso.

Cuadro N° 3.3 Requisitos granulométricos del agregado global

Tamiz	Tamaño máximo nominal		
	Tamaño máximo nominal 37.5 mm (1 1/2")	Tamaño máximo nominal 19.9 mm (3/4")	Tamaño máximo nominal 9.5 mm (3/8")
50 mm (2")	100		
37.5 mm (1 1/2")	95 a 100	100	
19.0 mm (3/4")	45 a 80	95 a 100	
12.5 mm (1/2")			100
9.5 mm (3/8")			95 a 100
4.75 mm (N° 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (N° 8)			20 a 50
1.18 mm (N° 16)			15 a 40
600 µm (N° 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 µm (N° 50)			5 a 15
150 µm (N° 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

\*Incrementar 10% para finos de roca triturada

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (2018)

### 3.1.1.6 Módulo de finura: (NTP 400.012:2013)

Es un indicador representado por un número adimensional que señala el tamaño de las partículas predominante del agregado. Su medida sirve como valor lubricante, debido a que la cantidad de agua por área superficial tiene una relación inversa con respecto al valor del módulo de finura.

$$M. F. = \frac{\sum \% \text{acumulados retenidos } (1\frac{1}{2}" , \frac{3}{4}" , \frac{3}{8}" , N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50, N^{\circ} 100)}{100}$$

### 3.1.1.7 Materiales finos que pasan la malla N°200: (NTP 400.018:2013)

Es el valor que representa la cantidad de material fino que se encuentra en un agregado, material cuyo tamaño es menor a las aberturas de la malla N° 200.

El material fino que pasa la malla N° 200 está constituido por arcilla y limo, material que se encuentra mezclado con el agregado fino o presente en las caras del agregado grueso, recubriéndolo. La presencia de este material en altos porcentajes incrementa la dosificación de agua de diseño en el primer caso, mientras que en el segundo caso influye en la adherencia del agregado con la pasta y posteriormente, en la resistencia a la compresión del concreto.

Para contrarrestar estos efectos, se recomienda que el porcentaje que pasa la malla N° 200, sea menor a 5% para el agregado fino, y menor a 1% en caso del agregado grueso.

### 3.1.2 Datos y Resultados de los ensayos realizados en laboratorio

A continuación se presenta el cuadro N° 3.4 como resumen de las propiedades físicas del agregado fino y grueso.

Cuadro N° 3.4 Resumen de las propiedades físicas de los agregados

Descripción	Unidades	Agregado fino	Agregado grueso
Cantera		Trapiche	Unicon
Absorción	%	1.38	0.54
Peso específico		2.56	2.77
Peso unitario suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1519.22	1406.94
Peso unitario compactado	Kg/m <sup>3</sup>	1753.35	1559.14
Módulo de finura		2.99	7.40
Finos que pasan la malla N° 200	%	4.09	0.86
Tamaño máximo	Pulgada	-	1 1/2
Tamaño máximo nominal	Pulgada	-	1

Fuente: Elaboración Propia

Los resultados obtenidos en laboratorio se encuentran de manera más detallada y explicada en el Anexo B.

- Granulometría del Agregado Fino

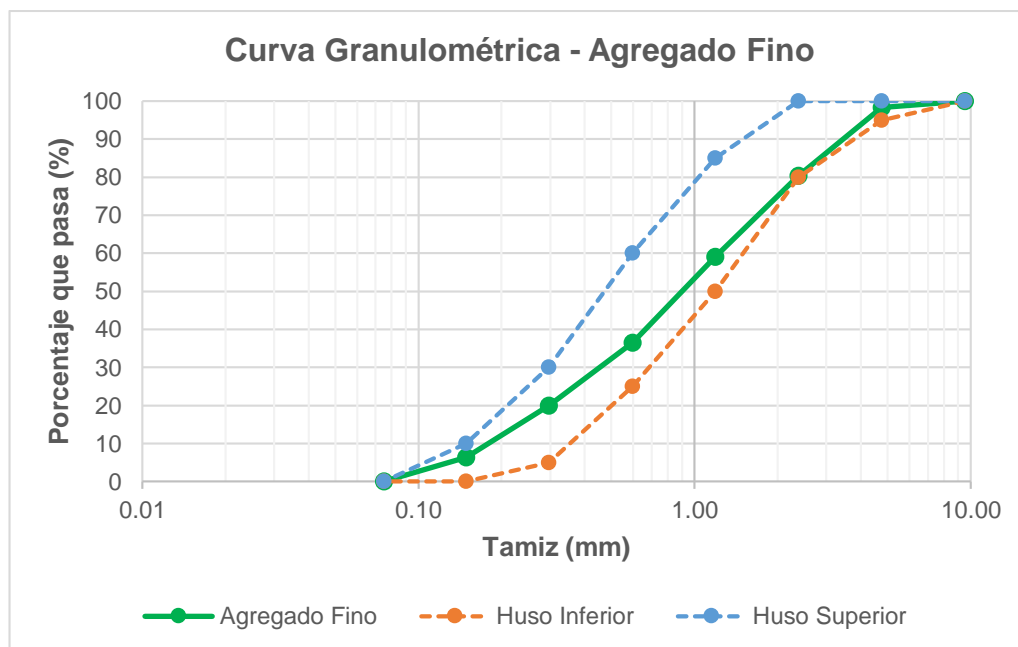
En el cuadro N° 3.5 se muestra el cálculo de la distribución granulométrica del agregado fino, así como en el gráfico N° 3.1 se muestra tal distribución y los límites referentes de los husos de NTP 400.037 (2018).

Cuadro N° 3.5 Granulometría del agregado fino, cantera "Trapiche"

Tamiz	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	% Que pasa NTP 400.037	
3/8"	0	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 4	8.1	1.6	1.6	98.4	95	100
N° 8	89.9	18.0	19.6	80.4	80	100
N° 16	106.4	21.3	40.9	59.1	50	85
N° 30	112.8	22.6	63.4	36.6	25	60
N° 50	82.7	16.5	80.0	20.0	5	30
N° 100	68.4	13.7	93.7	6.3	0	10
Fondo	31.7	6.3	100.0	0.0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 3.1 Curva granulométrica del agregado fino, cantera "Trapiche"



Fuente: Elaboración Propia

- Granulometría del Agregado Grueso

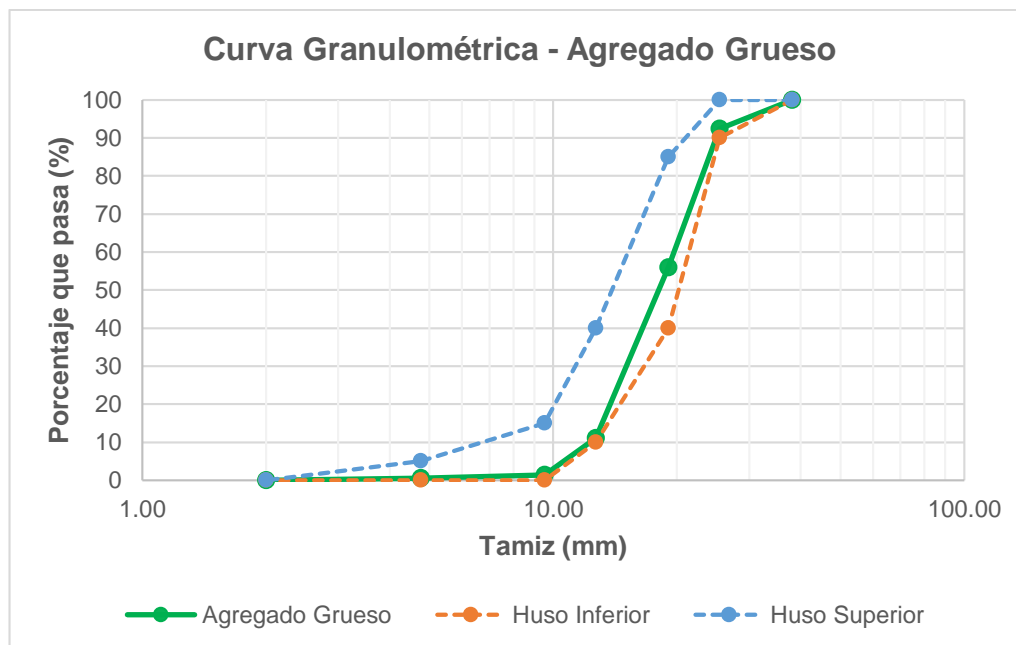
Se presenta el resultado de la distribución granulométrica del agregado grueso en el cuadro N° 3.6, así como en el gráfico N° 3.2 se muestra la distribución y los límites referentes de los husos de NTP 400.037 (2018).

Cuadro N° 3.6 Granulometría del Agregado Grueso, cantera "Unicon"

Tamiz	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	Huso 56 % Que pasa NTP 400.037	
11/2"	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	769.0	7.7	7.7	92.3	90	100
3/4"	3634.5	36.3	44.0	56.0	40	85
1/2"	4484	44.8	88.9	11.1	10	40
3/8"	967.5	9.7	98.6	1.5	0	15
N° 4	92.0	0.9	99.5	0.5	0	5
FONDO	53.0	0.5	100.0	0.0	0	0

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 3.2 Curva Granulométrica del agregado grueso, cantera "Unicon"



Fuente: Elaboración Propia

### Agregado Global

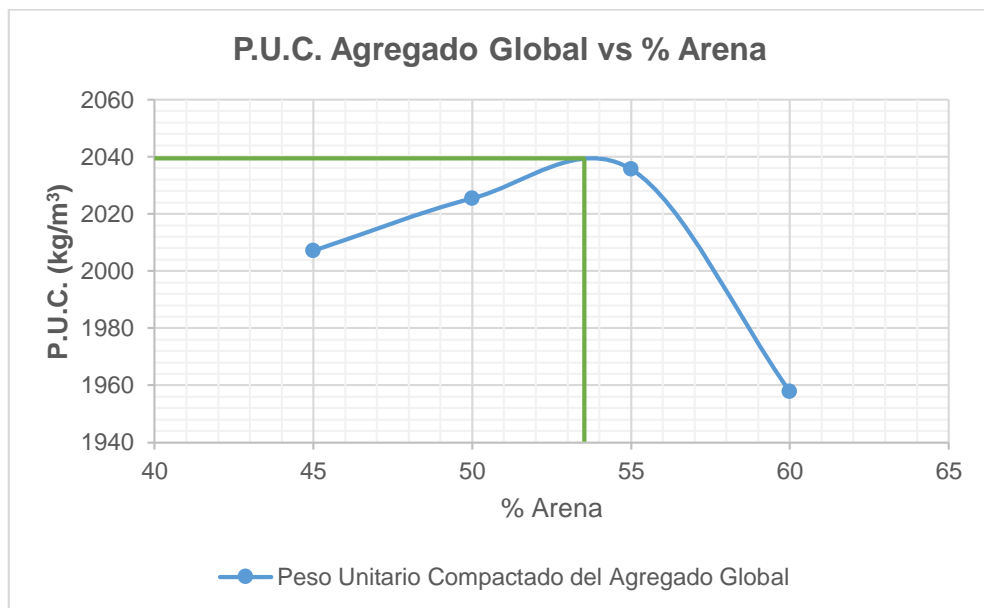
En el cuadro N° 3.7 se muestra los resultados obtenidos del ensayo de P.U.C. del agregado global, variando el porcentaje de arena y piedra en 5% para cada ensayo, asimismo, en el gráfico N° 3.3 se muestra la curva de comportamiento del P.U.C. y con esto se obtiene la relación arena/piedra con el mayor valor de P.U.C.

Cuadro N° 3.7 Peso Unitario Compactado del Agregado Global

Arena (%)	Piedra (%)	PUC (Kg/m <sup>3</sup> )
60	40	1957.86
55	45	2035.71
50	50	2025.48
45	55	2007.14

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 3.3 Peso Unitario Compactado máximo del Agregado Global



Fuente: Elaboración Propia

**P.U.C. = 2040 Kg/m<sup>3</sup> (53.5% Arena y 46.5% Piedra)**

- Granulometría del Agregado Global

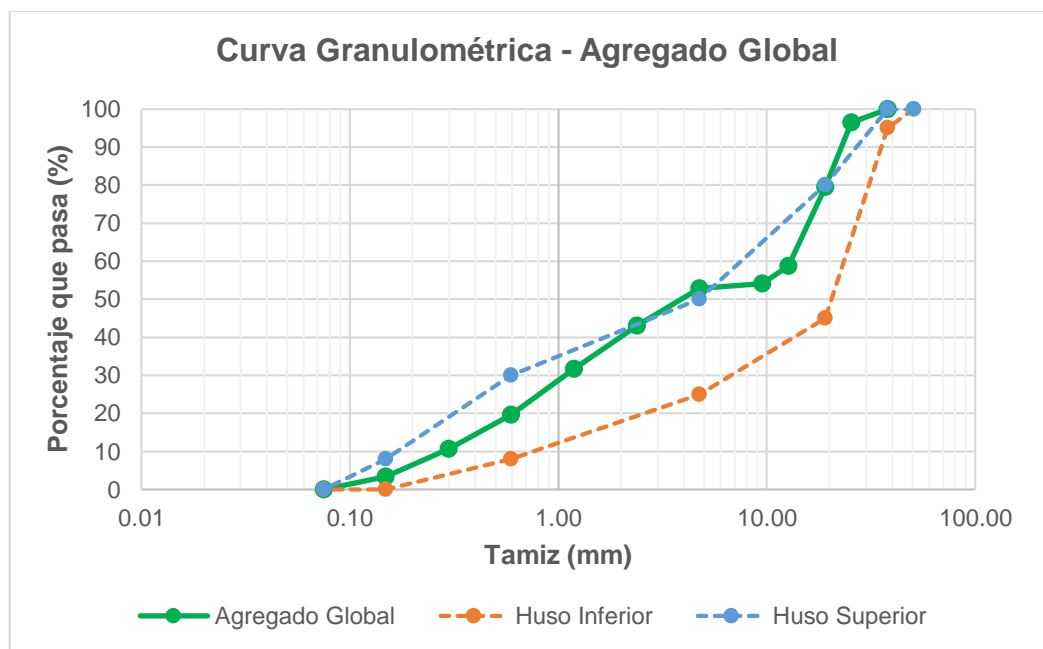
Con los porcentajes de los agregados, se realiza la distribución granulométrica del agregado global (cuadro N° 3.8), así como la curva granulométrica (gráfico N° 3.4).

Cuadro N° 3.8 Granulometría del Agregado Global

Tamiz	Peso Retenido Piedra (%)	Peso Retenido Arena (%)	46.5% del Peso de Piedra	53.5% del Peso de Arena	Peso Retenido (%)	Peso Retenido Acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
1 1/2"	0.00	-	0.00	-	0.00	0.00	100.00
1"	7.69	-	3.58	-	3.58	3.58	96.42
3/4"	36.35	-	16.90	-	16.90	20.48	79.52
1/2"	44.84	-	20.85	-	20.85	41.33	58.67
3/8"	9.68	0.00	4.50	-	4.50	45.83	54.17
N° 4	0.92	1.62	0.43	0.87	1.29	47.12	52.88
N° 8	0.53	17.98	0.25	9.62	9.87	56.99	43.01
N° 16	-	21.28	-	11.38	11.38	68.37	31.63
N° 30	-	22.56	-	12.07	12.07	80.44	19.56
N° 50	-	16.54	-	8.85	8.85	89.29	10.71
N° 100	-	13.68	-	7.32	7.32	96.61	3.39
Fondo	-	6.34	-	3.39	3.39	100.00	0.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 3.4 Curva Granulométrica del Agregado Global



Fuente: Elaboración Propia

Si bien el gráfico N° 3.4 muestra que el agregado global no cumple en su totalidad con los husos establecidos por la NTP, no es motivo para cambiar los agregados, ya que tanto el agregado fino como el grueso cumplen con los husos de la norma.

### 3.2 SÍLICE NACIONAL (MICROMINERAL SiO 400)

El Micromineral SiO 400 es un material en forma de polvo fino de color blanco, producida por la empresa Mineral Mundi Corp, la presentación de este material son en bolsas de 20 Kg.

Se realizó dos estudios al material, el estudio de análisis químico se hizo en el Laboratorio de Películas Delgadas de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, y el estudio de la densidad se hizo en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

#### 3.2.1 Densidad

Se calculó la densidad del material mediante el ensayo con el frasco de Le Chatelier, que consiste en:

- Secar una muestra representativa por 24 horas.
- Llenar el frasco de Le Chatelier con gasolina hasta alcanzar el nivel entre 0 y 1, se mide la lectura inicial.
- Se agrega 50 g del material (Micromineral SiO 400).
- Se mantiene a una misma temperatura el frasco en una cámara (21 °C).
- Se mide la lectura final y aplicamos la fórmula:

$$\rho = \frac{m}{L_f - L_i}$$

Donde:

$\rho$ : Densidad (g/cm<sup>3</sup>).

m: Masa (g).

L<sub>f</sub>: Lectura final (ml).

L<sub>i</sub>: Lectura inicial (ml).

Los resultados del ensayo obtenidos se muestran en el cuadro N° 3.8, obteniendo para el Micromineral SiO 400 la densidad  $\rho=2.27$  g/cm<sup>3</sup>.

Cuadro N° 3.9 Valores para obtener la densidad del Micromineral SiO 400

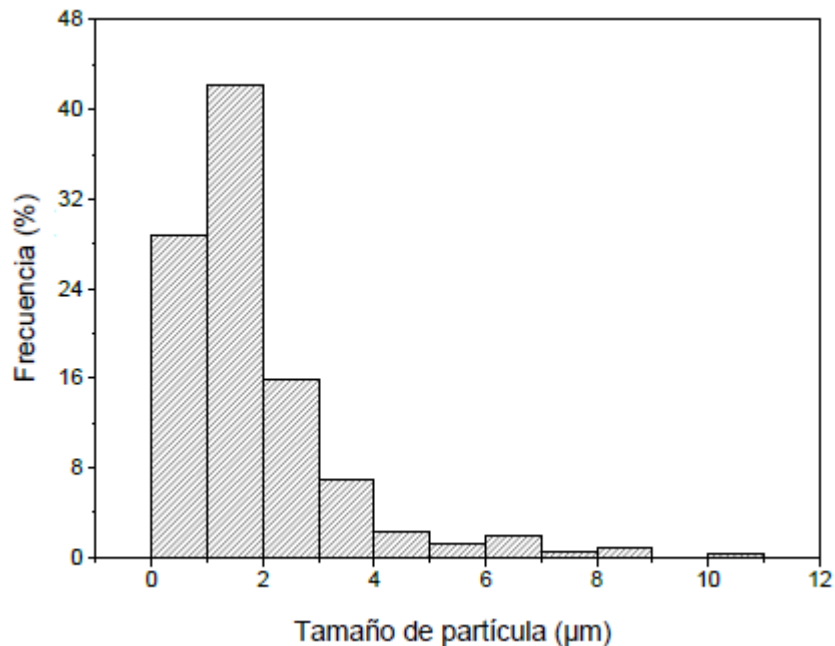
Descripción	Unidad	Valores
Masa	g	50.00
Lectura inicial	ml	0.50
Lectura final	ml	22.50
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	<b>2.27</b>

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.2 Tamaño de partícula

Se halló el tamaño de partícula con el método de área proyectada en un polígono aproximado, obteniendo como resultado el tamaño de partícula promedio 1.83  $\mu\text{m}$ , este valor se calcula a partir del histograma mostrado en el gráfico N° 3.5, y los resultados se muestran en el cuadro N° 3.10.

Gráfico N° 3.5 Histograma de tamaño de partícula de muestra del Micromineral SiO 400



Fuente: Laboratorio de Películas Delgadas-FC-UNI, Vásquez R. (2020)

Cuadro N° 3.10 Resultados del histograma de partícula de muestra del Micromineral SiO 400

Datos	Unidad	Valores
Número total	unidades	630
Promedio	$\mu\text{m}$	1.83
Desviación estándar	$\mu\text{m}$	1.49
Mínimo	$\mu\text{m}$	0.04
Media	$\mu\text{m}$	1.40
Máximo	$\mu\text{m}$	10.93

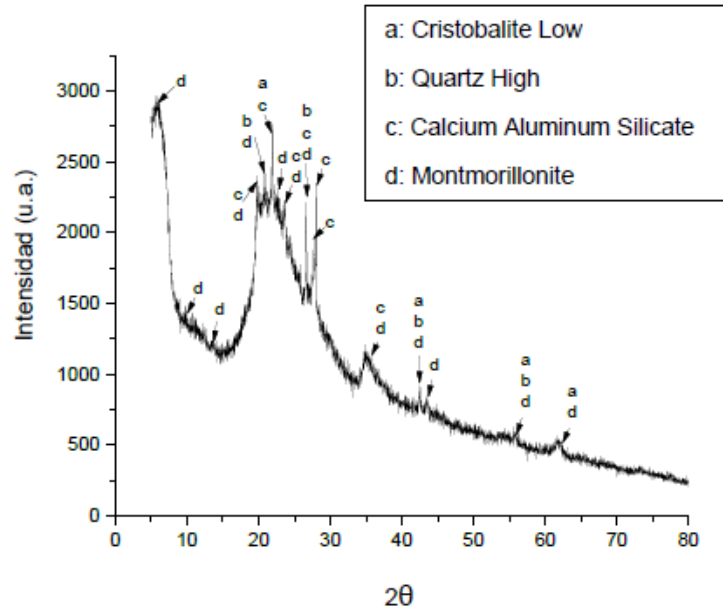
Fuente: Laboratorio de Películas Delgadas-FC-UNI, Vásquez R. (2020)



### 3.2.3 Forma de partícula

Se determinó la forma de las partículas del Micromineral SiO 400 con el método de difracción de rayos X, obteniendo como dato importante que la muestra es bastante amorfa debido a la cantidad de picos de intensidad respecto a la desviación de la línea base entre los valores  $2\theta$  de  $15^\circ$  a  $30^\circ$ , como se muestra en el gráfico N° 3.6.

Gráfico N° 3.6 Difractograma de rayos X de muestra del Micromineral SiO 400



Fuente: Laboratorio de Películas Delgadas-FC-UNI, Vásquez R. (2020)

Mediante un Microscopio Electrónico de Barrido se toma una microfotografía SEM (Scanning Electron Microscope) para determinar la forma de las partículas del Micromineral SiO 400. El resultado fue que las partículas tienen forma irregular de tipo hojuelas (flakes) rectangulares, como se puede apreciar en la figura N° 3.1.

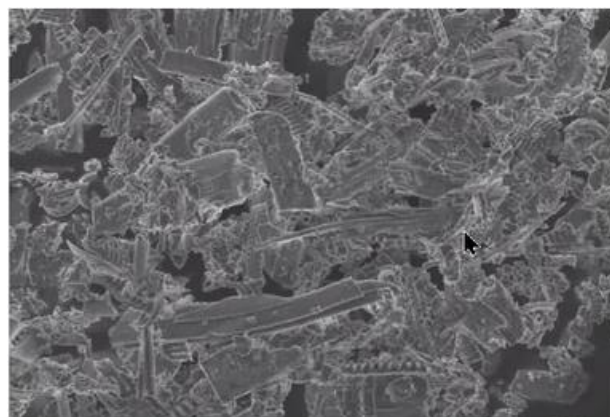


Figura N° 3.4 Microfotografía SEM de la muestra de Micromineral SiO 400

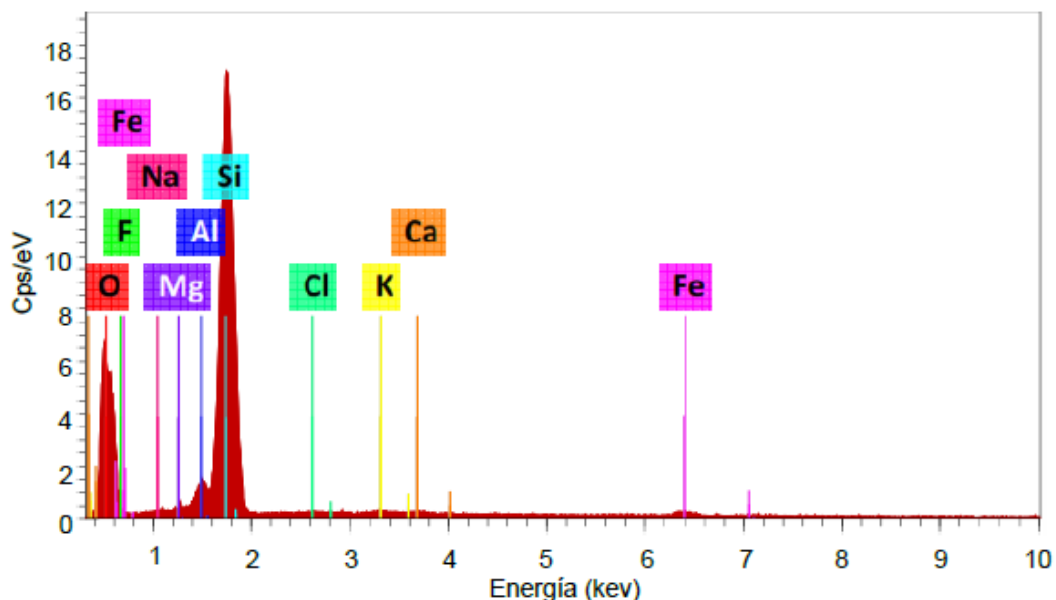
Fuente: Laboratorio de Películas Delgadas-FC-UNI, Vásquez R. (2020)

### 3.2.4 Análisis Químico

Para obtener la composición química del Micromineral SiO 400 se recurrió al método de Espectrometría de Dispersión de Energía de Rayos X (EDS), la cual mide la energía de los rayos X que se usa para ionizar el electrón del elemento químico analizado, cada elemento tiene una característica propia de energía.

Del método mencionado anteriormente se obtuvo el gráfico N° 3.7, donde se aprecia los elementos químicos encontrados en el Micromineral SiO 400.

Gráfico N° 3.7 Composición química en forma de óxidos de la muestra de Microsílice SiO 400



Fuente: Laboratorio de Películas Delgadas-FC-UNI, Vásquez R. (2020)

Asimismo, se obtiene la composición química del Micromineral SiO 400, el cual se muestra en el cuadro N° 3.11.

Cuadro N° 3.11 Compuestos químicos del Micromineral SiO 400

Compuesto	Porcentaje de masa (%)	Desviación estándar
SiO <sub>2</sub>	83.81	0.98
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.45	0.11
FeO	1.54	0.04
MgO	1.15	0.04
Na <sub>2</sub> O	1.10	0.06
K <sub>2</sub> O	0.73	0.03
CaO	0.62	0.03
Otros	4.60	0.10

Fuente: Laboratorio de Películas Delgadas-FC-UNI, Vásquez R. (2020)

### 3.3 ADITIVO

#### 3.3.1 Definición

Son materiales orgánicos o inorgánicos diferentes del agua, agregados, cemento y cemento de fibra, el cual se usa como un ingrediente del cemento o mortero, y es añadido justo antes o durante el mezclado.

Se usa el aditivo con la finalidad de cambiar o mejorar las propiedades del concreto, tanto en estado fresco como endurecido.

Los aditivos, en base a la norma ASTM C 494, se subdivide en:

- a) Tipo A – Aditivos reductores de agua.
- b) Tipo B – Aditivos retardadores de tiempo de fraguado.
- c) Tipo C – Aditivos acelerantes de tiempo de fraguado.
- d) Tipo D – Aditivos reductores de agua y retardadores de tiempo de fraguado.
- e) Tipo E – Aditivos reductores de agua y acelerantes de tiempo de fraguado.
- f) Tipo F – Aditivos reductores de agua de alto rango.
- g) Tipo G – Aditivos reductores de agua de alto rango y retardadores de tiempo de fraguado.

#### 3.3.2 Propiedades del aditivo usado en la tesis

Se aplicó el aditivo plastificante CHEMA PLAST en el concreto de estudio, el cual se presenta en forma líquida y de color marrón oscuro; según la ASTM C-494 se clasifica como tipo "A" reductores de agua. La hoja técnica del producto se muestra en el Anexo A.

La hoja técnica de CHEMAPLAST recomienda una dosis de 145 ml 360 ml por cada bolsa de cemento usada en mezcla, por lo que se utilizó una dosificación de 1% de aditivo plastificante CHEMA PLAST respecto al peso del cemento.

### 3.4 CEMENTO

El cemento es un aglomerante hidráulico que posee la propiedad, al mezclarse con agua, de formar una pasta que fragua y se endurece producto de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus componentes, dando como resultado un producto de consistencia pétreo de propiedades resistentes.

El cemento Portland es el tipo de cemento más utilizado para la elaboración de concreto.

#### Clasificación del cemento Portland (NTP 334.009:2020)

El cemento portland, con respecto a la NTP 334.009 se clasifican de acuerdo a sus propiedades específicas:

- a) Tipo I: Para uso general.
- b) Tipo II: De moderada resistencia a los sulfatos y/o moderado calor de hidratación. Se utiliza en estructuras con ambientes agresivos y/o vaciados masivos.
- c) Tipo III: Desarrollo rápido de resistencia con elevado calor de hidratación. Se usa en climas fríos o cuando se necesita habilitaciones tempranas de las estructuras.
- d) Tipo IV: De bajo calor de hidratación. Se usa en vaciados masivos.
- e) Tipo V: De alta resistencia a los sulfatos. Se utiliza en estructuras con ambientes muy agresivos.

#### Clasificación del cemento Portland Adicionado (NTP 334.082:2020)

Los cementos de esta sección son designados como cemento portland con características especiales indicadas por tipo:

- a) Tipo GU: Cemento portland para usos generales.
- b) Tipo MS: De moderada resistencia a los sulfatos.
- c) Tipo MH: De moderado calor de hidratación.
- d) Tipo HS: De alta resistencia a los sulfatos.
- e) Tipo HE: De alta resistencia inicial.
- f) Tipo LH: De bajo calor de hidratación.

Para la presente investigación, se buscó usar el cemento Portland tipo II, pero comercialmente se encontró un cemento con propiedades equivalentes, el cual es

el cemento Pacasmayo FORTIMAX (MS(MH)), donde los tipos MS y MH coinciden con las propiedades específicas del cemento Portland tipo II.

El cemento utilizado cumple con los requisitos de la NTP 339.082, su hoja técnica se muestra en el Anexo A.

### 3.5 AGUA

El agua es un elemento importante que se utiliza para la elaboración y el curado del concreto. En la mezcla de concreto, el agua aporta con lo siguiente:

- Trabajar en conjunto con el cemento para su hidratación.
- Actuar como lubricante para aportarle trabajabilidad al concreto.
- Dejar vacíos en el concreto para que los productos de hidratación tengan espacios suficientes para reaccionar y desarrollarse.

Los requisitos de la calidad del agua son debido a la importancia de su influencia el concreto, tanto en estado fresco como en estado endurecido. Se considera como apto el uso del agua potable en la mezcla de concreto, salvo que contenga algún adicional que pueda perjudicar al concreto.

La NTP 339.088 (2014) indica que el agua será apto a utilizarse en el concreto si cumple con los requisitos del cuadro N° 3.12 presentado a continuación:

Cuadro N° 3.12 Límites químicos para la calidad del agua

Descripción	Límite
A. Cloruro como $\text{Cl}^-$ , ppm	
1. En concreto pretensado, tableros de puentes, o designados de otra manera.	500
2. Otros concretos reforzados en ambientes húmedos o que contengan aluminio embebido o metales diversos o con formas metálicas galvanizadas permanentes	1000
B. Sulfatos como $\text{SO}_4$ , ppm	3000
C. Álcalis como $(\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O})$ , ppm	600
D. Sólidos totales por masa, ppm	50000

Fuente: NTP 339.088 (2014)

Para la presente investigación se utilizó agua del grifo del LEM-UNI, es decir, agua potable común.

## CAPITULO IV: DISEÑO DEL CONCRETO

### 4.1 DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN

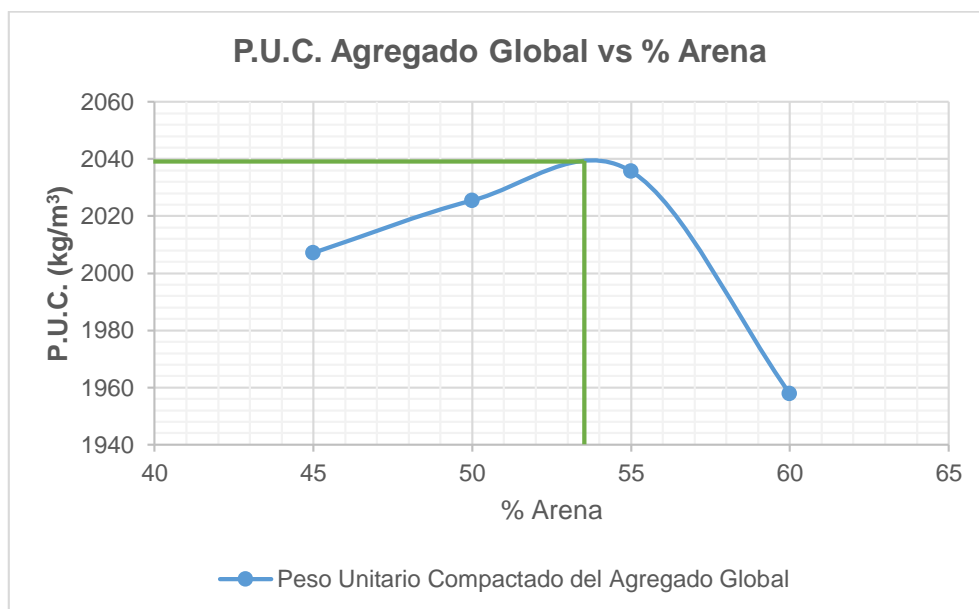
El diseño óptimo de la mezcla de concreto es necesario que sea trabajable en estado plástico y además que desarrolle de forma efectiva las propiedades que se requieran en estado endurecido.

