

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**E.A.P. DE INGENIERIA CIVIL**



**TESIS**  
**CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO ADITIVO**  
**MICROSILICE**

**TESISTA:**

GONZALES JESUS, RICHARD MANOLO

PARA OBTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

HUÁNUCO – PERÚ

2016

## **DEDICATORIA**

A nuestra Alma Mater y Docentes por la formación profesional que nos brindaron en las aulas universitarias, y en especial a mi padre que es mi ángel que ilumina mi camino.

Y a todos los que hicieron posible para la realización de este trabajo

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, al Divino Creador, nuestro Señor Jesucristo, quién nos da vida, manteniéndonos con salud, factor fundamental para el ser humano. A mi familia, quienes son mi inspiración para seguir adelante.

A mis maestros, docente de la UNHEVAL, les doy las más eternas gracias, por los conocimientos compartidos e ir más allá de instruirnos, por sus orientaciones y dedicaciones desinteresadas hacia nosotros.

El agradecimiento es la parte principal de un hombre de bien.

## RESUMEN

La presente investigación estudia los concretos de alta resistencia preparados con microsilíce (SIKA FUME) usando cemento portland tipo I, con una mezcla convencional patrón donde se añade el aditivo microsilíce a un porcentaje del peso del cemento al 5, 7.5 y 10% y así llegar al concreto de alta resistencia.

Se presentan las normas y especificaciones que deben de regirse para cada uno de los materiales utilizados. Además se presenta una mezcla patrón para 1 m<sup>3</sup> de concreto, comparando las distintas resistencias a compresión, de las cuales se ensayaron cilindros a 7, 14 y 28 días donde se obtuvieron resultados muy favorables.

El objetivo principal planteado en la investigación es: Determinar la relación entre la proporción de microsilíce en el mejoramiento de la resistencia del concreto con la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I. donde se llegó al objetivo con el aditivo microsilíce al 10% a un concreto de alta resistencia superando los 650 kg/cm<sup>2</sup>.

Capítulo I: Desarrollo de la problemática a investigar.

Capitulo II: Marco teórico necesario para desarrollar la investigación académica.

Capitulo III: Metodología que se empleara en el desarrollo de la investigación como, recopilación de datos, tipo de investigación, diseño de la investigación.

Capitulo IV: Cálculo y resultado de la investigación, diseño de mezcla y comparación de resistencia a la compresión.

Capítulo V: Conclusiones, recomendaciones y anexos.

## SUMMARY

This research studies the concrete high strength prepared with microsilica (SIKA FUME) using Portland cement type I with a conventional mixture pattern where the additive microsilica to a percentage by weight of cement to 5, 7.5 and 10% is added and reach the high-strength concrete.

standards and specifications should be governed for each of the materials used are presented. In addition a standard mixture for 1 m<sup>3</sup> concrete is presented comparing the different compressive strengths, of which cylinders tested at 7, 14 and 28 days where very favorable results were obtained.

The main objective raised in the research is: To determine the relationship between the proportion of microsilica in improving the resistance of concrete with conventional mixing, using the type I cement where it reached the target with the microsilica additive 10% to high-strength concrete exceeding 650 kg / cm<sup>2</sup>.

Chapter I: Development of the problem to investigate.

Chapter II: Theoretical framework necessary to develop academic research.

Chapter III: methodology to be used in research and development, data collection, type of research, research design.

Chapter IV: Calculation and research results, mix design and comparison of compressive strength.

Chapter V: Conclusions, recommendations and annexes.

## ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b><i>i</i></b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b><i>ii</i></b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b><i>iii</i></b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b><i>iv</i></b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>PROBLEMATIZACIÓN</b> .....	<b>2</b>
<b>1.1. MARCO SITUACIONAL:</b> .....	<b>3</b>
<b>1.2. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>3</b>
1.8.1    Definición del Problema.....	4
<b>1.3. OBJETIVOS:</b> .....	<b>5</b>
1.3.1    Objetivo General.....	5
1.3.2    Objetivos Específicos.....	5
<b>1.4. HIPÓTESIS</b> .....	<b>5</b>
1.4.1.    Hipótesis Alterna.....	5
1.4.2.    Hipótesis Nula .....	5
<b>1.5. SISTEMA DE VARIABLES</b> .....	<b>6</b>
<b>1.6. DIMENSIONES E INDICADORES</b> .....	<b>6</b>
<b>1.7. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES</b> .....	<b>7</b>
<b>1.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA</b> .....	<b>8</b>
<b>1.9. IMPORTANCIA</b> .....	<b>9</b>
<b>1.10. LIMITACIONES</b> .....	<b>9</b>
1.8.1.    Limitación en el Laboratorio: .....	9
1.8.2.    Limitación de probetas: .....	9
<b>CAPITULO II</b> .....	<b>10</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>10</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES</b> .....	<b>11</b>
2.1.1    Antecedentes Nacionales .....	11
2.1.2    Antecedentes Internacionales .....	14
<b>2.2. DEFINICIONES</b> .....	<b>16</b>
2.2.1.    Concreto.....	16
2.2.2.    Cemento Portland .....	16

2.2.3.	Agregados .....	17
2.2.4.	Aditivo .....	18
2.2.5.	Microsílice .....	18
<b>2.3.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN REUNIR LOS MATERIALES.....</b>	<b>20</b>
2.3.1.	Selección de los materiales .....	20
2.3.2.	Cementos .....	20
2.3.3.	Agregados .....	21
2.3.4.	Agua .....	23
2.3.5.	Aditivos químicos .....	24
2.3.6.	Incorporadores de aire.....	24
2.3.7.	Retardadores.....	25
2.3.8.	Reductores de agua .....	26
2.3.9.	Aditivos minerales.....	26
2.3.10.	Ceniza volante .....	27
2.3.11.	Microsílice .....	27
2.3.12.	Cemento de escoria .....	28
<b>2.4.</b>	<b>ESPECIFICACIONES Y NORMAS .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5.</b>	<b>MEZCLAS .....</b>	<b>30</b>
2.5.1.	Proporciones de mezclas de concreto .....	30
2.5.2.	Proporciones de agregados .....	31
2.5.3.	Relación agua/cemento (A/C).....	33
2.5.4.	Proporciones de aditivos.....	35
2.5.5.	Resistencias requeridas.....	36
2.5.6.	Preparación, mezclado, transporte y colocación de mezclas .....	36
2.5.7.	Mezclado.....	37
2.5.8.	Transporte.....	39
2.5.9.	Colocación .....	40
2.5.10.	Curado.....	40
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>.....</b>	<b>42</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>.....</b>	<b>42</b>
<b>3.1.</b>	<b>METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....</b>	<b>43</b>
3.1.1	Tipo y Método de Investigación.....	43
<b>3.2.</b>	<b>DISEÑO DEL ESTUDIO.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3.</b>	<b>POBLACIÓN:.....</b>	<b>44</b>

<b>3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS .....</b>	<b>44</b>
3.4.1    Fuentes, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	44
<b><i>CAPITULO IV.....</i></b>	<b><i>45</i></b>
<b><i>CÁLCULOS Y RESULTADO .....</i></b>	<b><i>45</i></b>
4.1.    DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL .....	46
4.2.    DISEÑO DE MEZCLAS CON MICROSIÍLICE: .....	53
4.3.    RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	54
<b><i>CAPITULO V.....</i></b>	<b><i>59</i></b>
<b><i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</i></b>	<b><i>59</i></b>
5.1.    CONCLUSIONES: .....	60
5.2.    RECOMENDACIONES: .....	62
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	63
<b><i>ANEXO N°01:.....</i></b>	<b><i>64</i></b>
<b><i>ANEXO N°02:.....</i></b>	<b><i>65</i></b>



## INTRODUCCIÓN

Los concretos de hoy requieren en su composición la incorporación de aditivos y adiciones con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y de durabilidad. En este sentido el trabajo de investigación ha experimentado incorporar microsílíce a la mezcla de concreto para obtener concretos de alta resistencia para lo cual se ha comparado en base a un concreto patrón. El avance acelerado en la tecnología de nuevas materias primas en la elaboración de aditivos y adiciones hace posible la producción de concretos de alta resistencia, hace unos años se habla de la microsílíce como componente indispensable para lograr concretos de alta resistencia, la microsílíce es un polvo muy fino que posee propiedades físicas y químicas increíbles, resumidas en su alta reactividad puzolánica, pero su uso tiene un impacto negativo al medio ambiente.

La microsílíce sigue siendo uno de los productos más utilizados del mundo en el concreto. Sus propiedades permiten concretos de alta resistencia a la compresión, concretos resistentes al agua y a los agentes químicos, además forman parte de muchos edificios que vemos hoy en día.

La presente investigación tiene los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la resistencia a compresión de la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I.
- Determinar la resistencia a compresión de la mezcla convencional utilizando el aditivo microsílíce a 5%, 7.5% y 10%, con el cemento tipo I.
- Comparar las resistencias a compresión de las proporciones de microsílíce con la mezcla convencional.

**CAPÍTULO I**  
**PROBLEMATIZACIÓN**

### **1.1. MARCO SITUACIONAL:**

Los concretos de hoy requieren en su composición la incorporación de aditivos y adicionales con la finalidad de mejorar sus propiedades mecánicas y de durabilidad. En este sentido el trabajo de investigación ha experimentado incorporando microsílíce a la mezcla de concreto para obtener un concreto patrón.