Para lograr esto, en la presenta investigación, optimiza las proporciones de agregado fino y grueso mediante la combinación efectiva de ambos (agregado global).

#### 4.1.1 Peso Unitario Compactado Máximo del Agregado Global

Mediante el ensayo del Peso Unitario Compactado del Agregado Global se obtiene la proporción óptima de los agregados, ya que con esta combinación se logra la menor cantidad de vacíos posible de la mezcla.

Gráfico N° 4.1 Peso Unitario Compactado del Agregado Global



Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico N° 4.1 se observa que el máximo P.U.C. es igual a 2040 kg/m<sup>3</sup> al usar la proporción de agregados % Arena = 53.5% y % Piedra = 46.5%.

Sin embargo, esto no garantiza que con el máximo P.U.C. del agregado global se tendrá una trabajabilidad óptima y una resistencia máxima del concreto, por lo que posteriormente se recurre a buscar la máxima resistencia mediante ensayos de compresión para encontrar las proporciones óptimas de los agregados.

#### 4.1.2 Método de Diseño del Agregado Global

En esta sección se explica los pasos a seguir para realizar el diseño mediante el método del agregado global, se toma como referencia la relación a/c: 0.45, la cual servirá como guía para realizar los demás diseños restantes (a/c: 0.50 y 0.55).

- Tamaño máximo nominal (T.M.N.) del agregado grueso: 1”.
- Selección del a/c: 0.45.
- Selección del asentamiento: 4” de slump.
- Selección del contenido de aire (para T.M.N.= 1” se considera aire atrapado de 1.5%).
- La estimación de agua/m<sup>3</sup> se hace por tanteo o por la experiencia que se tenga en diseños de mezcla, para este diseño la estimación del agua es 290 L/m<sup>3</sup>.
- Cálculo de la cantidad de cemento:

$$\text{Cemento} = \text{agua} / (\text{a/c}) = 290 / 0.45 = 644.44 \text{ Kg/m}^3$$

- Cálculo de los volúmenes de los materiales para 1m<sup>3</sup> de mezcla:

$$\text{Vol. Aire} = 1.5\% = 0.015 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Agua} = \text{Peso} / \text{P.E. Agua} = 290 / 1000 = 0.29 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Cemento Tipo II} = \text{Peso} / \text{P.E. Cemento} = 644.44 / 3110 = 0.207 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Agregados} = 1 \text{ m}^3 - (\text{Vol. Aire} + \text{Vol. Agua} + \text{Vol. Cemento Tipo II})$$

$$\text{Vol. Agregados} = 0.488 \text{ m}^3$$

Del Peso Unitario Compactado del Agregado Global tenemos como proporciones de agregados % Arena = 53.5% y % Piedra = 46.5%.

$$\text{Vol. Arena} = 53.5\% \times 0.488 = 0.261 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol. Piedra} = 46.5\% \times 0.488 = 0.227 \text{ m}^3$$

- Cálculo del peso seco de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Peso Seco de Arena} &= \text{P.E. Arena} \times \text{Vol. Arena} \\ &= 2650 \times 0.261 = 692.07 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso Seco de Piedra} &= \text{P.E. Piedra} \times \text{Vol. Piedra} \\ &= 2770 \times 0.227 = 627.70 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Corrección del peso húmedo de los agregados:

$$\begin{aligned} \text{Peso Húmedo de Arena} &= \text{Peso seco} \times (1 + \% \text{C.H. arena}) \\ &= 692.07 \times (1 + 3.99\%) = 719.66 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Peso Húmedo de Piedra} &= \text{Peso seco} \times (1 + \% \text{C.H. piedra}) \\ &= 627.70 \times (1 + 0.37\%) = 630.04 \text{ Kg} \end{aligned}$$

- Corrección del agua de diseño:

$$\begin{aligned} \text{Agua de la arena} &= \text{Peso seco} \times (\% \text{ Abs. de la arena} - \% \text{C.H. de la arena}) \\ &= 692.07 \times (1.42\% - 3.99\%) = -17.76 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Agua de la piedra} &= \text{Peso seco} \times (\% \text{ Abs. de la piedra} - \% \text{C.H. de la piedra}) \\ &= 627.70 \times (0.54\% - 0.37\%) = +1.02 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Corrección del agua} &= \text{Agua de la arena} + \text{Agua de la piedra} \\ &= -16.74 \text{ L} \end{aligned}$$

La corrección del agua con valor negativo significa que los agregados contienen agua adicional que influye en el diseño seco, por lo que se restará el valor al agua de diseño para equilibrar la distribución.

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Agua Corregida} &= \text{Agua inicial} + \text{Corrección del agua} \\ &= 290 - 16.74 = 273.26 \text{ L} \end{aligned}$$

Cuadro N° 4.1 Diseño resultante

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda de 50 Kg
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	644.44	0.207	644.44	1.00	1.00	14.21
Agua	290.00	0.290	273.26	0.45	0.42	6.03
Arena	692.07	0.261	719.66	1.07	1.12	15.87
Piedra	627.70	0.227	630.04	0.97	0.98	13.89
Aire		0.015				
TOTAL		1.000			3.52	50.00

Asentamiento: 2" (Primer Diseño de prueba)

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.3 Obtención del Agua Patrón

Con los valores de arena y piedra a partir del Peso Unitario Compactado del Agregado Global y con el procedimiento para obtener los diseños, se busca el agua patrón para las relaciones a/c estudiadas (0.45, 0.50 y 0.55), lo cual se hace de la siguiente forma:

Se elabora tres diseños de mezclas de concreto con diferentes valores de agua, siempre manteniendo el valor de la relación a/c constante, luego de estos datos tomados se estima el agua necesario para tener un Slump de 4", dicho valor llamaremos agua patrón, la cuál será hallada para cada a/c usadas en la presente investigación.

Los datos obtenidos se muestran en el cuadro N° 4.2.



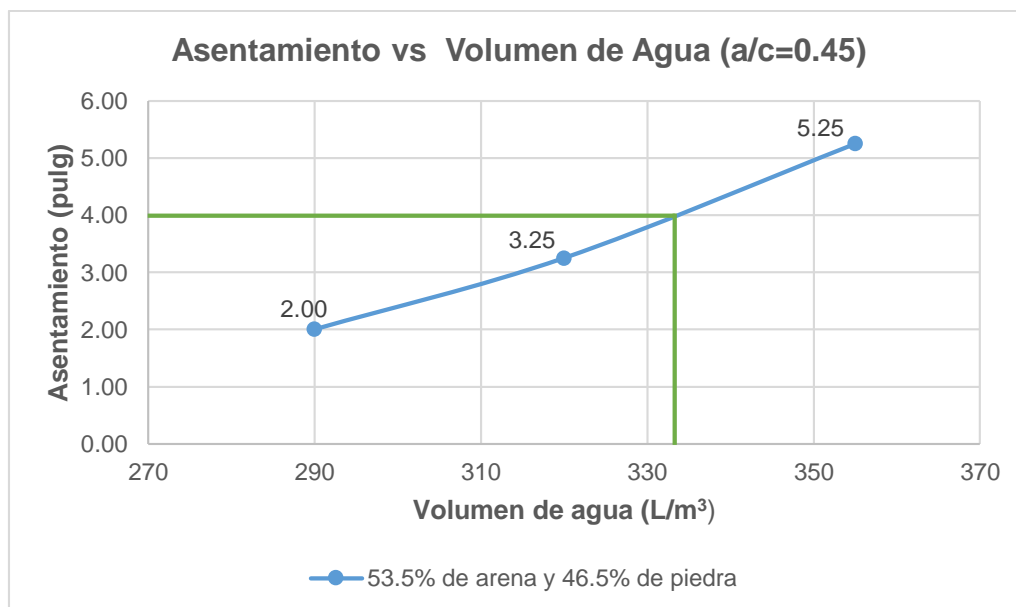
Cuadro N° 4.2 Agua Patrón para cada relación a/c, para un Slump = 4''

a/c	Agua (L/m <sup>3</sup> )	Slump (Pulg)	Agua patrón (L/m <sup>3</sup> )	Slump (Pulg)
0.45	290	2.00	333.13	4''
	320	3.25		
	355	5.25		
0.50	300	3.50	301.54	4''
	305	5.13		
	310	6.00		
0.55	270	2.50	288.08	4''
	280	3.13		
	295	4.75		

Fuente: Elaboración Propia

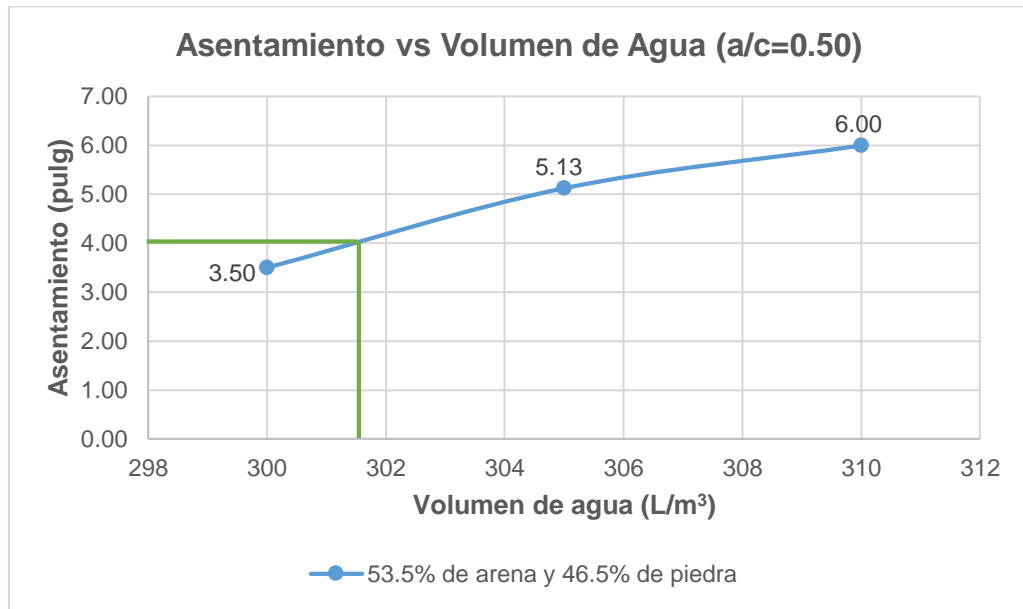
Los valores del agua patrón que se muestran en el cuadro anterior se obtienen de los gráficos N° 4.2, 4.3 y 4.4.

Gráfico N° 4.2 Estimación del Agua Patrón, para a/c: 0.45



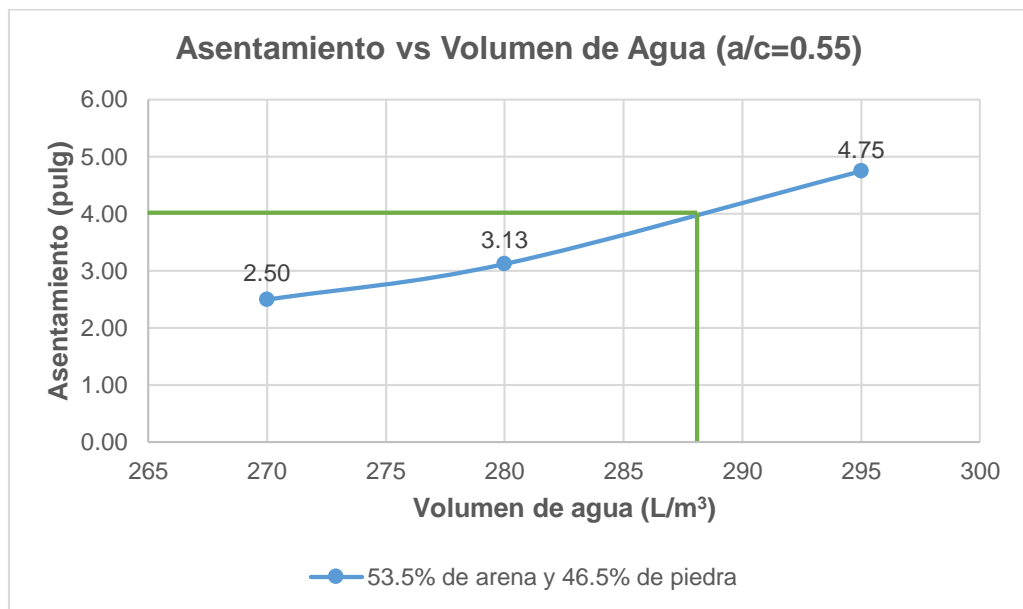
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4.3 Estimación del Agua Patrón, para a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4.4 Estimación del Agua Patrón, para a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

#### 4.1.4 Determinación de la cantidad de agregados por el método del Agregado Global

Con los valores de agua patrón, se procede a calcular las relaciones de arena/piedra de la siguiente forma:

- Se parte de la relación arena/piedra obtenida del ensayo del Peso Unitario Compactado del Agregado Global, y se varía la relación en +/-3% (mantenemos constante el valor del agua patrón), obteniendo 3 diseños para cada a/c.
- Se elaboran 6 probetas de 10 cm x 20 cm de cada diseño evaluado.
- Ensayamos las probetas a los 7 días de curado y con los valores obtenidos se hace una gráfica de los valores de Resistencia a la compresión promedio Vs. El % de arena, y así obtener el porcentaje de arena/piedra de mejor rendimiento.

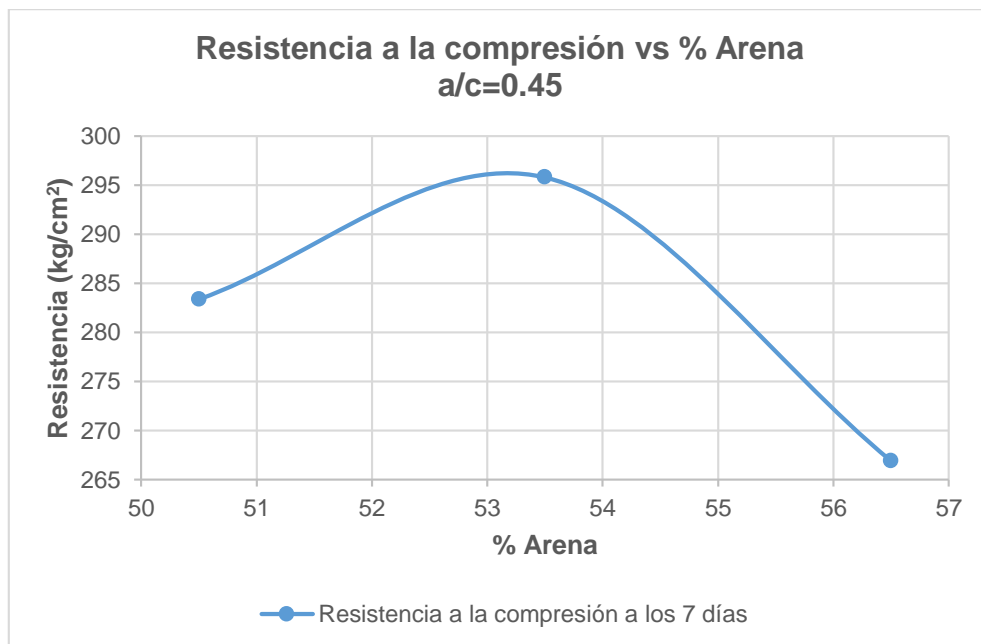
##### a) Porcentaje arena/piedra para a/c: 0.45

Cuadro N° 4.3 Resistencia a la compresión a los 7 días de curado, a/c: 0.45

Agregados		Resistencia Promedio a los 7 días (Kg/cm <sup>2</sup> )
%Arena	%Piedra	
50.5	49.5	283.37
53.5	46.5	295.77
56.5	43.5	266.88

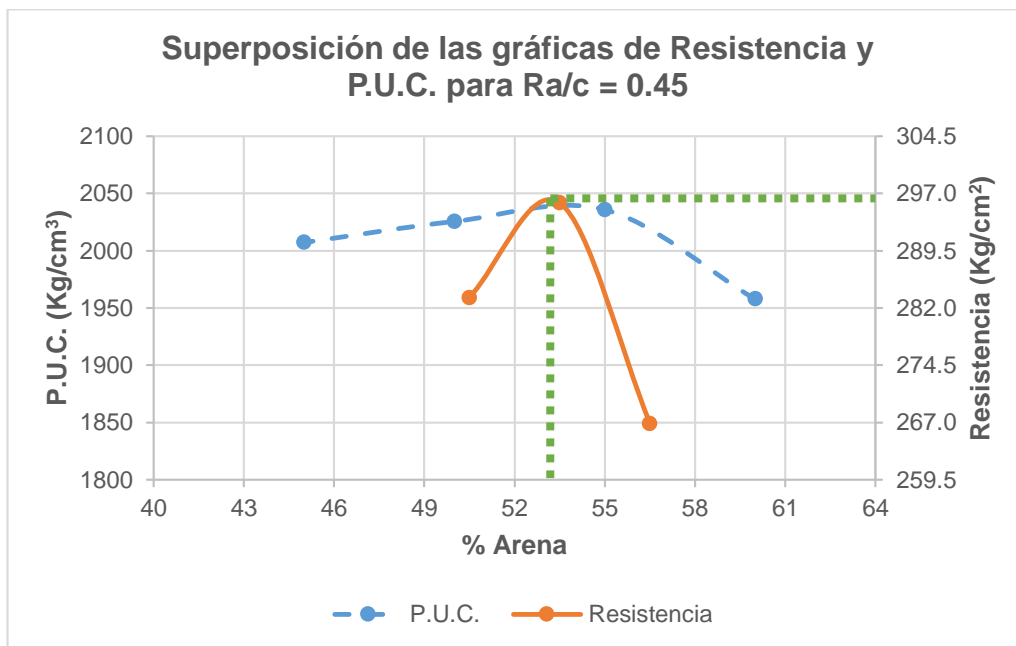
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4.5 Resistencia a la compresión vs Porcentaje de Arena, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4.6 Superposición entre P.U.C. y Resistencia a la compresión, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

En la superposición del gráfico N° 4.6 se observa que se obtiene el mejor resultado cuando % arena = 53.2% y, por consiguiente, % piedra = 46.8%.

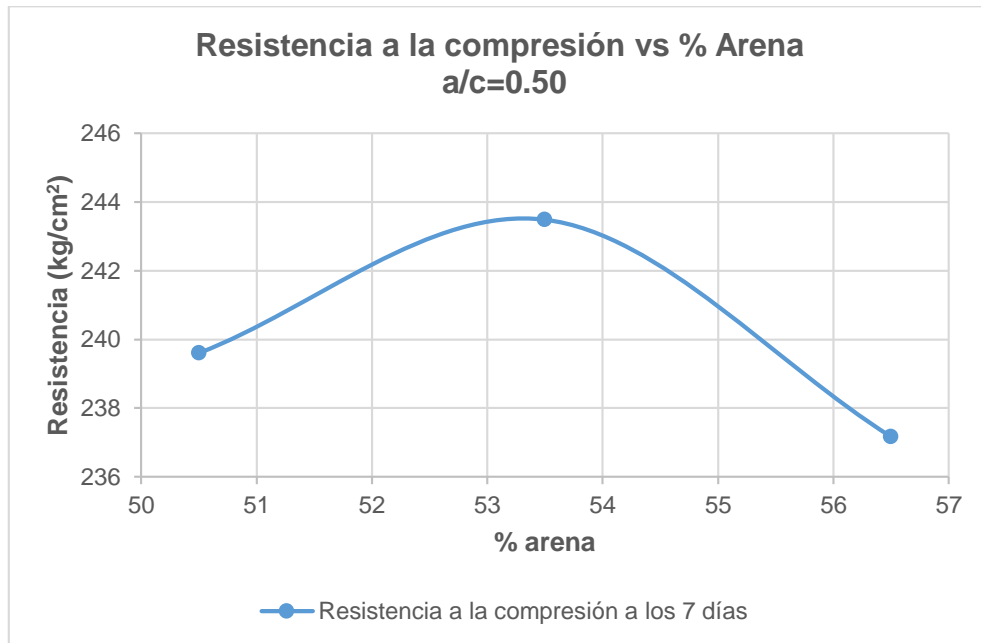
b) Porcentaje arena/piedra para a/c: 0.50

Cuadro N° 4.4 Resistencia a la compresión a los 7 días de curado, a/c: 0.50

Agregados		Resistencia Promedio a los 7 días (Kg/cm²)
%Arena	%Piedra	
50.5	49.5	239.60
53.5	46.5	243.48
56.5	43.5	237.16

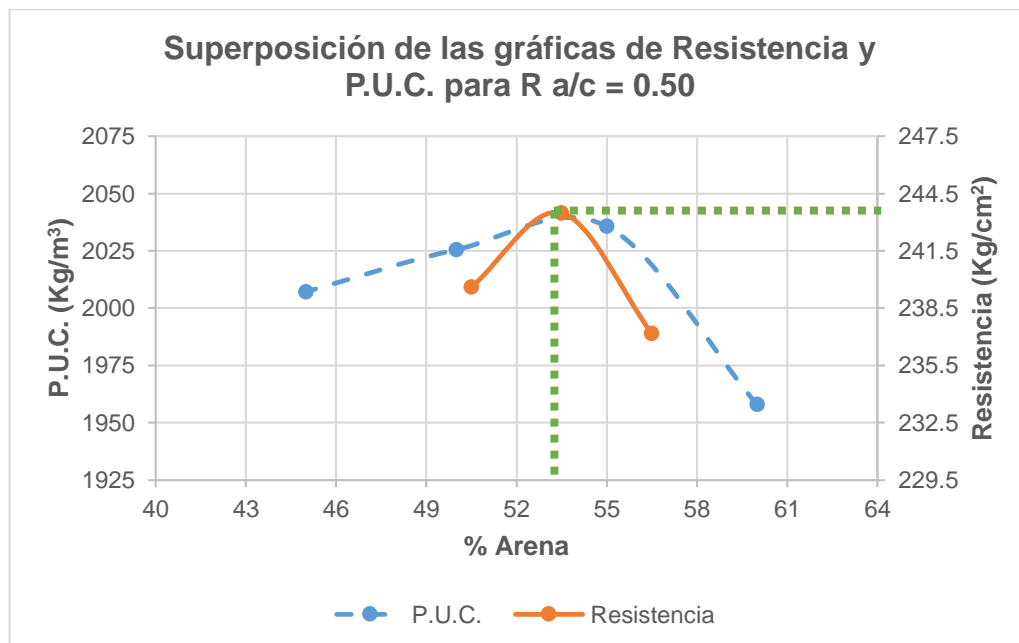
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4.7 Resistencia a la compresión vs Porcentaje de Arena, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4.8 Superposición entre P.U.C. y Resistencia a la compresión, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

En la superposición del gráfico N° 4.8 se observa que se obtiene el mejor resultado cuando % arena = 53.3% y, por consiguiente, % piedra = 46.7%.

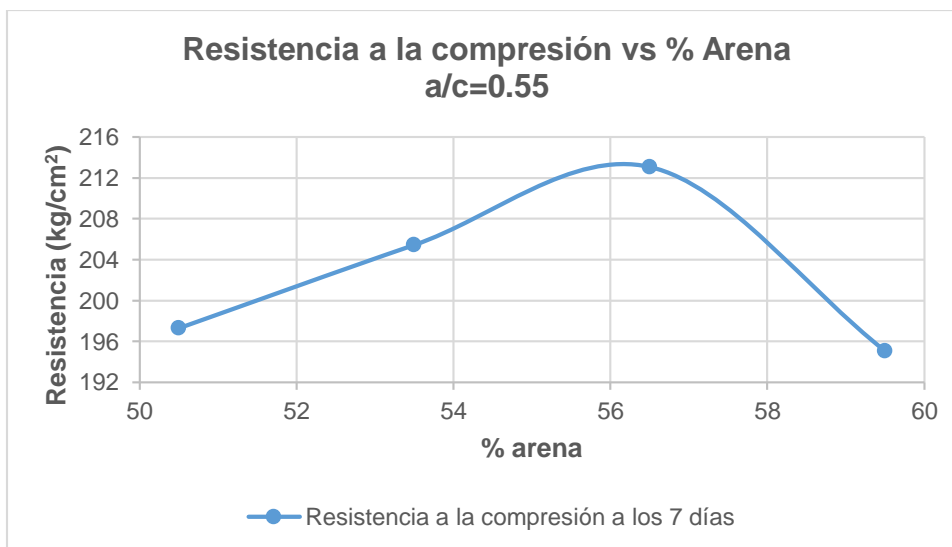
c) Porcentaje arena/piedra para a/c: 0.55

Cuadro N° 4.5 Resistencia a la compresión a los 7 días de curado, a/c: 0.55

Agregados		Resistencia Promedio a los 7 días (Kg/cm <sup>2</sup> )
%Arena	%Piedra	
50.5	49.5	197.31
53.5	46.5	205.45
56.5	43.5	213.08
59.5	40.5	195.11

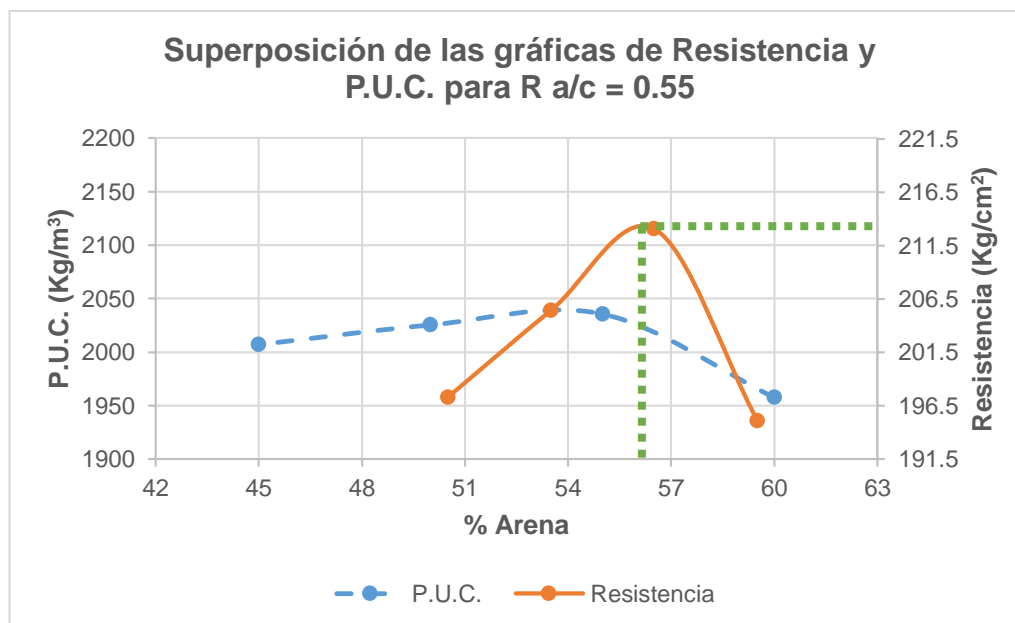
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4.9 Resistencia a la compresión vs Porcentaje de Arena, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 4.10 Superposición entre P.U.C. y Resistencia a la compresión, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

En la superposición del gráfico N° 4.10 se observa que se obtiene el mejor resultado cuando % arena = 56.1% y, por consiguiente, % piedra = 43.9%.

#### 4.1.5 Diseño final del concreto patrón con a/c: 0.45, 0.50 y 0.55

Una vez obtenido la cantidad de agregados del concreto patrón, se realiza los diseños respectivos para cada a/c: 0.45, 0.50 y 0.55. Se realizó 24 probetas para cada uno de las relaciones a/c, las cuáles fueron curadas y luego ensayadas a los 7, 14, 28 y 56 días de curado.

##### - Diseño final del concreto patrón, a/c: 0.45

Teniendo en cuenta los valores obtenidos anteriormente: Agua patrón = 333.13 L, Arena patrón = 53.2% y Piedra patrón = 46.8%, se obtiene el diseño final del concreto patrón para la relación a/c: 0.45, el cual se muestra en el cuadro N° 4.6.

Cuadro N° 4.6 Diseño final del Concreto Patrón, a/c: 0.45

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda de 50 Kg
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	740.29	0.238	740.29	1.00	1.00	16.79
Agua	333.13	0.333	319.01	0.45	0.43	7.24
Arena	583.86	0.220	607.14	0.79	0.82	13.77
Piedra	535.98	0.194	537.97	0.72	0.73	12.20
Aire		0.015				
						50.00

Fuente: Elaboración Propia

##### - Diseño final del concreto patrón, a/c: 0.50

Teniendo en cuenta los valores obtenidos anteriormente: Agua patrón = 301.54 L, Arena patrón = 53.3% y Piedra patrón = 46.7%, se obtiene el diseño final del concreto patrón para la relación a/c: 0.50, el cual se muestra en el cuadro N° 4.7.

Cuadro N° 4.7 Diseño final del Concreto Patrón, a/c: 0.50

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda de 50 Kg
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	603.08	0.194	603.08	1.00	1.00	13.45
Agua	301.54	0.302	284.81	0.50	0.47	6.35
Arena	691.97	0.261	719.56	1.15	1.19	16.04
Piedra	632.68	0.229	635.03	1.05	1.05	14.16
Aire		0.015				
						50.00

Fuente: Elaboración Propia

- Diseño final del concreto patrón, a/c: 0.55

Teniendo en cuenta los valores obtenidos anteriormente: Agua patrón = 288.08 L, Arena patrón = 56.1% y Piedra patrón = 43.9%, se obtiene el diseño final del concreto patrón para la relación a/c: 0.55, el cual se muestra en el cuadro N° 4.8.

Cuadro N° 4.8 Diseño final del Concreto Patrón, a/c: 0.55

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda de 50 Kg
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	523.78	0.168	523.78	1.00	1.00	11.61
Agua	288.08	0.288	268.94	0.55	0.51	5.96
Arena	786.28	0.296	817.63	1.50	1.56	18.13
Piedra	642.07	0.232	644.46	1.23	1.23	14.29
Aire		0.015				
						50.00

Fuente: Elaboración Propia

## 4.2 DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN CON ADITIVO

El siguiente paso es añadir el aditivo plastificante CHEMAPLAST a los diseños de concreto patrón, con dosificación del 1% respecto al peso del cemento, haciendo que el valor del agua patrón disminuya pero buscando que el asentamiento del concreto patrón con aditivo mantenga un valor de 4" +/- 1/2".

### 4.2.1 Diseño del Concreto Patrón con Aditivo para a/c: 0.45

Con la dosificación del aditivo de 1% respecto al peso del cemento, el cálculo es el siguiente:

- Peso del cemento = 740.29 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso del aditivo = 1% x Peso del cemento = 7.40 Kg/m<sup>3</sup>
- Densidad del aditivo (CHEMA PLAST) = 1.2 Kg/L
- Volumen del aditivo = Peso del aditivo / Densidad del aditivo  

$$\text{Volumen del aditivo} = (7.40 \text{ Kg/m}^3) / (1.2 \text{ Kg/L}) = 6.17 \text{ L/m}^3$$

A continuación se muestra el diseño final en el cuadro N° 4.9, se realizó 24 probetas de concreto, las cuáles fueron curadas y luego ensayadas a los 7, 14, 28 y 56 días de curado.



Cuadro N° 4.9 Diseño final del Concreto con aditivo, a/c: 0.45

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	740.29	0.238	740.29	1.00	1.00	16.94
Agua	313.99	0.314	299.87	0.42	0.41	6.86
Arena	583.86	0.220	607.14	0.79	0.82	13.89
Piedra	535.98	0.194	537.97	0.72	0.73	12.31
Aire		0.015				
Aditivo	7.40		7.40			0.1694
						50.17

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.2 Diseño del Concreto Patrón con Aditivo para a/c: 0.50

La dosificación del aditivo es 1% del peso del cemento, el cálculo es el siguiente:

- Peso del cemento = 603.08 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso del aditivo = 1% x Peso del cemento = 6.03 Kg/m<sup>3</sup>
- Densidad del aditivo (CHEMA PLAST) = 1.2 Kg/L
- Volumen del aditivo = Peso del aditivo / Densidad del aditivo  

$$\text{Volumen del aditivo} = (6.03 \text{ Kg/m}^3) / (1.2 \text{ Kg/L}) = 5.03 \text{ L/m}^3$$

A continuación se muestra el diseño final en el cuadro N° 4.10, se realizó 24 probetas de concreto, las cuáles fueron curadas y luego ensayadas a los 7, 14, 28 y 56 días de curado.