El avance acelerado en la tecnología de nuevas materias primas en la elaboración de aditivos y adiciones hace posible la producción de concreto de alta resistencia, hace unos años se hablaba de la microsílíce como componente indispensable para lograr concretos de alta resistencia, la microsílíce es un polvo muy fino que posee propiedades físicas y químicas increíbles, resumidas en su alta reactividad puzolánica, pero su uso tiene impacto en el medio ambiente.

La microsílíce sigue siendo uno de los productos más utilizados en el mundo del concreto. Sus propiedades permiten concretos de alta resistencia a la compresión, concretos resistentes al agua y a los agentes químicos, además forman parte de muchos edificios de concreto que vemos hoy en día.

### **1.2. FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA**

Desde muchos años atrás venimos utilizando el concreto convencional para todo tipo de construcciones ya sea en edificaciones, hidráulica, viales, etc. Los cuales podemos mencionar en las diferentes aplicaciones, como:

- Cuando se desea ambientes amplios, usamos vigas de secciones mayores, por lo que se tiene problema de mayor peso, así mismo se tiene el incremento en el costo por la cantidad de concreto que ingresaran en este elemento.
- El desprendimiento de los pavimentos que son ocasionados por el alto tránsito de los vehículos, los cuales generan cargas de impacto que dañan al pavimento.
- La corrosión del acero por baja impermeabilidad del concreto en estructuras hidráulicas.
- La destrucción del concreto expuesto a condiciones de suelo con agentes agresivos químicos.

A todo lo expuesto, planteamos o proponemos como una alternativa de solución, la utilización del microsílíce en la mezcla de concreto, como propuesta para permitir reducir la sección de los elementos estructurales, utilizar ambientes amplios y dar mayor resistencia y durabilidad bajo determinadas condiciones de exposición ambiental, debido a sus propiedades físicas y mecánicas.

#### **1.8.1 Definición del Problema.**

¿En qué medida la proporción de microsílíce influye en el mejoramiento de la resistencia del concreto en relación con la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I?

### **1.3. OBJETIVOS:**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la relación entre la proporción de microsílíce en el mejoramiento de la resistencia del concreto con la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Determinar la resistencia a compresión de la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I.
- Determinar la resistencia a compresión de la mezcla convencional utilizando el aditivo microsílíce a 5%, 7.5% y 10%, con el cemento tipo I.
- Comparar las resistencias a compresión de las proporciones de microsílíce con la mezcla convencional.

### **1.4. HIPÓTESIS**

#### **1.4.1. Hipótesis Alterna**

La proporción de microsílíce si influye en el mejoramiento de la resistencia del concreto en relación con la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I.

#### **1.4.2. Hipótesis Nula**

La proporción de microsílíce no influye en el mejoramiento de la resistencia del concreto en relación con la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I.

### 1.5. SISTEMA DE VARIABLES

Las variables son cuantitativas discretas.

Entre las **variables independientes** tenemos:

- Resistencia a compresión de la Mezcla convencional.
- Resistencia a compresión de la Mezcla convencional más microsílíce.

Entre las **variables dependientes** tenemos:

- Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto.

### 1.6. DIMENSIONES E INDICADORES

**Tabla N°01: Variable e Indicadores**

TIPO DE VARIABLE		INDICADORES	
VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
Resistencia a compresión de la mezcla convencional y aditivo.	Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto.	X1 : kg / cm <sup>2</sup> de concreto.	Y1 : fc=kg/cm <sup>2</sup> el más resistente.

*Fuente: Elaboración propia*

### 1.7. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEM
Variable Independiente Resistencia a la compresión de la mezcla convencional Resistencia a la compresión de la mezcla convencional más micro sílice	Cantidad de micro sílice en el concreto. Medido en porcentaje por gramos e cada espécimen	gr/probeta o gr/m <sup>3</sup> concreto	¿Cómo interviene la proporción del micro sílice en la mezcla convencional para la resistencia en compresión?
Variable Dependiente Meja dela resistencia a compresión del concreto	La resistencia a compresión da una indicación directa de capacidad para resistir cargas sometida durante su uso.	f'c= kg/cm <sup>2</sup> , ensayo de rotura por porcentaje de micro sílice	¿Cuál es la resistencia a compresión que se puede alcanzar variando el porcentaje de micro sílice?

## 1.8. MATRIZ DE CONSISTENCIA

CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA UTILIZANDO ADITIVO MICROSÍLICE								
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	OPERACIONABILIDAD DE VARIABLES				TIPOS DE INVESTIGACION	POBLACION
			VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS		
<p>PROBLEMA GENERAL:</p> <p>En qué medida la proporción de microsilíce influye en el mejoramiento de la resistencia del concreto en relación con la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I</p>	<p>OBJETIVO GENERAL:</p> <p>Determinar la relación entre la proporción de microsilíce en el mejoramiento de la resistencia del concreto con la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I</p>	<p>HIPOTESIS GENERAL:</p> <p>La proporción de microsilíce si influye en el mejoramiento de la resistencia del concreto en relación con la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Resistencia a compresión de la Mezcla convencional.</p> <p>Resistencia a compresión de la Mezcla convencional más microsilíce.</p>	<p>Cantidad de micro sílice en el concreto. Medido en porcentaje por gramos e cada espécimen</p>	<p>gr/probeta o gr/m3 concreto</p>	<p>Briqueta</p> <p>Prensa para Ensayo de compresión del concreto</p>	<p>Explicativo</p>	<p>El ensayo de mejoramiento del concreto para altas resistencia, se obtuvo una población de 120 probetas.</p>
<p>PROBLEMAS ESPECIFICOS</p>	<p>OBJETIVOS ESPECIFICOS</p> <p>Determinar la resistencia a compresión de la mezcla convencional, utilizando el cemento tipo I.</p> <p>Determinar la resistencia a compresión de la mezcla convencional utilizando el aditivo microsilíce a 5%, 7.5% y 10%, con el cemento tipo I.</p> <p>Comparar las resistencias a compresión de las proporciones de microsilíce con la mezcla convencional</p>		<p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Mejoramiento de la resistencia a compresión del concreto.</p>	<p>La resistencia a compresión da una indicación directa de capacidad para resistir cargas sometida durante su uso.</p>	<p>f<sub>c</sub>= kg/cm<sup>2</sup>, ensayo de rotura por porcentaje de micro sílice</p>	<p>Briqueta</p> <p>Prensa para Ensayo de compresión del concreto</p>		



## **1.9. IMPORTANCIA**

Utilizando los avances tecnológicos, realizando pruebas e investigaciones que logren un adecuado diseño de mezcla en diferentes proporciones y se comprueben sus excelentes propiedades al estado fresco y endurecido, que en conjunto con los diseños estructurales (grandes luces, condiciones de exposición a suelos agresivos, etc.) y adición de minerales en la preparación de concreto se logran desarrollar construcciones sin necesidad de tener que hacer refacciones a posteriori que generen mayor costo en la mano de obra por imperfecciones en el acabado.

## **1.10. LIMITACIONES**

### **1.8.1. Limitación en el Laboratorio:**

Se optó por solo hacer ensayo de compresión ya que en la ciudad de Huánuco no se tiene ensayos de tracción y módulo de elasticidad. La investigación académica solo se va a tener en cuenta la comparación de la resistencia de la mezcla convencional con el aditivo microsílíce, utilizando el cemento tipo I.

### **1.8.2. Limitación de probetas:**

Por el escaso de laboratorios especializado y el alto costo del ensayo en la ciudad de Huánuco, se optó por realizar 10 probetas por ensayos en total 120 probetas.

## **CAPITULO II MARCO TEÓRICO**

## **2.1. ANTECEDENTES**

### **2.1.1 Antecedentes Nacionales.**

GALINDO TAMBO, FELICIANA MARIA. En su tesis titulado “La microsílíce y su empleo en concreto de alta resistencia – UNI” Lima – 1999.

Tiene la siguiente conclusión:

1. Reducción significativa en la permeabilidad y modificaciones importantes en la distribución, porosidad total y tamaño de los poros tanto de la pasta como del concreto
2. Reducción o eliminación del contenido de hidróxido de calcio lavable de la pasta de cemento
3. Incremento en la resistencia de las barras de mortero a expansión destructiva con la siguiente reducción de las expansiones destructivas álcali – sílice.
4. No se conoce incompatibilidad de microsílíce con algún aditivo, más bien algunos aditivos funcionan más eficientes que con otros. Siempre es necesario realizar pruebas en el laboratorio.

JIMENEZ GOMEZ, RUBEN DANTE. En su tesis titulado “Efectos de la incorporación del aditivo superplastificante sobre las propiedades del concreto, utilizando el cemento tipo I”, UNI, Lima – 2000. Concluye:

El aditivo superplastificante tipo F, tiene dos aplicaciones diferentes:

- Como súper-fluidificante. Se dosifican entre 0.5 al 1% del peso del cemento y según la granulometría de los agregados, cantidad y tipo de cemento. Se usa en:
  - Colocación de concretos con ligera vibración en lugares poco accesible o con gran cuantía de acero
  - Rapidez en la colocación de concreto bombeado
  - En morteros y lechadas de inyección.
- Como súper reductor de agua. Se dosifica entre 1 al 2% del peso del cemento y según la granulometría de los agregados, cantidad y tipo de cemento. Se usan en:
  - Confiere al concreto altas resistencias iniciales y finales debido a la fuerte reducción de agua.
  - Mejora la resistencia al impacto y abrasión.
  - Disminuye el calor de hidratación
  - Mejora la adherencia del concreto acero de refuerzo.
  - Posibilita el desencofrado en poco tiempo.