Cuadro N° 4.10 Diseño final del concreto con aditivo, a/c: 0.50

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	603.08	0.194	603.08	1.00	1.00	13.56
Agua	283.25	0.283	266.51	0.47	0.44	5.99
Arena	691.97	0.261	719.56	1.15	1.19	16.18
Piedra	632.68	0.229	635.03	1.05	1.05	14.28
Aire		0.015				
Aditivo	6.03		6.03			0.1356
						50.14

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.3 Diseño del Concreto Patrón con Aditivo para a/c: 0.55

La dosificación del aditivo es 1% del peso del cemento, el cálculo es el siguiente:

- Peso del cemento = 523.78 Kg/m<sup>3</sup>
- Peso del aditivo = 1% x Peso del cemento = 5.24 Kg/m<sup>3</sup>
- Densidad del aditivo (CHEMA PLAST) = 1.2 Kg/L
- Volumen del aditivo = Peso del aditivo / Densidad del aditivo  
Volumen del aditivo = (5.24 Kg/m<sup>3</sup>) / (1.2 Kg/L) = 4.37 L/m<sup>3</sup>

A continuación se muestra el diseño final en el cuadro N° 4.11, se realizó 24 probetas de concreto, las cuáles fueron curadas y luego ensayadas a los 7, 14, 28 y 56 días de curado.

Cuadro N° 4.11 Diseño final del concreto con aditivo, a/c: 0.55

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	523.78	0.168	523.78	1.00	1.00	11.71
Agua	269.09	0.269	249.95	0.51	0.48	5.59
Arena	786.28	0.296	817.63	1.50	1.56	18.28
Piedra	642.07	0.232	644.46	1.23	1.23	14.41
Aire		0.015				
Aditivo	5.24		5.24			0.1171
						50.12

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3 DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN CON ADITIVO Y SÍLICE NACIONAL AL 5%, 7.5% Y 10%

Una vez obtenido los diseños del Concreto Patrón con Aditivo, se le adiciona la sílice nacional al 5%, 7.5% y 10% respecto al peso del cemento, el agua patrón se modifica nuevamente para obtener un Slump de 4" +/- 1/2" (el cemento se mantiene constante).

##### 4.3.1 Diseño del Concreto Patrón con Aditivo y Sílice Nacional, a/c: 0.45

En los cuadros N° 4.12, 4.13 y 4.14 se muestran los diseños finales de Concreto con Aditivo y Sílice Nacional con a/c: 0.45.

Cuadro N° 4.12 Diseño final del concreto con aditivo y 5% de Sílice Nacional, a/c: 0.45

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	740.29	0.238	740.29	1.00	1.00	16.72
Agua	341.95	0.342	327.83	0.46	0.44	7.41
Arena	583.86	0.220	607.14	0.79	0.82	13.72
Piedra	535.98	0.194	537.97	0.72	0.73	12.15
Aire		0.015				
Aditivo	7.40		7.40			0.1672
Sílice (5%)	37.01		37.01			0.836
						51.00

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.13 Diseño final del concreto con aditivo y 7.5% de Sílice Nacional, a/c: 0.45

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	740.29	0.238	740.29	1.00	1.00	16.52
Agua	368.76	0.369	354.64	0.50	0.48	7.92
Arena	583.86	0.220	607.14	0.79	0.82	13.55
Piedra	535.98	0.194	537.97	0.72	0.73	12.01
Aire		0.015				
Aditivo	7.40		7.40			0.1652
Sílice (7.5%)	55.52		55.52			1.239
						51.40

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.14 Diseño final del concreto con aditivo y 10% de Sílice Nacional, a/c: 0.45

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	740.29	0.238	740.29	1.00	1.00	16.33
Agua	395.76	0.396	381.64	0.53	0.52	8.42
Arena	583.86	0.220	607.14	0.79	0.82	13.39
Piedra	535.98	0.194	537.97	0.72	0.73	11.87
Aire		0.015				
Aditivo	7.40		7.40			0.1633
Sílice (10%)	74.03		74.03			1.633
						51.80

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.2 Diseño del concreto patrón con aditivo y sílice nacional, a/c: 0.50

En los cuadros N° 4.15, 4.16 y 4.17 se muestran los diseños finales de Concreto con Aditivo y Sílice Nacional con a/c: 0.50.

Cuadro N° 4.15 Diseño final del concreto con aditivo y 5% de Sílice Nacional, a/c: 0.50

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	603.08	0.194	603.08	1.00	1.00	13.43
Agua	304.63	0.305	287.89	0.51	0.48	6.41
Arena	691.97	0.261	719.56	1.15	1.19	16.02
Piedra	632.68	0.229	635.03	1.05	1.05	14.14
Aire		0.015				
Aditivo	6.03		6.03			0.1343
Sílice (5%)	30.15		30.15			0.671
						50.81

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.16 Diseño final del concreto con aditivo y 7.5% de Sílice Nacional, a/c: 0.50

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	603.08	0.194	603.08	1.00	1.00	13.14
Agua	353.45	0.353	336.71	0.59	0.56	7.34
Arena	691.97	0.261	719.56	1.15	1.19	15.68
Piedra	632.68	0.229	635.03	1.05	1.05	13.84
Aire		0.015				
Aditivo	6.03		6.03			0.1314
Sílice (7.5%)	45.23		45.23			0.986
						51.12

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.17 Diseño final del concreto con aditivo y 10% de Sílice Nacional, a/c: 0.50

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	603.08	0.194	603.08	1.00	1.00	13.08
Agua	363.83	0.364	347.10	0.60	0.58	7.53
Arena	691.97	0.261	719.56	1.15	1.19	15.61
Piedra	632.68	0.229	635.03	1.05	1.05	13.78
Aire		0.015				
Aditivo	6.03		6.03			0.1308
Sílice (10%)	60.31		60.31			1.308
						51.44

Fuente: Elaboración Propia

#### 4.3.3 Diseño del Concreto Patrón con Aditivo y Sílice Nacional, a/c: 0.55

Se presentan las dosificaciones por metro cúbico del Concreto con Aditivo y Sílice Nacional con a/c: 0.55, en los cuadros N° 4.18, 4.19 y 4.20.

Cuadro N° 4.18 Diseño final del concreto con aditivo y 5% de Sílice Nacional, a/c: 0.55

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	523.78	0.168	523.78	1.00	1.00	11.49
Agua	312.90	0.313	293.76	0.60	0.56	6.44
Arena	786.28	0.296	817.63	1.50	1.56	17.93
Piedra	642.07	0.232	644.46	1.23	1.23	14.14
Aire		0.015				
Aditivo	5.24		5.24			0.1149
Sílice (5%)	26.19		26.19			0.574
						50.69

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.19 Diseño final del concreto con aditivo y 7.5% de Sílice Nacional, a/c: 0.55

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	523.78	0.168	523.78	1.00	1.00	11.37
Agua	335.66	0.336	316.52	0.64	0.60	6.87
Arena	786.28	0.296	817.63	1.50	1.56	17.76
Piedra	642.07	0.232	644.46	1.23	1.23	14.00
Aire		0.015				
Aditivo	5.24		5.24			0.1137
Sílice (7.5%)	39.28		39.28			0.853
						50.97

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 4.20 Diseño final del concreto con aditivo y 10% de Sílice Nacional, a/c: 0.55

Componentes	Dosificación para 1 m <sup>3</sup> de concreto					Tanda de 50 Kg
	Peso seco (Kg)	Volumen absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso Unitario Seco	Peso Unitario Húmedo	
Cemento	523.78	0.168	523.78	1.00	1.00	11.34
Agua	342.36	0.342	323.22	0.65	0.62	7.00
Arena	786.28	0.296	817.63	1.50	1.56	17.70
Piedra	642.07	0.232	644.46	1.23	1.23	13.95
Aire		0.015				
Aditivo	5.24		5.24			0.1134
Sílice (10%)	52.38		52.38			1.134
						51.25

Fuente: Elaboración Propia

**CAPITULO V: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO****5.1 ASENTAMIENTO (NTP 339.035:2015)**

El asentamiento es el ensayo por el cual se mide la trabajabilidad del concreto fresco; el ensayo consiste en llenar el “cono de Abrams” en tres capas compactadas de concreto fresco, se llena al ras y luego se levanta el cono, finalmente se mide la diferencia de altura que hay entre el cono metálico y la muestra de concreto que resultó luego de retirar el cono; el valor, medido en pulgadas, viene a ser el asentamiento.



Figura N° 5.1 Ensayo de Asentamiento del concreto fresco

Fuente: Elaboración Propia

Para esta investigación se estableció diseñar y ensayar el concreto con una trabajabilidad de 4” aproximadamente, obteniendo de esta manera mezclas plásticas. Para obtener este valor constante se tuvo que hacer variaciones en la cantidad de agua, asimismo cuando se usó el aditivo y la sílice nacional.

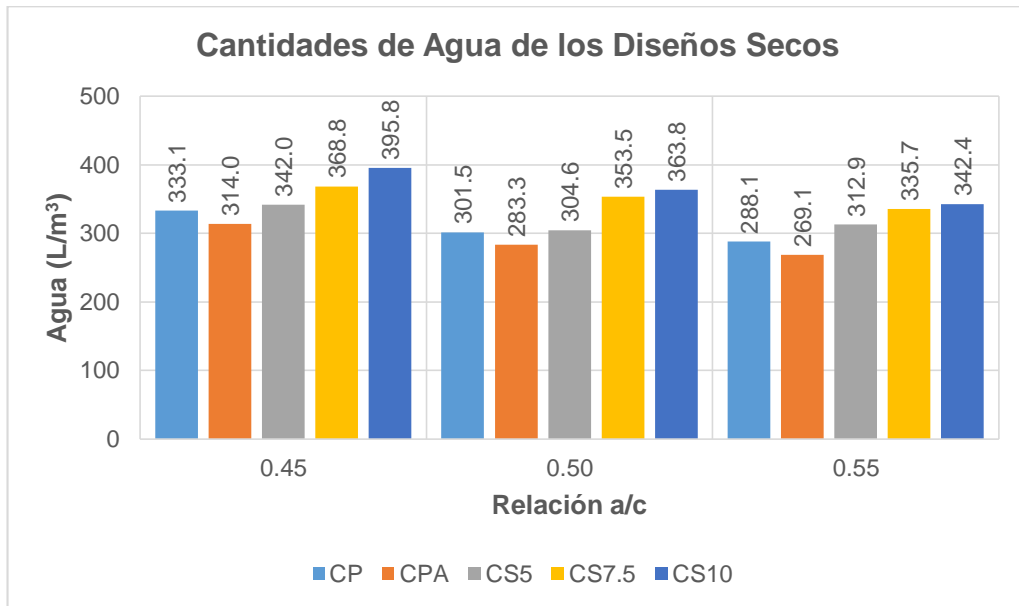
A continuación se muestra los resultados del uso de agua en los diseños secos:

Cuadro N° 5.1 Cantidades de agua usadas en los diseños secos

R a/c	Agua Concreto Patrón (L/m <sup>3</sup> )	Agua Concreto con Aditivo (L/m <sup>3</sup> )	Agua Concreto con Sílice 5% (L/m <sup>3</sup> )	Agua Concreto con Sílice 7.5% (L/m <sup>3</sup> )	Agua Concreto con Sílice 10% (L/m <sup>3</sup> )
0.45	333.13	313.99	341.95	368.76	395.76
0.50	301.54	283.25	304.63	353.45	363.83
0.55	288.08	269.09	312.90	335.66	342.36

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.1 Comparación de las cantidades de agua usadas en los diseños secos



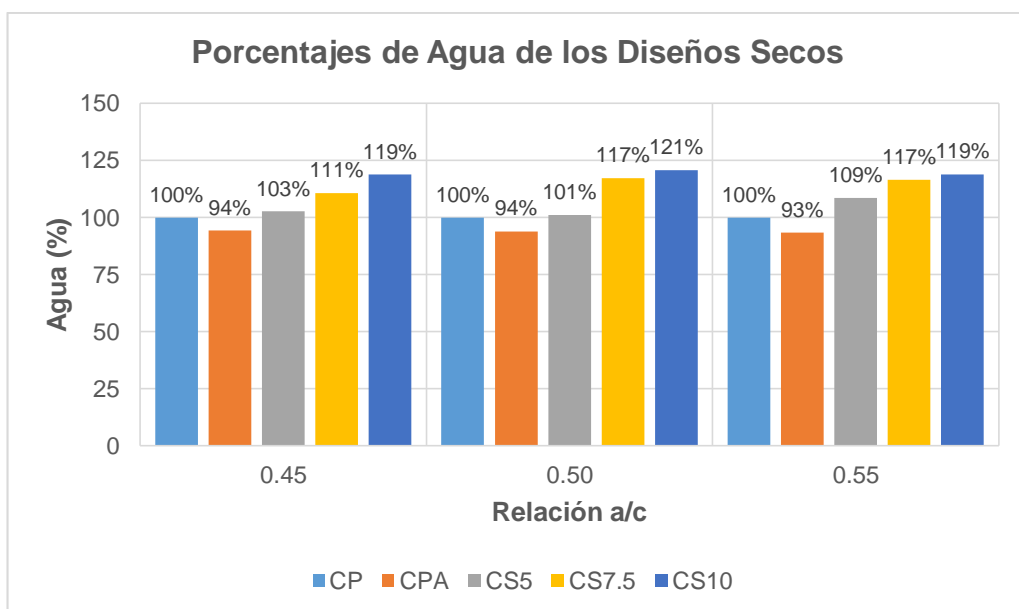
Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 5.2 Porcentajes de agua usadas en los diseños secos

R a/c	Agua Concreto Patrón (L/m³)	Agua Concreto con Aditivo (L/m³)	Agua Concreto con Sílice 5% (L/m³)	Agua Concreto con Sílice 7.5% (L/m³)	Agua Concreto con Sílice 10% (L/m³)
0.45	100%	94.25%	102.65%	110.70%	118.80%
0.50	100%	93.93%	101.02%	117.21%	120.66%
0.55	100%	93.41%	108.62%	116.52%	118.84%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.2 Comparación de los porcentajes de agua usadas en los diseños secos



Fuente: Elaboración Propia



## 5.2 PESO UNITARIO (NTP 339.046:2008)

El peso unitario es un valor que determina el peso de concreto fresco compactado por unidad de volumen. Según este valor el concreto se clasifica en:

- Concreto liviano, cuando el peso unitario está entre 400 a 1700 kg/m<sup>3</sup>.
- Concreto normal, cuando el peso unitario está entre 1700 a 2500 kg/m<sup>3</sup>.
- Concreto pesado, cuando el peso unitario es mayor de 2500 kg/m<sup>3</sup>.

El ensayo consiste en llenar un balde metálico de ½ pie<sup>3</sup> en tres capas compactadas de concreto fresco, llenarlo al ras y por último pesarlo en balanza, para luego dividir el peso del concreto fresco entre el volumen del recipiente.



Figura N° 5.2 Ensayo de Peso Unitario del concreto fresco

Fuente: Diseño y control de mezclas de concreto, PCA (2004)

A continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.

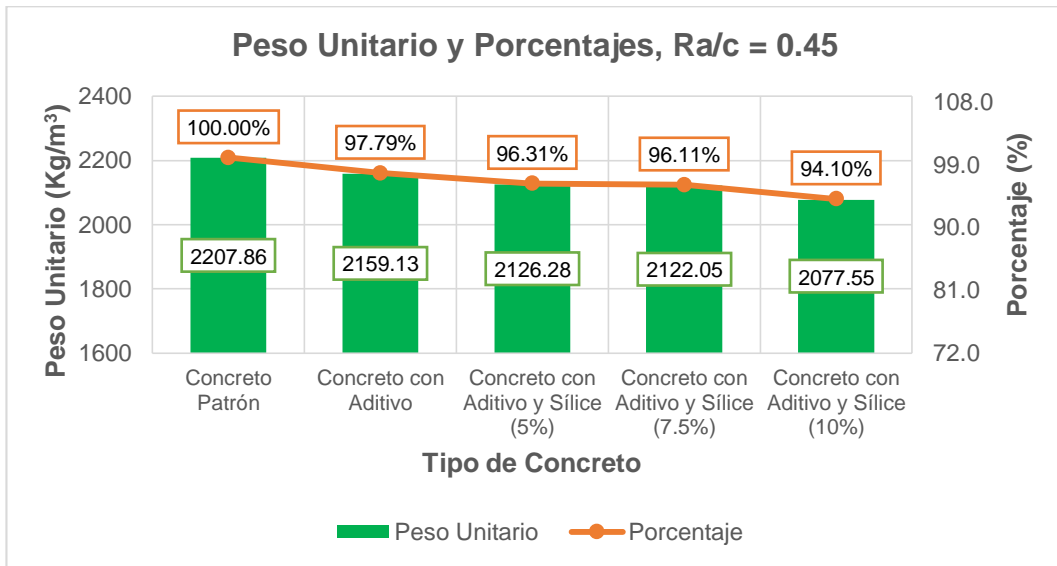
### 5.2.1 Peso Unitario, a/c: 0.45

Cuadro N° 5.3 Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Peso Unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	2207.86	100.00
Concreto con Aditivo	2159.13	97.79
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	2126.28	96.31
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	2122.05	96.11
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	2077.55	94.10

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.3 Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

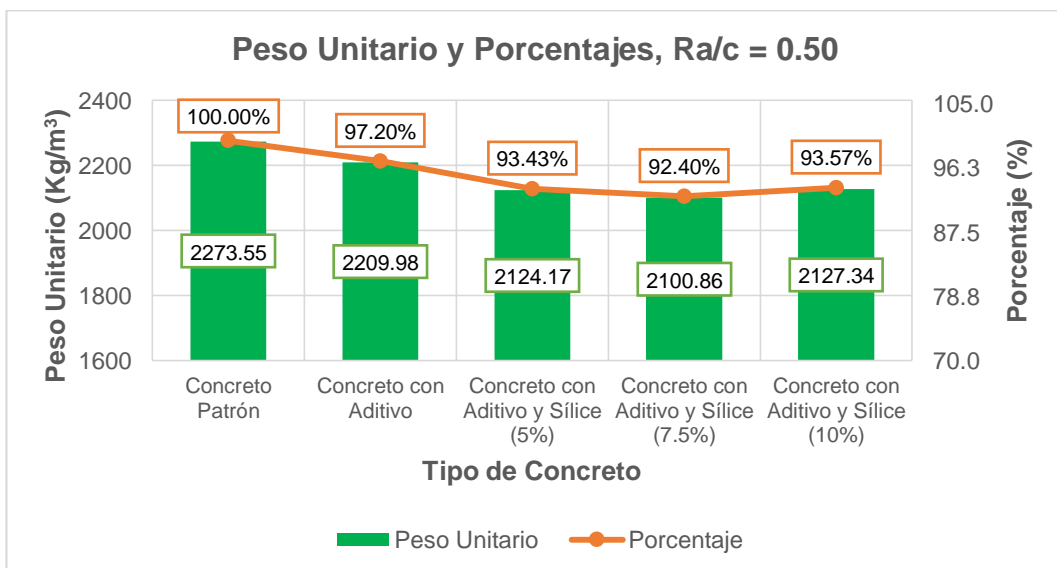
### 5.2.2 Peso Unitario, a/c: 0.50

Cuadro N° 5.4 Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Peso Unitario (Kg/m³)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	2273.55	100.00
Concreto con Aditivo	2209.98	97.20
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	2124.17	93.43
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	2100.86	92.40
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	2127.34	93.57

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.4 Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

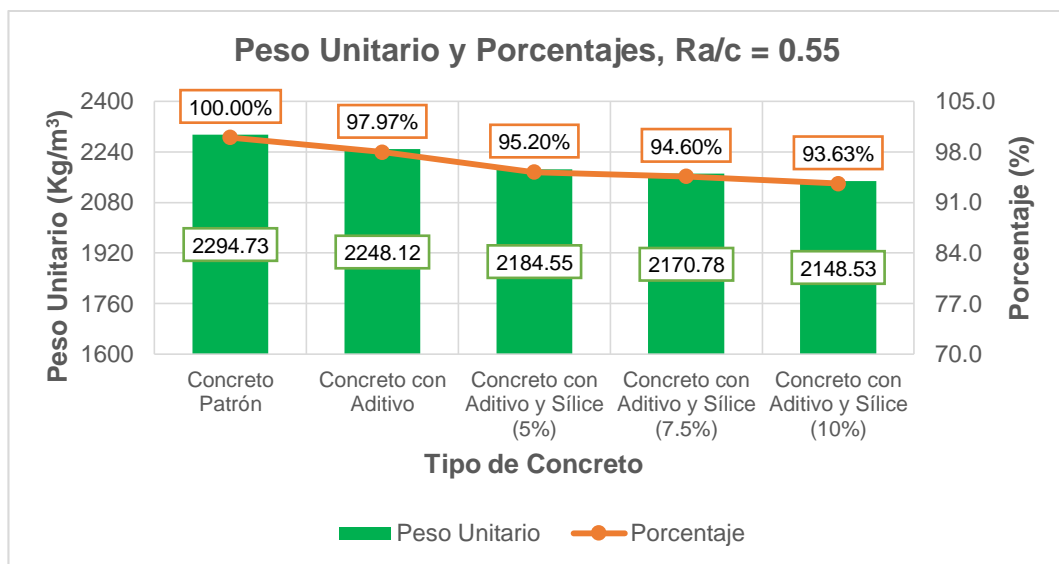
### 5.2.3 Peso Unitario, a/c: 0.55

Cuadro N° 5.5 Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Peso Unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	2294.73	100.00
Concreto con Aditivo	2248.12	97.97
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	2184.55	95.20
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	2170.78	94.60
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	2148.53	93.63

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.5 Peso Unitario y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

### 5.3 FLUIDEZ (NTP 339.085:1981)

Es un valor porcentual que determina la capacidad del concreto fresco para comportarse como un fluido. El ensayo consiste en:

- Colocar un molde tronco-cónico sobre una mesa de sacudidas.
- En el molde se llena en dos capas compactadas de concreto fresco.
- Se retira de forma vertical el molde y se sacude la mesa mediante 15 golpes durante 15 segundos haciendo girar la manivela de la mesa.
- Luego de sacudir la mesa, se hace seis mediciones del diámetro de la muestra esparcida sobre ella, con ello se calcula la fluidez del concreto mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fluidez} = \frac{(D - 25)}{25} \times 100$$

Donde:

D: Diámetro promedio (cm).



Figura N° 5.3 Ensayo de fluidez del concreto fresco

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.

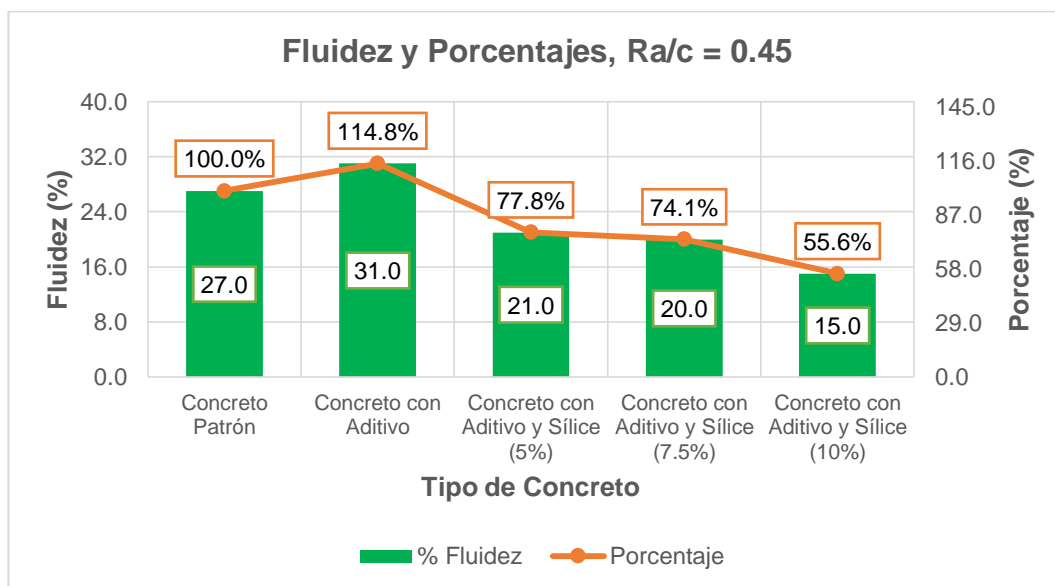
5.3.1 Ensayo de Fluidez, a/c: 0.45

Cuadro N° 5.6 Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Fluidez (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	27.0	100.00
Concreto con Aditivo	31.0	114.81
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	21.0	77.78
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	20.0	74.07
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	15.0	55.56

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.6 Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

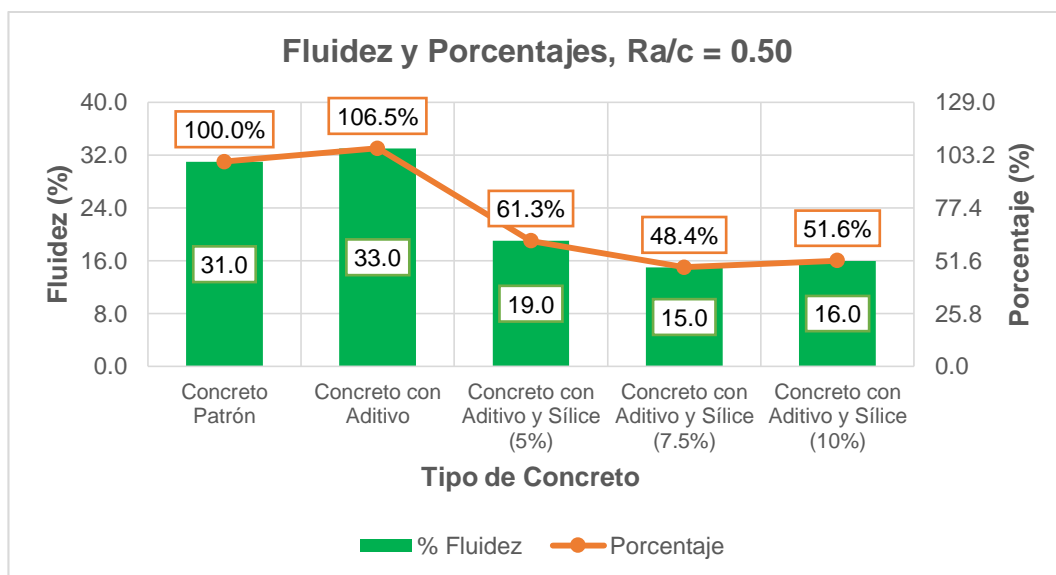
### 5.3.2 Ensayo de Fluidez, a/c: 0.50

Cuadro N° 5.7 Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Fluidez (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	31.0	100.00
Concreto con Aditivo	33.0	106.45
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	19.0	61.29
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	15.0	48.39
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	16.0	51.61

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.7 Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

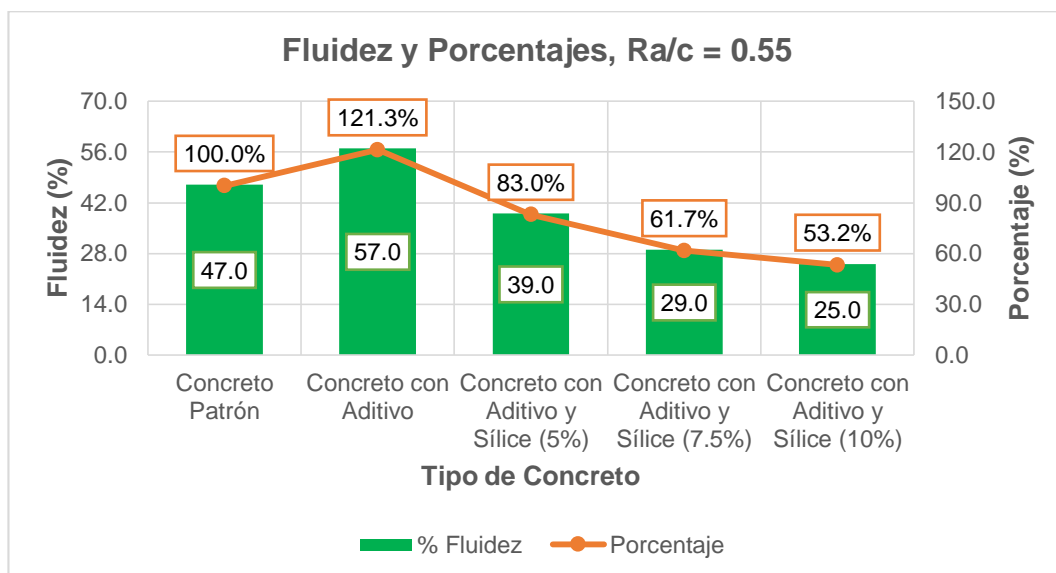
### 5.3.3 Ensayo de Fluidez, a/c: 0.55

Cuadro N° 5.8 Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Fluidez (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	47.0	100.00
Concreto con Aditivo	57.0	121.28
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	39.0	82.98
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	29.0	61.70
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	25.0	53.19

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.8 Fluidez y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

#### 5.4 CONTENIDO DE AIRE (NTP 339.083:2003)

Es el valor porcentual del volumen de aire contenido en la mezcla de concreto fresco, el conocerlo es importante ya que es un parámetro de la calidad del concreto, como por ejemplo su comportamiento frente a la intemperie.

Para realizar este ensayo se aplicó el método de presión usando la olla Washington, a continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.



Figura N° 5.4 Ensayo de Contenido de Aire

Fuente: Elaboración Propia

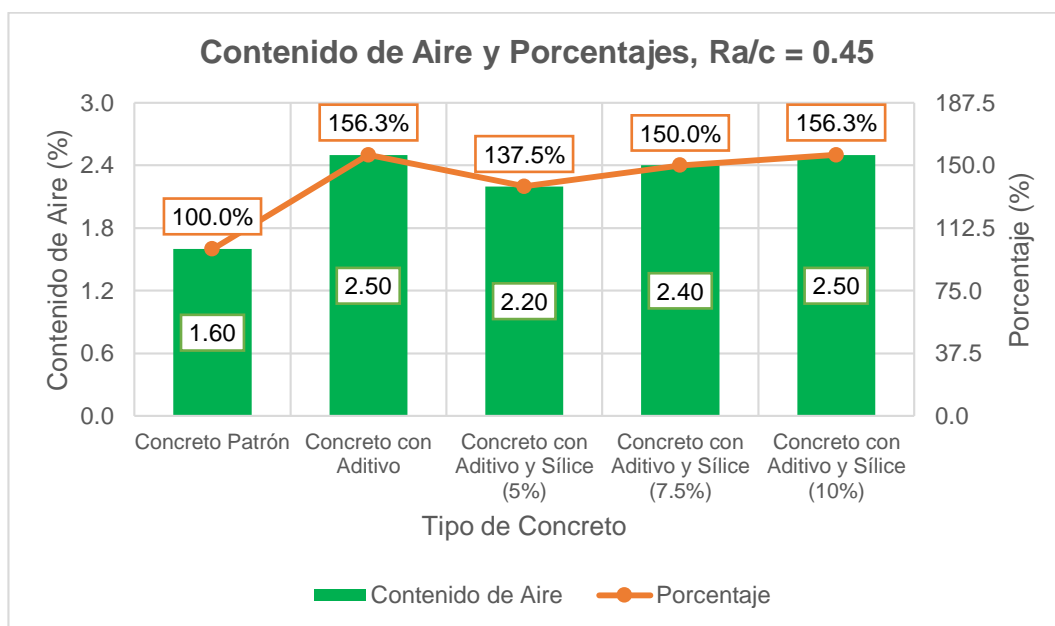
### 5.4.1 Contenido de Aire, a/c: 0.45

Cuadro N° 5.9 Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Contenido de Aire (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	1.60	100.00
Concreto con Aditivo	2.50	156.25
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	2.20	137.50
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	2.40	150.00
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	2.50	156.25

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.9 Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

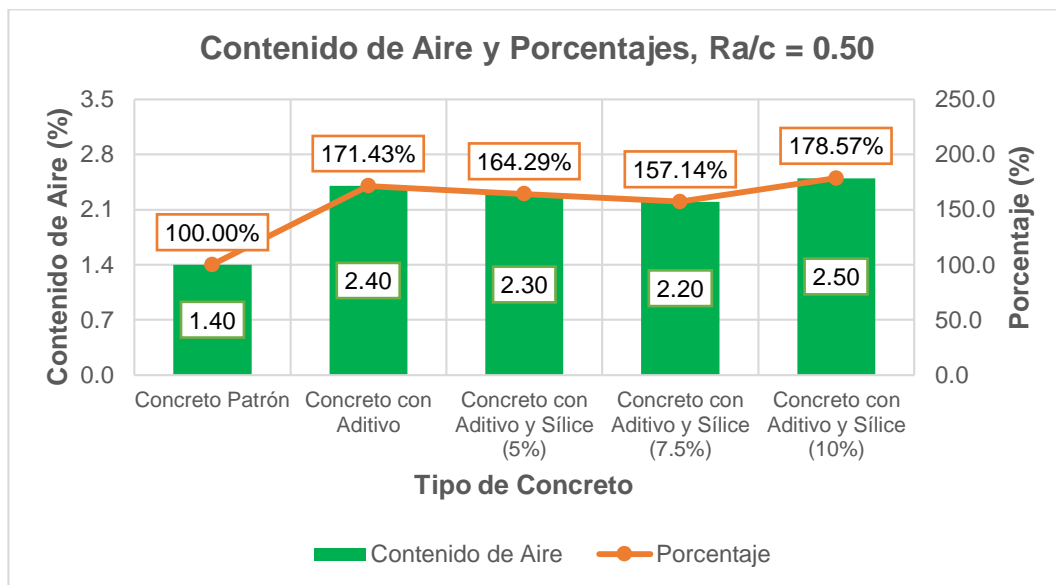
### 5.4.2 Contenido de Aire, a/c: 0.50

Cuadro N° 5.10 Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Contenido de Aire (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	1.40	100.00
Concreto con Aditivo	2.40	171.43
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	2.30	164.29
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	2.20	157.14
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	2.50	178.57

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.10 Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

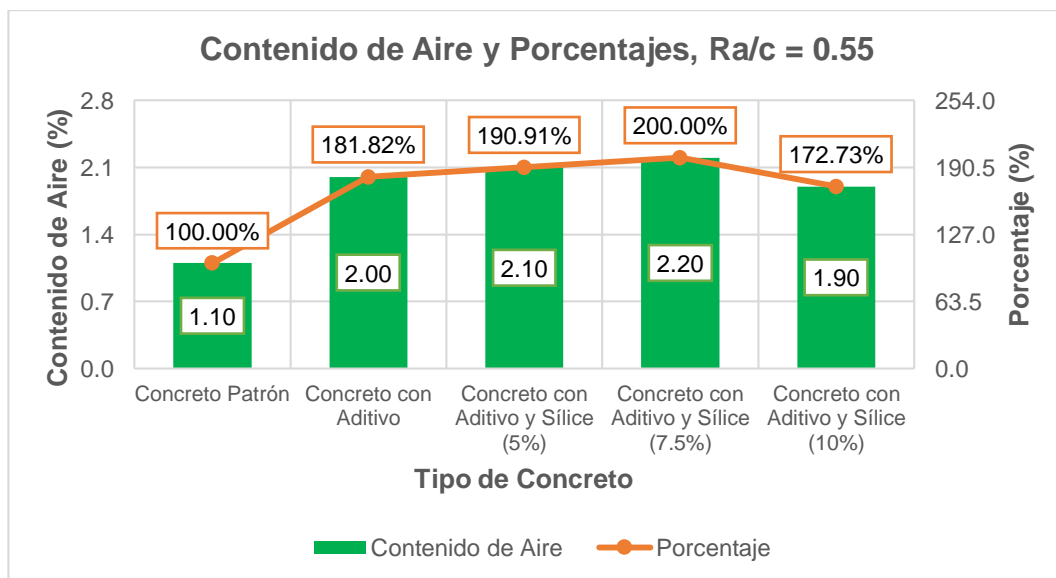
#### 5.4.3 Contenido de Aire, a/c: 0.55

Cuadro N° 5.11 Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Contenido de Aire (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	1.10	100.00
Concreto con Aditivo	2.00	181.82
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	2.10	190.91
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	2.20	200.00
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	1.90	172.73

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.11 Contenido de Aire y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia



## 5.5 TIEMPO DE FRAGUADO (NTP 339.082:2017)

Es el intervalo de tiempo donde la pasta de cemento del concreto pasa del estado plástico al estado endurecido.