En sus ensayos llega a los siguientes resultados:

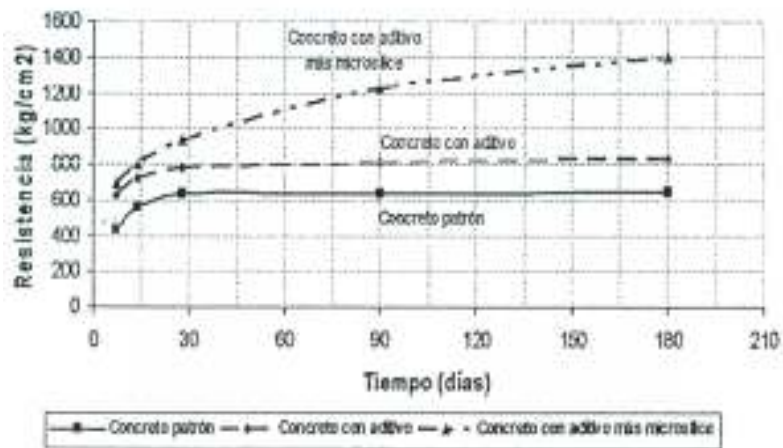
**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS**

DOSIFICACION DE ADITIVOS		1.00%	1.50%	2.00%
Porcentaje alcanzado	Relacion A/C = 0.55	108.21%	113.07%	115.50%
	Relacion A/C = 0.50	108.98%	113.77%	117.96%
	Relacion A/C = 0.45	108.58%	113.61%	119.23%
	Relacion A/C = 0.40	108.21%	113.20%	119.35%

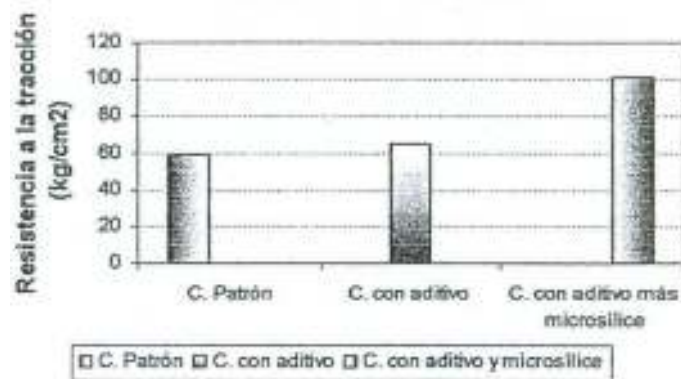
PATRICIA VILCA ARANDA. En su tesis de “Obtención de concreto de alta resistencia” – UNI, Lima – 2008. Concluye:

- La resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto con aditivo, a los 90 días de edad se incrementa en 12%, y en el concreto con aditivo más microsíllice se incrementara en 73%
- La resistencia a la compresión del concreto se incrementa conforme aumenta su edad:  
 Concreto patrón a los 28 días = 100% (638.09 kg/cm<sup>2</sup>).  
 Concreto patrón más aditivo (1.2%) a los 90 días = 127% (812.12 kg/cm<sup>2</sup>).  
 Concreto patrón más aditivo (1.5%) más microsíllice (15%) a los 180 días = 219% (1400.05 kg/cm<sup>2</sup>).

### Resistencia a la Compresión



### Resistencia a la tracción



#### 2.1.2 Antecedentes Internacionales.

REBECA PAZ AGUILAR MUNDACA VALDIVIA, en su tesis de “Determinación de la influencia de las nanomoléculas de sílice en el concreto frente a un factor que afecta su durabilidad”, Chile 2007. concluye:

1. Las muestras con mayor contenido de nanosílice evidenciaron un comportamiento mejor en cuanto a que se

vieron menos afectadas o alteradas física y químicamente por el agente agresivo solución de sulfato de sodio.

- Es posible establecer que gran beneficio que aportaría la mayor adición de nanosílice en cuanto a la durabilidad del concreto frente a la acción de un agente químicamente agresivo, es que obstaculiza y restringe su ingreso, rellenando los espacios vacíos independientemente del tamaño de estos (de la razón a/c), mejorando la morfología superficial del concreto y por ende la posibilidad de que la solución de sulfato penetre a través de los mecanismos de infiltración y ataque al concreto.

2. En relación comparación de resultados con propiedades mecánicas y propiedades de trabajabilidad:

- Aunque las adiciones óptimas son distintas no son excluyentes unas de otras, ya que en ningún caso se aprecia una desmejora en el material por aumentos en la adición de nanosílice sobre el óptimo, sino que solo se consideran ineficientes.
- En la mayoría de los casos existe una tendencia donde: la razón A/C 0.65 necesita una cantidad mayor o igual de nanosílice para alcanzar el óptimo, que A/C 0.55.

## **2.2. DEFINICIONES**

### **2.2.1. Concreto**

También llamado hormigón, es una mezcla dosificada de agregados inertes, cemento y agua. El concreto de cemento Portland está formado por una parte activa (pegamento) agua y cemento, una parte inerte (agregados).

### **2.2.2. Cemento Portland**

Es el aglomerante en una mezcla de concreto, actualmente se usan los denominados cementos Portland en sus distintos tipos. Este cemento es el resultado de pulverizar piedra caliza y arcilla, la cual se cuece en hornos a una temperatura de 1400 a 1600 grados centígrados, así se obtiene un material gris oscuro llamado clinker, el cual se muele mezclándole cierta cantidad de yeso, que sirve para retardar el fraguado de la mezcla.

Existen cinco tipos de cemento Portland, para diversos usos, los cuales son:

- Tipo I Cemento Portland estándar: para concreto de uso normal, sin propiedades especiales.
- Tipo II Cemento Portland modificado: para concretos expuestos a ataques moderados de sulfatos, como en suelos y aguas subterráneas, que tienen un bajo contenido de sulfatos. Se usa en estructuras masivas, en donde la temperatura debe ser controlada durante el proceso de hidratación. Retarda el proceso de hidratación.
- Tipo III Cemento Portland de alta resistencia a edades tempranas: es



usado cuando se requiere resistencia a edades tempranas y en lugares fríos.

- Tipo IV Cemento Portland de bajo calor: cuando el calor durante el proceso de hidratación debe ser mínimo, por ejemplo, las presas de concreto donde se colocan grandes volúmenes de concreto.
- Tipo V Cemento Portland de alta resistencia a sulfatos: se usa en concreto que estará expuesto a altas concentraciones de sulfatos, por ejemplo: tuberías de aguas residuales, plantas de tratamientos de aguas residuales etc.

### **2.2.3. Agregados**

Se definen como tales los materiales pétreos inertes resultantes de la desintegración natural de rocas o que se obtienen de la trituración de las mismas. Éstos ocupan típicamente las tres cuartas partes del volumen en el concreto, deben estar libres de suciedad, ser durables, y no deben tener sustancias que reaccionen químicamente con el cemento. Se clasifican en: agregado grueso (piedra o grava) y agregado fino (arena).

La clasificación entre agregado fino y grueso se realiza basándose en su tamaño, de la siguiente manera: el fino tiene un diámetro menor al tamiz número 4 (4.76 mm), pero se recomienda que sea mayor que 74  $\mu\text{mm}$  y el agregado grueso que son las partículas de un tamaño mayor a 4.76 mm.

Según la clasificación de estos por su forma, tenemos: el canto rodado,

proveniente de cauces de ríos, forma redondeada, producen concretos de buena calidad y de ventajas como trabajabilidad o docilidad. El agregado triturado, proveniente de la desintegración de rocas en cantera, tiene ventajas por su composición mineralógica más uniforme y cantos angulosos.

#### **2.2.4. Aditivo**

Es el material que, aparte del cemento, los agregados y el agua empleados normalmente en la preparación del concreto, puede incorporarse antes de o durante la ejecución de la mezcla, con el objeto de modificar alguna o varias de sus propiedades en la forma deseada, aportando un volumen desestimable. Los hay de dos tipos: aditivos minerales y aditivos químicos.

#### **2.2.5. Microsílice**

Son un polvo muy fino, obtenido por decantación del humo de chimeneas de altos hornos de aleaciones metálicas de la industria del ferrosilicón, el cual está compuesto del 90% al 95% de dióxido de sílice amorfo y que tiene propiedades puzolánicas que le permiten reaccionar químicamente con el hidróxido de calcio para formar un gel con notable incremento en las propiedades positivas del concreto, especialmente su resistencia en compresión y su durabilidad.

El Comité 116 del American Concrete Institute define así a la microsilice:

“una sílice no cristalina muy fina producida por hornos de arco eléctrico

como un subproducto de la fabricación de silicio metálico o ferro silicio”.

### **2.2.3.1 Producción**

Es un subproducto de la reducción de cuarzo de alta pureza con carbón mineral, el cual es calentado a 2000 grados Centígrados en un horno de arco eléctrico durante la fabricación de aleaciones de ferrosilicio y silicio metálico, siendo la aleación recogida en el fondo del horno.

El cuarzo es calentado conjuntamente con carbón o madera, empleados para remover el oxígeno. Conforme el cuarzo se reduce a aleación, deja escapar vapores de óxido de silicio. En la parte superior del horno estos humos se oxidan en contacto con el oxígeno de la atmósfera y se condensan en microesferas de sílice amorfa.

### **2.2.3.2 Características de las microsílíce**

La microsílíce es producida como un polvo ultra fino de color gris, el cual tiene las siguientes propiedades típicas:

- a. Un contenido de por lo menos 90% de  $\text{SiO}_2$
- b. Partículas con tamaño promedio de 0.1-0.2 micrómetros
- c. Superficie específica mayor de 15,000  $\text{m}^2/\text{kg}$
- d. Perfil esférico de las partículas
- e. Mínimo contenido de carbón

### **2.2.3.3 Empleo de microsílíce en el concreto**

Estas fueron inicialmente consideradas como un material de reemplazo del cemento y en algunas áreas ese es todavía su único uso.

En general, parte del cemento puede ser reemplazada por una cantidad menor de microsílíce. La adición de esta generalmente incrementa la demanda de agua. Si se desea mantener la misma relación agua/cementante, deberá usarse un aditivo reductor de agua.

Debido a su limitada disponibilidad y su alto precio, referido al cemento Portland u otras puzolanas o escorias, las microsílíce han sido empleadas en forma creciente como un material para mejorar las propiedades del concreto, es decir, para proporcionar concretos con muy altas resistencias en compresión o con muy alto nivel de durabilidad.

## **2.3. CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN REUNIR LOS MATERIALES**

### **2.3.1. Selección de los materiales**

Materiales de calidad son necesitados y las especificaciones requeridas para la producción. El concreto de alta resistencia ha sido producido usando un amplio rango de materiales de calidad, basado en resultados de pruebas de mezclas.

### **2.3.2. Cementos**

La elección del cemento Portland para concretos de alta resistencia es extremadamente importante, es por eso que se le debe brindar la mayor

atención antes y durante la construcción de la estructura respectiva, además, dentro de un tipo de cemento de marcas diferentes, tendrán distintas características y debido a la variaciones en los compuestos y la fineza que son permitidos.

Es muy importante que el cemento empleado tenga una elevada resistencia y uniformidad. Cementos tipo I o II de conformidad con ASTM C150, tipo IP, I(PM) o IS, los cuales cumplen con las especificaciones ASTM C595 y son cementos mezclados con porcentajes fijos de puzolanas o escorias. Y  $f'c$  mayores de 10,000 psi (700 kg/cm<sup>2</sup>), sin embargo, estas proporciones fijas de puzolanas podrán o no ser aptos para un rendimiento óptimo de resistencia.

La cantidad de cemento por m<sup>3</sup> que se utilizará en la mezcla debe ser determinada mediante cilindros de prueba. Estos contenidos generalmente están comprendidos entre los 400 y 550 Kg./m<sup>3</sup>, aunque se han realizado estudios con contenidos mayores.

### **2.3.3. Agregados**

Ambos, tanto el agregado fino como el agregado grueso, son usados para este tipo de concreto, con una reunión mínima en los requerimientos de ASTM C33.

### **2.3.3.1 Agregado fino**

Agregados con formas de las partículas redondas y la textura lisa se han encontrado para requerir menos agua en el mezclado de concreto, por esta razón es preferible en concreto de alta resistencia. Se acepta habitualmente que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso. Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

La óptima graduación en el agregado fino para este concreto es determinada más por su efecto en requisito de agua que en su embalaje físico. Un informe declaró que un poco de arena con un módulo de fineza debajo de 2.5 dio una consistencia pegajosa al concreto y lo hacen difícil de compactar. Arena con un módulo de finura de aproximadamente 3 dio mejor trabajabilidad y mejor resistencia a compresión.

La granulometría del agregado fino tiene, entonces, un rol importante, por ejemplo, un exceso en el pasante de los tamices N° 50 y N° 100 incrementará la trabajabilidad pero se hará necesario aumentar el contenido de pasta para cubrir la mayor superficie de estas partículas, además de generar el riesgo de tener que incluir más agua a la mezcla y deben evitarse mica y contaminantes de la arcilla.

### **2.3.3.2 Agregado grueso**

Muchos estudios han mostrado que para la fuerza de compresión óptima con el volumen de cemento alto y las proporciones de agua-cemento bajas, el tamaño del agregado grueso debe ser guardado a un mínimo, a ½" (12.7 mm) o 3/8" (9.5 mm); el tamaño máximo de ¾ " (19.0 mm) y 1"(25.4 mm) también es usado con éxito.

El incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia, debido al aumento de la superficie específica de las partículas. Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 76 mm. es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm., y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

También se ha demostrado que la piedra triturada produce altas resistencias, que a comparación de la piedra de canto rodado, sin embargo, se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva.

### **2.3.4. Agua**

El riego de agua para concreto se especifica para ser de calidad potable, esto es ciertamente conservador pero normalmente no constituye un problema puesto que la mayoría de veces se produce concreto cerca de un suministro de agua municipal.

### **2.3.5. Aditivos químicos**

Los aditivos son ampliamente usados en la producción de concretos de alta resistencia. Estos materiales incluyen agentes incorporadores de aire, químicos y aditivos minerales.

La selección de tipo de marca, tipo de dosificación de todos los aditivos (mezclas) debe basarse en el funcionamiento con los otros materiales, siendo considerados o seleccionados por uso en el proyecto. Aumentos significantes en resistencias compresivas, control de la velocidad de endurecimiento, ganancia acelerada de resistencia, mejoramiento de trabajabilidad y durabilidad son contribuyentes que pueden esperarse de los aditivos electos.

### **2.3.6. Incorporadores de aire**

El uso de incorporadores de aire es recomendado para realizar durabilidad y deberá cumplir con la norma ASTM C260, cuando el concreto esté sujeto a congelamiento y descongelamiento, mientras esté mojado y que la resistencia a compresión aumente y la relación de agua/cemento disminuyan, además de que los parámetros de vacíos mejoren. Los incorporadores de aire tienen el efecto de reducir la resistencia particularmente en mezclas de alta resistencia y por esta razón se ha utilizado sólo donde hay interés de durabilidad.



### **2.3.7. Retardadores**

Estos deberán cumplir con la norma ASTM C494, tipos B o D, los cuales en el diseño de mezclas de alta resistencia incorpora altos factores de cemento que no son comunes para el normal concreto comercial. Un retardador es frecuentemente beneficioso en el control de hidratación temprana, puede controlar la velocidad de endurecimiento en las formas para eliminar empalmes fríos y proporciona más flexibilidad en los horarios de colocación. Desde que los retardadores proporcionan frecuentemente un aumento en la resistencia, la cual será proporcional al tipo de dosificación, mezclas pueden ser diseñadas a diferentes dosis, si se espera que se usarán proporciones significativamente diferentes. Sin embargo, hay usualmente un efecto de compensación que minimiza las variaciones en resistencias debido a la temperatura.

Como la temperatura aumente, después la duración de la resistencia bajará; sin embargo, un incremento en la dosificación del retardador para controlar la velocidad de endurecimiento proporcionara un poco de mitigación de la reducción de temperatura inducida. Contrariamente, las dosificaciones deben ser disminuidas como las temperaturas bajen. (5-4)

Mientras se proporcione retardación inicial, las resistencias de 24 horas en adelante son usualmente aumentadas por dosificaciones normales, retardación prolongada o temperaturas frescas pueden afectar rápidamente (24 horas) resistencias adversamente.

### **2.3.8. Reductores de agua**

Según la norma ASTM C494 tipo A, aditivos del fraguado normal convencional agua-reductor proporcionará aumentos de resistencias sin alterar las velocidades de endurecimiento. Su elección deberá basarse en función de la resistencia. Aumentos en la dosificación por encima de la cantidad normal generalmente incrementará las resistencias pero puede extender tiempos de fraguado.

### **2.3.9. Aditivos minerales**

Se han utilizado en los concretos de alta resistencia adiciones minerales muy finas consistiendo éstas principalmente en cenizas volantes y microsílíce.

Por medio de estas adiciones minerales de extrema finura y químicamente reactivos, se logran llenar los microvacíos del empaquetamiento granular conformado por agregados y cemento, mejorando la compacidad del material y a la vez, las propiedades de la mezcla fresca.

Se deduce aquí que la cantidad de agua necesaria puede ser reducida mejorando la resistencia del hormigón. Por otra parte, estas adiciones reaccionan a mediano y largo plazo con el hidróxido de calcio producido en la hidratación del cemento Portland, dando como resultado compuestos de mucha mayor resistencia

### **2.3.10. Ceniza volante**

Esta ceniza se divide para su utilización en dos clases: ceniza volante de clase F. Ésta se produce normalmente de la combustión de la antracita o carbón bituminoso, la cual posee propiedades puzolánica, pero poca o ninguna propiedad cementicio.

La ceniza volante de clase C resulta de la combustión de la lignita o carbón sub bituminoso, la cual además de las propiedades puzolánicas, posee propiedades cementicos autógenas.

Las variaciones de las propiedades físicas o químicas de estas adiciones minerales, aún dentro de las tolerancias de las especificaciones, pueden causar cambios apreciables en las propiedades de los CAR.

Es muy importante que a estas adiciones minerales se les realice ensayos de aceptación y uniformidad, se investiguen minuciosamente sus propiedades en el desarrollo de resistencias y su compatibilidad con los otros materiales de la mezcla de hormigón, antes de su utilización en la estructura respectiva.

### **2.3.11. Microsílice**

El humo de sílice, llamado también microsíllice, y los aditivos que lo contienen han sido utilizados en concretos para propósitos estructurales, aplicaciones superficiales y como material de reparación en situaciones en donde se requiere resistencia a la abrasión y baja permeabilidad.