El ensayo consiste en tomar una muestra de mortero tamizado de la mezcla de concreto fresco, para luego ser colocado en un recipiente y sobre su superficie se aplica penetración utilizando agujas normalizadas en determinados intervalos de tiempo.

Se consideran dos definiciones:

- Tiempo de fraguado inicial, se produce cuando la mezcla ha perdido parte de su plasticidad producto del aumento de su temperatura. Para decir que se alcanzó el tiempo de fraguado inicial, la resistencia a la penetración debe lograr el valor de 500 lb/pulg<sup>2</sup>.
- Tiempo de fraguado final, se da cuando la mezcla ha perdido toda la plasticidad producto del aumento de su resistencia. Para decir que se alcanzó el tiempo de fraguado final, la resistencia a la penetración debe lograr el valor de 4000 lb/pulg<sup>2</sup>.



Figura N° 5.5 Ensayo de tiempo de fraguado

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.

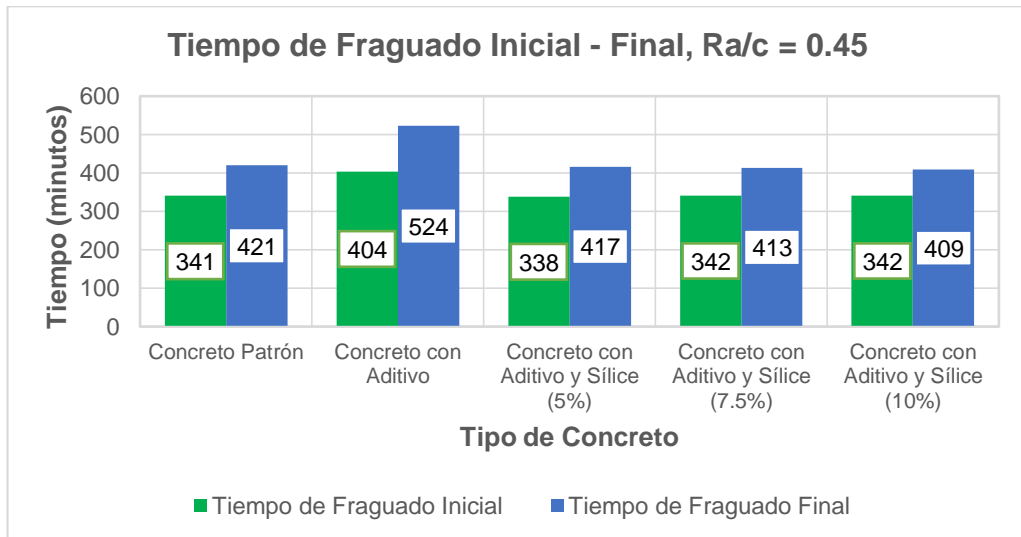
### 5.5.1 Tiempo de Fraguado Inicial – Final, a/c: 0.45

Cuadro N° 5.12 Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Tiempo de Fraguado Inicial (min)	Tiempo de Fraguado Final (min)
CP	341	421
CPA	404	524
CS5	338	417
CS7.5	342	413
CS10	342	409

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.12 Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

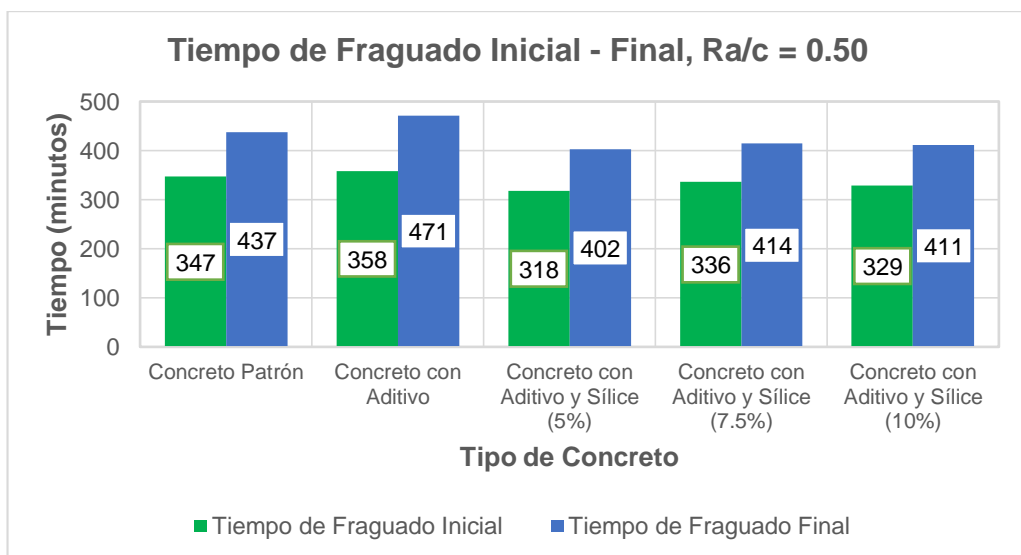
### 5.5.2 Tiempo de Fraguado Inicial – Final, a/c: 0.50

Cuadro N° 5.13 Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Tiempo de Fraguado Inicial (min)	Tiempo de Fraguado Final (min)
CP	347	437
CPA	358	471
CS5	318	402
CS7.5	336	414
CS10	329	411

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.13 Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

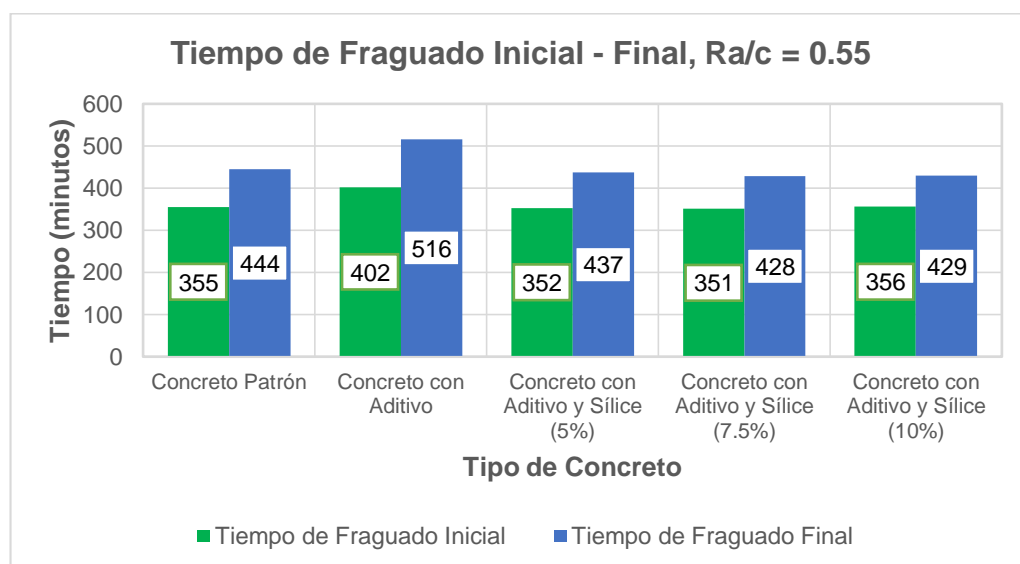
### 5.5.3 Tiempo de Fraguado Inicial – Final, a/c: 0.55

Cuadro N° 5.14 Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Tiempo de Fraguado Inicial (min)	Tiempo de Fraguado Final (min)
CP	355	444
CPA	402	516
CS5	352	437
CS7.5	351	428
CS10	356	429

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.14 Tiempo de Fraguado Inicial y Final del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

## 5.6 EXUDACIÓN (NTP 339.077:2013)

La exudación del concreto fresco es un fenómeno que se produce por el ascenso del agua hacia la superficie durante el proceso de fraguado, esto se genera por lo general debido al asentamiento de los materiales (agregados y la pasta de cemento). La exudación siempre se encuentra presente en el concreto, salvo cuando se añade aditivos reductores de agua al concreto, haciendo que esta propiedad sea bastante baja o no exista.

La presencia de exudación en el concreto puede ser o no perjudicial, eso dependiendo de la cantidad, de las características geométricas de la estructura y de las condiciones ambientales.

El porcentaje de exudación se expresa como el agua acumulada entre el agua total de la muestra ensayada.

$$\%exudación = \frac{D}{C} \times 100\% \quad ; \quad C = \frac{w}{W} \times S$$

Donde:

C: Masa del agua en la muestra (g).

W: Masa total de la tanda (Kg).

w: Masa del agua de mezclado neta (cantidad del agua total menos el agua absorbida por los agregados) (Kg).

S: Masa de la muestra (g).

D: Masa del agua de exudación (g), o volumen total extraído de la muestra (cm<sup>3</sup>).

A continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.

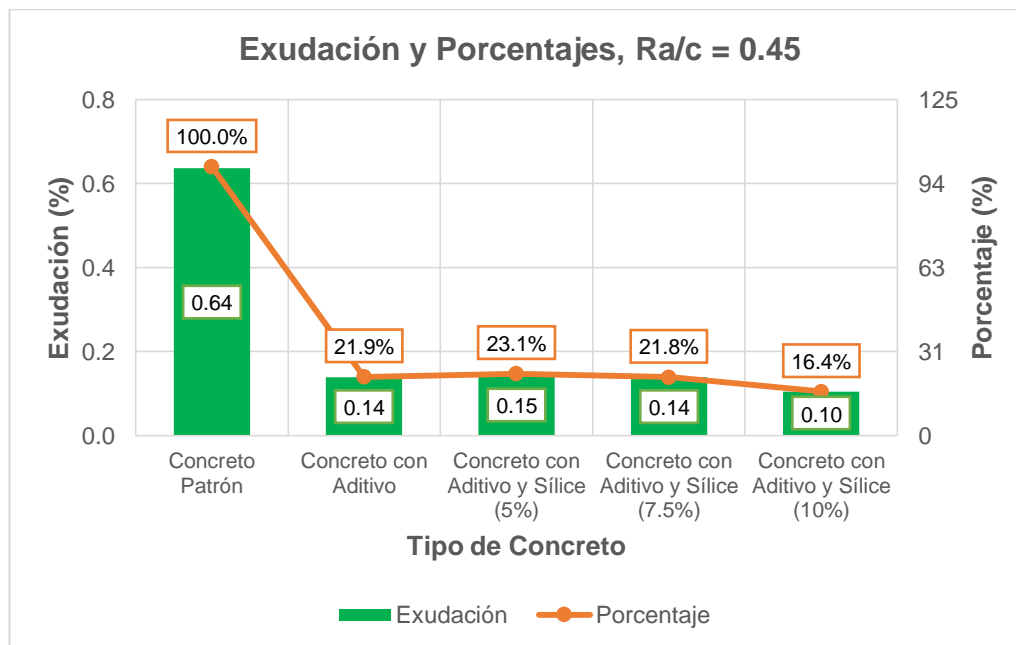
### 5.6.1 Exudación, a/c: 0.45

Cuadro N° 5.15 Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Exudación (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	0.64	100.00
Concreto con Aditivo	0.14	21.90
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	0.15	23.05
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	0.14	21.80
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	0.10	16.41

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.15 Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

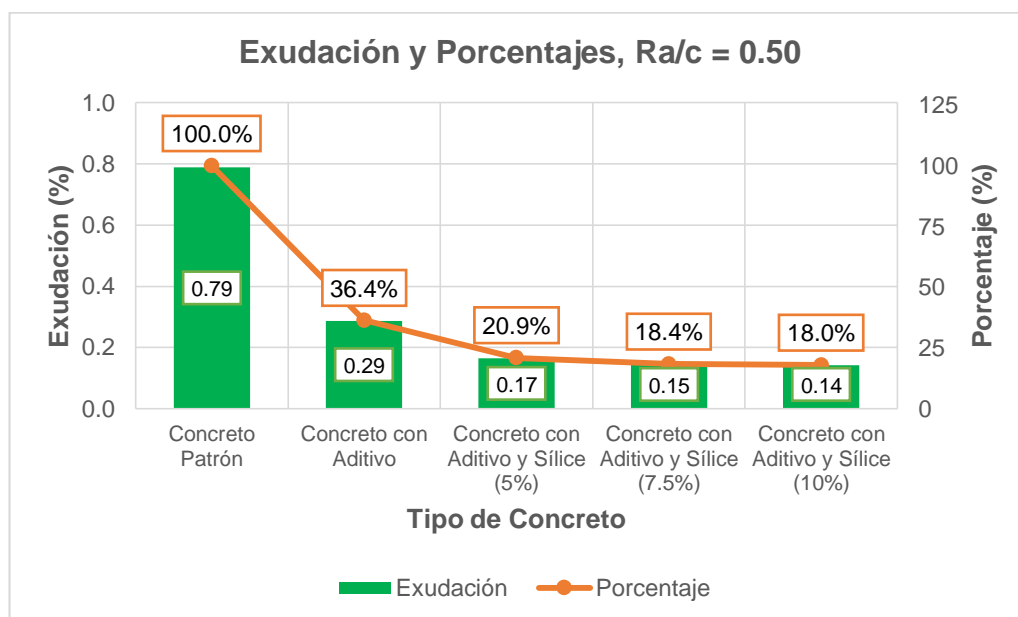
### 5.6.2 Exudación, a/c: 0.50

Cuadro N° 5.16 Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Exudación (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	0.79	100.00
Concreto con Aditivo	0.29	36.38
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	0.17	20.94
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	0.15	18.38
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	0.14	18.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.16 Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

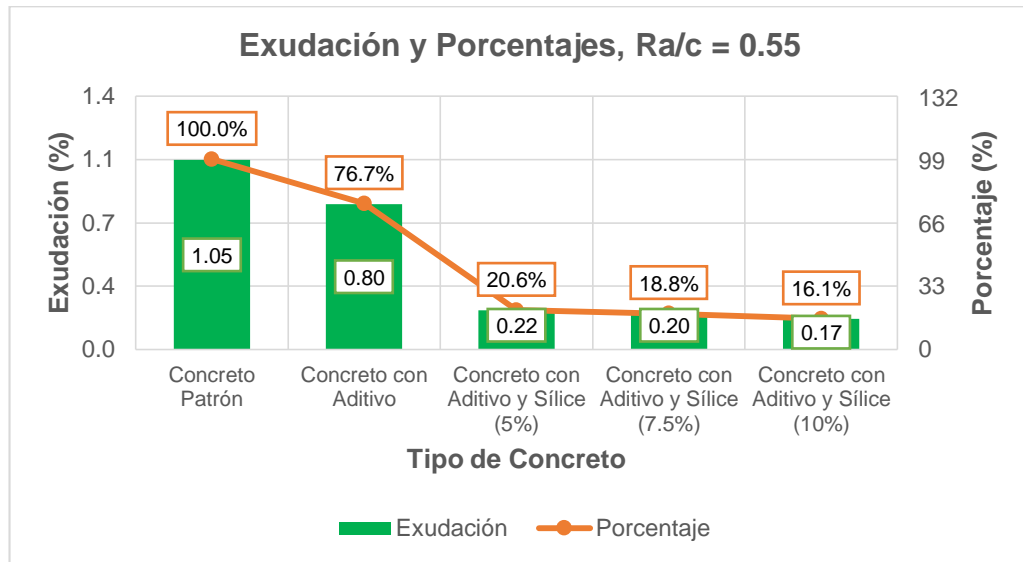
### 5.6.3 Exudación, a/c: 0.55

Cuadro N° 5.17 Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Exudación (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	1.05	100.00
Concreto con Aditivo	0.80	76.68
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	0.22	20.56
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	0.20	18.76
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	0.17	16.13

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5.17 Exudación y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

**CAPITULO VI: PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO****6.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTP 339.034:2015)**

La resistencia a la compresión del concreto es la medida más frecuente y utilizada para realizar los diseños de edificaciones y otras estructuras. El valor está representado por la carga máxima que soporta el concreto y se mide mediante la fracturación por carga axial de probetas cilíndricas de concreto en una máquina para ensayos a compresión.

Se utiliza la siguiente fórmula:

$$F'c = \frac{4 \times G}{\pi \times D^2}$$

Donde:

F'c: Resistencia a la compresión del concreto (Kg/cm<sup>2</sup>)

G: Carga máxima de rotura (Kg)

D: Diámetro promedio del espécimen (cm)



Figura N° 6.1 Ensayo de compresión axial del concreto

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.

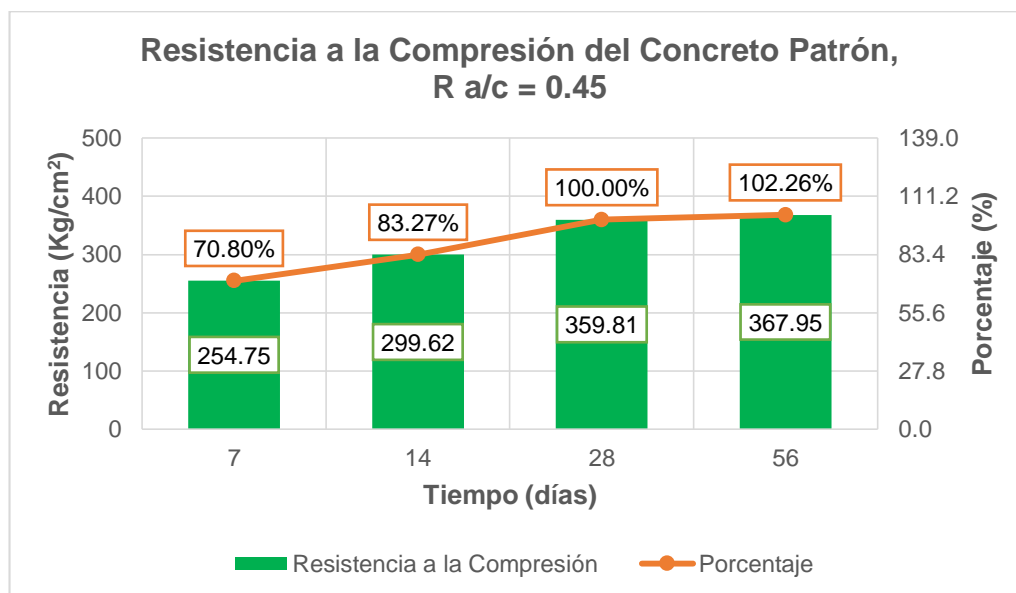
**6.1.1 Resistencia a la compresión, a/c: 0.45****a) Concreto Patrón**

Cuadro N° 6.1 Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.45

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	254.75	70.80
14	299.62	83.27
28	359.81	100.00
56	367.95	102.26

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.1 Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

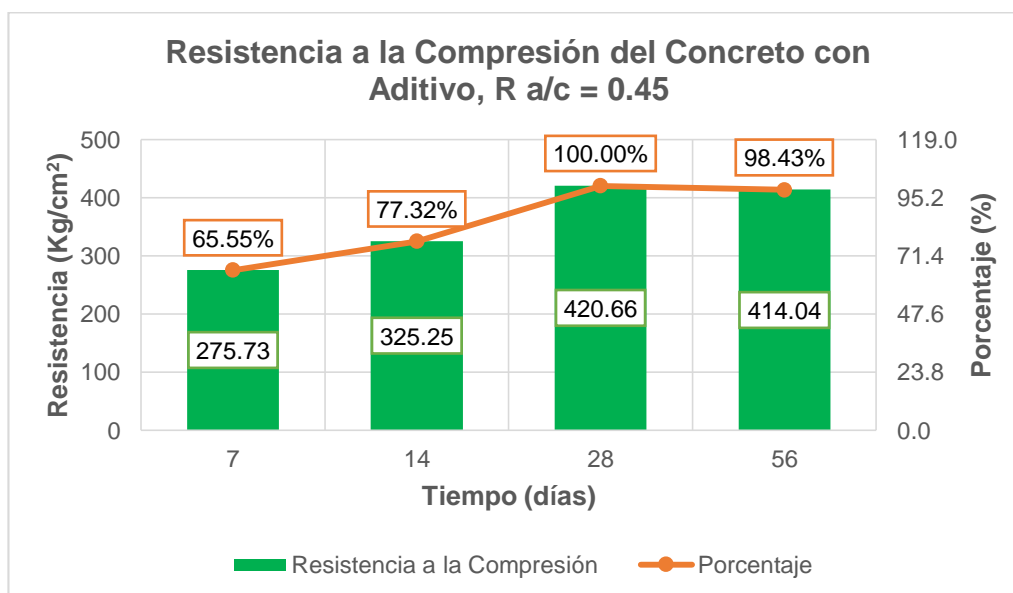
b) Concreto con Aditivo

Cuadro N° 6.2 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.45

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	275.73	65.55
14	325.25	77.32
28	420.66	100.00
56	414.04	98.43

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.2 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia



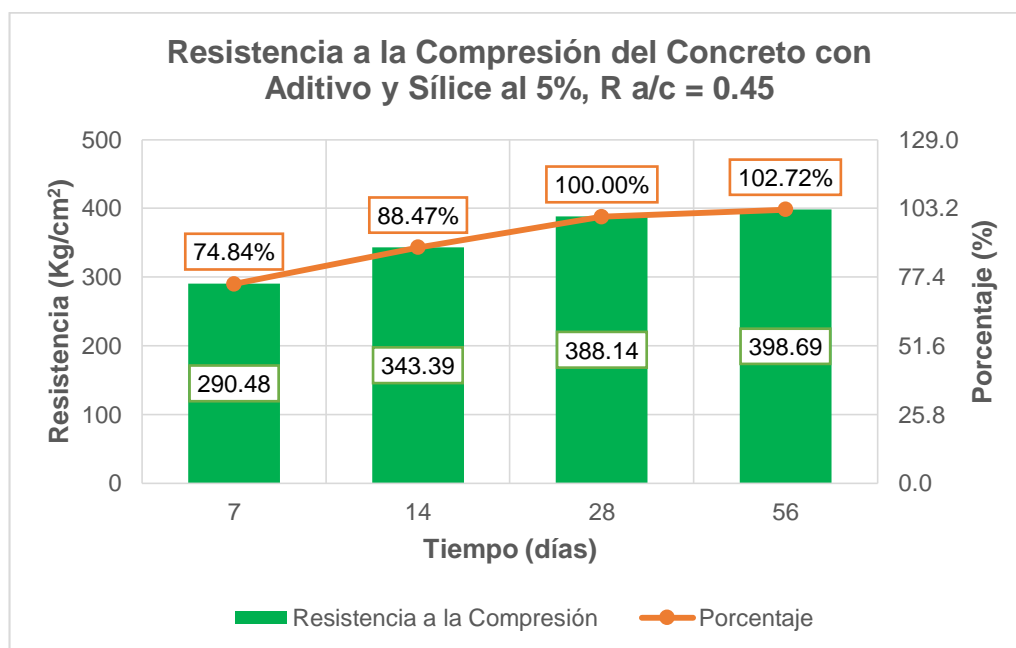
c) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 5%

Cuadro N° 6.3 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%,  
 a/c: 0.45

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	290.48	74.84
14	343.39	88.47
28	388.14	100.00
56	398.69	102.72

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.3 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%,  
 a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

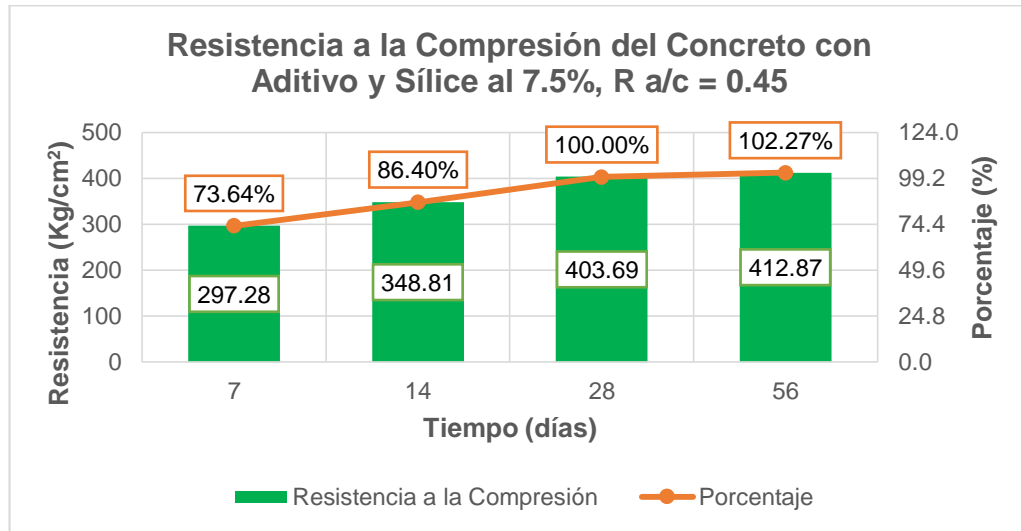
d) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 7.5%

Cuadro N° 6.4 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%,  
 a/c: 0.45

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	297.28	73.64
14	348.81	86.40
28	403.69	100.00
56	412.87	102.27

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.4 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%,  
 a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

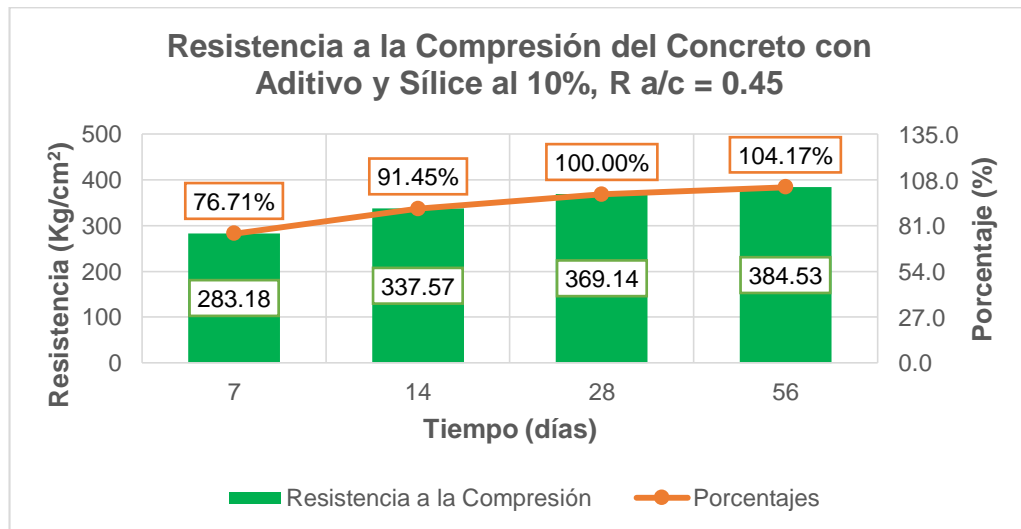
e) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 10%

Cuadro N° 6.5 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%,  
 a/c: 0.45

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	283.18	76.71
14	337.57	91.45
28	369.14	100.00
56	384.53	104.17

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.5 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%,  
 a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

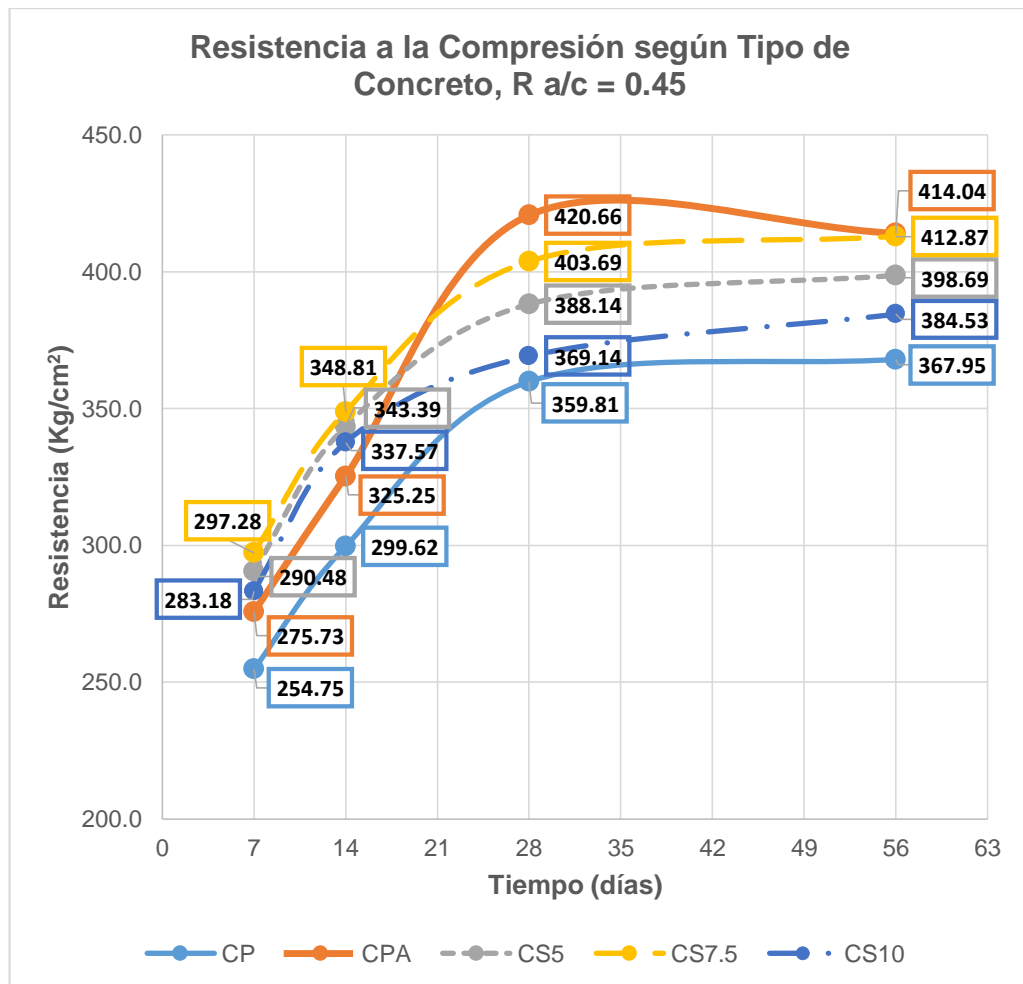
f) Comparación de Resistencias a la Compresión