La microsílíce es una puzolana altamente reactiva que puede ser usada como aditivo de 5% - 15 %, por peso de cemento y puede aumentar significativamente la resistencia. Es utilizado con frecuencia con ceniza volante o cementos de escoria además del cemento Portland. La microsílíce es un material que se ofrece en diferentes formas: densificada, como una lechada o mezclada con cemento.

La microsílíce no densificada es muy voluminosa y polvorienta debido a su extrema finura. La que es en lechada contiene a grosso modo un 50 % de agua y cuando está en reposo necesita ser agitada para que el material no se gelifique o precipite. La microsílíce densificada (también llamada compactada) está disponible y se usa ampliamente y no contiene agua ni aditivos o químicos y no crea molestias a causa del polvo.

### **2.3.12. Cemento de escoria**

Este cemento se fabrica cuando existen altos hornos para la producción del acero. La escoria apropiada para el hormigón es un producto no metálico que se desarrolla en la fundición simultáneamente con el acero en un alto horno.

Correctamente apagada y procesada, la escoria actuará hidráulicamente en el hormigón en reemplazo parcial del cemento Portland. La escoria puede ser molida junto con el cemento o utilizada como material adicional. La

investigación en uso de estas escorias ha demostrado un futuro muy promisorio para su utilización en concretos de alta resistencia.

## **2.4. ESPECIFICACIONES Y NORMAS**

Existe una cantidad de normas aplicables en los materiales y procedimientos de los concretos de alta resistencia entre las que tenemos, Reporte de ACI.

- ACI 363R-92 State-of-the-Art Report on High –Strength Concrete

### ***Para cemento a utilizar***

- ASTM C 150

“Especificación normal para cemento Portland”.

- ASTM C595

“Especificación normal para mezclado de cemento hidráulico”

### ***Agregados***

- ASTM C33

“Especificación normal para agregados del concreto”.

### ***Aditivos***

- ASTM C 1240

“Uso de humo de sílice como mezcla mineral en concretos de cemento hidráulico, morteros y lechadas “

- ASTM C618

“Especificación normal para carbón, cenizas volantes, puzolanas naturales calcinadas para uso como minerales en mezclas de concreto”

- ASTM C260 incorporadores de aire
- ASTM C494 Tipos A,B, o D Reductores de agua controladores del tiempo
- ASTM C494 Tipos F o G Reductores de agua de rango alto

#### ***Especímenes de prueba***

- ASTM C172
- ASTM C470
- ASTM C31

#### ***Curado inicial y transporte***

- ASTM C31

#### ***Sistema de refrentado***

- ASTM C1231
- ASTM C617

#### ***Equipo de prueba***

- ASTM C39

## **2.5. MEZCLAS**

### **2.5.1. Proporciones de mezclas de concreto**

Las proporciones de mezcla para un concreto de alta resistencia son de un proceso más crítico que el diseño de mezclas normales. Generalmente es considerado esencial emplear puzolanas seleccionadas y aditivos químicos para lograr una relación de agua/cemento baja. A menudo se exigen muchos ensayos de prueba para que el laboratorista identifique cual es la proporción de mezcla más óptima.

## **2.5.2. Proporciones de agregados**

Los agregados han sido una consideración muy importante desde que ocupan el volumen más grande de cualquiera de los otros materiales en el concreto.

### **2.5.2.1 Agregados finos**

En proporción, una mezcla de concreto, un agregado fino o arena tiene considerablemente más impacto en proporciones de la mezcla que un agregado grueso. El área de superficie de todas las partículas de agregados deberá cubrirse con una pasta de cemento, la proporción de agregado fino a grueso puede tener un efecto cuantitativo directo en requisitos de la pasta. La graduación en el agregado fino tiene un papel importante en obra con respecto a la plasticidad o el endurecimiento del concreto. Bajos volúmenes de agregado fino con volúmenes de agregado grueso alto producen una reducción en requisitos de pasta y normalmente esto resulta más barato. La consolidación por medio de los vibradores mecánicos puede ayudar a superar los efectos de una mezcla segregada. Las partículas que forman la textura de la superficie de los agregados finos pueden tener un gran efecto en los requisitos de mezclado de agua.

### **2.5.2.2 Agregados gruesos**

La cantidad óptima y tamaño de agregado grueso para una arena dada dependerán en gran parte de las características mismas de la arena; particularmente, depende del módulo de fineza, esto sale específicamente

de la tabla 1 que se toma del ACI 211.1.

En principio, el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia, debido al aumento de la superficie específica de las partículas. Una referencia sugiere que la proporción de agregado grueso mostrada en la tabla pudiera aumentarse por 4 por ciento en arena con volúmenes nulos bajos usados. Si las partículas de arena son muy angulares, entonces se sugiere que la cantidad de agregado grueso deba disminuirse por 4 por ciento de valores en la tabla. Tales ajustes se han pensado en la proporción de agregado grueso y arena que producirían hormigones de trabajabilidad equivalente, aunque tales cambios alterarían la demanda de agua para obtención de asentamientos.

**Tabla N°02: Volumen de agregado grueso**

Máximo tamaño de agregado (pulgadas)	Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finesa de arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.82	0.80	0.78	0.76
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

*Fuente: Realizada de ACI 211.1*



Las cantidades sugeridas para el agregado grueso de la tabla se recomiendan para iniciar el proporcionamiento. Deben darse consideraciones a las propiedades de la arena que puede alterar la cantidad de agregado grueso. Las herramientas mecánicas para manejar y colocar el concreto han ayudado a disminuir la proporción de arena necesitada. Es de recordar que el uso de los tamaños más pequeños de agregados gruesos es más beneficioso para unirlos con la pasta cementicio.

### **2.5.3. Relación agua/cemento (A/C)**

La relación entre la proporción de agua/cemento y la resistencia a compresión que se ha identificado en concretos de resistencia baja, ha resultado también ser válida para concretos de resistencia más alta. Los volúmenes de cemento más altos y los volúmenes de agua más bajos han producido resistencias más altas. Proporcionando grandes cantidades de cemento en la mezcla de concreto, también tiene, sin embargo, aumento en la demanda de agua de la mezcla.

Por supuesto que el asentamiento en el concreto se relaciona a la proporción agua/cemento y a la cantidad de agua en el concreto. El uso de reductores de agua de alto rango genera proporciones de A/C más bajas y las depresiones más altas. Las proporciones de A/C para concretos de alta resistencia típicamente han ido de 0.27 a 0.50. Las cantidades de mezclas líquidas, reductores de agua de alto rango, particularmente han sido incluidos en las proporciones A/C. ACI 3.4.1

### **2.5.3.1 Contenido de cemento**

Evaluando volúmenes de cemento óptimos, se proporcionan normalmente mezclas del ensayo para igualar consistencias y permiten el volumen de agua según la demanda de la mezcla. Para cualquier proporción dada de materiales en una mezcla de concreto, puede haber un volumen de cemento que produce la máxima resistencia.

Idealmente, las evaluaciones de cada fuente potencial de cemento, ceniza volante, mezclas líquidas y agregados en concentraciones variantes, indicarían el volumen de cemento óptimo. La eficiencia de resistencia en el cemento variará para los diferentes tamaños de agregados máximos, se logran eficiencias de cemento más alta a niveles de resistencia con más bajos tamaños de agregados.

La resistencia del concreto puede disminuir si el cemento se agrega por encima de un volumen óptimo, la cantidad deseable de cemento puede variar y puede depender considerablemente en los agentes, como reductores de agua de alto-rango, previniendo flacidez de partículas de cemento. La tenacidad y la pérdida de trabajabilidad serán aumentadas con cantidades más altas de cemento en la mezcla. Combinaciones de cemento, puzolanas y arena deben evaluarse para efecto de contenidos cementicios.

Mezclas ricas en cemento frecuentemente tienen demandas muy altas de

agua, por consiguiente, es posible que esa precaución especial sea necesaria para proporcionar adecuado curado de agua.

#### **2.5.4. Proporciones de aditivos**

Aproximadamente todos los concretos de alta resistencia contienen aditivos. Cambios en las cantidades y combinaciones de aditivos afectan las propiedades de plasticidad y endurecimiento de estos concretos; es por eso que se le debe dar especial atención a los efectos que producen.

Aditivos puzolanicos son a menudo usados como un reemplazo de cemento, en estos concretos han suplido el cemento Portland de 10 a 40 por ciento por peso del contenido del cemento. El uso de ceniza volante ha causado a menudo una reducción ligera en la demanda de agua de la mezcla, y esa reducción en el volumen de agua se ha compensado por la adición de arena. Lo opuesto se ha encontrado para otras puzolanas. Las microsíllice, por ejemplo, dramáticamente incrementan la demanda de agua de la mezcla, lo que requiere el uso de aditivos retardadores y súper plastificante.

Generalmente la tendencia ha sido emplear cantidades mayores que la normal o máxima de reductores de agua y retardadores. Así, reducciones típicas del 5% al 8% pueden incrementarse al 10%. Un correspondiente incremento en el contenido de arena se ha hecho para compensar la pérdida de volumen debida a la reducción del agua en la mezcla.

Los ajustes en los concretos empleando reductores de agua de alto rango, también conocidos como superplastificantes, son similares a aquellos cuando se emplean reductores de agua convencionales. Los ajustes suelen ser aproximadamente 12% s 25%. Se ha efectuado el correspondiente incremento en el contenido de agregado fino para compensar la pérdida de volumen debido a la reducción de agua en la mezcla.