Cuadro N° 6.6 Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.45

Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ), a/c: 0.45				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
7	254.75	275.73	290.48	297.28	283.18
14	299.62	325.25	343.39	348.81	337.57
28	359.81	420.66	388.14	403.69	369.14
56	367.95	414.04	398.69	412.87	384.53

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.6 Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.45



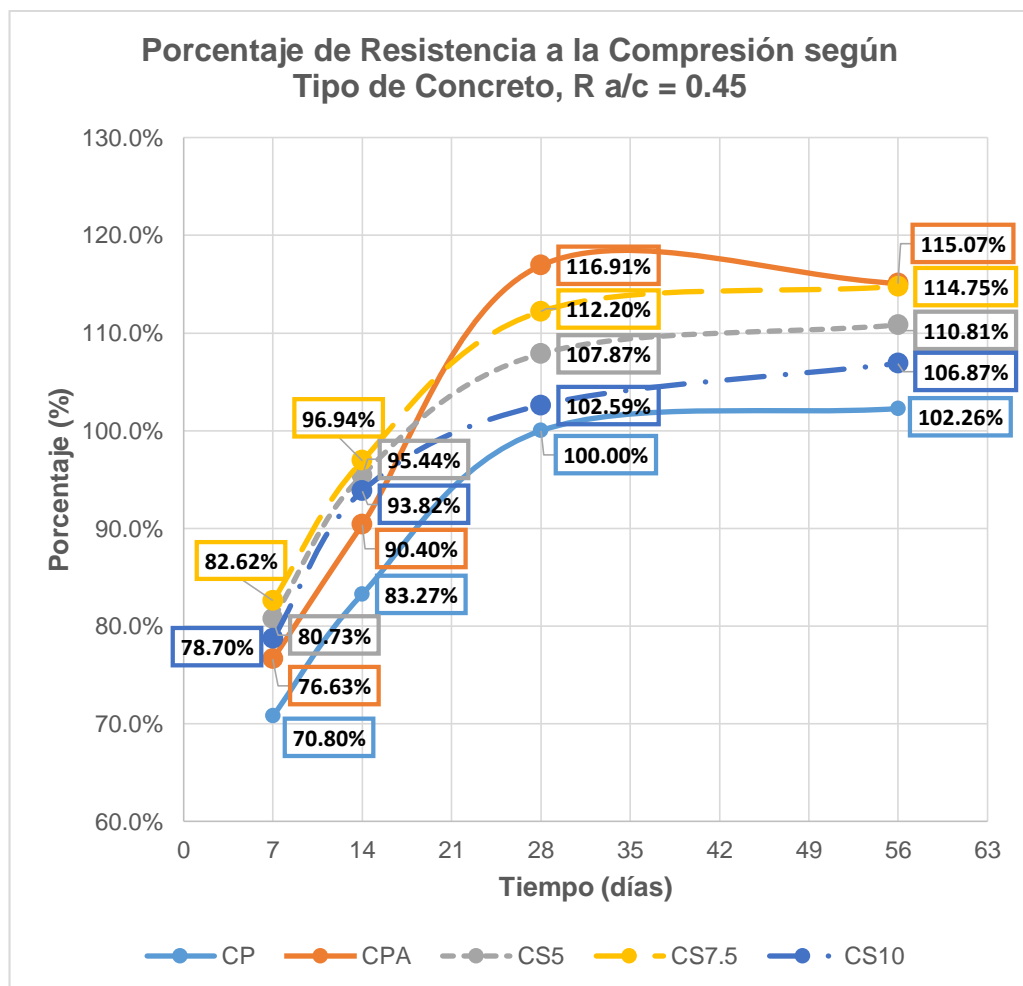
Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 6.7 Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.45

Tiempo de curado (días)	Porcentaje de Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ), a/c=0.45				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
7	70.80%	76.63%	80.73%	82.62%	78.70%
14	83.27%	90.40%	95.44%	96.94%	93.82%
28	100.00%	116.91%	107.87%	112.20%	102.59%
56	102.26%	115.07%	110.81%	114.75%	106.87%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.7 Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

6.1.2 Resistencia a la compresión, a/c: 0.50

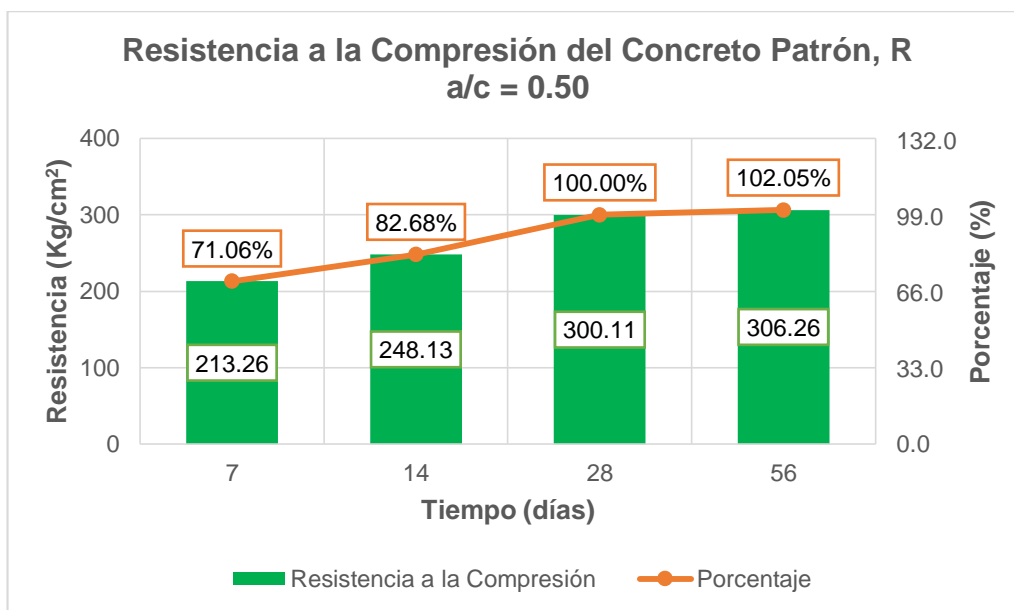
a) Concreto Patrón

Cuadro N° 6.8 Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.50

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	213.26	71.06
14	248.13	82.68
28	300.11	100.00
56	306.26	102.05

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.8 Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

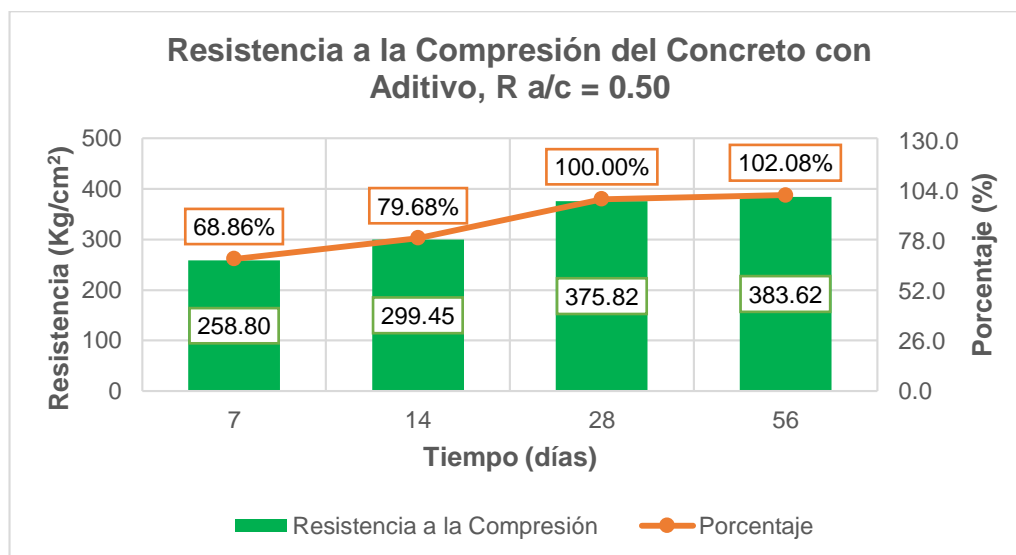
b) Concreto con Aditivo

Cuadro N° 6.9 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.50

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	258.80	68.86
14	299.45	79.68
28	375.82	100.00
56	383.62	102.08

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.9 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

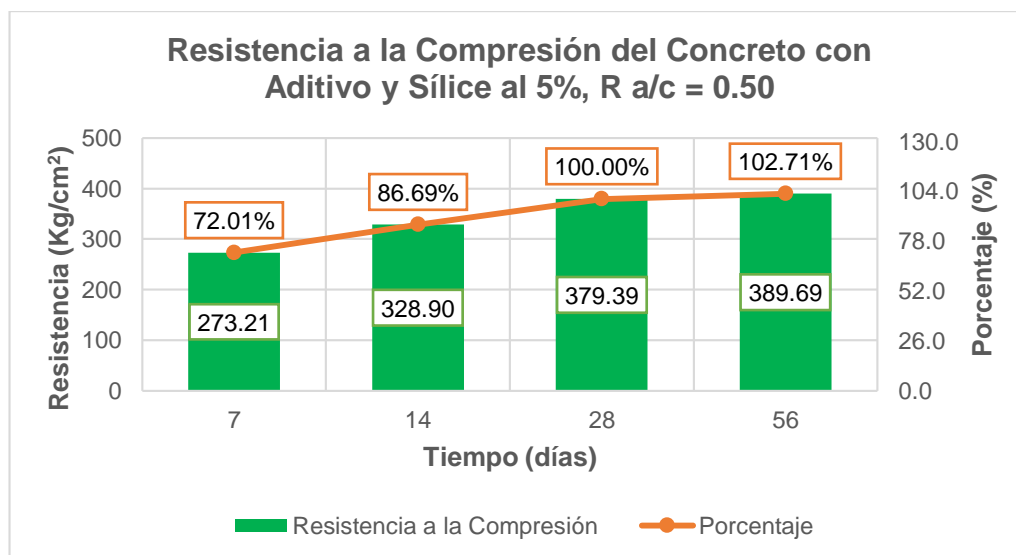
c) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 5%

Cuadro N° 6.10 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%, a/c: 0.50

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm²)	Porcentaje (%)
7	273.21	72.01
14	328.90	86.69
28	379.39	100.00
56	389.69	102.71

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.10 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

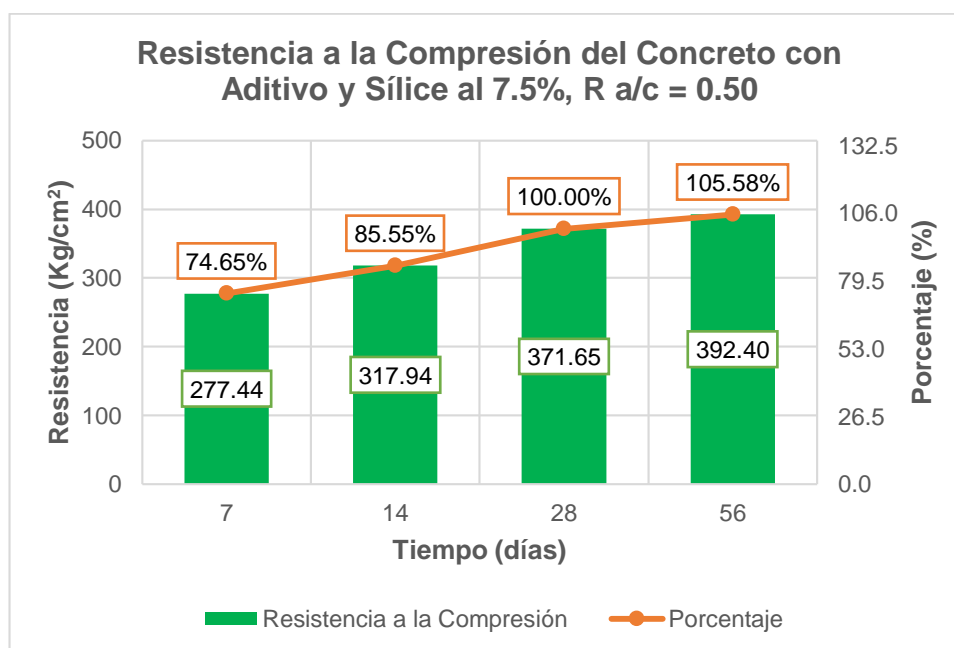
d) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 7.5%

Cuadro N° 6.11 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%,  
 a/c: 0.50

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	277.44	74.65
14	317.94	85.55
28	371.65	100.00
56	392.40	105.58

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.11 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%,  
 a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

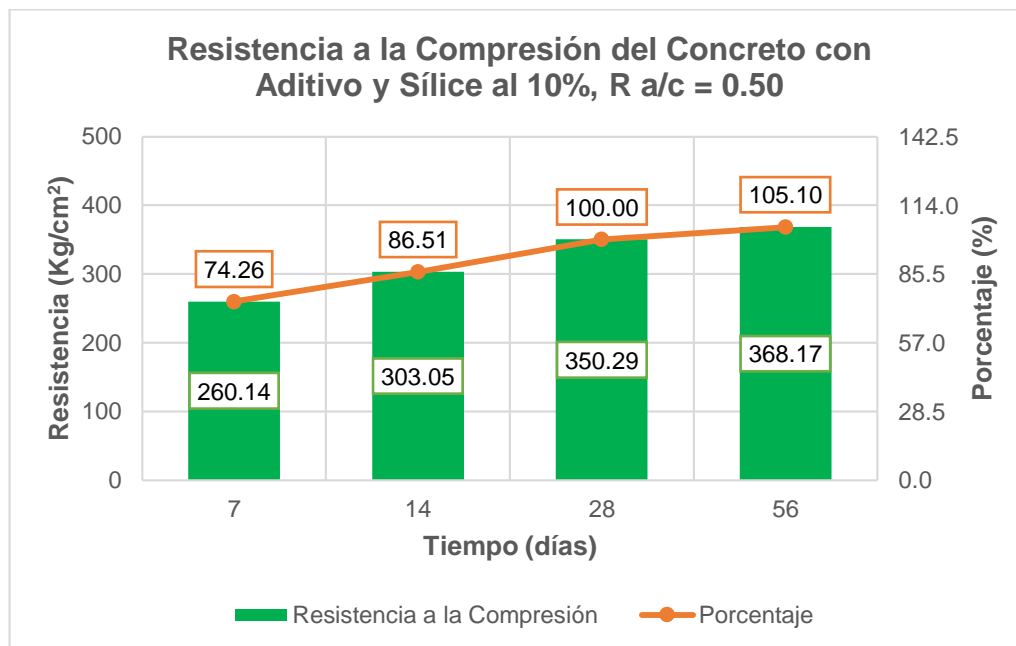
e) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 10%

Cuadro N° 6.12 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%,  
 a/c: 0.50

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	260.14	74.26
14	303.05	86.51
28	350.29	100.00
56	368.17	105.10

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.12 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%,  
 a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

f) Comparación de Resistencias a la Compresión

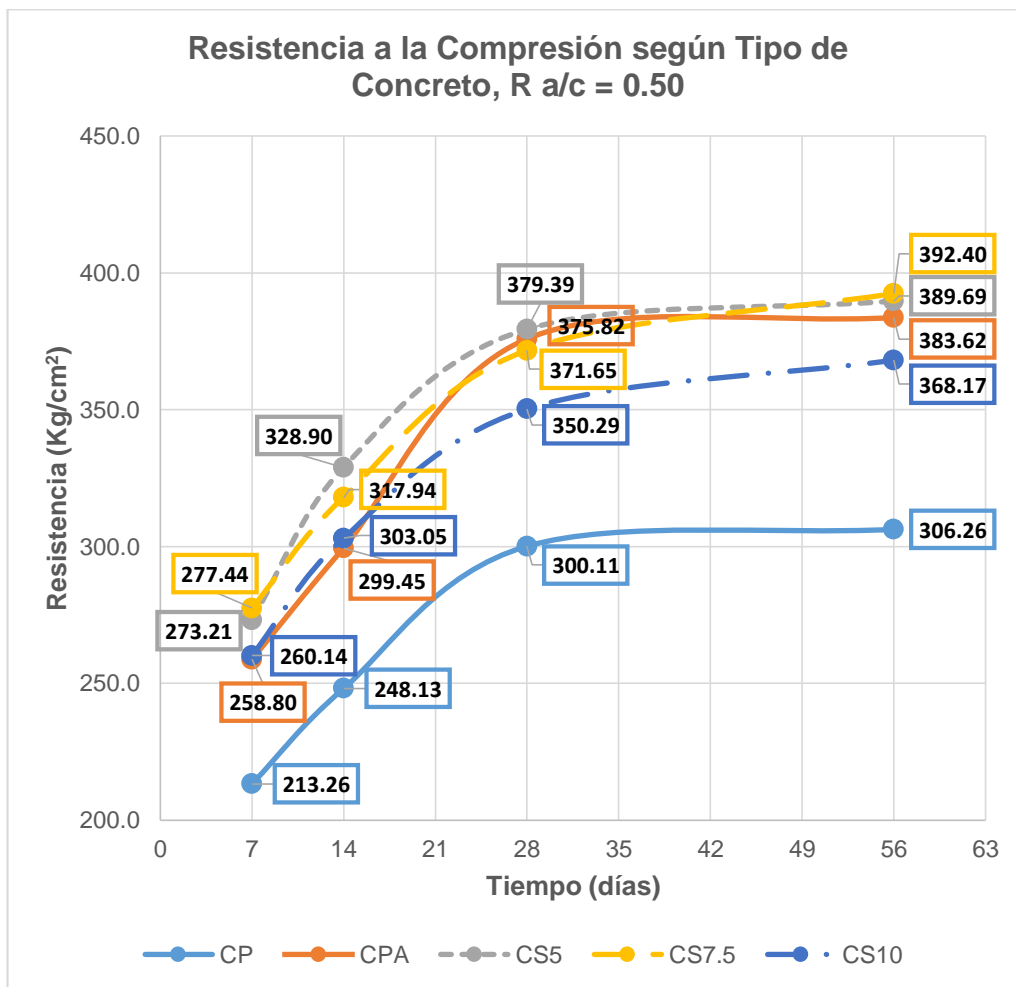
Cuadro N° 6.13 Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.50

Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ), a/c=0.50				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
7	213.26	258.80	273.21	277.44	260.14
14	248.13	299.45	328.90	317.94	303.05
28	300.11	375.82	379.39	371.65	350.29
56	306.26	383.62	389.69	392.40	368.17

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico N° 6.13 Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.50



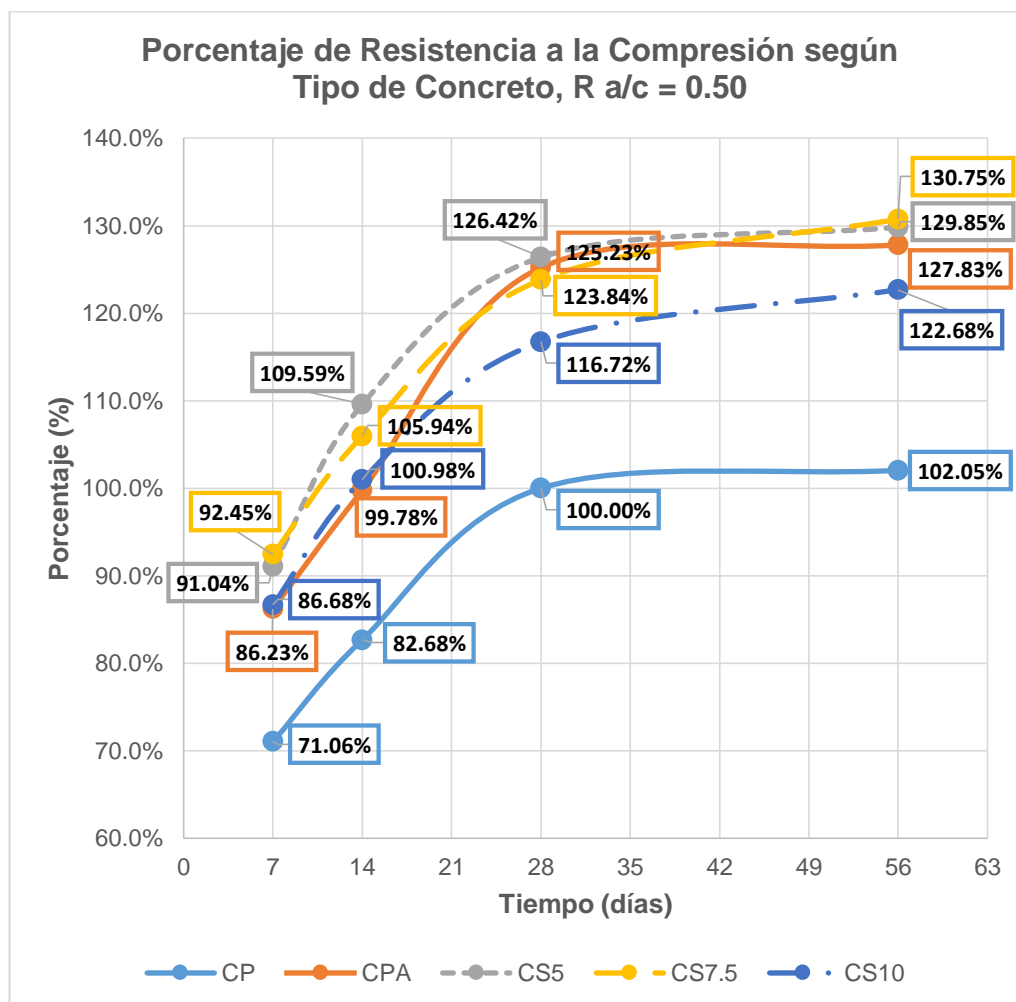
Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 6.14 Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.50

Tiempo de curado (días)	Porcentaje de Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ), a/c=0.50				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
7	71.06%	86.23%	91.04%	92.45%	86.68%
14	82.68%	99.78%	109.59%	105.94%	100.98%
28	100.00%	125.23%	126.42%	123.84%	116.72%
56	102.05%	127.83%	129.85%	130.75%	122.68%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.14 Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

### 6.1.3 Resistencia a la compresión, a/c: 0.55

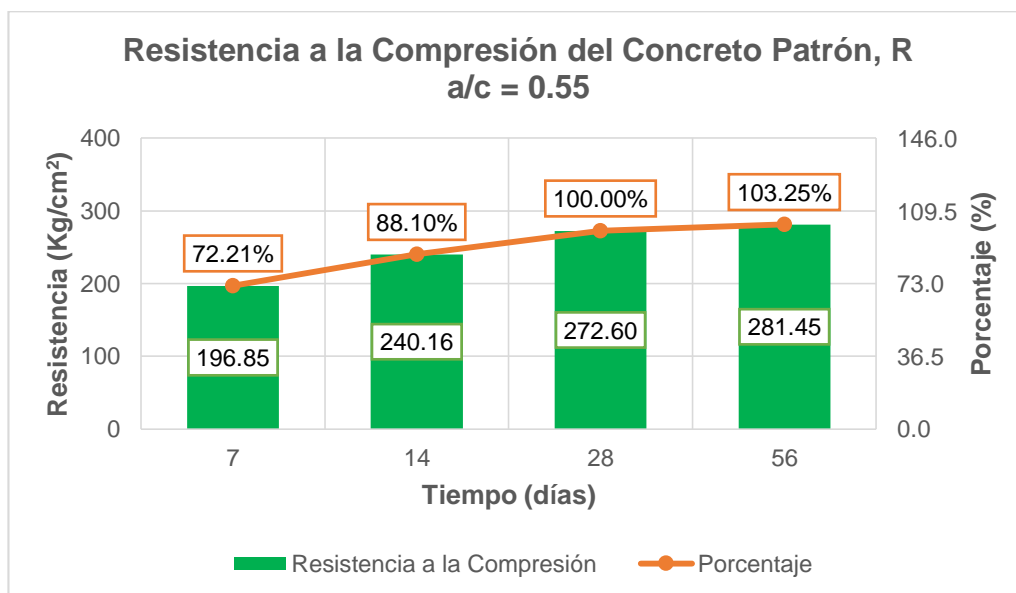
#### a) Concreto Patrón

Cuadro N° 6.15 Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.55

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	196.85	72.21
14	240.16	88.10
28	272.60	100.00
56	281.45	103.25

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.15 Resistencia a la compresión del concreto patrón, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

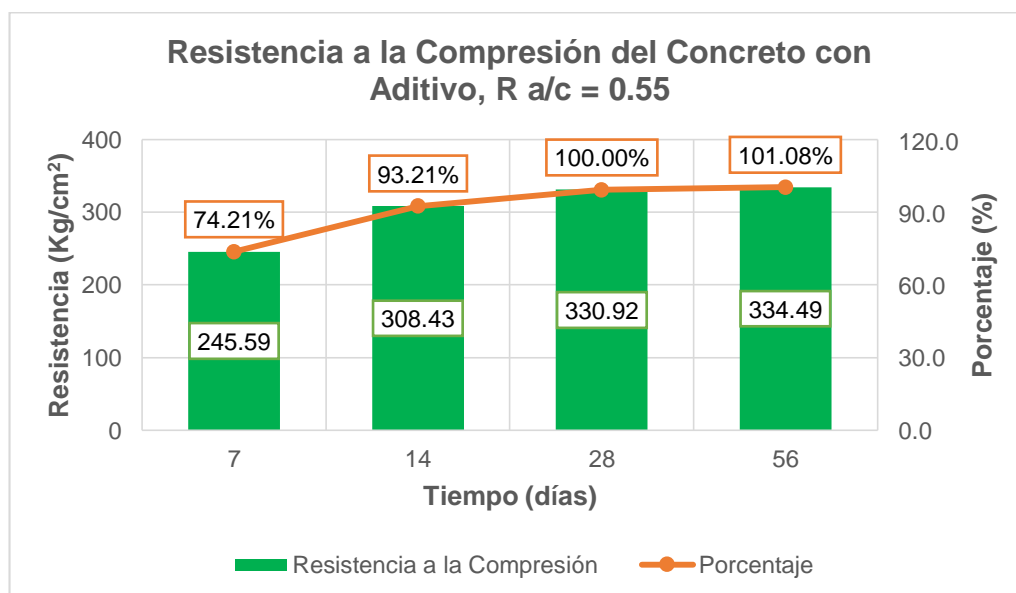
b) Concreto con Aditivo

Cuadro N° 6.16 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.55

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	245.59	74.21
14	308.43	93.21
28	330.92	100.00
56	334.49	101.08

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.16 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

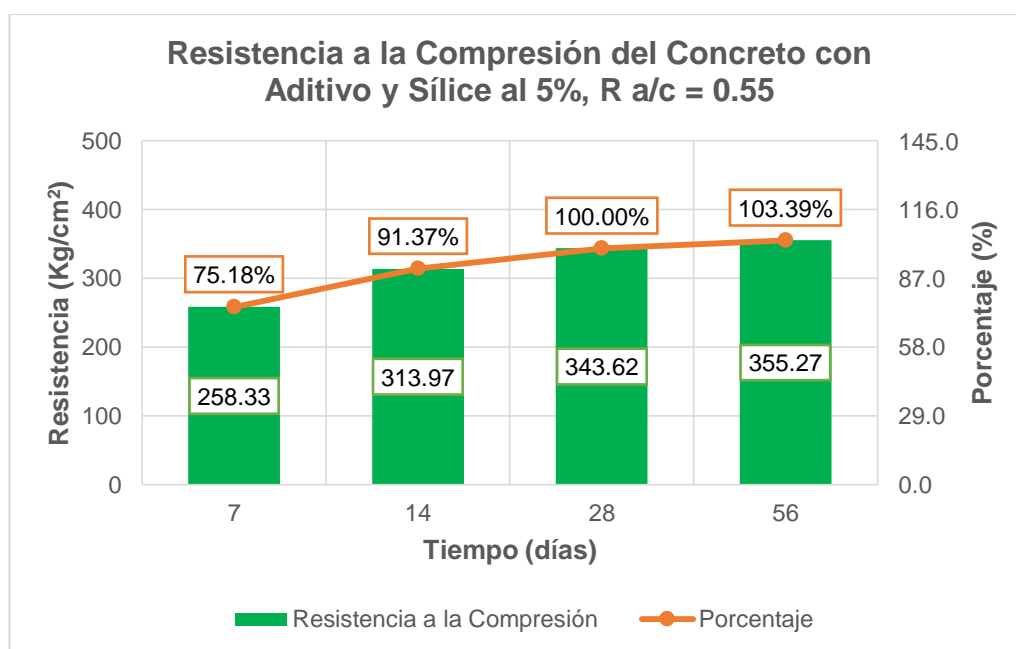
c) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 5%

Cuadro N° 6.17 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%,  
 a/c: 0.55

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	258.33	75.18
14	313.97	91.37
28	343.62	100.00
56	355.27	103.39

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.17 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 5%,  
 a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

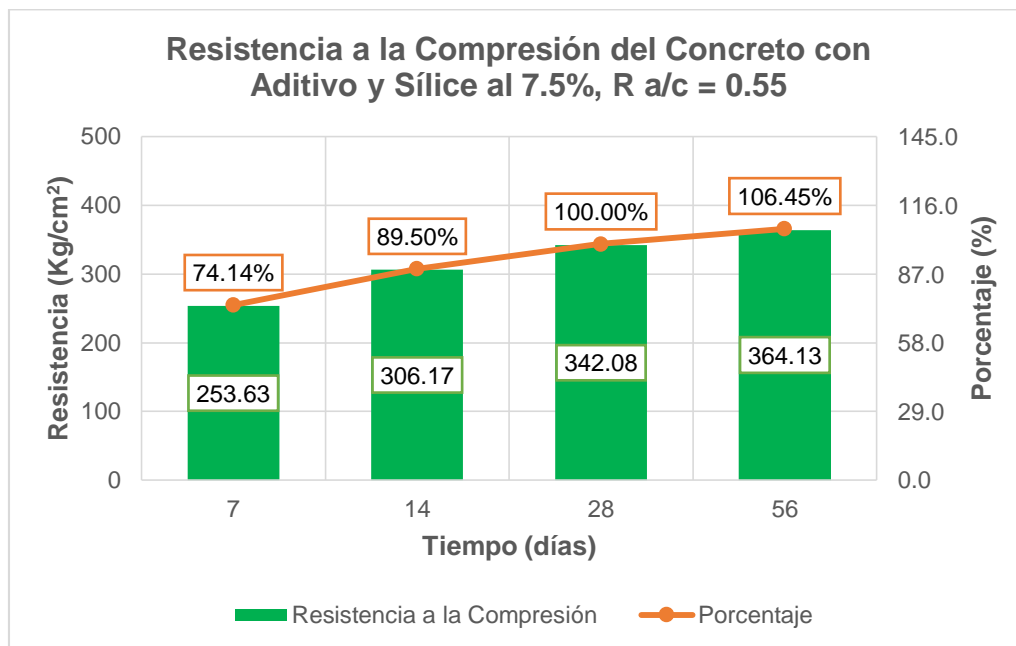
d) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 7.5%

Cuadro N° 6.18 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 7.5%,  
 a/c: 0.55

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	253.63	74.14
14	306.17	89.50
28	342.08	100.00
56	364.13	106.45

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.18 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo sílice nacional al 7.5%,  
a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

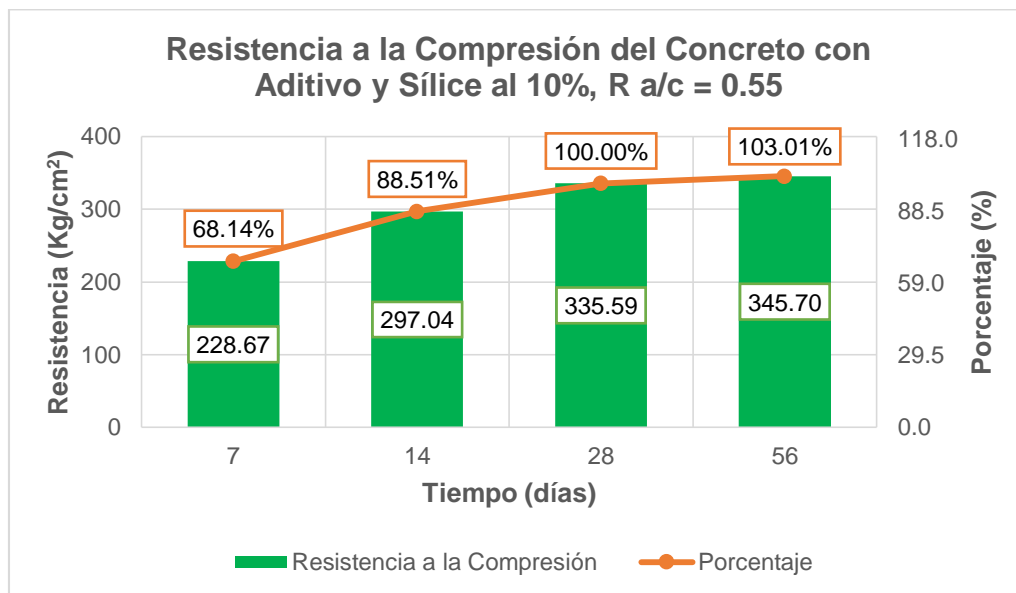
e) Concreto con Aditivo y Sílice Nacional al 10%