#### **2.5.5. Resistencias requeridas**

Habitualmente, el concreto se proporciona de tal manera que el promedio de los resultados de la resistencia exceda a la especificada en una cantidad suficientemente alta. En los concretos de alta resistencia se nota una alta variabilidad en los resultados de los ensayos, esto se debe a que es más difícil ensayar éste concreto que uno convencional.

La selección de las proporciones de la mezcla puede ser influenciada por la edad a la que se ensayará el hormigón. Esta edad varía dependiendo de los requerimientos de la construcción respectiva.

En general, se prefiere determinar edades de ensayo mayores a los 28 días, para aprovechar el aumento de resistencia a largo plazo característico de estos concretos.

#### **2.5.6. Preparación, mezclado, transporte y colocación de mezclas**

La preparación, mezclado, transporte, colocación y procedimientos de

control para los concretos de alta resistencia, en principio, son similares a los utilizados para el hormigón convencional, así que se pueden seguir los mismos lineamientos. Sin embargo, es necesario puntualizar ciertos aspectos: el de mantener el contenido unitario de agua de la mezcla se torna crítico en estos concretos, ya que ligera variación en el incremento de ésta repercute en pérdidas grandes de resistencia.

También, por causa de los altos contenidos de cemento involucrados, hay que tener en cuenta las recomendaciones de orden térmico. Además, la producción y control de los hormigones requiere de personal calificado.

Parte de la preparación previa es también el control, manejo y almacenamiento de los materiales. La correcta medición y pesaje son esenciales para obtener buenos resultados. Para mantener la relación agua-cemento necesaria para el desarrollo de alta resistencia se debe realizar determinaciones lo más precisas posibles de la humedad de los agregados.

#### **2.5.7. Mezclado**

Los concretos de alta resistencia pueden ser mezclados totalmente en la planta, en un camión mezclador o en una combinación de ambos. En general, se deben seguir las recomendaciones de ACI 304.

### **2.5.7.1 Tiempo de mezclado**

El tiempo de mezclado requerido está limitado por la eficacia de la mezcladora para producir un pastón correcto. Según normas y recomendaciones generales, se debe mezclar 1 minuto por cada 0.75 m<sup>3</sup> más ¼ de minuto por cada 0.75 m<sup>3</sup> de capacidad adicional. Por otra parte, se puede establecer el tiempo de mezclado basándose en los resultados obtenidos en pruebas de eficiencia.

### **2.5.7.2 Procedimiento de mezclado**

Cuando el parámetro más importante por obtener es alta resistencia a la compresión, es conveniente emplear bajas relaciones agua/cemento, cuidando esencialmente la trabajabilidad del concreto y, en consecuencia, su revenimiento. En términos generales, el procedimiento de mezclado requiere, entre otros factores, mezclado previo del cemento y del agua con una revolvedora de alta velocidad, uso de aditivos, empleo de agregados cementantes, periodo más largo de curado, de ser posible con agua, compactación del concreto por presión y confinamiento del concreto en dos direcciones.

Adicionalmente, para la producción de este tipo de concretos son indispensables el empleo selectivo de materiales, un enfoque diferente en los procedimientos de diseño y elaboración de las mezclas, atención especial en la compactación y un control de calidad más riguroso.

Algunos investigadores usan como técnicas para la producción de concretos de alta resistencia su composición, una alta velocidad de mezclado y re vibrado, y eventualmente la adición de algún aditivo para incrementar la resistencia del concreto.

De acuerdo con lo anterior, para las preparaciones de mezcla de los concretos de alta resistencia se debe considerar lo siguiente:

- Elección del asentamiento, si no se ha especificado previamente.
- Selección del tamaño máximo del agregado.
- Estimación del contenido de agua.
- Elección de la relación agua/cemento o agua/materiales cementicos.
- Cálculo del contenido de materiales cementicos.
- Estimación del contenido de agregado grueso.
- Estimación del contenido de agregado fino.
- Ajuste por humedad y absorción de agregados.
- Ajuste en los pastones de prueba.

#### **2.5.8. Transporte**

Puede ser transportado por distintos equipos, cada método tiene sus ventajas y desventajas, dependiendo de la localización de la obra, de la facilidad de ingreso a la misma, clima, etc. y estas circunstancias deben ser tenidas en cuenta al momento de decidir el tipo de transporte a usar.

### **2.5.9. Colocación**

Antes de empezar la colocación del hormigón se debe tener en cuenta el hecho de que el tiempo para manipular será más reducido que lo habitual, por lo que una correcta planificación del cronograma de hormigonado y disponibilidad de los equipos será indispensable.

El concreto debe descargarse lo más próximo al lugar donde quedará definitivamente, se pueden usar carretillas, carritos, baldes de todo tipo y cubetas, entre otros equipos. Habrá que tener en cuenta que una permanencia larga del concreto en dichos recipientes hará más dificultosa su descarga por causa del alto contenido de cemento y mayor cohesión.

La manera más efectiva de compactar el concreto de alta resistencia es mediante vibración interna.

### **2.5.10. Curado**

El curado es el proceso necesario para mantener el contenido de humedad adecuado y la temperatura favorable en el hormigón durante el período de hidratación de los materiales cementicos, para que así se puedan desarrollar completamente las propiedades del concreto deseadas.

El curado, si es esencial en la producción del concreto convencional de calidad, es notoriamente crítico en la producción de los concretos de alta resistencia. La resistencia potencial necesaria y la durabilidad del concreto



se desarrollarán por completo, solamente si es curado correctamente durante un período adecuado antes de ponerlo en servicio.

Se usan diversos tipos de curado: mediante inundación superficial, con mantos húmedos o con cubiertas que impidan la evaporación del agua; el más aconsejable, sin embargo, es el curado con agua debido a las bajas relaciones agua/cemento de los CAR.

**Tabla N°03: Proporciones de mezcla de algunos concretos de alta resistencia**

Ingrediente, Kg/m <sup>3</sup>	Mezclas								
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Cemento Portland	534	500	315	513	163	228	425	450	460
Humo de sílice	40	30	36	43	54	46	40	45	**
Ceniza volante	59	**	**	**	**	**	**	**	**
Ggbs	**	**	137	**	325	182	**	**	**
Agregado fino	623	700	745	685	730	800	755	736	780
Agregado grueso	1069	1100	1130	1080	1100	1110	1045	1118	1080
Agua total	139	143	150	139	136	138	175	143	138
Relación A/C	0.22	0.27	0.31	0.25	0.25	0.3	0.38	0.29	0.3
Revenimiento, mm.	255	**	**	**	200	220	230	230	110
<b>Resistencia de cilindros MPa a la edad de días</b>									
1	**	**	**	**	13	19	**	35	36
2	**	**	**	65	**	**	**	**	**
7	**	**	67	91	72	62	**	68	**
28	**	93	83	119	114	105	95	111	83
56	124	**	**	**	**	**	**	**	**
91	**	107	93	145	126	121	105	**	89
365	**	**	**	**	136	126	**	**	**

Fuente: ACI.

**CAPITULO III**  
**MARCO METODOLÓGICO**

### 3.1. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

#### 3.1.1 Tipo y Método de Investigación

De acuerdo a la **Orientación es Aplicativa**, ya que sea desarrollado con teorías existentes de diseño de mezclas en concreto en el proyecto de investigación.

De acuerdo a la **Técnica de Contrastación es Explicativa**, porque sea desarrollar el ensayo de diseño de mezcla a compresión, para obtener su resistencia

De acuerdo a la **Evolución del Fenómeno Estudiado es Longitudinal y la Direccionalidad de la Investigación es Prospectiva**, sea estudiado el mejoramiento del concreto utilizando microsilíce para usarlo en el futuro, en obras adecuada.

De acuerdo con el **Tipo de fuente de Recopilación de Datos es Prolectiva**, porque la recolección de datos es primaria, porque sea estado en contacto directo con las variables independientes en los ensayos.

### **3.2. DISEÑO DEL ESTUDIO**

El proyecto de investigación es explicativo, con diseño correlacional, porque mide la relación entre una mezcla convencional y una mezcla con aditivo microsílíce.

### **3.3. POBLACIÓN:**

El ensayo de mejoramiento del concreto para altas resistencia, se obtuvo una población de 120 probetas.

### **3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS**

#### **3.4.1 Fuentes, Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

- **Fuentes Primarias:** porcentaje de aditivos en la mezcla.
- **Fuentes Secundarias:** libros, revistas, manuales, normas, material electrónico.

#### **Procesamiento y presentación de datos**

Los datos obtenidos se procesarán de las siguientes maneras:

- Procesamiento de datos con herramientas digitales como el Word, Excel, etc.