Cuadro N° 6.19 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%,  
a/c: 0.55

Tiempo curado (días)	Resistencia Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
7	228.67	68.14
14	297.04	88.51
28	335.59	100.00
56	345.70	103.01

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.19 Resistencia a la compresión del concreto con aditivo y sílice nacional al 10%,  
 a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

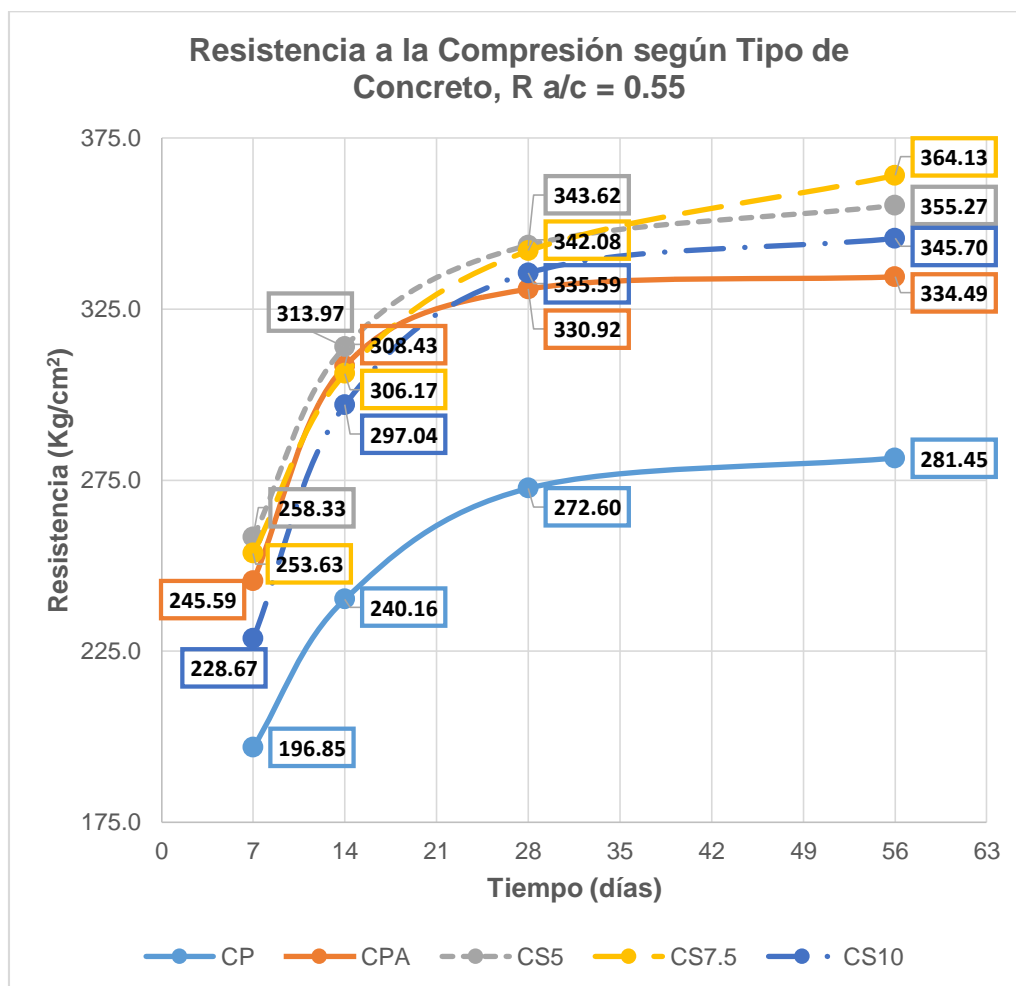
f) Comparación de Resistencias a la Compresión

Cuadro N° 6.20 Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.55

Tiempo de curado (días)	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ), a/c=0.55				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
7	196.85	245.59	258.33	253.63	228.67
14	240.16	308.43	313.97	306.17	297.04
28	272.60	330.92	343.62	342.08	335.59
56	281.45	334.49	355.27	364.13	345.70

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.20 Comparación de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.55



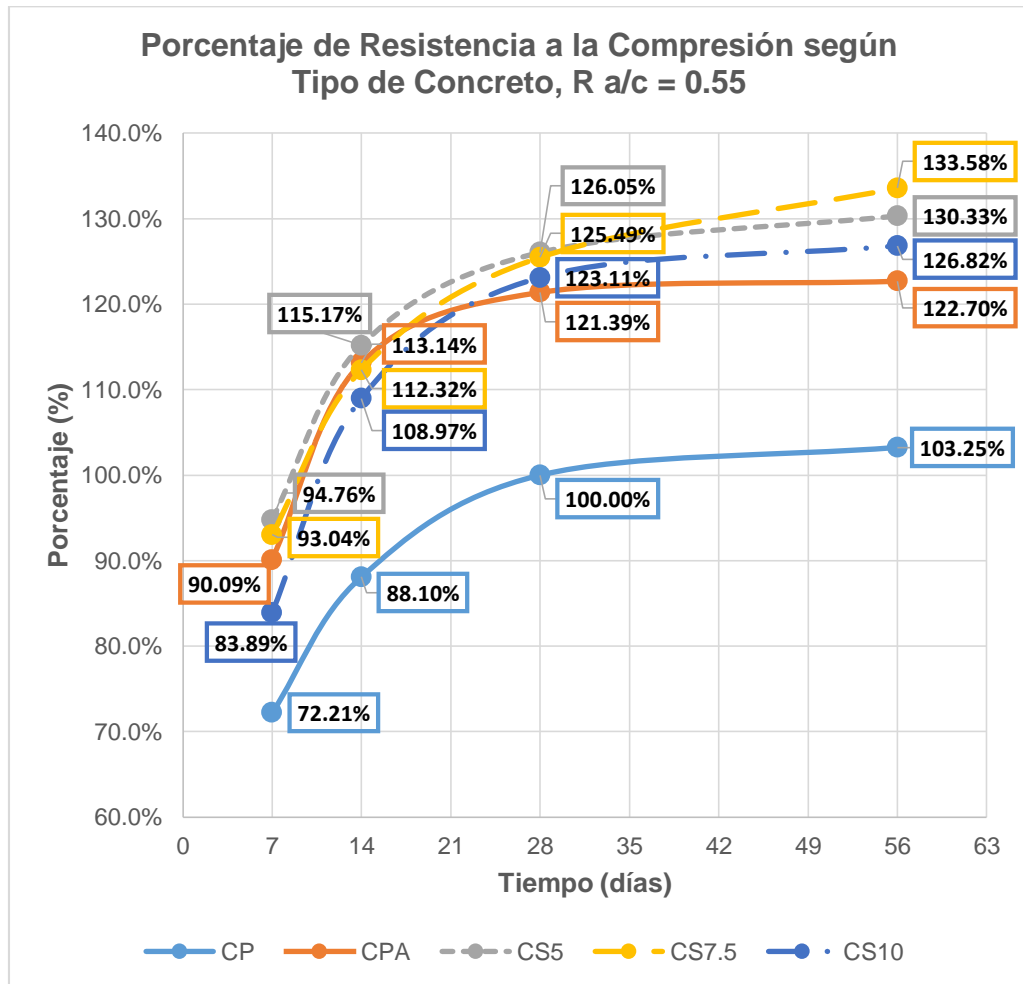
Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 6.21 Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.55

Tiempo de curado (días)	Porcentaje de Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> ), a/c=0.55				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
7	72.21%	90.09%	94.76%	93.04%	83.89%
14	88.10%	113.14%	115.17%	112.32%	108.97%
28	100.00%	121.39%	126.05%	125.49%	123.11%
56	103.25%	122.70%	130.33%	133.58%	126.82%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.21 Porcentajes de resistencias a la compresión del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia



## 6.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL (NTP 339.084:2012)

La compresión diametral es un método indirecto para calcular la tracción del concreto, en dicho ensayo se colocan probetas cilíndricas de concreto en una máquina para ensayos a compresión, sin embargo, en este caso la carga aplicada será diametral, el ensayo termina cuando se produce la falla a lo largo de la longitud de su diámetro.

$$Q = \frac{2 \times P}{(\pi \times D \times L)}$$

Donde:

Q: Resistencia a la tracción (Kg/cm<sup>2</sup>).

P: Carga máxima de rotura (Kg).

L: Longitud promedio de la probeta cilíndrica (cm).

D: Diámetro promedio de la probeta cilíndrica (cm).

A pesar de que se conoce que el concreto trabaja muy bien a compresión, es importante conocer la tracción para el diseño de estructuras ya que el concreto en algunos casos soporta esfuerzos indirectos por acción de las fuerzas de flexión, corte, o por resultado de las contracciones debido a los cambios de temperatura.



Figura N° 6.2 Ensayo de tracción por compresión diametral del concreto

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.

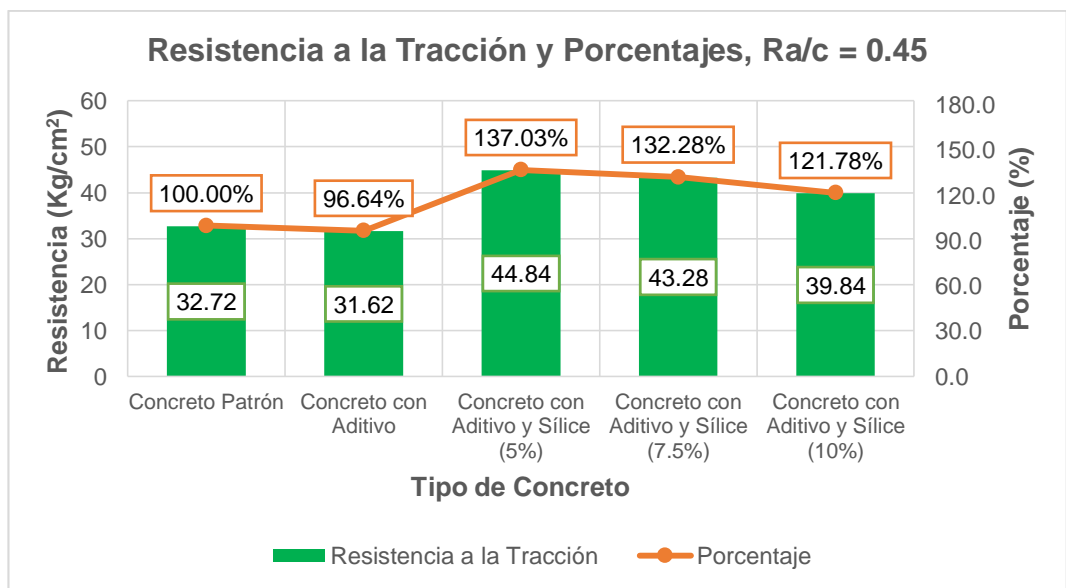
6.2.1 Resistencia a la tracción, a/c: 0.45

Cuadro N° 6.22 Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Resistencia a la tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	32.72	100.00
Concreto con Aditivo	31.62	96.64
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	44.84	137.03
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	43.28	132.28
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	39.84	121.78

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.22 Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

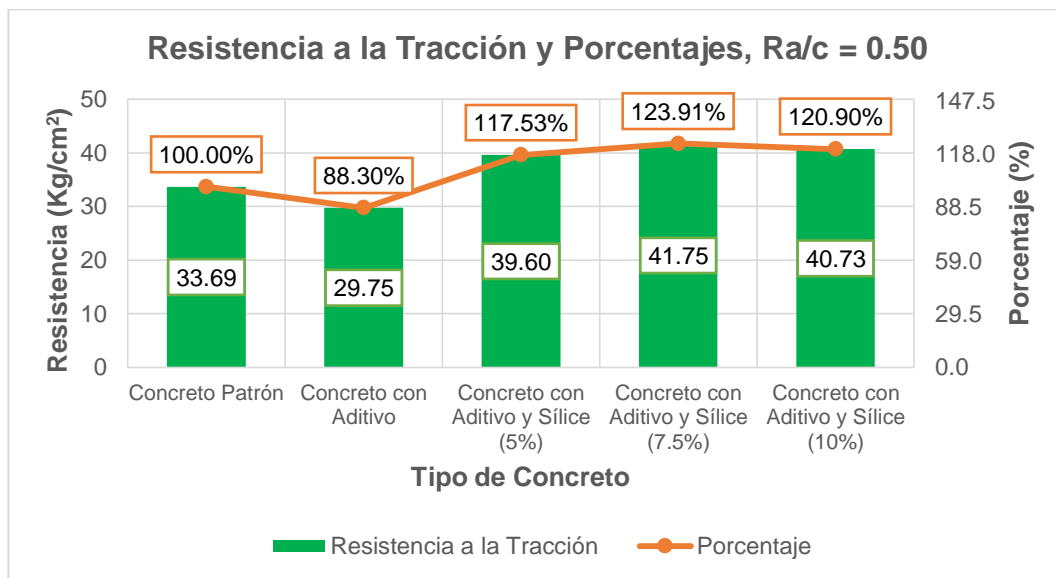
6.2.2 Resistencia a la tracción, a/c: 0.50

Cuadro N° 6.23 Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Resistencia a la tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	33.69	100.00
Concreto con Aditivo	29.75	88.30
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	39.60	117.53
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	41.75	123.91
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	40.73	120.90

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.23 Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

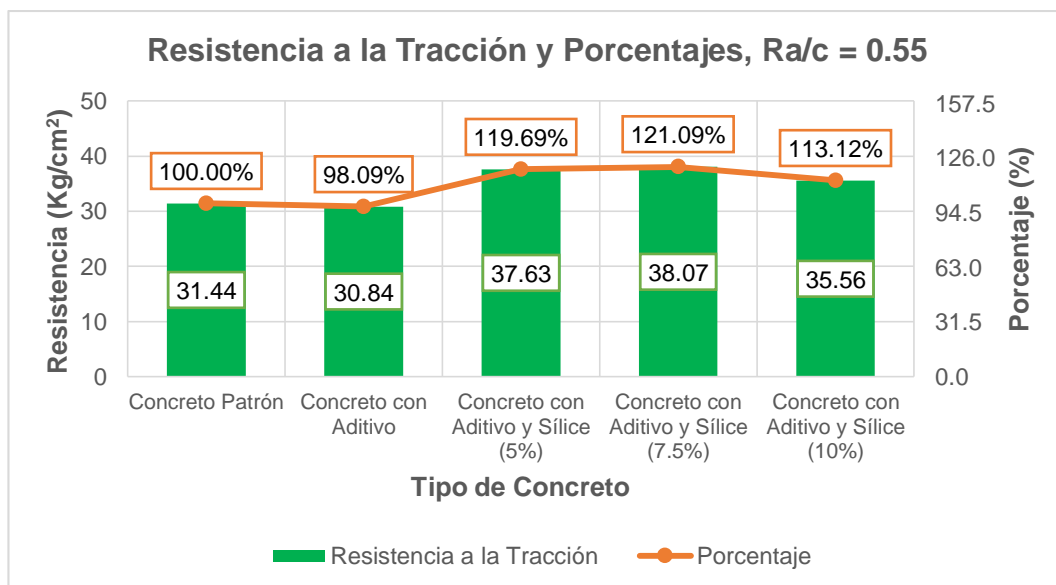
### 6.2.3 Resistencia a la tracción, a/c: 0.55

Cuadro N° 6.24 Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Resistencia a la tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	31.44	100.00
Concreto con Aditivo	30.84	98.09
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	37.63	119.69
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	38.07	121.09
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	35.56	113.12

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.24 Resistencia a la tracción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

### 6.3 MÓDULO ELÁSTICO (ASTM C-469)

El concreto no es un material estrictamente elástico, por lo que para analizar dicha propiedad se utiliza el ensayo de módulo elástico, el cual está especificado en la norma ASTM C-469.

El ensayo consiste en someter carga de compresión axial y hacer lecturas de las deformaciones utilizando un deformímetro digital; la carga máxima que se aplica debe ser el 40% de la carga última, por lo que para saber tal valor se debe ensayar a compresión una probeta cilíndrica antes.

Para calcular el módulo elástico se utiliza la siguiente expresión:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0.000050)}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad cuerda (Kg/cm<sup>2</sup>).

S<sub>2</sub>= Esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última (Kg/cm<sup>2</sup>).

S<sub>1</sub>= Esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal,  $\varepsilon_1$ , de 50 millonésimas (Kg/cm<sup>2</sup>).

$\varepsilon_2$ = Deformación unitaria longitudinal producto del esfuerzo S<sub>2</sub>, en millonésimas.



Figura N° 6.3 Ensayo de módulo elástico del concreto

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.

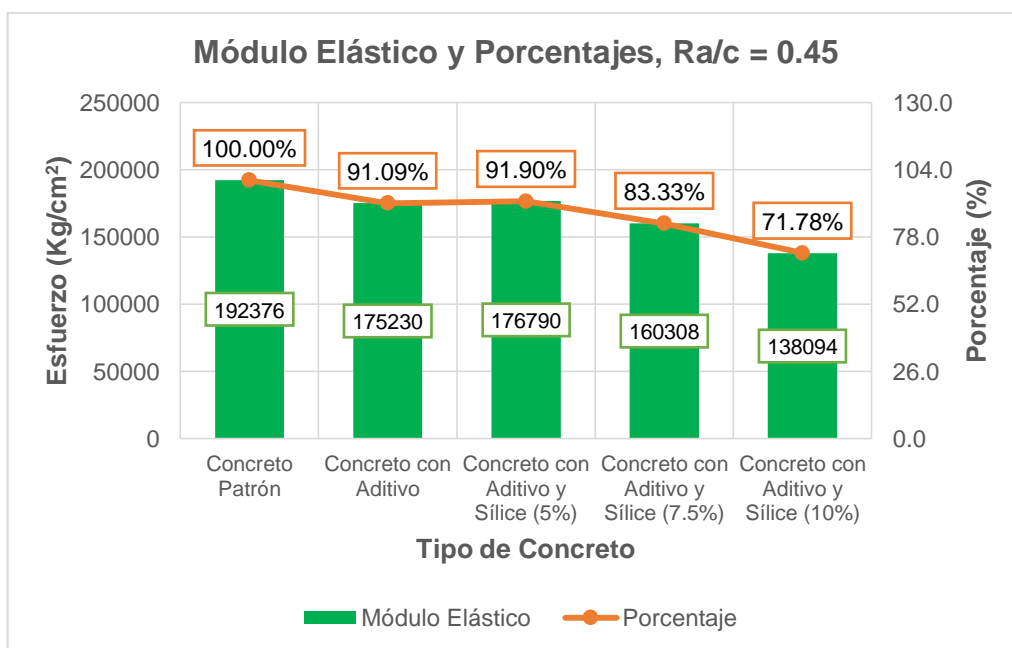
### 6.3.1 Módulo Elástico, a/c: 0.45

Cuadro N° 6.25 Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Módulo Elástico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	193006	100.00
Concreto con Aditivo	175230	91.09
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	176790	91.90
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	160308	83.33
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	138094	71.78

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.25 Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

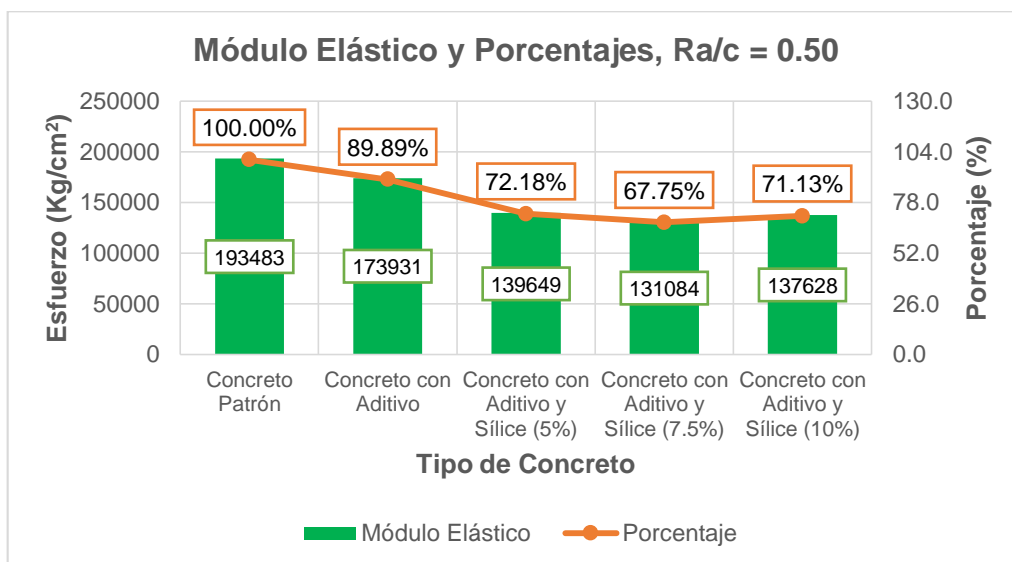
### 6.3.2 Módulo Elástico, a/c: 0.50

Cuadro N° 6.26 Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Módulo Elástico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	193483	100.00
Concreto con Aditivo	173931	89.89
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	139649	72.18
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	131084	67.75
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	137628	71.13

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.26 Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

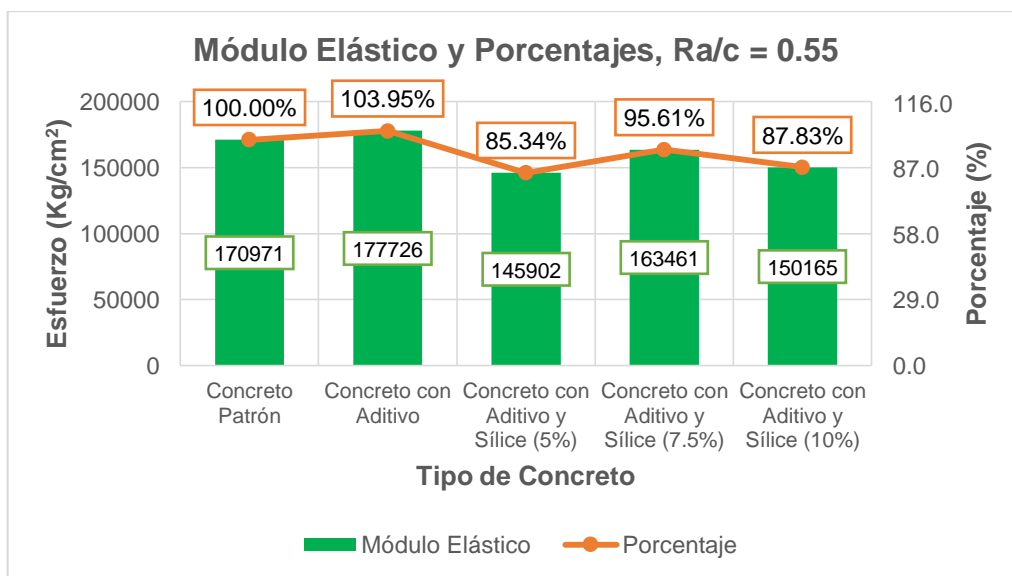
### 6.3.3 Módulo Elástico, a/c: 0.55

Cuadro N° 6.27 Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Módulo Elástico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	170971	100.00
Concreto con Aditivo	177726	103.95
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	145902	85.34
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	163461	95.61
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	150165	87.83

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.27 Módulo Elástico y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

#### 6.4 ABSORCIÓN DEL CONCRETO ENDURECIDO (NTP 339.187:2018)

La absorción en el concreto endurecido se da por diversos factores, como el número de poros, el tamaño y las interconexiones de estas, la naturaleza absorbente de las partículas de los agregados o de la pasta de cemento, entre otras. Es importante el conocer su valor ya que es un indicador de la calidad del concreto, a menor porcentaje de absorción mayor es su densidad y durabilidad. El ensayo consiste en primero secar las probetas cilíndricas de concreto (4"x8") usando un horno durante 3 días a una temperatura de 110 °C, luego se les satura en agua durante 6 días. Con esto obtenemos el peso seco y el peso saturado superficialmente seco, y se calcula el porcentaje de absorción usando la siguiente expresión:

$$\% \text{Absorción después de la inmersión} = \frac{(B - A)}{A} \times 100\%$$

Donde:

A: Peso seco de la muestra (g).

B: Peso saturado superficialmente seco de la muestra (g).



Figura N° 6.4 Secado al horno para el ensayo de absorción

Fuente: Elaboración Propia

A continuación se muestra los resultados obtenidos en laboratorio para cada a/c.

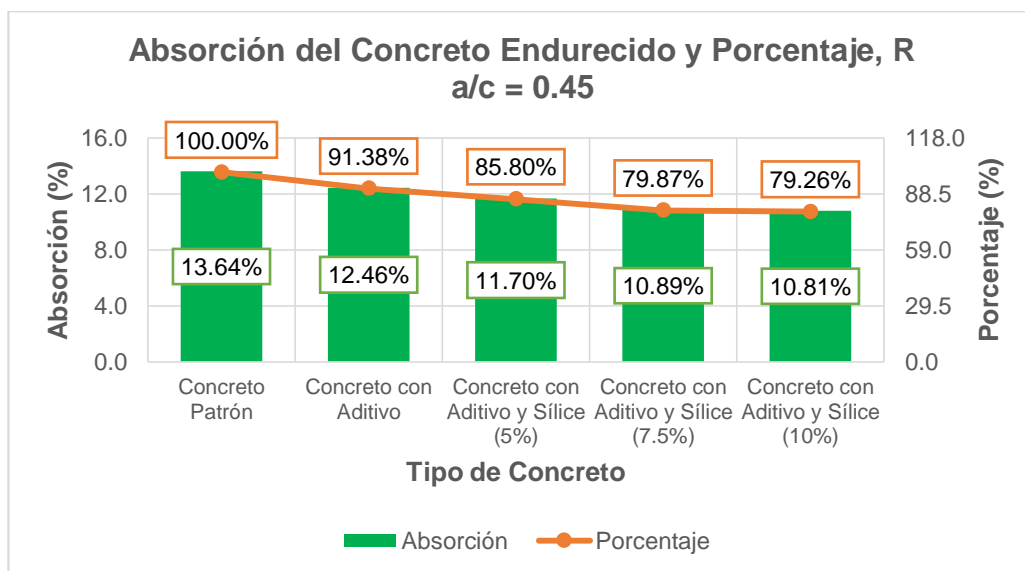
##### 6.4.1 Absorción del Concreto Endurecido, a/c: 0.45

Cuadro N° 6.28 Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Absorción del Concreto (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	13.64	100.00
Concreto con Aditivo	12.46	91.38
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	11.70	85.80
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	10.89	79.87
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	10.81	79.26

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.28 Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

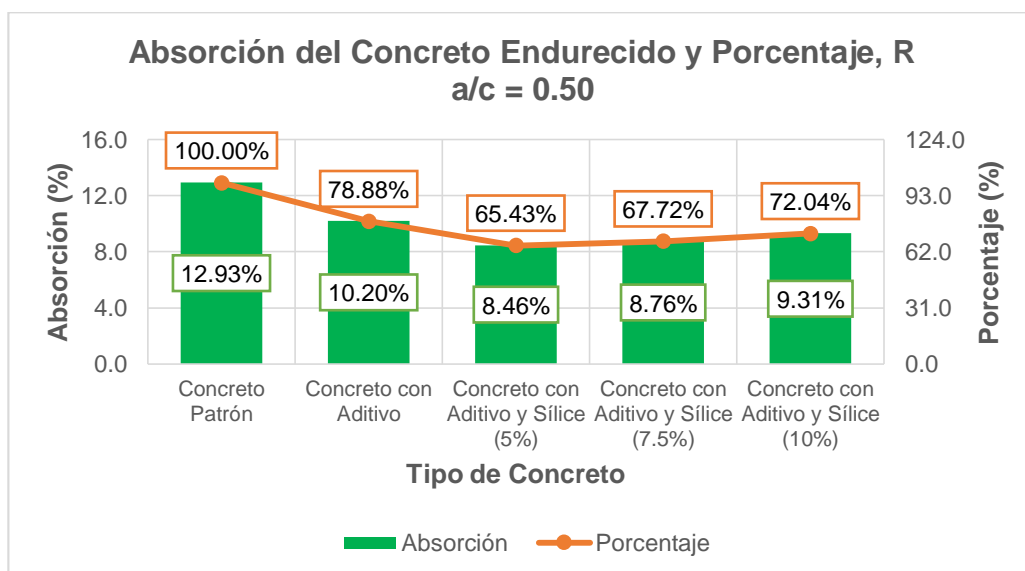
#### 6.4.2 Absorción del Concreto Endurecido, a/c: 0.50

Cuadro N° 6.29 Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Absorción del Concreto (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	12.93	100.00
Concreto con Aditivo	10.20	78.88
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	8.46	65.43
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	8.76	67.72
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	9.31	72.04

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.29 Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia



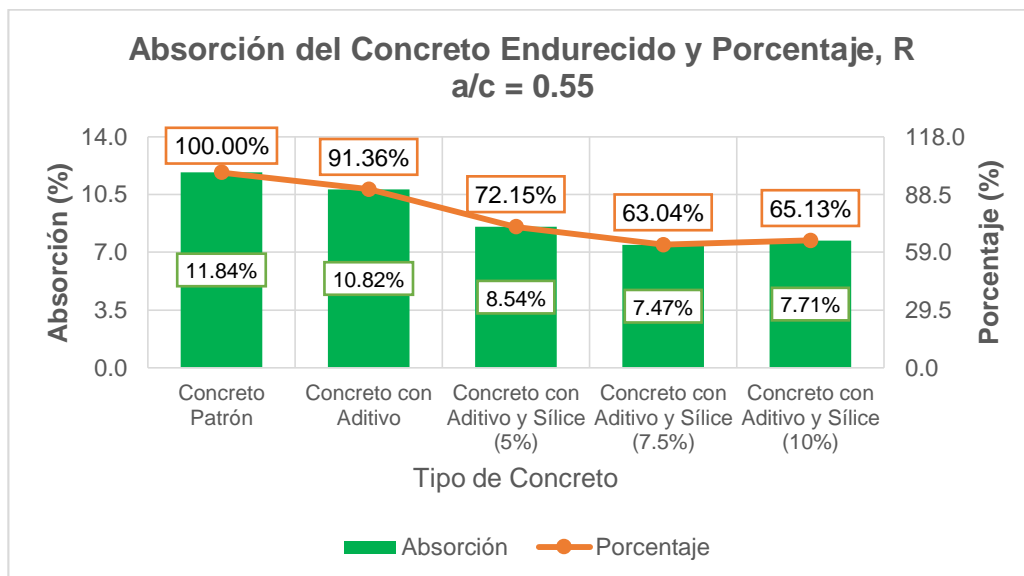
### 6.4.3 Absorción del Concreto Endurecido, a/c: 0.55

Cuadro N° 6.30 Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Absorción del Concreto (%)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	11.84	100.00
Concreto con Aditivo	10.82	91.36
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	8.54	72.15
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	7.47	63.04
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	7.71	65.13

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 6.30 Porcentaje de Absorción y Porcentajes del concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

## CAPITULO VII: ANÁLISIS COMPARATIVO DE RESULTADOS

### 7.1 GENERALIDADES

En este capítulo se realiza el análisis de los resultados obtenidos tanto en los ensayos de concreto en estado fresco (capítulo V) como en los de concreto en estado endurecido (capítulo VI), para lo cual se harán cuadros y gráficos de resumen para hacer las comparaciones de las muestras ensayadas.

Las comparaciones serán respecto al concreto patrón, en donde en términos de porcentajes este representa el 100%, dicho valor será menor o mayor al momento de realizar las comparaciones con los otros diseños estudiados en la presente tesis.

### 7.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

#### 7.2.1 Asentamiento

El asentamiento de diseño mantiene un slump de 4" para todas las muestras que se realizó en la presente investigación, para esto, la cantidad de agua de la mezcla varió en los diseños de concreto con aditivo y concreto con aditivo y sílice.

En el cuadro N° 5.2 y en la figura N° 5.2 se pueden apreciar las variaciones porcentuales del agua con respecto al agua del concreto patrón, verificando que el concreto con aditivo reduce efectivamente la cantidad de agua en un 5.75%, 6.07%, 6.59% para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. Con respecto a los diseños de concreto con sílice (5%, 7.5% y 10%), se tuvo que añadir agua a la mezcla para mantener el slump establecido, para la relación a/c de 0.45 el agua se incrementa en 2.65%, 10.70% y 18.80%, para a/c de 0.50 el agua se incrementa en 1.02%, 17.21% y 20.66%, finalmente para a/c de 0.55 el agua se incrementa en 8.62%, 16.52% y 18.84%, concluyendo que el Micromineral SiO<sub>2</sub> 400 absorbe mucha agua, reduciendo la trabajabilidad de la mezcla.