## **CAPITULO IV**

# **CÁLCULOS Y RESULTADO**

#### 4.1. DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL

##### Datos de la investigación:

$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Agregado grueso máximo =  $\frac{1}{2}$  "

Cemento portland = tipo I

Agregado grueso: peso unitario seco y compactado:  $1600 \text{ kg/m}^3$

contenido de humedad : 2%

% absorción: 0.5%

Agregado fino: módulo de fineza: 2.60

Contenido de humedad: 4%

% absorción: 2%

##### Desarrollo:

Slump = 3"

**Tabla N°04: Requerimiento de agua para mezclado**

TABLA B

REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO PARA DIFERENTES SLUMP Y TAMAÑO MAXIMO DE AGREGADOS			
SLUMP (pulg)	AGUA EN Kg./m3 DE CONCRETO		
	TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO		
	1/2"	3/4"	1 1/2"
1/2" a 2"	190	175	160
2" a 3"	215	200	180
3" a 5"	240	215	195

Fuente: ACI

**Relación a/c**

De la tabla C:

**Tabla N°05: Condiciones**

TABLA C

CONDICIONES	K
Materiales de calidad muy controlada, dosificación por peso, supervisión especializada constante	1,15
Materiales de calidad controlada, dosificación por volumen, supervisión especializada esporádica	1,25
Materiales de calidad controlada, dosificación por volumen, sin supervisión especializada	1,35
Materiales variables, dosificación por volumen, sin supervisión especializada	1,50

Fuente: ACI

$$K=1.15$$

$$f'_{cr}=1.15 \times 210 = 241.5 \text{ kg/cm}^2$$

Interpolando:

$f'_{cr}=241.5 \text{ kg/cm}^2$ , sin aire incorporado; interpolando de la tabla D

**Tabla N°06: Relación a/c**

TABLA D

f'c Kg/cm <sup>2</sup>	RELACION a/c (en peso)	
	sin aire incorporado	con aire incorporado
140	0,80	0,71
175	0,67	0,54
210	0,58	0,46
245	0,51	0,40
280	0,44	0,35
315	0,38	requiere otros métodos de estimación.

Fuente: ACI

f'c    a/c

210    0.58

245    0.51

Donde  $241.5 = 0.52$

a/c = 0.52

Contenido de cemento

$215/0.52 = 413.46 \text{ kg/m}^3$  (9.73 bolsas)

**Contenido de agregado grueso. Tabla E**



Módulo de fineza = 2.60

Tamaño máximo agregado grueso = 1/2"

p.u.s.c= 1600 kg/m<sup>3</sup>

**Tabla N°07: Volumen de agregado grueso**

TABLA E

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO SECO COMPACTADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO (en m <sup>3</sup> )				
Tamaño Máximo del Agregado (pulg.)	Módulo de Fineza de la Arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,76	0,74	0,72	0,70

Fuente: ACI

Agregado grueso =  $0.57 \times 1600 = 912 \text{kg}$



**Fotografía N°01: Análisis de la piedra chancada de 1/2", para el ensayo**

**Contenido de agregado fino. Tabla F**

Tamaño máximo agregado grueso = 1/2"

Concreto sin aire incorporado

**Tabla N°08: Estimación del peso de concreto**

TABLA F

ESTIMACION DEL PESO DE CONCRETO EN KG/M3		
Tamaño Máximo del Agregado (pulg).	Peso del concreto en Kg/m3	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
1/2"	2315	2235
3/4"	2355	2280
1"	2375	2315
1 1/2"	2420	2355

Fuente: ACI

$$\text{Agregado fino} = 2315 - (912 + 413.46 + 215) = 774.54 \text{ kg}$$



**Fotografía N°02: Análisis del agregado fino, para el ensayo**

***Ajuste por humedad del peso de agregado:***

Agregado grueso =  $912(1+2/100)=930.24\text{kg}$

Agregado fino =  $774.54(1+4/100)=805.52\text{kg}$

Agua en el agregado grueso

$912(2\%-0.5\%)=13.68\text{ kg}$

Agua en el agregado fino

$774.54(4\%-2\%)=15.49\text{ kg}$

***Agua de mezclado neta*** =  $215-13.68-15.49= 186\text{ kg}$

***Dosificaciones peso resultante***

Cemento = 413.46 kg (9.73 bolsas)

Agregado grueso = 930.24 kg

Agregado fino = 805.52 kg

Agua de mezclado = 186 kg

***Dosificación en volumen resultante:***

Partiendo de los resultados obtenidos y conocidos los pesos unitarios saturados:

Cemento = 1500 kg/m<sup>3</sup>

Agregado grueso = 1700 kg/m<sup>3</sup>

Agregado fino = 1600 kg/m<sup>3</sup>

Se tiene

Cemento = 413.46 kg (9.73 bolsas = 0.276 m<sup>3</sup>)

Agregado grueso = 930.24/1700 = 0.547 m<sup>3</sup>

Agregado fino = 805.52/1600 = 0.503 m<sup>3</sup>

Agua de mezclado = 186/1000 = 0.186 m<sup>3</sup>

***Proporción c: a: p***

0.276 :	0.503 :	0.547
0.276	0.276	0.276

1 : 2 : 2 : 0.186



**Fotografía N°03: agregados zarandeados listo para el ensayo, dosificados óptimamente.**

#### **4.2. DISEÑO DE MEZCLAS CON MICROSÍLICE:**

En el diseño de la mezcla es el mismo diseño de la mezcla convencional, con la variante de aumentar la dosis de microsíllice a 5%, 7.5% y 10% del peso del cemento y el aumentar el agua a dicho porcentaje ya mencionado, para el proyecto de investigación.

Anexo ficha técnica Sika menciona:

Que se puede utilizarse en dosis de aproximadamente 10 % del peso del cemento. Se recomienda realizar ensayos previos para definir el consumo exacto.

Se tiene:

Peso del cemento por 1 m<sup>3</sup> = 413.45 kg

***Se añade el aditivo microsílíce por 1m<sup>3</sup>:***

5% = 20.673 kg

7.5% = 31.009 kg

10% = 41.345 kg

#### **4.3. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

En el Anexo resultados de laboratorio, se obtiene los diversos resultados de todos los análisis a desarrollarse en la investigación.



***Fotografía N°04: Mezcla compactada en las probetas de ensayo a compresión.***



**Fotografía N°05: Concreto sacado de la probeta de ensayo listo para ser curado.**



**Fotografía N°06: Curado de los concretos en cada dosificación, en un periodo de 7, 14 y 28 días.**



**Fotografía N°07: Probetas curadas listo para ser rompido a fuerzas de compresión.**

**Tabla N°09: Resumen de resistencia a la compresión kg/cm<sup>2</sup>**

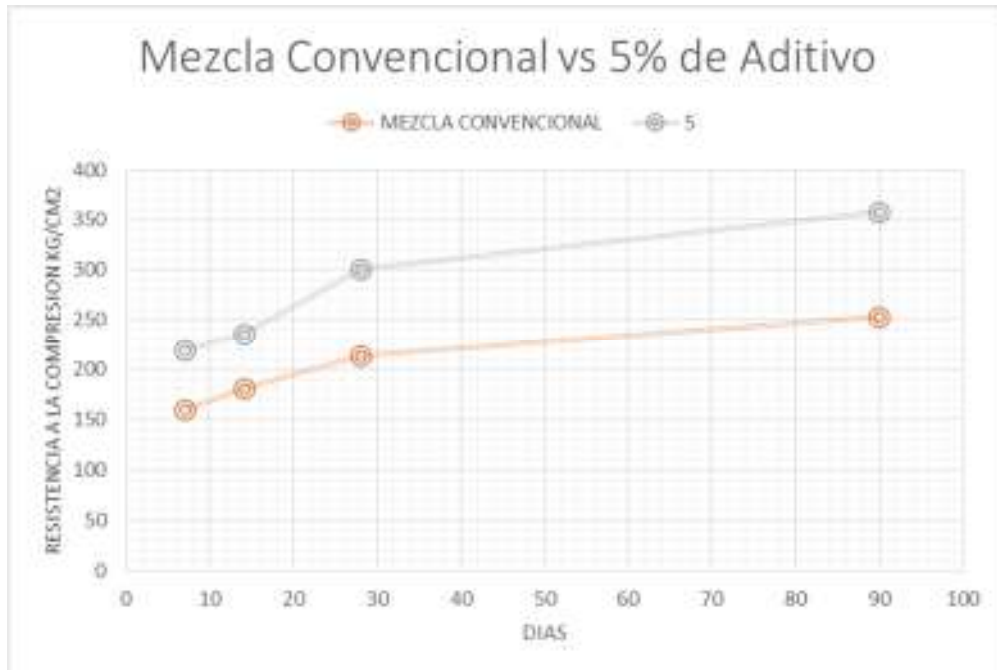
DIAS	MEZCLA CONVENCIONAL	ADITIVO MICROSILICE		
		5.00%	7.50%	10.00%
7	160	219	277	316
14	181	236	303	356
28	213	301	365	441
90	253	358	434	525

Fuente: Elaboración propia



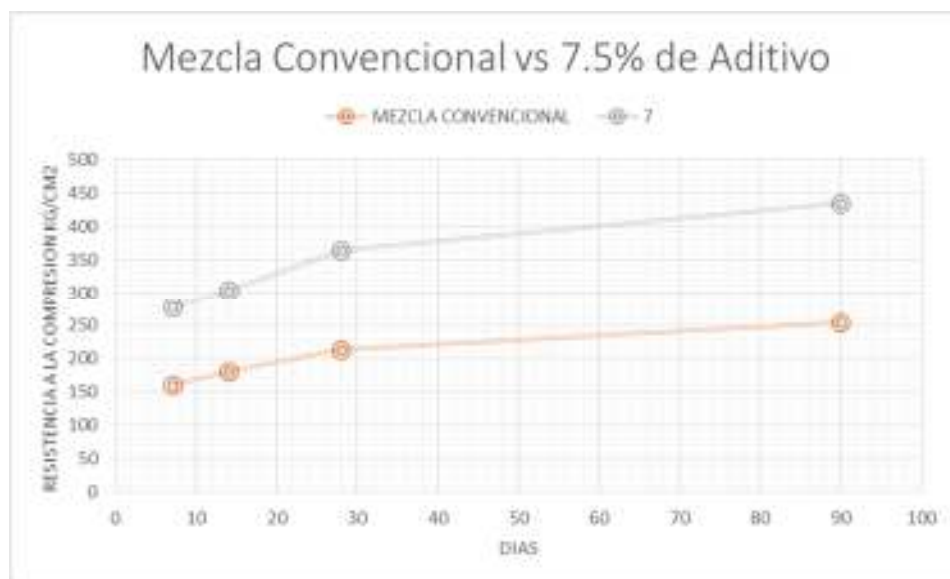
### Comparación mezcla convencional vs aditivos al 5, 7.5 y 10%