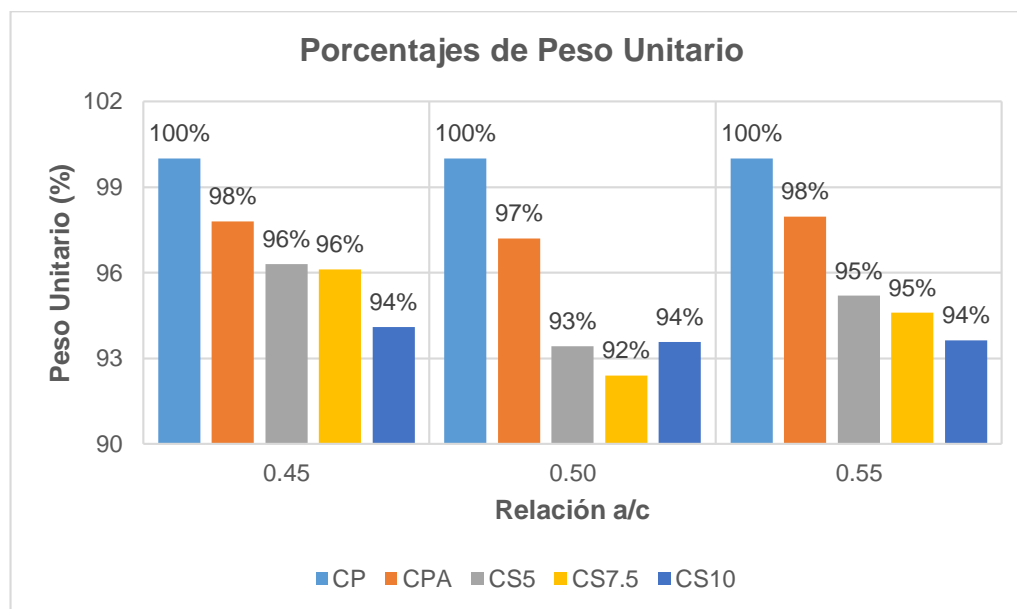
#### 7.2.2 Peso Unitario

Cuadro N° 7.1 Porcentajes de peso unitario del concreto

Ra/c	Porcentajes de Peso Unitario (%)				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	100.00	97.79	96.31	96.11	94.10
0.50	100.00	97.20	93.43	92.40	93.57
0.55	100.00	97.97	95.20	94.60	93.63

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.1 Comparación de los porcentajes de peso unitario del concreto



Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro N° 7.1 y gráfico N° 7.1 se pueden apreciar, con respecto al peso unitario del concreto patrón, como este valor disminuye para el concreto con aditivo en 2.21%, 2.80% y 2.03% para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. En el caso del concreto con sílice (5%, 7.5% y 10%), el valor del peso unitario, se reduce en 3.69%, 3.89% y 5.90% para la relación a/c de 0.45, para a/c de 0.50 se reduce en 6.57%, 7.60% y 6.43%, finalmente se reduce en 4.80%, 5.40% y 6.37% para a/c de 0.55; esta disminución del peso unitario está relacionado con la porosidad que aporta el Micromineral SiO 400 a la mezcla, esto se verifica más adelante con el aumento del contenido de aire.

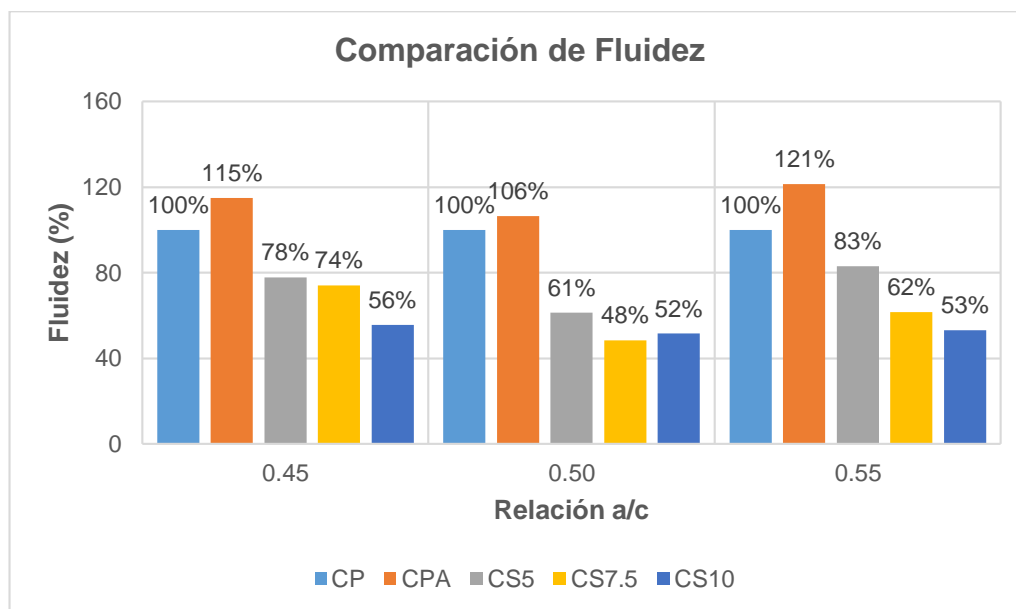
### 7.2.3 Ensayo de Fluidez

Cuadro N° 7.2 Porcentajes de fluidez del concreto

Ra/c	Porcentajes de Fluidez (%)				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	100.00	114.81	77.78	74.07	55.56
0.50	100.00	106.45	61.29	48.39	51.61
0.55	100.00	121.28	82.98	61.70	53.19

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.2 Comparación de los porcentajes de fluidez del concreto



Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro N° 7.2 y gráfico N° 7.2 se pueden apreciar, tomando como referencia al Concreto Patrón, como el valor del índice de fluidez del Concreto Patrón con Aditivo se incrementa en 14.81%, 6.45% y 21.28% para a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. Al añadirle sílice al concreto (5%, 7.5% y 10%), el índice fluidez, se reduce en 22.22%, 25.93% y 44.44% para la relación a/c de 0.45, para a/c de 0.50 se reduce en 38.71%, 51.61% y 48.39%, y finalmente se reduce en 17.02%, 38.30% y 46.81% para a/c de 0.55.

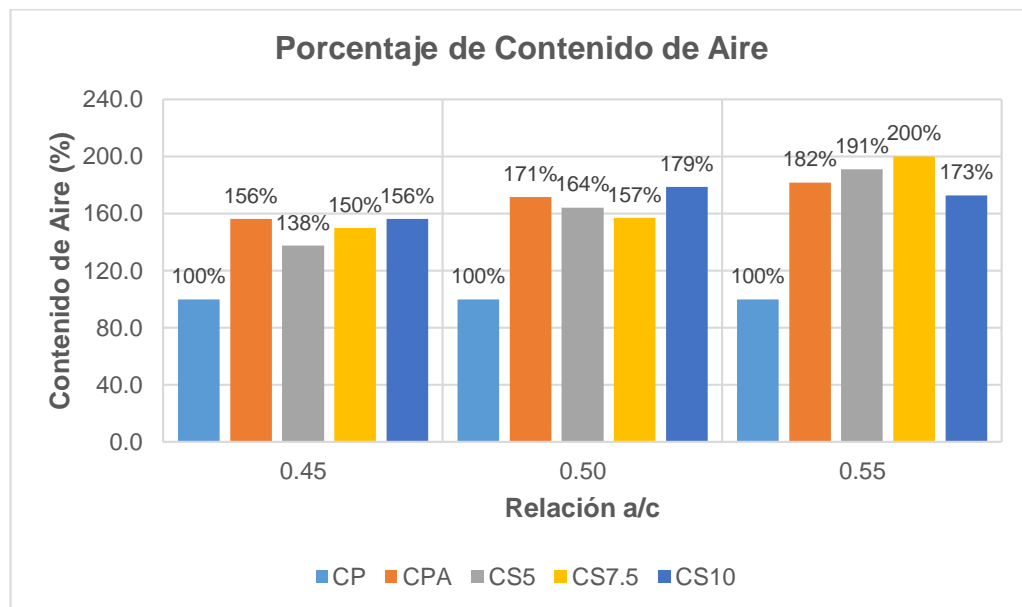
#### 7.2.4 Contenido de Aire

Cuadro N° 7.3 Porcentaje de contenido de aire del concreto

Ra/c	Porcentaje de Contenido de Aire (%)				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	100.00	156.25	137.50	150.00	156.25
0.50	100.00	171.43	164.29	157.14	178.57
0.55	100.00	181.82	190.91	200.00	172.73

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.3 Porcentaje de contenido de aire del concreto



Fuente: Elaboración Propia

En el cuadro N° 7.3 y gráfico N° 7.3 se aprecian las comparaciones del contenido de aire tomando de referencia al Concreto Patrón (CP) como 100%. El contenido de aire del Concreto Patrón con Aditivo se incrementa en 56.25%, 71.43% y 81.42% para a/c de 0.45, 0.50 y 0.55, correspondientemente. Al añadirle la sílice al concreto (CS5, CS7.5 y CS10) el contenido de aire se incrementa, para la relación a/c de 0.45 se incrementa en 37.50%, 50.00% y 56.25%, para a/c de 0.50 se incrementa en 64.29%, 57.14% y 78.57% y finalmente, para a/c de 0.55 se incrementa en 90.91%, 100.00% y 72.73%.

Estos valores guardan relación con lo obtenido en los resultados del peso unitario, donde este valor disminuyó respecto al Concreto Patrón (CP) y esto se pudo apreciar en laboratorio, donde la mezcla adquiriría cierta porosidad con el aumento del porcentaje de Micromineral SiO 400.

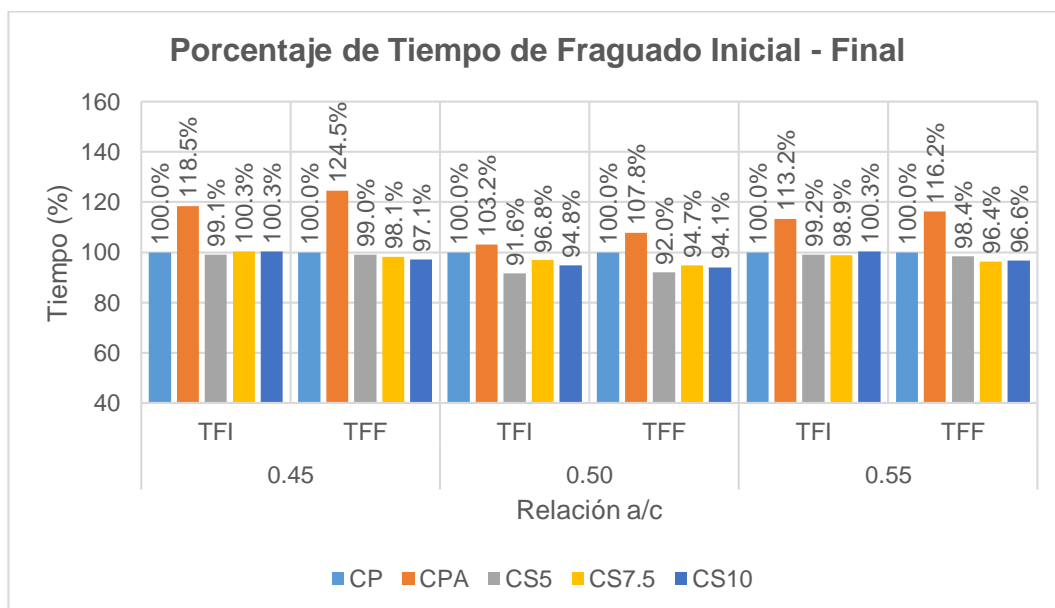
### 7.2.5 Tiempo de Fraguado

Cuadro N° 7.4 Porcentaje de tiempo de fraguado inicial y final del concreto

Ra/c		Tiempo de Fraguado Inicial y Final (%)				
		Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	TFI	100.00	118.48	99.12	100.29	100.29
	TFF	100.00	124.47	99.05	98.10	97.15
0.50	TFI	100.00	103.17	91.64	96.83	94.81
	TFF	100.00	107.78	91.99	94.74	94.05
0.55	TFI	100.00	113.24	99.15	98.87	100.28
	TFF	100.00	116.22	98.42	96.40	96.62

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.4 Porcentaje de tiempo de fraguado inicial y final del concreto



Fuente: Elaboración Propia

#### a. Tiempo de fraguado inicial

En el cuadro N° 7.4 y gráfico N° 7.4, tomando como referencia 100% al tiempo de fraguado inicial del concreto patrón, se aprecia que el valor del concreto con aditivo aumenta en 18.48%, 3.17% y 13.24% para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. En el caso del Concreto con Aditivo y Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10), los valores vienen a ser variados y cercanos al del Concreto Patrón (CP), para la relación a/c de 0.45 alcanza el 99.12%, 100.29% y 100.29%, para a/c de 0.50 alcanza el 91.64%, 96.83% y 94.81%, y para a/c de 0.55 alcanza el 99.15%, 98.87% y 100.28%.

b. Tiempo de fraguado final

Tomando como 100% al tiempo de fraguado final del concreto patrón, se aprecia en el cuadro N° 7.4 y gráfico N° 7.4 que los valores del concreto con aditivo aumenta en 24.47%, 7.78% y 16.22% para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. Para el concreto con Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10), se aprecia que los valores son cercanos al del Concreto Patrón (CP), para la relación a/c de 0.45 alcanza el 99.05%, 98.10% y 97.15%, para a/c de 0.50 alcanza el 91.99%, 94.74% y 94.05%, y para a/c de 0.55 alcanza el 98.42%, 96.40% y 96.62%.

De los resultados obtenidos del tiempo de fraguado inicial y final, se puede concluir que el Micromineral SiO 400 no altera significativamente esta propiedad.

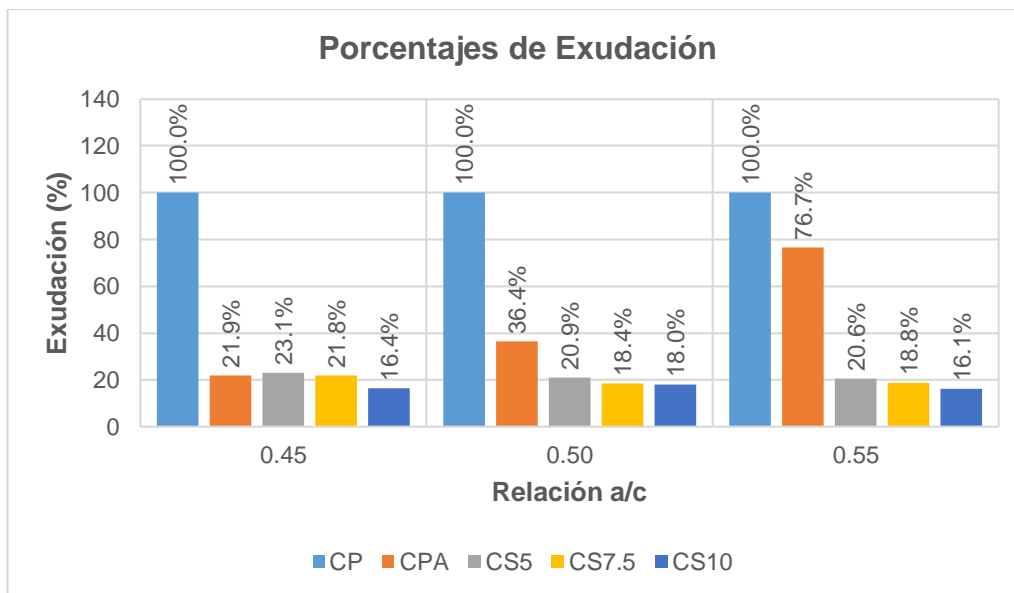
7.2.6 Exudación

Cuadro N° 7.5 Porcentajes de exudación del concreto

Ra/c	Porcentajes de Exudación (%)				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	100.00	21.90	23.05	21.80	16.41
0.50	100.00	36.38	20.94	18.38	18.00
0.55	100.00	76.68	20.56	18.76	16.13

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.5 Porcentajes de exudación del concreto



Fuente: Elaboración Propia

Se muestra las comparaciones porcentuales tomando como referencia 100% a la exudación del concreto patrón en el cuadro N° 7.5 y el gráfico N° 7.5, para el concreto con aditivo se aprecia una disminución de la exudación del 78.10%, 63.62% y 23.32% para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. En el caso del concreto con sílice (CS5, CS7.5 y CS10), para la relación a/c de 0.45 la exudación se reduce en 76.95%, 78.20% y 83.59%, para a/c de 0.50 se reduce en 79.06%, 81.62% y 82.00%, y para a/c de 0.55 se reduce en 79.44%, 81.24% y 83.87%.

Esta tendencia de la exudación a disminuir se debe a la reducción de agua en la mezcla, esto al usar el aditivo plastificante, y luego por la presencia de la sílice, el valor de la exudación disminuye debido a la retención que ejerce sobre el ascenso del agua a la superficie, esto al ser un material fino.

### 7.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

#### 7.3.1 Resistencia a la Compresión

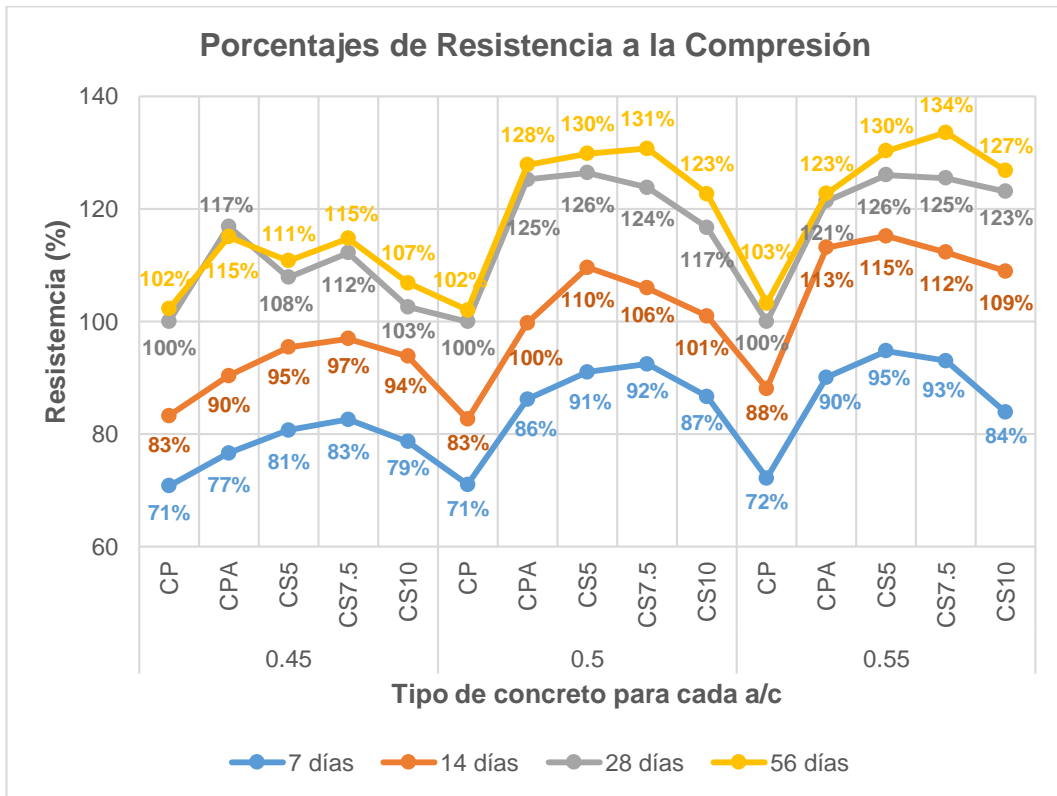
Cuadro N° 7.6 Porcentajes de resistencia a la compresión del concreto

Ra/c	Tiempo de Curado (días)	Porcentajes de Resistencia a la Compresión (%)				
		Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	7	70.80	76.63	80.73	82.62	78.70
	14	83.27	90.40	95.44	96.94	93.82
	28	100.00	116.91	107.87	112.20	102.59
	56	102.26	115.07	110.81	114.75	106.87
0.50	7	71.06	86.23	91.04	92.45	86.68
	14	82.68	99.78	109.59	105.94	100.98
	28	100.00	125.23	126.42	123.84	116.72
	56	102.05	127.83	129.85	130.75	122.68
0.55	7	72.21	90.09	94.76	93.04	83.89
	14	88.10	113.14	115.17	112.32	108.97
	28	100.00	121.39	126.05	125.49	123.11
	56	103.25	122.70	130.33	133.58	126.82

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico N° 7.6 Porcentajes de resistencia a la compresión del concreto



Fuente: Elaboración Propia

a) Concreto Patrón (CP)

En el cuadro N° 7.6 y gráfico N° 7.6 se tiene los resultados de los ensayos a compresión del Concreto Patrón (CP) a los 7, 14, 28 y 56 días, considerando como 100% la resistencia a la compresión del Concreto Patrón a los 28 días, a los 7, 14 y 56 días de curado, para la relación a/c de 0.45 alcanza el 70.80%, 83.27% y 102.26%, para a/c de 0.50 alcanza el 71.06%, 82.68% y 102.05%, y para a/c de 0.55 alcanza el 72.21%, 88.10% y 103.25%, respectivamente.

b) Concreto Patrón con Aditivo (CPA)

Se pueden apreciar en el cuadro N° 7.6 y gráfico N° 7.6 los porcentajes de los ensayos a compresión del Concreto Patrón con Aditivo (CPA) a los 7, 14, 28 y 56 días de curado, considerando 100% la resistencia a la compresión del Concreto Patrón (CP) a los 28 días, a los 7, 14, 28 y 56 días de curado del CPA, para a/c de 0.45 alcanza el 76.63%, 90.40%, 116.91% y 115.017%, para a/c de 0.50 alcanza el 86.23%, 99.78%, 125.23% y 127.83%, y para a/c de 0.55 alcanza el 90.09%, 113.14%, 121.39% y 122.70%.

## c) Concreto Patrón con Aditivo y 5% de Micromineral SiO 400 (CS5)

En el cuadro N° 7.6 y gráfico N° 7.6 se aprecian los resultados de los ensayos a compresión del Concreto con Aditivo y 5% de Micromineral SiO 400 (CS5) a los 7, 14, 28 y 56 días, considerando como 100% la resistencia a la compresión del Concreto Patrón (CP) a los 28 días, para el Concreto con Aditivo y 5% de Micromineral SiO 400 (CS5) a los 7, 14, 28 y 56 días de curado respectivamente, para la relación a/c de 0.45 alcanza el 80.73%, 95.44%, 107.87% y 110.81%, para a/c de 0.50 alcanza el 91.04%, 109.59%, 126.46% y 129.85%, y para a/c de 0.55 alcanza el 94.76%, 115.17%, 126.05% y 130.33%; observándose que se obtienen porcentajes más altos cuanto mayor es el valor del a/c.

## d) Concreto Patrón con Aditivo y 7.5% de Micromineral SiO 400 (CS7.5)

En el cuadro N° 7.6 y gráfico N° 7.6 se tienen también los porcentajes de la resistencia a la compresión del Concreto con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 7.5% (CS7.5) a los 7, 14, 28 y 56 días, considerando como 100% la resistencia a la compresión del Concreto Patrón (CP) a los 28 días, para el Concreto con Aditivo y 7.5% de Micromineral SiO 400 (CS7.5) a los 7, 14, 28 y 56 días de curado respectivamente, la relación a/c de 0.45 alcanza el 82.62%, 96.64%, 112.20% y 114.75%, para a/c de 0.50 alcanza el 92.45%, 105.94%, 123.84% y 130.75%, y para a/c de 0.55 alcanza el 93.04%, 112.32%, 125.49% y 133.58%; observándose que se obtienen porcentajes más alto cuanto mayor es el valor del a/c.

## e) Concreto Patrón con Aditivo y 10% de Micromineral SiO 400 (CS10)

Finalmente, en el cuadro N° 7.6 y gráfico N° 7.6 se presentan los porcentajes de la resistencia a la compresión del Concreto con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 7.5% (CS10) a los 7, 14, 28 y 56 días, considerando como 100% la resistencia a la compresión del concreto patrón a los 28 días, los porcentajes para el concreto con aditivo y 10% de sílice a los 7, 14, 28 y 56 días de curado respectivamente, la relación a/c de 0.45 alcanza el 78.70%, 93.82%, 102.59% y 106.87%, para a/c de 0.50 alcanza el 86.68%, 100.98%, 116.72% y 122.68%, y para a/c de 0.55 alcanza el 83.89%, 108.97%, 123.11% y 126.82%; observándose que se obtienen porcentajes más alto cuanto mayor es el valor del a/c.

### 7.3.2 Resistencia a la Tracción por Compresión Diametral

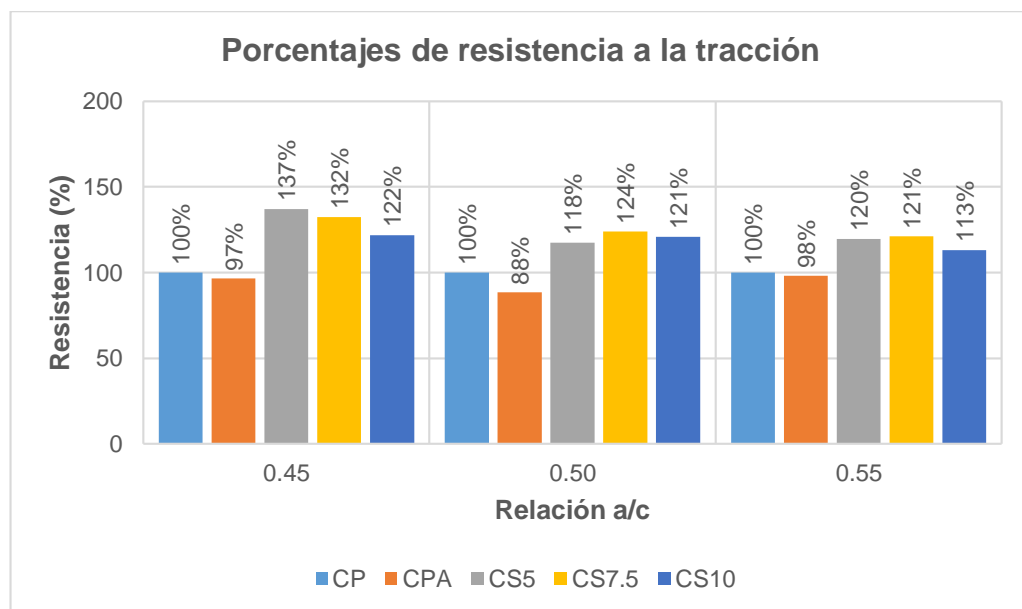
En el cuadro N° 7.7 y en el gráfico N° 7.7 tenemos los resultados obtenidos de los ensayos de la resistencia a la tracción a partir del método indirecto de la compresión diametral de las probetas de concreto.

Cuadro N° 7.7 Porcentajes de resistencia a la tracción del concreto

Ra/c	Porcentajes de Resistencia a la Tracción (%)				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	100.00	96.64	137.03	132.28	121.78
0.50	100.00	88.30	117.53	123.91	120.90
0.55	100.00	98.09	119.69	121.09	113.12

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.7 Comparación de los porcentajes de la resistencia a la tracción del concreto



Fuente: Elaboración Propia

Considerando a la resistencia a la tracción del Concreto Patrón (CP) como 100%, el Concreto Patrón con Aditivo (CPA), para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55, se reduce en 3.36%, 11.70% y 1.91%, correspondientemente. Para el caso del Concreto con Aditivo y Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10), para la relación a/c de 0.45 se incrementa en 37.03%, 32.28% y 21.78%, para a/c de 0.50 se incrementa en 17.53%, 23.91% y 20.90%, finalmente para a/c de 0.55 se incrementa en 19.69%, 21.09% y 13.12%, respectivamente.

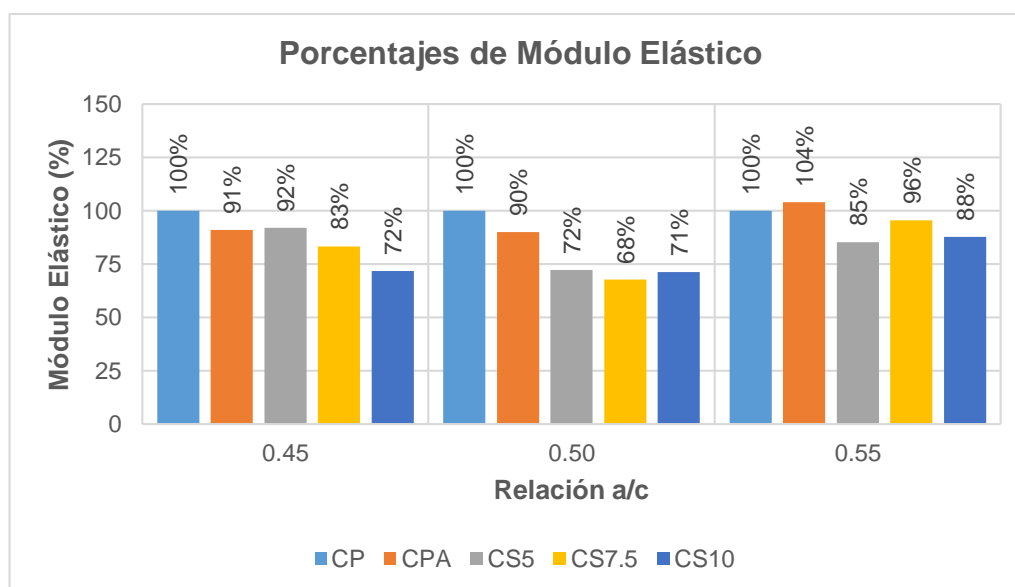
### 7.3.3 Módulo Elástico

Cuadro N° 7.8 Porcentajes de módulo elástico del concreto

Ra/c	Porcentajes de Módulo Elástico (%)				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	100.00	91.09	91.90	83.33	71.78
0.50	100.00	89.89	72.18	67.75	71.13
0.55	100.00	103.95	85.34	95.61	87.83

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.8 Comparaciones de los porcentajes del módulo elástico del concreto



Fuente: Elaboración Propia

Se muestran en el cuadro N° 7.8 y en el gráfico N° 7.8 los resultados porcentuales del módulo elástico para cada diseño con respecto al concreto patrón. El valor porcentual del concreto con aditivo resulta ser el 91.09%, 89.89% y 103.95% para la relación a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. Con respecto al concreto con aditivo y Micromineral SiO 400 (5%, 7.5% y 10%), para la relación a/c de 0.45 el módulo elástico se reduce 8.10%, 16.67% y 28.22%, para a/c de 0.50 se reduce 27.82%, 32.25% y 28.87%, y finalmente, para a/c de 0.55 se reduce 14.66%, 4.39% y 12.17%.

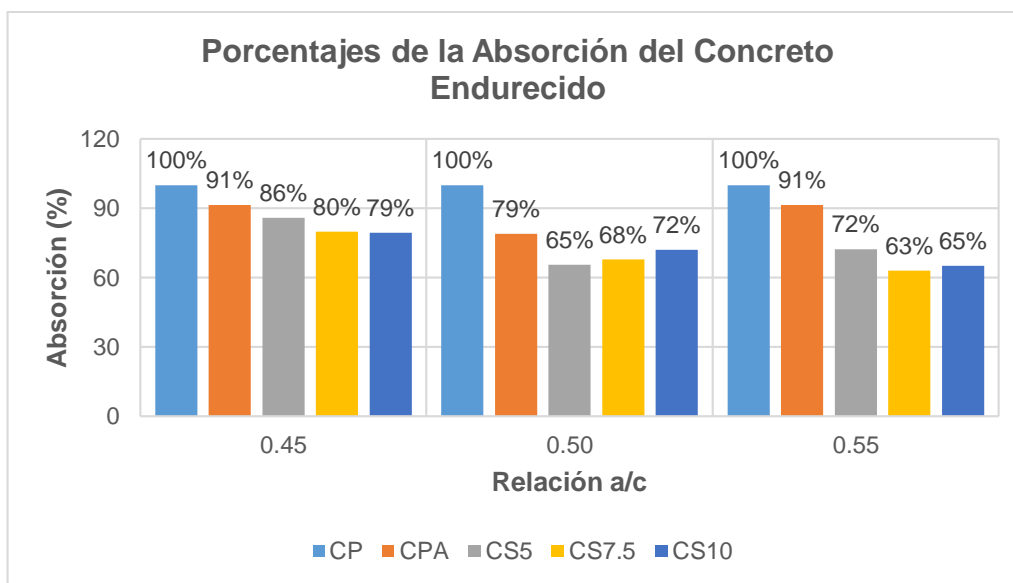
### 7.3.4 Absorción del Concreto Endurecido

Cuadro N° 7.9 Porcentajes de la absorción del concreto endurecido

Ra/c	Porcentajes de Absorción del Concreto Endurecido (%)				
	Concreto Patrón	Concreto con Aditivo	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y Sílice Nacional (10%)
0.45	100.00	91.38	85.80	79.87	79.26
0.50	100.00	78.88	65.43	67.72	72.04
0.55	100.00	91.36	72.15	63.04	65.13

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 7.9 Comparación de los porcentajes de absorción del concreto endurecido



Fuente: Elaboración Propia

El cuadro N° 7.9 y el gráfico N° 7.9 muestran los valores porcentuales tomando como 100% la absorción del concreto patrón. La absorción del concreto con aditivo presenta una disminución de 8.62%, 21.12% y 8.64% para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55 respectivamente. La absorción del concreto con aditivo y Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10) disminuye de igual forma, para el caso de la relación a/c de 0.45 se reduce 14.20%, 20.13% y 20.74%, para a/c de 0.50 se reduce 34.57%, 32.28% y 27.96%, y finalmente para a/c de 0.55 se reduce 27.85%, 36.96% y 34.87%.