**Grafico N°01: Mezcla convencional vs 5% de aditivo microsílíce**



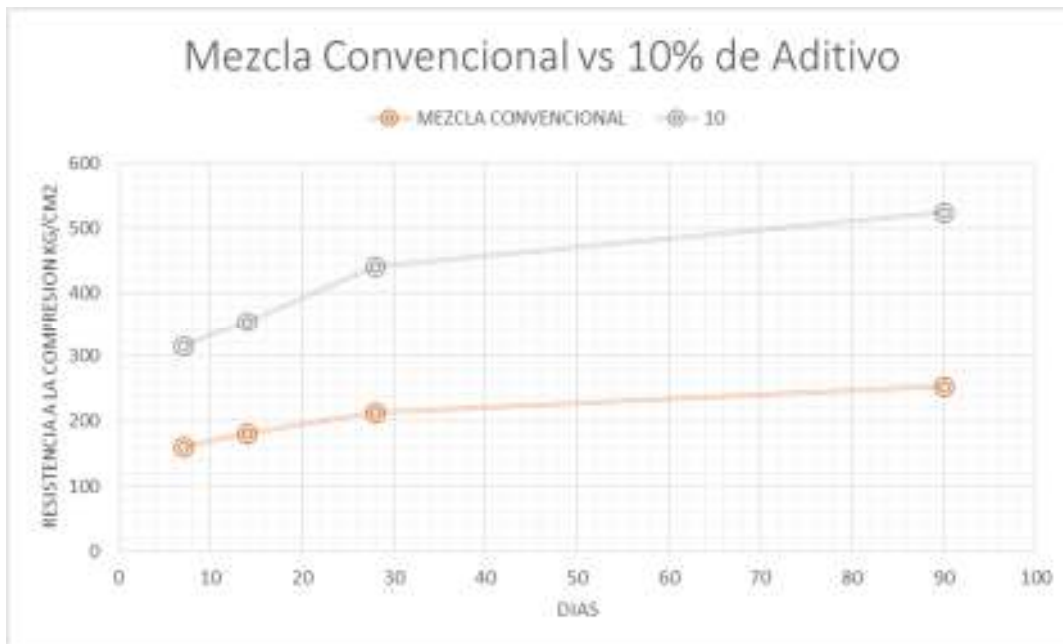
Fuente: Elaboración propia.

**Grafico N°02: Mezcla convencional vs 7.5% de aditivo microsílíce**



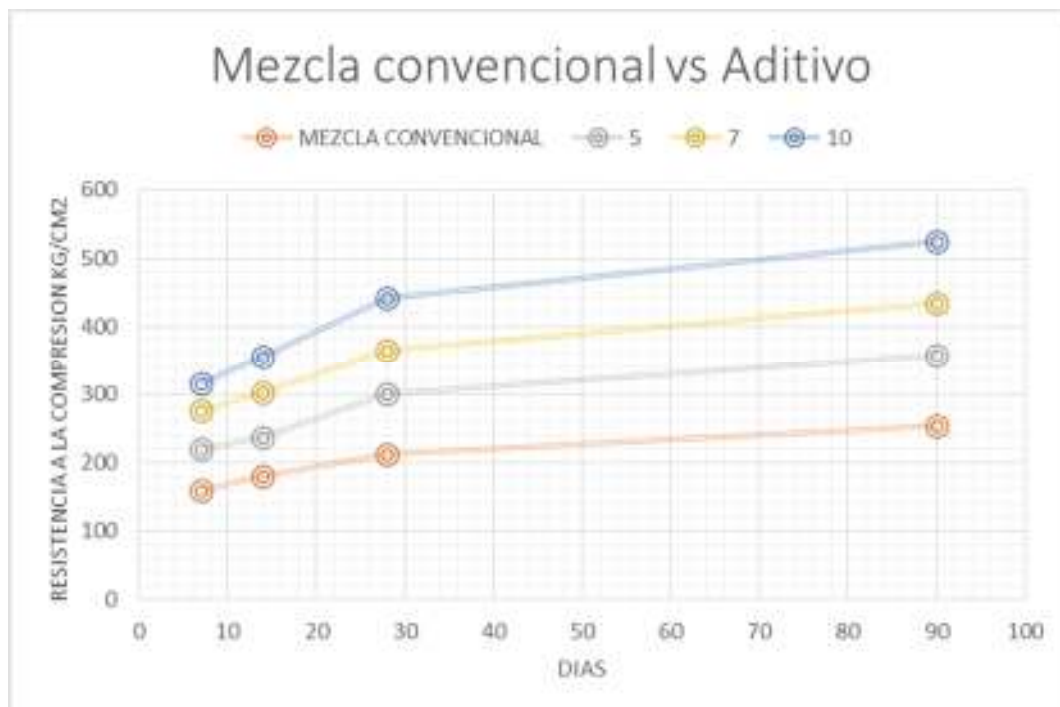
Fuente: Elaboración propia.

**Grafico N°03: Mezcla convencional vs 10% de aditivo microsílíce**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Grafico N°04: Mezcla convencional vs % de aditivos**



*Fuente: Elaboración propia.*

**CAPITULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. CONCLUSIONES:

- La resistencia a la compresión en la comparación que se hace con el concreto convencional, el microsílíce al 10% es nuestra proporción óptima en comparación a las otras proporciones del estudio, así también a lo largo del tiempo puede incrementar su resistencia, se optimo que a un año puede llegar a una resistencia de 650 kg/cm<sup>2</sup>.
- La alta resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido, se debe a una buena dosificación de microsílíce, lo cual para esta investigación la dosis apropiada para obtener una alta resistencia a la compresión es de 10%, esto se puede aumentar de acuerdo al diseño y al uso del concreto, obtendrás una mejor resistencia a lo ensayado en esta investigación.
- La resistencia a la compresión del concreto se incrementa conforme aumenta su edad

Para 7 días

Concreto patrón a los 7 días = 100% (160 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (5%) a los 7 días = aumenta el 136.88% de la mezcla convencional (219 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (7.5%) a los 7 días = aumenta el 173.13% de la mezcla convencional (277 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (10%) a los 7 días = aumenta el 197.50 % de la mezcla convencional (316 kg/cm<sup>2</sup>)

#### Para 14 días

Concreto patrón a los 14 días = 100% (181 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (5%) a los 14 días = aumenta el 130.39 % de la mezcla convencional (236 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (7.5%) a los 14 días = aumenta el 167.40 % de la mezcla convencional (303 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (10%) a los 14 días = aumenta el 196.69 % de la mezcla convencional (356 kg/cm<sup>2</sup>)

#### Para 28 días

Concreto patrón a los 28 días = 100% (213 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (5%) a los 28 días = aumenta el 141.32% de la mezcla convencional (301 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (7.5%) a los 28 días = aumenta el 171.362% de la mezcla convencional (365 kg/cm<sup>2</sup>)

Concreto patrón más aditivo (10%) a los 28 días = aumenta el 207.042% de la mezcla convencional (441 kg/cm<sup>2</sup>)

- El microsílíce mejora las características tanto en estado fresco como endurecido del concreto en comparación del concreto convencional, pero no es tan beneficioso porque se encuentra en un estado en polvo y afecta negativamente al impacto ambiental.

## 5.2. RECOMENDACIONES:

- La elaboración de estos tipos de concretos debe ser estrictamente controlada tanto en la temperatura del ambiente y la humedad relativa, y además de todos los materiales utilizados
- Mantener el curado bajo agua a una misma temperatura hasta la fecha del ensayo, los concretos son muy susceptibles a los cambios de temperatura.
- Es recomendable usar el aditivo de acuerdo al tipo de la obra a realizarse y al diseño de mezcla, ya que nos mejor las propiedades del concreto, pero impacta negativamente al medio ambiente. Hay que tener mayor control en dicho tema.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Normas de ensayo ITINTEC, Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de normas técnicas, Editorial ITINTEC 1979, Lima – Perú 1979.
- Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi “Diseño y control de mezclas de concreto”, Portland Cement Association, Illinois, EE.UU, 2004
- Ing. Enrique Pasquel Carbajal “Tópicos de Tecnología del Concreto” Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Nacional, 2° Edición, Lima – Perú.
- Ing. Ana Biondi Shaw “Supervisión y Control de calidad del concreto”, Perú, Fondo Editorial ICG. 2001.
- Riva Lopez Enrique, “Materiales para el concreto”, Perú, Edición 2008.
- Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima – Perú.
- Abanto Castillo Flavio, “Tecnología del concreto”, Editorial San Marcos, 2da Edición. Lima – Perú.
- ASOCEM “Boletines técnicos ASOCEM”, Ensayo de Agregados, Normas de ensayo de concreto. Perú, 1993

**ANEXO N°01:  
RESULTADOS DE ENSAYOS**



**ANEXO N°02:  
FICHA TÉCNICA SIKAFLOOR**