De los resultados obtenidos se puede concluir que el Micromineral SiO 400 trabaja muy bien en la disminución de la absorción del concreto, y mejora cuanto mayor es la relación a/c.

## CAPITULO VIII: ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

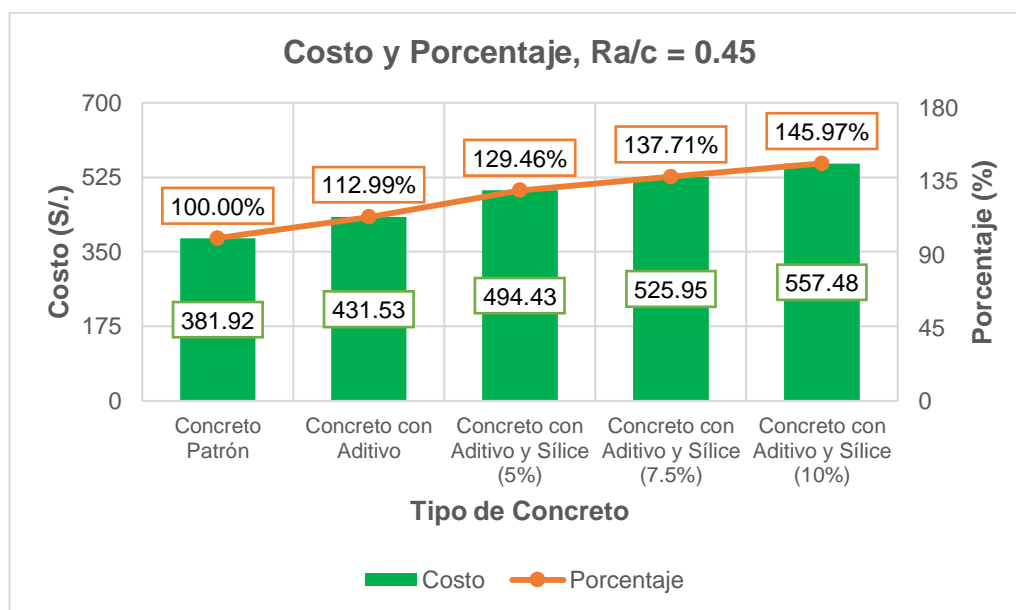
### 8.1 COSTOS DE LOS CONCRETOS, a/c: 0.45

Cuadro N° 8.1 Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.45

Tipo de Concreto	Costo (S/.)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	381.92	100.00
Concreto con Aditivo	431.53	112.99
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	494.43	129.46
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	525.95	137.71
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	557.48	145.97

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.1 Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.45



Fuente: Elaboración Propia

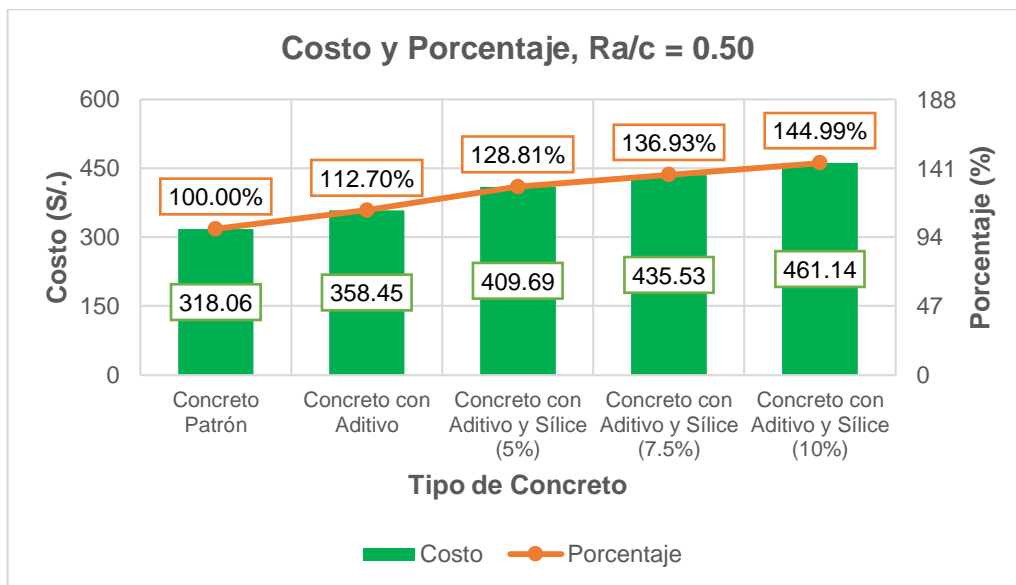
### 8.2 COSTOS DE LOS CONCRETOS, a/c: 0.50

Cuadro N° 8.2 Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.50

Tipo de Concreto	Costo (S/.)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	318.06	100.00
Concreto con Aditivo	358.45	112.70
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	409.69	128.81
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	435.53	136.93
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	461.14	144.99

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.2 Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.50



Fuente: Elaboración Propia

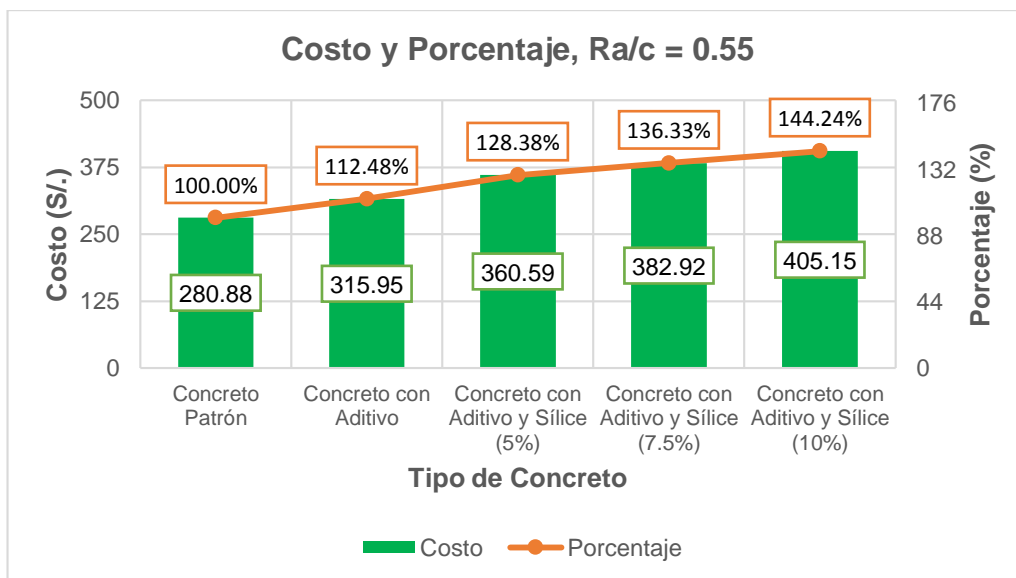
### 8.3 COSTOS DE LOS CONCRETOS, a/c: 0.55

Cuadro N° 8.3 Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.55

Tipo de Concreto	Costo (S/.)	Porcentaje (%)
Concreto Patrón	280.88	100.00
Concreto con Aditivo	315.95	112.48
Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	360.59	128.38
Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	382.92	136.33
Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	405.15	144.24

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.3 Costo y Porcentajes del Concreto, a/c: 0.55



Fuente: Elaboración Propia

#### 8.4 ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO, a/c: 0.45, 0.50 Y 0.55

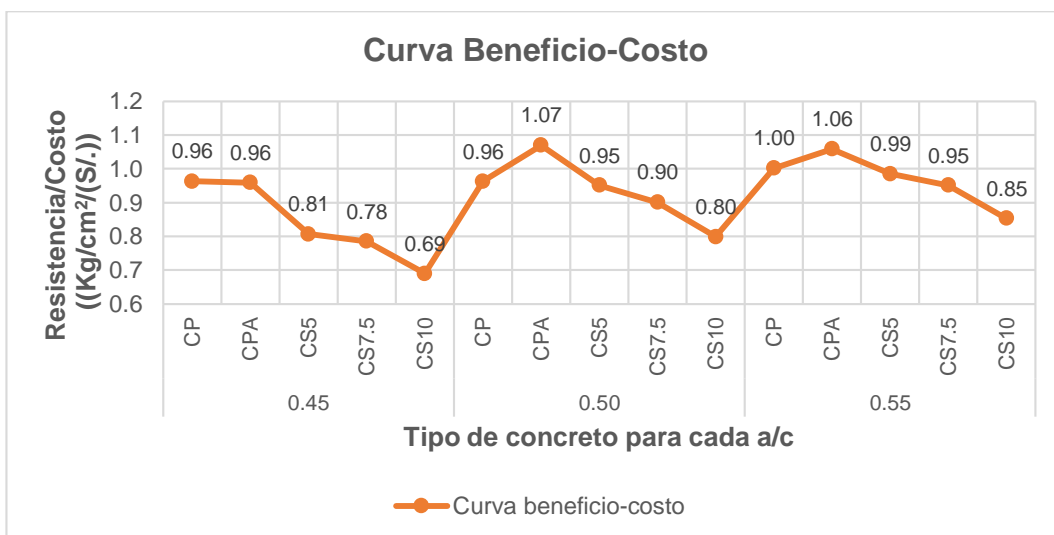
Cuadro N° 8.4 Comparación costo y resistencia a la compresión a los 56 días

Ra/c	Diseño	Costo (S/.)	Resistencia compresión 56 días (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia/Costo (Kg/cm <sup>2</sup> )/(S/.)
0.45	Concreto Patrón	381.92	367.95	0.96
	Concreto con Aditivo	431.53	414.04	0.96
	Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	494.43	398.69	0.81
	Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	525.95	412.87	0.78
	Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	557.48	384.53	0.69
0.50	Concreto Patrón	318.06	306.26	0.96
	Concreto con Aditivo	358.45	383.62	1.07
	Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	409.69	389.69	0.95
	Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	435.53	392.40	0.90
	Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	461.14	368.17	0.80
0.55	Concreto Patrón	280.88	281.45	1.00
	Concreto con Aditivo	315.95	334.49	1.06
	Concreto con Aditivo y Sílice (5%)	360.59	355.27	0.99
	Concreto con Aditivo y Sílice (7.5%)	382.92	364.13	0.95
	Concreto con Aditivo y Sílice (10%)	405.15	345.70	0.85

Fuente: Elaboración Propia



Gráfico N° 8.4 Curva beneficio-costo



Fuente: Elaboración Propia

Se presenta la curva beneficio-costo en el gráfico N° 8.4, donde los valores mostrados provienen de la división de la resistencia a la compresión a los 56 días entre el costo de 1 m<sup>3</sup> del diseño de concreto. Para la relación 0.45, el diseño más eficiente es el concreto patrón con valor 0.96, para la relación 0.50, el diseño más eficiente es el concreto con aditivo con valor 1.07, para la relación 0.55, el diseño más eficiente es el concreto con aditivo con valor 1.06.

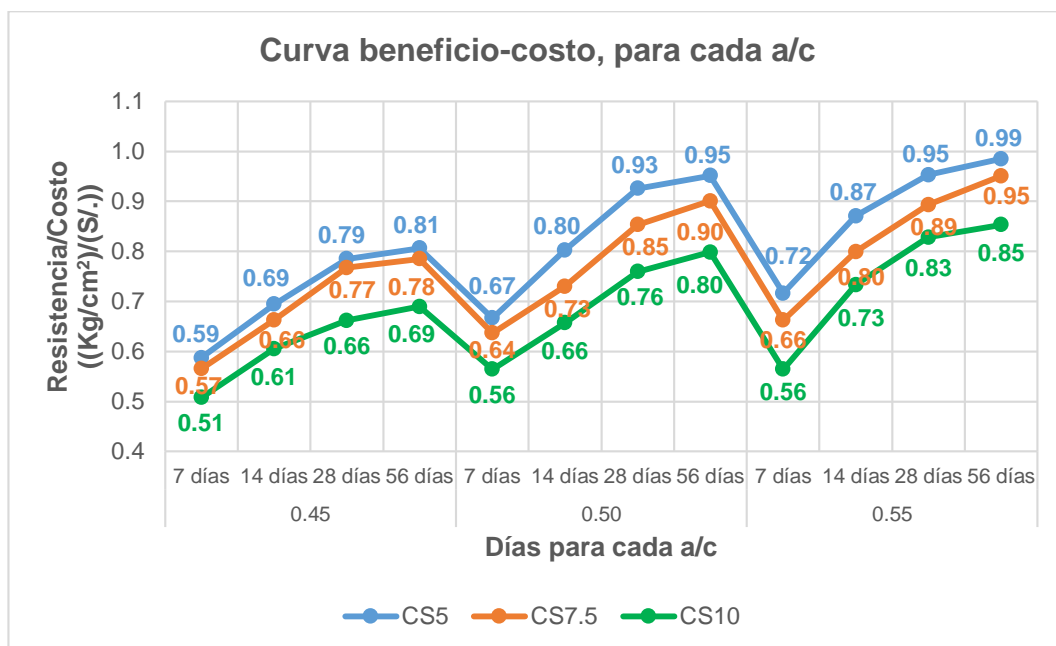
A continuación se muestra la curva beneficio-costo para las resistencias a la compresión (7, 14, 28 y 56 días) para cada a/c de los concretos con aditivo y sílice.

Cuadro N° 8.5 Beneficio-costo, diseños de concreto con sílice, para cada a/c

Ra/c	Tiempo de Curado (días)	Resistencia/Costo (Kg/cm <sup>2</sup> )/(S./)		
		Concreto con aditivo y sílice nacional (5%)	Concreto con aditivo y sílice nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y sílice nacional (10%)
0.45	7 días	0.59	0.57	0.51
	14 días	0.69	0.66	0.61
	28 días	0.79	0.77	0.66
	56 días	0.81	0.78	0.69
0.50	7 días	0.67	0.64	0.56
	14 días	0.80	0.73	0.66
	28 días	0.93	0.85	0.76
	56 días	0.95	0.90	0.80
0.55	7 días	0.72	0.66	0.56
	14 días	0.87	0.80	0.73
	28 días	0.95	0.89	0.83
	56 días	0.99	0.95	0.85

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.5 Curva beneficio-costo, diseños de concreto con sílice, para cada a/c



Fuente: Elaboración Propia

Se muestran en el cuadro N° 8.5 y en el gráfico N° 8.5 las relaciones de resistencia/costo para 7, 14, 28 y 56 días de los diseños de concreto con aditivo y sílice para cada a/c, en donde se puede apreciar que los valores más altos son del CS5 (5% de sílice), luego el CS7.5 (7.5% de sílice), y finalmente el CS10 (10% de sílice), deduciendo que a medida que se aumenta la sílice en el diseño, el valor de beneficio/costo disminuye.

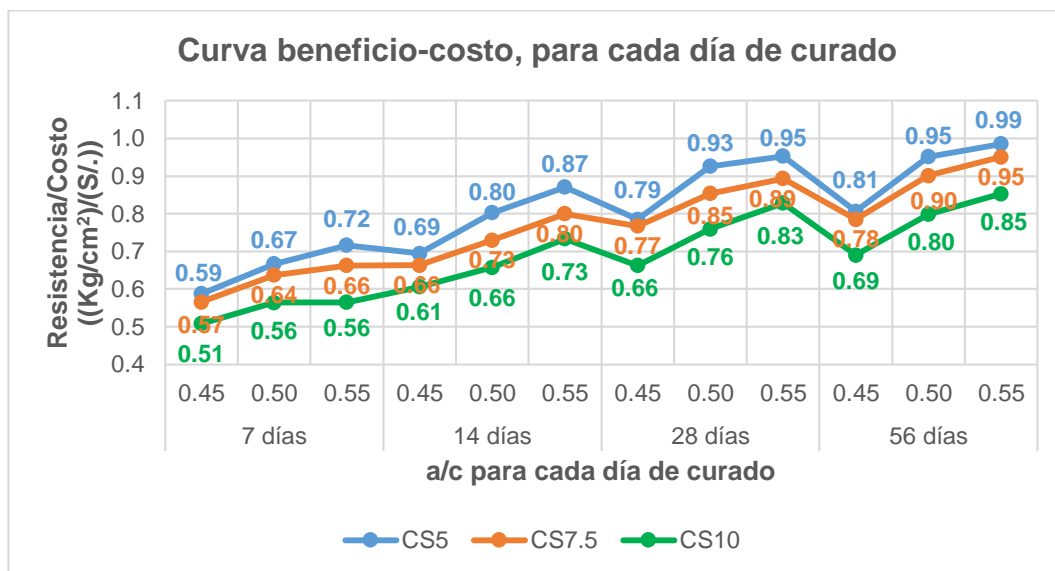
A continuación se muestra la curva beneficio-costo para las resistencias a la compresión (a/c: 0.45, 0.50 y 0.55) para cada día de curado que se realizó de los concretos con aditivo y sílice.

Cuadro N° 8.6 Beneficio-costo, diseños de concreto con sílice, para cada día de curado

Tiempo de Curado (días)	Ra/c	Resistencia/Costo		
		Concreto con aditivo y sílice nacional (5%)	Concreto con aditivo y sílice nacional (7.5%)	Concreto con aditivo y sílice nacional (10%)
7 días	0.45	0.59	0.57	0.51
	0.50	0.67	0.64	0.56
	0.55	0.72	0.66	0.56
14 días	0.45	0.69	0.66	0.61
	0.50	0.80	0.73	0.66
	0.55	0.87	0.80	0.73
28 días	0.45	0.79	0.77	0.66
	0.50	0.93	0.85	0.76
	0.55	0.95	0.89	0.83
56 días	0.45	0.81	0.78	0.69
	0.50	0.95	0.90	0.80
	0.55	0.99	0.95	0.85

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 8.6 Curva beneficio-costo, diseños de concreto con sílice, para cada día de curado



Fuente: Elaboración Propia

Del gráfico N° 8.6 se puede ver los valores de beneficio-costo para a/c: 0.45, 0.50 y 0.55, para cada día de curado que se ensayó en la presente tesis. Se aprecia en el gráfico que para cada día de curado, al aumentar la relación a/c, también aumenta el valor de beneficio-costo, deduciendo que la sílice nacional es más rentable al ser usado en relaciones a/c altos.

## CONCLUSIONES

La presente tesis realizó el estudio de las propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, para las relaciones a/c de 0.45, 0.50 y 0.55, usando cemento tipo MS(MH) (cemento de propiedades físicas similares al tipo II), aditivo plastificante Chemaplast (1% respecto al peso del cemento) y el Micromineral SiO 400 (5%, 7.5% y 10% respecto al peso del cemento). El aditivo se utilizó únicamente para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. Se realizaron los diseños del Concreto Patrón (CP), Concreto Patrón con Aditivo (CPA), Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 5% (CS5), al 7.5% (CS7.5) y al 10% (CS10); y posteriormente los ensayos respectivos de estado fresco y de estado endurecido. Con los resultados obtenidos de los ensayos se realizó un análisis comparativo con respecto al Concreto Patrón (CP), y un análisis comparativo de costos respecto a las resistencias a la compresión obtenidas.

Las conclusiones de la presente tesis son las siguientes:

1. Tanto el agregado fino como el agregado grueso cumplen con las propiedades físicas necesarias para su uso en la elaboración de los diseños de concreto estudiados, resultando para a/c de 0.45 la relación arena/piedra de 53.2%/46.8%, para a/c de 0.50 la relación arena/piedra de 53.3%/46.7%, y para a/c de 0.55 la relación arena/piedra de 56.1%/43.9%.
2. En el ensayo de asentamiento, se mantuvo un valor constante de 4", el uso de aditivo plastificante redujo el agua patrón de diseño hasta 93.4%. Al añadir el Micromineral SiO 400 a la mezcla se tuvo que aumentar la cantidad de agua hasta 120.7% para mantener la consistencia, concluyendo que el Micromineral SiO 400 absorbe mucha agua, disminuyendo la trabajabilidad de la mezcla.
3. En el peso unitario, el Concreto Patrón con Aditivo (CPA) disminuye este valor hasta 97.2%, y luego sigue disminuyendo hasta 92.4% con la incorporación del Micromineral SiO 400. El valor del peso unitario disminuye a medida que se aumenta el porcentaje del Micromineral SiO 400 en el diseño, concluyendo que el Micromineral SiO 400 aporta porosidad a la mezcla.
4. En el ensayo de fluidez, el Concreto Patrón con Aditivo (CPA) reduce este valor hasta 97.2% con respecto al del Concreto Patrón (CP). Al añadir el Micromineral SiO 400 a la mezcla (CS5, CS7.5 y CS10), disminuye el valor de la fluidez hasta 48.4%, teniendo el Concreto Patrón con Aditivo y

- Micromineral SiO 400 al 10% (CS10) la mezcla menos fluida. Además, la mezcla se hace menos fluida a medida que se aumenta el porcentaje del Micromineral SiO 400 en el diseño, debido a la gran absorción de agua que posee este material.
5. En el contenido de aire, con respecto al Concreto Patrón (CP), aumenta su valor con el Concreto Patrón con Aditivo (CPA) hasta 181.4%. Al colocar el Micromineral SiO 400 a la mezcla (CS5, CS7.5 y CS10), aumenta el contenido de aire hasta 200%, aumentando dicho valor al incrementar el porcentaje del Micromineral SiO 400 en el diseño, concluyendo que el Micromineral SiO 400 aporta porosidad a la mezcla, como también se comentó en el caso del peso unitario.
  6. En el tiempo de fragua inicial, con respecto al Concreto Patrón (CP), aumenta su valor hasta 118.5% con el Concreto Patrón con Aditivo (CPA). En el caso del diseño con Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10), el tiempo de fragua inicial (91.6% - 100.3%) es bastante cercano al del Concreto Patrón (CP), concluyendo que el Micromineral SiO 400 no altera significativamente esta propiedad.
  7. En el tiempo de fragua final, con respecto al Concreto Patrón (CP), aumenta su valor hasta 124.5% con el Concreto Patrón con Aditivo (CPA). Cuando se le añade el Micromineral SiO 400 al diseño (CS5, CS7.5 y CS10), el tiempo de fragua final disminuye hasta 92%, concluyendo que el Micromineral SiO 400 no afecta significativamente esta propiedad.
  8. En el ensayo de exudación, con respecto al Concreto Patrón (CP), su valor disminuye hasta 29.1% con el Concreto Patrón con Aditivo (CPA). Cuando se le adiciona el Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10), la exudación disminuye hasta 16.1%, disminuyendo a medida que se aumenta el porcentaje del Micromineral SiO 400 en el diseño, demostrando así que este material posee una elevada capacidad de absorción del agua.
  9. En la resistencia a la compresión, el Concreto Patrón con Aditivo (CPA) incrementa su valor alcanzando a los 56 días de curado hasta 127.8% de la resistencia a la compresión a 28 días del Concreto Patrón (CP). En el caso del Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10), la resistencia aumenta hasta 133.6% con respecto a la resistencia a la compresión a 28 días del Concreto Patrón (CP), obteniendo mejores resultados el diseño con 7.5% de Micromineral SiO 400 (CS7.5) en

- comparación con los diseños con 5% (CS5) y 10% (CS10) de Micromineral SiO 400, concluyendo que el Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 7.5% (CS7.5) tiene una mejor reacción de las partículas del Micromineral SiO 400 y formación de silicatos de calcio dentro del proceso de endurecimiento del concreto.
10. En la resistencia a la tracción por compresión diametral, el valor obtenido del Concreto Patrón (CP) disminuye hasta 88.3% con el Concreto Patrón con Aditivo (CPA). En el caso del Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10), la resistencia a la tracción aumenta hasta 137%, donde para a/c de 0.45 los mejores resultados se obtienen con el Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 5% (CS5), en cambio para a/c de 0.50 y 0.55 los mejores resultados se obtienen con el Concreto Patrón con Aditivo y Micromineral SiO 400 al 7.5% (CS7.5).
  11. En el módulo elástico, con respecto al Concreto Patrón (CP), su valor aumenta hasta 104% con el Concreto Patrón con Aditivo (CPA). Cuando se le adiciona el Micromineral SiO 400 al diseño (CS5, CS7.5, CS10), se reduce el valor del módulo elástico, existiendo una tendencia a la disminución de este valor a medida que se aumenta el porcentaje del Micromineral SiO 400 en el diseño para el caso de a/c de 0.45, donde el valor disminuye hasta 72.2% (CS10). Para las relación a/c de 0.55 el módulo de elasticidad del concreto con Micromineral SiO 400 sólo disminuye hasta 85.4% (CS5) y alcanzando su resultado más óptimo de 95.6% (CS7.5), concluyendo que a medida que aumenta la relación a/c, disminuye también la diferencia de valores del módulo de elasticidad del concreto patrón con la del concreto con Micromineral SiO 400.
  12. En el ensayo de absorción, con respecto al Concreto Patrón (CP), su valor se reduce hasta 78.9% con el Concreto Patrón con Aditivo (CPA). Al añadir el Micromineral SiO 400 al diseño (CS5, CS7.5 y CS10), la absorción se reduce hasta 63%, existiendo una tendencia a la disminución de este valor a medida que se aumenta la relación a/c, concluyendo que el Micromineral SiO 400 trabaja mejor en la disminución de la absorción del concreto cuando la relación a/c es mayor.
  13. En el análisis de beneficio-costo, eligiendo como beneficio la resistencia a la compresión a los 56 días y el costo viniendo a ser el precio por m<sup>3</sup> de concreto diseñado, se concluye que de los diseños de Concreto Patrón con Aditivo y

Micromineral SiO 400 (CS5, CS7.5 y CS10), el más rentable es el de 5% (CS5), ya que a medida que aumentamos el porcentaje del Micromineral SiO 400 en el diseño, el concreto se vuelve menos rentable.

14. En el análisis de beneficio-costos también se concluye que la relación de resistencia/costo aumenta cuando crece el valor de  $a/c$ , por lo que a medida que se aumenta la relación  $a/c$ , la rentabilidad del uso del Micromineral SiO 400 en el concreto es mayor.
15. En resumen, luego de realizar el análisis de todos los ensayos del concreto de diseño, se concluye que el Concreto Patrón con Aditivo y Sílice al 7.5% (CS7.5) presenta los mejores resultados, siendo el 7.5% del Micromineral SiO 400 respecto al peso del cemento la proporción más beneficiosa para la dosificación del concreto.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso del Micromineral SiO 400 en el concreto de mediana a alta resistencia debido a sus buenos resultados obtenidos y costo accesible.
2. Se recomienda el uso obligatorio de mascarilla antipolvos, guantes y lentes de protección, debido al peligro que conlleva el uso del material fino.
3. Se debe tener cuidado al momento de añadir el Micromineral SiO 400 a la mezcla, ya que es un material bastante fino y liviano, y al momento de girar la mezcladora este puede salir expulsado en forma de polvo, generándose desperdicio de material.
4. El Micromineral SiO 400 es un material que absorbe una gran cantidad de agua, por lo que se recomienda el uso de aditivo plastificante en la mezcla.
5. Se recomienda mezclar tandas de por lo menos 50 Kg de peso, debido a que al mezclar cantidades menores, estas no se mezclan como debe ser, pegándose los materiales en las paredes de la mezcladora; en cambio al ser una cantidad mayor a 50 Kg los materiales se despegan de las paredes de la mezcladora por acción de gravedad y se obtiene una mezcla correcta.
6. Se recomienda realizar los ensayos de concreto en estado fresco de los diseños con igual relación a/c en un mismo día, esto con la finalidad de evitar variaciones en los resultados debido a los cambios de temperatura y humedad del ambiente.
7. Se recomienda realizar los ensayos de resistencia a la compresión en un mismo equipo, debido a que puede variar los resultados y luego presentarse problemas al momento de analizarlos.
8. Se recomienda mejorar la molienda del Micromineral SiO 400 para uniformizar el tamaño de sus partículas, ya que el mínimo es 0.04  $\mu\text{m}$  y el promedio es 1.83  $\mu\text{m}$ , por lo que es posible hacer más pequeño las partículas.
9. Se recomienda realizar la investigación del concreto con Micromineral SiO 400 para edades de 90 y 120 días de curado.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CERDÁN VICTORIA, Williams Erick; “Estudio del concreto de mediana a alta resistencia con aditivo anticorrosivo y cemento Portland Tipo I”; Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 2012.
2. HOLLAND, Terence C.; “Silica Fume User’s Manual”; Primera Edición, U.S. Department of Transportation/Federal Highway Administration, Washington, 2005.
3. HUATAY ALIAGA, Elver Yovan; “Propiedades mecánicas del concreto elaborado con aditivo microsílíce”; Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; Universidad Nacional de Cajamarca; Cajamarca, 2014.
4. INDECOPI; “NTP 334.009, Cementos. Cementos portland. Requisitos”; Séptima Edición, Lima, 2020.
5. INDECOPI; “NTP 334.082, Cementos. Cementos portland. Especificación de la performance”; Quinta Edición, Lima, 2020.
6. INDECOPI; “NTP 339.034, Hormigón (concreto). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas”; Cuarta Edición, Lima, 2015.
7. INDECOPI; “NTP 339.035, Hormigón (concreto). Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Portland”; Cuarta Edición, Lima, 2015.
8. INDECOPI; “NTP 339.046, Hormigón (concreto). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto)”; Segunda Edición, Lima, 2008.
9. INDECOPI; “NTP 339.077, Concreto. Métodos de ensayo normalizados para exudación del concreto”; Tercera Edición, Lima, 2013.
10. INDECOPI; “NTP 339.082, Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación del tiempo de fraguado de mezclas por medio de la resistencia a la penetración”; Cuarta Edición, Lima, 2017.
11. INDECOPI; “NTP 339.083, Hormigón (concreto). Método de ensayo normalizado para contenido de aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco, por el método de presión”; Segunda Edición, Lima, 2003.
12. INDECOPI; “NTP 339.084, Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica”; Tercera Edición, Lima, 2012.

13. INDECOPI; “NTP 339.085, Hormigón (concreto). Método de ensayo para la determinación de un índice de consistencia de hormigones frescos, por el método de la mesa de sacudidas”; Primera Edición, Lima, 1981.
14. INDECOPI; “NTP 339.185, Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado”; Segunda Edición, Lima, 2013.
15. INDECOPI; “NTP 339.187, Hormigón (concreto). Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el hormigón (concreto) endurecido”; Segunda Edición, Lima, 2018.
16. INDECOPI; “NTP 400.012, Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global”; Tercera Edición, Lima, 2013.
17. INDECOPI; “NTP 400.017, Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad por volumen o densidad (Peso Unitario) y los vacíos en los agregados”; Tercera Edición, Lima, 2011.
18. INDECOPI; “NTP 400.018, Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75  $\mu\text{m}$  (N° 200) por lavado en agregados”; Tercera Edición, Lima, 2013.
19. INDECOPI; “NTP 400.021, Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso”; Tercera Edición, Lima, 2013.
20. INDECOPI; “NTP 400.022, Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino”; Tercera Edición, Lima, 2013.
21. INDECOPI; “NTP 400.037, Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto”; Cuarta Edición, Lima, 2018.
22. KOSMATKA, Steven H.; “Diseño y control de mezclas de concreto”; Primera Edición, Portland Cement Association, Illinois, 2004.
23. MONTALVÁN GIRÓN, Pável Fernando; “Propiedades del concreto de mediana a baja resistencia con aditivo plastificante y cal hidratada al 40%, 50% y 60%”; Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 2017.
24. NIÑO SANDOVAL, Werner; “Caracterización mecánica y de durabilidad de concretos de alto desempeño”; Tesis para optar el Título de Maestría en Ingeniería Civil; Pontificia Universidad Javeriana; Bogotá, 2013.
25. PASQUEL CARBAJAL, Enrique; “Tópicos de tecnología del concreto en el Perú”; Segunda Edición, Ediciones CIP, Lima, 1998.

26. PEREZ BAHAMONDE, Manuel; “Caracterización de morteros con adición de combinaciones de microsílíce y nanosílíce”; Tesis para optar el título de Ingeniero Civil en Obras Civiles; Universidad Austral de Chile; Valdivia, 2008.
27. RIWA LÓPEZ, Enrique; “Materiales para el Concreto”; Tercera Edición, ICG, Lima, 2010.
28. TEJADA SILVA, Marco Antonio; “Influencia de la microsílíce y el aditivo superplastificante en el concreto de alta resistencia”; Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 2016.
29. VASQUEZ RUBIO, Fernando Manuel; “Estudio del concreto de mediana a alta resistencia con microsílíce nacional y aditivo plastificante, utilizando cemento portland tipo I”; Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 2020.
30. VILCA ARANDA, Patricia Amarilis; “Obtención del concreto de alta resistencia”; Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil; FIC-UNI; Lima, 2008.